Indice con link

ATTI
DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE ITALIANA DI ENTOMOLOGIA

RENDICONTI

Anno LXIII

2015

CEREBRO FAVCIBVS VTERO
AB ORBIS ORIGINE
TENENT

TIPOGRAFIA COPPINI - FIRENZE

ATTI
DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE ITALIANA DI ENTOMOLOGIA

RENDICONTI
Anno LXIII
2015

CEREBRO FAVCIBVS VTERO
AB ORBIS ORIGINE
TENENT

TIPOGRAFIA COPPINI - FIRENZE

ISSN 0065-0757

Direttore Responsabile: *Prof. Romano Dallai*
Presidente Accademia Nazionale Italiana di Entomologia

Coordinatore della Redazione: *Dr. Roberto Nannelli*

La responsabilità dei lavori pubblicati è esclusivamente degli autori
Registrazione al Tribunale di Firenze n. 5422 del 24 maggio 2005

INDICE

Rendiconti

Consiglio di Presidenza ..... Pag. 5
Elenco degli Accademici ..... » 6
Verbali delle adunanze del 20-21 febbraio 2015 ..... » 9
Verbali delle adunanze del 12-13 giugno 2015 ..... » 15
Verbali delle adunanze del 13-14 novembre 2015 ..... » 24

Commemorazioni

Luciano Süss – *Graziella Bolchi Serini (1931-2014)* ..... » 35

Letture

Haralabos Tsolakis – *La sistematica dei Phytoseiidae: cenni storici, situazione attuale e prospettive di sviluppo* ..... » 39
Nunzio Isidoro, Sara Ruschioni, Emanuele Ranieri, Roberto Romani – *Le antenne degli imenotteri ooparassitoidi: adattamenti funzionali di appendici multimodali* ..... » 45

Tavola Rotonda su:

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE

Stefano Turillazzi, Barbara Giordana – *Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione* - Introduzione » 53
Paul Vantomme – *Farming insects as a viable and global source of animal proteins* ..... » 57
Simone Belluco, Alberto Mantovani, Antonia Ricci – *Il consumo di insetti dal punto di vista della sicurezza alimentare: inquadramento normativo e valutazione dei rischi* ..... » 65
Roberto Valvassori – *Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione. Le iniziative in Italia* ..... » 73
Mario Colombo – *L'allevamento degli insetti per l'alimentazione: problematiche, cautele e prospettive* ..... » 77
Silvia Cappellozza, Alessio Saviane – *Allevamento su larga scala d'insetti e filiere produttive* ..... » 83
Morena Casartelli, Gianluca Tettamanti – *Utilizzo di insetti come biotrasformatori: dallo scarto alimentare alla produzione di proteine animali per la mangimistica* ..... » 89
Anna Maria Fausto, Romolo Fochetti, Marzio Zapparoli, Pier Paolo Danieli – *Costi e benefici dell'entomofagia: sostenibilità ambientale dell'allevamento di insetti su larga scala* ..... » 95

Tavola Rotonda su:

EVOLUZIONE DELL'ACAROLOGIA NELL'ECOSISTEMA AGRARIO

Antonella Di Palma – *Morphological and functional adaptation of the female reproductive system in some gamasid mites (Acari, Anactinotrichida) and their reproductive efficiency* ..... » 103
Massimo Migliorini – *Effetti dell'evoluzione dei suoli sulle oribatocenosi. Indicazioni per un loro utilizzo nella valutazione ambientale* ..... » 105
Enrico de Lillo, Domenico Valenzano, Pasquale Saldarelli – *Attuali conoscenze sugli eriofioidei vettori di virus* ..... » 113
Sauro Simoni – *I Fitoseidi, acari predatori: life style types e prospettive nel controllo di acari fitofagi* ..... » 123
Carlo Duso, Alberto Pozzebon – *Can alternative foods availability influence the impact of pesticides on predatory mites?* ..... » 131
Haralabos Tsolakis – *Le sostanze di origine vegetale nel controllo degli acari fitofagi e gli effetti collaterali sui fitoseidi* ..... » 137

Tavola Rotonda su:

TECNICHE DI LOTTA ED ERADICAZIONE DI FITOFAGI D'INTERESSE FORESTALE

Pietro Luciano, Andrea Battisti, Pio Federico Roversi – *Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale* - Introduzione ..... » 143
Alain Roques – *Drivers and pathways of forest insect invasions in Europe, can we predict the next arrivals?* ..... » 145
Alberto Santini, Luisa Ghelardini, Paolo Capretti – *Vie d'ingresso dei patogeni forestali esotici* ..... » 151
Gianni Gilioli – *Approcci meccanicistici per la valutazione e la gestione del rischio delle specie invasive* ..... » 159
Andrea Lentini, Roberto Mannu, Pietro Luciano – *Risultati degli interventi di eradicazione di* Thaumetopoea pityocampa *in Sardegna* ..... » 167

CHIARA FERRACINI, ALBERTO ALMA – *La lotta biologica per il controllo di* Dryocosmus kuriphilus *in Italia* .. Pag. 177
GIUSEPPINO SABBATINI PEVERIERI, MASSIMO FACCOLI, COSTANZA JUCKER, MARIO COLOMBO, PIO FEDERICO ROVERSI – *I programmi di eradicazione di* Anoplophora chinensis *e* A. glabripennis *in Italia* ..... » 183
GIUSEPPINO SABBATINI PEVERIERI, LEONARDO MARIANELLI, AGOSTINO STRANGI, FRANCESCO BINAZZI, FRANCESCO PAOLI, PIO FEDERICO ROVERSI – *Controllo biologico della cimice americana delle conifere,* Leptoglossus occidentalis *Heidemann (Heteroptera Coreidae)* ..... » 189
MASSIMO FACCOLI, LUCIO MONTECCHIO – *Bioecologia e distribuzione di* Pityophthorus juglandis *(Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in Italia* ..... » 195

Tavola Rotonda su:

LA STATISTICA NELLA RICERCA ENTOMOLOGICA:
DALL'ANALISI INFERENZIALE AI MODELLI PREVISIONALI

MAURIZIO BIONDI – *La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali* - Introduzione ..... » 205
PIERFILIPPO CERRETTI – *Dalle matrici numeriche agli alberi filogenetici: metodi e concetti di base* ..... » 211
GIOVANNI BURGIO – *Dal campionamento all'analisi dei dati: problematiche e casi studio in entomologia applicata* ..... » 217
RUGGERO PETACCHI – *Ecologia quantitativa delle popolazioni di insetti fitofagi: analisi spaziale dei dati a diversa scala territoriale* ..... » 227
SIMONE FATTORINI – *Misurare la rarità degli insetti: problemi e prospettive nella biologia della conservazione* ..... » 235
DANIELE SALVI – *Analisi statistica delle sequenze di DNA nella ricostruzione filogenetica e filogeografica: applicazioni nella ricerca entomologica* ..... » 243

ANNO ACCADEMICO
2015

CONSIGLIO DI PRESIDENZA

PRESIDENTE

DALLAI Prof. Dott. Romano
(confermato)

VICE-PRESIDENTE

GIORDANA Prof. Dott.sa Barbara
(confermato)

SEGRETARIO

CRAVEDI Prof. Dott. Piero
(confermato)

TESORIERE

NANNELLI Dott. Roberto
(confermato)

ELENCO DEGLI ACCADEMICI

ACCADEMICI EMERITI

Arzone Prof. Dott. Alessandra	– Torino	1984
Barbagallo Prof. Dott. Sebastiano	– Catania	1982
Baronio Prof. Piero	– Bologna	2001 - 2012
Bonvicini Pagliai Prof. Dott. Anna	– Modena	1983 - 2001
Briolini Prof. Dott. Giovanni	– Bologna	1977 - 1982
Covassi Dott. Marco Vittorio	– Firenze	1983 - 1997
Dallai Prof. Dott. Romano	– Siena	1979 - 1982
Frilli Prof. Dott. Franco	– Udine	1978 - 1982
Galvagni Dott. Antonio (*)	– Rovereto (TN)	- 2007
Girolami Prof. Dott. Vincenzo	– Padova	1993 - 2004
Masutti Prof. Dott. Luigi	– Padova	1972 - 1977
Mellini Prof. Dott. Egidio	– Bologna	1962 - 1972
Mineo Prof. Dott. Giovanni	– Palermo	1986
Monaco Prof. Dott. Raffaele	– Bari	1985
Osella Prof. Dott. Giuseppe Bartolomeo	– L'Aquila	1983 - 1997
Principi Prof. Dott. Maria Matilde	– Bologna	1953 - 1960
Rivosecchi Prof. Dott. Leo	– Roma	1987 - 2003
Santini Prof. Dott. Luciano	– Pisa	1993 - 2000
Solinas Prof. Dott. Mario	– Perugia	1978
Zangheri Prof. Dott. Sergio	– Padova	1970 - 1977

ACCADEMICI ORDINARI

Alma Prof. Dott. Alberto	– Torino	2007 - 2013
Audisio Prof. Paolo Aldo	– Napoli	2004 - 2015
Battisti Prof. Andrea	– Padova	2010 - 2014
Binazzi Dott. Andrea	– Firenze	1998 - 2012
Bologna Prof. Marco	– Roma	2001 - 2008
Brandmayr Prof. Dott. Pietro	– Rende (CS)	2005 - 2014
Bullini Prof. Dott. Luciano	– Roma	1986
Casale Prof. Dott. Achille	– Sassari	1996 - 2002
Cravedi Prof. Dott. Piero	– Piacenza	1999 - 2005
Delrio Prof. Dott. Gavino	– Sassari	1989 - 2000
Gasperi Prof. Dott. Giuliano	– Pavia	2005 - 2013
Giordana Prof. Dott. Barbara	– Milano	1997 - 2003
Longo Prof. Dott. Santi	– Catania	1993 - 2000
Luciano Prof. Dott. Pietro	– Sassari	2009 - 2014
Maini Prof. Dott. Stefano	– Bologna	2005 - 2014
Malva Dott. Carla	– Napoli	2001 - 2011
Maroli Prof. Dott. Michele	– Roma	2003 - 2010
Mazzini Prof. Dott. Massimo	– Viterbo	2000
Minelli Prof. Dott. Alessandro	– Padova	1986 - 1993
Nannelli Dott. Roberto	– Firenze	1998 - 2005
Nuzzaci Prof. Dott. Giorgio	– Bari	1988 - 1994
Olmi Prof. Dott. Massimo	– Viterbo	2002 - 2013
Pennacchio Prof. Dott. Francesco	– Napoli	2001 - 2007
Poggi Dott. Roberto	– Genova	1989 - 1999

(*) † 3 aprile 2015.

RAGUSA DI CHIARA Prof. Dott. Salvatore	– Palermo	1993 - 2000
RAPISARDA Prof. Dott. Carmelo	– Catania	2005 - 2012
ROTUNDO Prof. Dott. Giuseppe	– Campobasso	1999 - 2010
ROVERSI Prof. Pio Federico	– Firenze	2008
SBORDONI Prof. Dott. Valerio	– Roma	1986
SÜSS Prof. Dott. Luciano	– Milano	1987 - 1993
TRANFAGLIA Prof. Dott. Antonio	– Potenza	1993 - 1999
TRIGGIANI Prof. Oreste	– Bari	2001 - 2012
TURILLAZZI Prof. Dott. Stefano	– Firenze	1989 - 2000
VIGNA TAGLIANTI Prof. Dott. Augusto	– Roma	1986 - 1994

ACCADEMICI ONORARI

ALBERTI Prof. Gerd	– Greifswald (Germania)	2005
ALTIERI Prof. Miguel Angel	– Berkeley (California, USA)	2004
BOUČEK Dott. Zdenek (*)	– Praga (Repubblica Ceca)	2003
DELUCCHI Prof. Dott. Vittorio	– Zurigo (Svizzera)	1998
HARRIS Dott. Keit Murray	– Ripley, Woking (U.K.)	2002
HODEK Prof. Dott. Ivo	– Ceské Budejovice (Repubblica Ceca)	1986
LENTEREN Prof. Dott. Johan Coert van	– Wageningen (Olanda)	2006
STROYAN Dott. Henry L.G.	– Harpenden (U.K.)	1998
TAUTZ Prof. Dott. Jürgen	– Würzburg (Germania)	2006
WILSON Prof. Edward O.	– Birmingham (Alabama, USA)	2011

ACCADEMICI STRAORDINARI

BALLERIO Dott. Alberto	– Brescia	2015
BANDI Prof. Dott. Claudio	– Milano	2015
BIONDI Prof. Maurizio	– L'Aquila	2012
BOSCO Prof. Dott. Domenico	– Torino	2015
CERVO Prof. Rita	– Firenze	2012
COBOLLI Prof. Marina	– Roma	2001
COLAZZA Prof. Dott. Stefano	– Palermo	2013
CRISTOFARO Dott. Massimo	– Roma	2014
DE LILIO Prof. Dott. Enrico	– Bari	2011
DIGILIO Prof. Dott. Maria Cristina	– Napoli	2015
DI PALMA Prof. Antonella	– Foggia	2014
FAUSTO Prof. Dott. Anna Maria	– Viterbo	2011
FLORIS Prof. Dott. Ignazio	– Sassari	2011
FRATI Prof. Francesco	– Siena	2012
GARGIULO Prof. Dott. Giuseppe	– Bologna	2013
GERMINARA Prof. Giacinto Salvatore	– Foggia	2014
ISIDORO Prof. Dott. Nunzio	– Ancona	2013
LUCCHI Prof. Dott. Andrea	– Pisa	2015
MASSA Prof. Dott. Bruno	– Palermo	2011
NAZZI Prof. Francesco	– Udine	2012
PELLIZZARI Prof. Dott. Giuseppina	– Padova	2011
RUSSO Prof. Dott. Agatino	– Catania	2011
ZAPPAROLI Prof. Marzio	– Viterbo	2012

N.B. - Per gli Accademici Emeriti ed Ordinari le date sono rispettivamente quelle della nomina ad Accademico Straordinario e ad Accademico Ordinario.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 9-33

VERBALI DELLE ADUNANZE DEL 20-21 FEBBRAIO 2015

Presiede il Presidente Prof. Romano Dallai
Segretario verbalizzante: il Segretario prof. Piero Cravedi

SEDUTA PUBBLICA

Venerdì 20 febbraio 2015, alle ore 15:00, a Firenze Cascine del Riccio via Lanciola 12/A, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori della Seduta Pubblica.

Sono presenti gli Accademici:

Emeriti: M.V. Covassi, R. Dallai, L. Santini;
Ordinari: A. Battisti, P. Cravedi, B. Giordana, P. Luciano, M. Maroli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, S. Ragusa di Chiara, P.F. Roversi, S. Turillazzi;
Straordinari: R. Cervo, S. Colazza, E. De Lillo, A. Di Palma, F. Frati, G.S. Germinara, B. Massa, G. Pellizzari.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, F. Frilli, A. Galvagni, L. Masutti, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, F. Pegazzano, M.M. Principi, L. Rivosecchi, M. Solinas, S. Zangheri; *Ordinari*: A. Alma, M.A. Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, G. Gasperi, S. Maini, C. Malva, M. Mazzini, A. Minelli, F. Pennacchio, R. Poggi, C. Rapisarda, V. Sbordoni, L. Süss, A. Vigna Taglianti; *Straordinari*: P.A. Audisio, M. Biondi, M. Cobolli, M. Daccordi, A.M. Fausto, G. Gargiulo, F. Nazzi, A. Russo.

Alla Seduta Pubblica sono presenti anche numerosi ricercatori e studiosi ospiti dell'Accademia

Il tema della Tavola Rotonda verte su:

"*Evoluzione dell'Acarologia nell'ecosistema agrario*"

Il Presidente Romano Dallai apre la Seduta Pubblica e invita l'Accademico Giorgio Nuzzaci a coordinare i lavori.

Si susseguono gli interventi:

- Accademico Giorgio Nuzzaci: introduzione
- Accademico Antonella Di Palma - *Adattamenti morfologici e funzionali del sistema riproduttore di alcuni Acari Gamasida ed efficienza riproduttiva*.
- Prof. Massimo Migliorini, Università di Siena - *Effetti dell'evoluzione dei suoli sulla Oribatocenosi. Indicazioni per un loro utilizzo nella valutazione ambientale.*
- Accademico Enrico De Lillo - *Attuali conoscenze sugli Eriofioidei vettori di virus.*
- Dott. Sauro Simoni, CRA Firenze - *I Fitoseidi, acari predatori: life style types e prospettive nel controllo di acari fitofagi.*
- Prof. Carlo Duso, Università di Padova - *La disponibilità di alimenti alternativi influenza gli effetti dei prodotti fitosanitari sugli acari predatori?*
- Prof. Haralabos Tsolakis, Università di Palermo - *Le sostanze di origine vegetale nel controllo degli acari fitofagi e gli effetti collaterali sugli acari Fitoseidi.*

Segue un'interessante discussione coordinata dall'Accademico Giorgio NUZZACI, al termine della quale la Seduta si conclude alle ore 18:00.

I testi delle relazioni verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2015 dell'Accademia.

Il Segretario Piero CRAVEDI — *Il Presidente* Romano DALLAI

ASSEMBLEA ORDINARIA

Presiede il Presidente Prof. Romano DALLAI
Segretario verbalizzante: il Segretario Prof. Piero CRAVEDI

Sabato 21 febbraio 2015 alle ore 09:30, presso la propria sede in via Lanciola 12/A Cascine del Riccio Firenze, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori dell'Assemblea Ordinaria alla presenza degli Accademici:

Emeriti: M.V. COVASSI, R. DALLAI, L. MASUTTI, L. SANTINI, M. SOLINAS;
Ordinari: A. BATTISTI, A. BINAZZI, M. BOLOGNA, P. CRAVEDI, B. GIORDANA, P. LUCIANO, S. MAINI, M. MAROLI, M. MAZZINI, R. NANNELLI, G. NUZZACI, F. PENNACCHIO, S. RAGUSA DI CHIARA, P.F. ROVERSI, L. SÜSS, S. TURILLAZZI.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. ARZONE, S. BARBAGALLO, P. BARONIO, A.M. BONVICINI PAGLIAI, G. BRIOLINI, F. FRILLI, A. GALVAGNI, E. MELLINI, G. MINEO, R. MONACO, G. OSELLA, F. PEGAZZANO, M.M. PRINCIPI, L. RIVOSECCHI, S. ZANGHERI; *Ordinari*: A. ALMA, P. BRANDMAYR, A. CASALE, G. GASPERI, C. MALVA, A. MINELLI, R. POGGI, C. RAPISARDA, V. SBORDONI, A. VIGNA TAGLIANTI.

Viene discusso il seguente Ordine del giorno:

1) Approvazione del verbale della seduta precedente (15 novembre 2014).
2) Comunicazioni del Presidente.
3) Esame e approvazione conto consuntivo anno finanziario 2014
4) Varie ed eventuali

1) APPROVAZIONE DEL VERBALE SEDUTA PRECEDENTE (15 NOVEMBRE 2014)

Viene esaminato il verbale della Seduta Ordinaria di sabato 15 novembre 2014, già inviato a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici.

Il verbale viene approvato all'unanimità.

2) COMUNICAZIONI DEL PRESIDENTE

Il Presidente Romano DALLAI comunica che:

– L'Accademia sta attraversando una difficile situazione economica che rischia di impedire l'adeguata prosecuzione delle sue attività di diffusione della conoscenza degli insetti e della loro importanza nel mantenimento degli ecosistemi, che hanno ricevuto la considerazione della comunità scientifica nazionale. Una delle cause principali di questa situazione deriva dall'aggravarsi della burocrazia nel reperimento di fondi ministeriali e da tagli che sono stati apportati a fondi regolarmente richiesti e documentati. Il Consiglio di Presidenza, ha valutato attentamente la situazione individuando, come possibili soluzioni, la richiesta agli Accademici di: a) donare un contributo personale volontario; b) provvedere all'acquisto personale del volume "Allergologia e Dermatologia Entomologiche" pubblicato a cura dell'Accademia; c) provvedere a far acquistare

il suddetto volume alle biblioteche dei Dipartimenti di appartenenza degli Accademici. Segue una breve discussione al termine della quale si concorda sulle soluzioni illustrate. Il Presidente le comunicherà inviando una lettera a tutti gli Accademici con l'invito a contribuire nel reperimento di fondi.

– Il Presidente riferisce che la Giornata di Studio su "Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" che si è tenuta a Firenze il 16 gennaio ha avuto un'ampia partecipazione di pubblico. La tematica, particolarmente attuale, è stata approfondita sotto molteplici aspetti evidenziandone le elevate possibilità, ma anche la necessità di rispettare il complesso quadro normativo europeo riguardante gli alimenti. Per affermare l'importanza essenziale delle competenze entomologiche e per segnalare la disponibilità dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia e della Società Entomologica Italiana a fornire adeguato supporto scientifico, i Presidenti delle due Istituzioni, Prof Romano Dallai e Prof. Francesco Pennacchio hanno inviato una lettera al Ministro delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.
– Il Presidente, a norma dell'art. 7 del Regolamento, comunica che:
  - la disponibilità di posti nelle diverse categorie di Accademici, al 30 aprile 2015 è la seguente:
  - per Accademico Ordinario: posti liberi 5;
  - per Accademico Straordinario posti liberi10;
  - per Accademico Onorario posti liberi 1.

Ciascuna proposta fatta da almeno tre Accademici Ordinari o Emeriti, accompagnata da una breve relazione sui meriti scientifici e accademici dei candidati deve pervenire al Presidente dell'Accademia entro il 30 aprile 2015, secondo quanto previsto dall'art. 12 dello Statuto.

– Su invito del Presidente, l'Accademico Roberto Nannelli, responsabile delle pubblicazioni, illustra la situazione dell'attività editoriale dell'Accademia. Considerando le notevoli ristrettezze economiche per il 2015 è prevista solo la pubblicazione del volume degli Atti e Rendiconti, vol.LXII (2014) che comprenderà anche i contributi delle Tavole Rotonde svolte in febbraio, ottobre e novembre 2014. Sono già pervenuti i testi delle letture di febbraio e quasi tutti i contributi della Giornata culturale di ottobre svoltasi a Roma in onore di Mario Coluzzi, mentre i contributi della Tavola Rotonda di novembre dovrebbero pervenire entro la fine di febbraio. Si prevede quindi di poter pubblicare il volume prima dell'Assemblea di giugno.

3) Esame e approvazione conto consuntivo anno finanziario 2014

Il Presidente invita il Tesoriere Nannelli a presentare il Conto consuntivo per l'anno finanziario 2014.

Il Tesoriere fa presente che il 12 febbraio scorso si è riunito presso il CRA-ABP, Centro di Ricerca per l' Agrobiologia e la Pedologia di Cascine del Riccio, sede anche dell'Accademia, il Collegio dei Revisori dei Conti per l'analisi e l'approvazione del Bilancio preventivo 2015 e il Conto consuntivo 2014.

Il Tesoriere illustra quindi all'Assemblea i principali capitoli del Conto consuntivo evidenziando la modesta disponibilità finanziaria dell'Accademia, determinata anche dal mancato rimborso da parte del MIPAAF di spese sostenute per lo svolgimento delle Tavole Rotonde di febbraio e giugno 2013, in quanto i decreti economici erano stati ratificati dalla dirigenza ministeriale successivamente allo svolgimento degli eventi, nonostante che la richiesta di finanziamento, per le pubblicazioni relative all'attività 2013, fosse stata regolarmente presentata nel dicembre 2012. Conseguentemente le spese sostenute per la pubblicazione della monografia XXIV della collana "Tavole Rotonde sui maggiori problemi riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia" sono rimaste a totale carico dell'Accademia. L'unico contributo pubblico ricevuto nel 2014, fine novembre 2014, per l'attività culturale dell'Accademia è stato quello del MIBAC e che verrà quindi utilizzato nel 2015 per la preparazione del volume degli Atti e Rendiconti dell'Accademia 2014.

Completata l'illustrazione e non essendovi richieste di ulteriori dettagli, il Presidente pone in votazione il Conto consuntivo 2014 che viene approvato all'unanimità e che verrà conservato agli atti.

Il Tesoriere informa l'Assemblea che nel mese di gennaio è stata presentata al Ministero per i Beni e le Attività Culturali regolare richiesta di finanziamento per il 2015 mentre per quanto riguar-

da il MIPAAF la richiesta di finanziamento per l'organizzazione delle Tavole Rotonde programmate per il 2015 deve essere fatta almeno due mesi prima di ogni evento seguendo una procedura specificata dal DM 4539 del 26/02/2014 che risulta molto elaborata e impegnativa per gli organizzatori scientifici del convegno.

4) Varie ed eventuali

Nessuna.

La seduta dell'Assemblea Ordinaria è tolta alle ore 10:20.

Il Segretario — Piero Cravedi
Il Presidente — Romano Dallai

SEDUTA PUBBLICA

Sabato 21 febbraio 2015 alle ore 10:30, presso la propria sede in via Lanciola 12/A Cascine del Riccio Firenze il Presidente Romano Dallai dichiara aperta la Seduta Pubblica

Oltre agli Accademici Ordinari ed Emeriti, presenti all'Assemblea Ordinaria, partecipano gli Accademici Straordinari e altri studiosi e ricercatori ospiti dell'Accademia.

Il Presidente Romano Dallai invita il Prof. Haralabos Tsolakis dell'Università di Palermo a presentare la lettura dal titolo:
"*La sistematica dei* Phytoseiidae*: cenni storici, situazione attuale e prospettive di sviluppo*"

Segue una breve e interessante discussione, al termine della quale il Presidente ringrazia il relatore e coloro che sono intervenuti.
Il Presidente da successivamente la parola all'Accademico Ordinario Luciano Süss per la commemorazione dell'Accademica Emerita Graziella Bolchi Serini.

I testi della lettura e della commemorazione verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2015.

La Seduta è tolta alle ore 11:25.

Il Segretario — Piero Cravedi
Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA PLENARIA

Presiede il Presidente Prof. Romano Dallai
Segretario verbalizzante: il Segretario Prof. Piero Cravedi

Sabato 21 febbraio 2015 alle ore 11:30, a Firenze Cascine del Riccio, via Lanciola 12/A come da convocazione del Presidente iniziano i lavori dell'Assemblea Plenaria.
Sono presenti gli Accademici:

Emeriti: M.V. Covassi, R. Dallai, L. Masutti, L. Santini; M. Solinas.
Ordinari: A. Battisti, A. Binazzi, M. Bologna, P. Cravedi, B. Giordana, P. Luciano, S. Maini, M. Maroli, M. Mazzini, R. Nannelli, G. Nuzzaci, F. Pennacchio, S. Ragusa Di Chiara, P.F. Roversi, L. Süss, S. Turillazzi;

Straordinari: P.A. Audisio, M. Biondi, R. Cervo, M. Cobolli, E. De Lillo, A. Di Palma, A.M. Fausto, F. Frati, G.S. Germinara, B. Massa, F. Nazzi, G. Pellizzari, M. Zapparoli.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, F. Frilli, A. Galvagni, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, F. Pegazzano, M.M. Principi, L. Rivosecchi, S. Zangheri; *Ordinari*: P. Brandmayr, A. Casale, G. Gasperi, C. Malva, M. Mazzini, A. Minelli, R. Poggi C. Rapisarda, V. Sbordoni; *Straordinari*: M. Daccordi, G. Gargiulo, A. Russo.

Viene discusso il seguente Ordine del giorno:

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (14-15 novembre 2014)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Proclamazione consegna Diplomi ai nuovi Accademici Straordinari (Massimo Cristofaro, Antonella Di Palma e Giacinto Salvatore Germinara)
4) Fauna d'Italia
5) Varie ed eventuali

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (14-15 novembre 2014)

Vengono esaminati i verbali delle Sedute Pubbliche di venerdì 14 e sabato 15 novembre 2014 e dell'Assemblea Plenaria di sabato 15 novembre 2014, già inviati a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici.

I verbali vengono approvati all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

Il Presidente comunica che:

– L'Accademia sta attraversando una difficile situazione economica che potrebbe mettere a rischio la prosecuzione di una adeguata attività culturale. Una delle principali cause è rappresentata dall'aggravarsi della burocrazia ministeriale e da tagli al conferimento di fondi regolarmente richiesti e documentati. Le soluzioni proposte sono state presentate e discusse nell'Assemblea Ordinaria da poco conclusasi. Il Presidente invierà a tutti gli Accademici una lettera in cui verrà rivolto l'invito a donare un contributo personale volontario, all'acquisto personale del volume "Allergologia e Dermatologia Entomologiche" oppure a provvedere a far acquisire il suddetto volume alle biblioteche dei Dipartimenti di appartenenza.
  Il Presidente riferisce che la Giornata di Studio su "Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" che si è tenuta a Firenze il 16 gennaio ha avuto un'ampia partecipazione di pubblico. La tematica, particolarmente attuale, è stata approfondita sotto molteplici aspetti evidenziandone le elevate possibilità, ma anche la necessità di rispettare il complesso quadro normativo europeo riguardante gli alimenti. Per affermare l'importanza essenziale delle competenze entomologiche e per segnalare la disponibilità dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia e della Società Entomologica Italiana a fornire adeguato supporto scientifico, i Presidenti delle due Istituzioni, Prof Romano Dallai e Prof. Francesco Pennacchio hanno inviato una lettera al Ministro delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

3) Proclamazione e consegna Diplomi nuovi Accademici Straordinari

Il Presidente consegna i Diplomi di Accademico Straordinario ai neonominati Antonella Di Palma e Giacomo Salvatore Germinara. All'Accademico Straordinario Massimo Cristofaro, assente giustificato. Il diploma verrà consegnato in altra occasione.

L'Assemblea si congratula con i nuovi Accademici Straordinari, accogliendoli con un caloroso applauso.

4) Fauna d'Italia

Su invito del Presidente, l'Accademico Marco A. Bologna, Presidente del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia, prende la parola e riferisce.

Come già illustrato nella precedente Assemblea ordinaria del 15 novembre 2014, la situazione editoriale permane difficile. Il volume relativo ai Cetacei non è stato ancora stampato, nonostante le indicazioni dall'editore. Altri due volumi sono disponibili per la stampa, qualora si risolvano i problemi editoriali: uno sui Rotiferi marini, a cura di G. Melone *et al*. e già consegnato alla Calderini, ed uno su Ascidiacei, a cura di F. Mastrototaro *et al*., che sarà consegnato a breve al Comitato.

Il 9 febbraio scorso il sottoscritto ed il segretario del Comitato, l'Accademico prof. Marzio Zapparoli, abbiamo avuto un incontro a Bologna con la segreteria redazionale dell'editore Calderini (ora New Business Media), che si è dimostrata disponibile a continuare le pubblicazioni, a fronte di un contributo che potrebbe essere elargito dal Comitato o da altri sponsor, ma senza dare certezze e tempistica precise.

Come già riferito a novembre, ogni azione tendente a chiarire la situazione di stallo con la casa editrice, e l'eventuale ricerca di un nuovo Editore, avverrà dopo attenta valutazione da parte del Comitato e comunque dopo la stampa del volume dei Cetacei.

5) Varie ed eventuali

Chiesta ed ottenuta la parola l'Accademico Andrea Battisti fornisce informazioni in merito all'organizzazione del XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia a Padova nel 2016. Il Congresso inizierà nel pomeriggio di lunedì 20 giugno. I giorni 21, 22 e 23 giugno saranno dedicati alle sessioni scientifiche mentre per il 24 è prevista una uscita sociale. La sede sarà probabilmente il rinnovato orto botanico che, nelle nuove sale adiacenti alle serre, potrà ospitare sessioni parallele, poster e catering. La sede è nel centro di Padova ed è facilmente raggiungibile con vari mezzi Nei prossimi giorni è previsto l'incontro con l'agenzia che curerà l'organizzazione. Subito dopo verrà preparato il sito web del Congresso.

Su invito del Presidente l'Accademico Francesco Pennacchio fornisce aggiornamenti circa il prossimo Congresso Europeo di Entomologia.

L'European Congress of Entomology, che si terrà a Napoli nel luglio del 2018, verrà organizzato con la collaborazione della ditta EVENT Planet S.r.L., che opera nel settore dell'organizzazione congressuale, con la quale l'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia e la Società Entomologica Italiana hanno sottoscritto un rapporto di collaborazione.

Al fine di promuovere l'evento congressuale nell'ambito dell'International Congress of Entomology, che si terrà nel settembre 2016 in Florida (USA), si prevede di organizzare uno spazio espositivo e di preparare materiale informativo da mettere in distribuzione.

Chiesta ed ottenuta la parola l'Accademico Stefano Turillazzi segnala che nel 2015 ricorre il centenario dalla nascita del Prof. Leo Pardi e che è in fase di organizzazione una Giornata di Studio dedicata a tal ricorrenza.

La seduta dell'Assemblea plenaria è tolta alle ore 13:00

Il Segretario	*Il Presidente*
Piero Cravedi	Romano Dallai

VERBALI DELLE ADUNANZE DEL 12-13 GIUGNO 2015

Presiede la Vice Presidente Prof. Barbara GIORDANA
Segretario verbalizzante: il Tesoriere Dott. Roberto NANNELLI

SEDUTA PUBBLICA

Venerdì 12 giugno 2015, alle ore 15:00, a Firenze, via Lanciola 12/A, Cascine del Riccio, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori della Seduta Pubblica.

Sono presenti gli Accademici:
Emeriti: M.V. COVASSI, L. SANTINI;
Ordinari: A. ALMA, A. BATTISTI, A. BINAZZI, B. GIORDANA, P. LUCIANO, R. NANNELLI, G. NUZZACI, F. PENNACCHIO, C. RAPISARDA, P.F. ROVERSI;
Straordinari: M. CRISTOFARO, A. DI PALMA, F. FRATI, G. GARGIULO, A. RUSSO.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. ARZONE, S. BARBAGALLO, P. BARONIO, A.M. BONVICINI PAGLIAI, G. BRIOLINI, R. DALLAI, F. FRILLI, A. GALVAGNI, L. MASUTTI, E. MELLINI, G. MINEO, R. MONACO, G. OSELLA, F. PEGAZZANO, M.M. PRINCIPI, L. RIVOSECCHI, M. SOLINAS, S. ZANGHERI; *Ordinari*: P.A. AUDISIO, M.A. BOLOGNA, P. BRANDMAYR, A. CASALE, P. CRAVEDI, G. GASPERI, S. MAINI, C. MALVA, M. MAROLI, M. MAZZINI, A. MINELLI, R. POGGI, S. RAGUSA DI CHIARA, V. SBORDONI, L. SÜSS, S. TURILLAZZI, A. VIGNA TAGLIANTI; *Straordinari*: M. BIONDI, R. CERVO, M. COBOLLI, S. COLAZZA, E. DE LILLO, A.M. FAUSTO, G.S. GERMINARA, B. MASSA, F. NAZZI, G. PELLIZZARI.

Alla Seduta Pubblica sono presenti anche numerosi ricercatori e studiosi ospiti dell'Accademia.

Il tema della Tavola Rotonda verte su:
"*Tecniche di lotta ed eradicazione dei fitofagi di interesse forestale*"
Coordinata dagli Accademici Pietro LUCIANO, Andrea BATTISTI e Pio Federico ROVERSI

La Vice Presidente Barbara GIORDANA apre la Seduta Pubblica e invita l'Accademico Pietro LUCIANO a coordinare i lavori.

Si susseguono la Lettura introduttiva di Alain ROQUES:
Unité de Recherche Zoologie Forestière, INRA Orléans
Drivers and pathways of forest insect invasions in Europe: Can we predict the next arrivals?

e gli Interventi di:

- Alberto SANTINI, *Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante, CNR - Vie di ingressi di patogeni, invasioni e loro relazioni con gli insetti.*
- Gianni GILIOLI, *Università di Brescia - Modellistica delle infestazioni di fitofagi d'interesse forestale.*
- Andrea LENTINI, *Università di Sassari - Risultati degli interventi di eradicazione di* Thaumetopoea pityocampa *in Sardegna.*
- Chiara FERRACINI, *Università di Torino - La lotta biologica per il controllo di* Dryocosmus kuriphilus *in Italia.*
- Giuseppino SABBATINI, *CRA, Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia, Firenze - I programmi di eradicazione di* Anoplophora chinensis *e* A. glabripennis.
- Pio Federico ROVERSI, *CRA, Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia, Firenze - Controllo biologico e risk assessment per il contenimento dei danni da* Leptoglossus occidentalis.

– Massimo Faccoli, *Università di Padova* - Pityophthorus juglandis *nuovo fitofago da quarantena per le colture di noce: pericolosità e possibilità di eradicazione.*

Segue una ampia e interessante discussione coordinata dall'Accademico Pietro Luciano, al termine della quale la Seduta si conclude alle ore 18:00.

I testi delle relazioni verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2015 dell'Accademia.

Il Segretario verbalizzante — Roberto Nannelli

La Vice Presidente — Barbara Giordana

ASSEMBLEA ORDINARIA

Presiede il Presidente Prof. Romano Dallai

Segretario verbalizzante: la Vicepresidente Prof. Barbara Giordana

Il giorno 13 giugno 2015 alle 9.15, presso la sede dell'Accademia a Firenze, Cascine del Riccio, via Lanciola 12/A, come da convocazione, il Presidente apre la seduta alla presenza degli Accademici:
Emeriti: M.V. Covassi, R. Dallai, L. Masutti, L. Santini.
Ordinari: A. Alma, A. Battisti, A. Binazzi, B. Giordana, P. Luciano, M. Mazzini, A. Minelli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, F. Pennacchio, C. Rapisarda, P.F. Roversi, S. Turillazzi.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, F. Frilli, A. Galvagni, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, F. Pegazzano, M.M. Principi, L. Rivosecchi, M. Solinas, S. Zangheri; *Ordinari*: P.A. Audisio, M.A. Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, P. Cravedi, G. Gasperi, S. Longo, C. Malva, M. Maroli, R. Poggi, S. Ragusa di Chiara, V. Sbordoni, L. Süss, A. Vigna Taglianti.

Viene discusso il seguente O.d.g.:

1) Approvazione del verbale della seduta precedente (21 febbraio 2015)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Varie ed eventuali

1) Approvazione del verbale della seduta precedente (21 febbraio 2015)

Viene esaminato il verbale dell'Assemblea Ordinaria del 21 febbraio 2015, già inviato a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici, che viene approvato all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

Il Presidente comunica che:

a) a norma dello Statuto (Articoli 12 e 13) e del Regolamento (Art. 7), a fronte di 5 posti disponibili per Accademico Ordinario, 10 posti per Accademico Straordinario e 1 posto per Accademico Onorario, sono pervenute entro il 30 aprile 2015 le seguenti proposte per nuovi Accademici per essere votate nell'Assemblea Ordinaria di novembre 2015.

   Cinque proposte per Accademico Straordinario per i professori:
   - Alberto Ballerio presentato dagli Accademici Roberto Poggi, Andrea Battisti e Augusto Vigna Taglianti;

- Claudio BANDI presentato dagli Accademici Alberto ALMA, Francesco PENNACCHIO e Michele MAROLI;
- Domenico BOSCO presentato dagli Accademici Andrea BATTISTI, Alberto ALMA e Carmelo RAPISARDA;
- Maria Cristina DIGILIO presentata dagli Accademici Carla MALVA, Francesco PENNACCHIO e Giuseppe ROTUNDO;
- Andrea LUCCHI presentato dagli Accademici Luciano SANTINI, Roberto POGGI e Francesco PENNACCHIO.

Due proposte per Accademico Ordinario che riguardano gli Accademici Straordinari:
- Anna Maria FAUSTO. presentata dagli Accademici Michele MAROLI, Mario SOLINAS e Massimo MAZZINI;
- Francesco FRATI presentato dagli Accademici Marco A. BOLOGNA, Francesco PENNACCHIO e Stefano TURILLAZZI.

Una proposta per Accademico Onorario per la professoressa:
- Angharad Margaret ROSCOE GATEHOUSE presentata dagli Accademici Francesco PENNACCHIO, Carla MALVA e Giuliano GASPERI.

b) Il Presidente rileva che negli ultimi anni l'attività dell'Accademia nell'organizzazione di Congressi e Convegni è stata molto limitata e dà la parola all'Accademico Roberto NANNELLI per una valutazione sull'opportunità di mantenere la partita IVA. Su suggerimento del Commercialista che cura per l'Accademia le pratiche fiscali, Il Tesoriere porta all'attenzione del Consiglio la proposta di attivazione della pratica di chiusura della partita IVA dell'Accademia, che in questi ultimi anni ha creato solo oneri, anche economici, non essendovi più la possibilità di ricavare introiti diretti dalla organizzazione e gestione di Congressi. Secondo il Commercialista "l'obbligo della partita IVA si ha quando l'attività che si svolge ha carattere continuativo e di qualche rilevanza economica anche se non necessariamente prevalente sull'attività istituzionale". Il fatto che negli ultimi anni l'attività dell'Accademia a livello commerciale sia stata molto marginale ed effettivamente occasionale, fa sì che l'Accademia possa tranquillamente cessare la gestione commerciale con partita IVA e i relativi adempimenti. L'Accademico Alessandro MINELLI interviene a favore. L'assemblea approva.

c) Il Presidente informa che nell'ambito della riforma del CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria) in fase di definizione, il 23 aprile 2015 è stato presentato dal Commissario Straordinario Dr. Salvatore PARLATO un piano di riforma che prevedeva la cancellazione del gruppo di ricerca dell'Istituto di Zoologia Agraria di Firenze, con trasferimento fisico a Roma. Il Presidente ha tempestivamente inviato una lettera al Ministro Maurizio MARTINA, al Commissario Straordinario S. PARLATO e ai Sottocommissari M. PISANTE e A. GENTILE, e al Presidente della Regione Toscana Enrico ROSSI, in appoggio al mantenimento dell'Istituto di Zoologia nella sua sede attuale, sottolineandone la storica tradizione culturale, l'attuale elevata qualificazione scientifica e l'importanza nella difesa delle colture agrarie e forestali nazionali. Il Presidente ha sottolineato nella lettera che l'Istituto è anche la sede legale dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Invitato dal Presidente, l'Accademico Pio Federico ROVERSI informa l'assemblea sulla situazione attuale, che sembra doversi evolvere positivamente con il mantenimento dell'Istituto nella sua sede storica. L'Accademico Pio Federico ROVERSI ringrazia il Presidente per la sua iniziativa, e gli Accademici che hanno contribuito a ottenere questo risultato positivo.

d) Chiesta ed ottenuta la parola l'Accademico Francesco PENNACCHIO anticipa la richiesta di Patrocinio gratuito dell'Accademia, avanzata dai Presidenti della Società Entomologica Italiana e della Società Italiana di Patologia Vegetale, per il Convegno Nazionale "*Xylella fastidiosa* – una nuova sfida per l'agricoltura italiana", che si terrà a Roma, il 3 luglio 2015, presso l'Aula Magna dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Il convegno ha lo scopo di fare il punto su questo problema che affligge in modo grave il Salento, costituendo una delle più temibili minacce per l'agricoltura italiana ed europea. Le due Società Scientifiche intendono offrire il loro contributo di chiarezza e rigore scientifico nell'analisi di questo problema e nella definizione di azioni concrete per il suo contenimento. L'assemblea approva.

e) Il Presidente comunica che dal 13 al 16 giugno 2016 si terrà a Catania, nelle strutture dell'università di Catania, il XIV International Symposium on Scale Insect Studies (ISSIS, sito web: www.issis2016.org), organizzato dal Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente. Gli Organizzatori Locali, su mandato dell'International Committee, hanno presentato la richiesta di patrocinio gratuito dell'Accademia per l'iniziativa. L'assemblea approva.

3) Varie ed eventuali

a) L'Accademico Pio Federico Roversi propone di apporre una targa all'ingresso dell'Istituto di Zoologia Agraria alle Cascine del Riccio di Firenze, che dia visibilità al fatto che l'Istituto è la sede dell'Accademia. L'assemblea approva.
b) ll Presidente comunica che il 4 maggio 2015 ha partecipato con il Segretario Piero Cravedi, a nome dell'Accademia, all'incontro a Bologna organizzato dall'Università di Bologna, in onore dell'Accademica Maria Matilde Principi, Professore Emerito dell'Alma Mater Studiorum, in occasione del suo centesimo compleanno. All'incontro erano presenti il Rettore dell'Università, studiosi di entomologia, colleghi e collaboratori, ricevuti dalla Professoressa con grande cordialità e chiarezza di memoria e pensiero.

La seduta dell'Assemblea Ordinaria è tolta alle ore 9.55

Il Segretario verbalizzante — Barbara Giordana

Il Presidente — Romano Dallai

SEDUTA PUBBLICA

Alle ore 10:00 il Presidente Prof. Romano Dallai dichiara aperta Pubblica.

Oltre agli Accademici Ordinari ed Emeriti presenti all'Assemblea Ordinaria, partecipano gli Accademici Straordinari e altri studiosi e ricercatori ospiti dell'Accademia.

Il Presidente Romano Dallai invita l'Accademico Giorgio Nuzzaci a introdurre la Tavola Rotonda su:

Complesso del disseccamento rapido dell'olivo, grave minaccia dell'agricoltura mediterranea.

L'Accademico Giorgio Nuzzaci fa presente che il primo relatore, Prof. Giovanni Paolo Martelli, è impossibilitato a intervenire alla riunione dell'Accademia e, dopo una breve introduzione, dà inizio alla Tavola Rotonda. Si susseguono i seguenti interventi:

– Francesco Porcelli, Università di Bari - *Lo stato dell'arte sul controllo del* Philaenus spumarius*".*
– Giuseppe Stancanelli, EFSA, Parma - *L'EFSA e il caso* Xylella fastidiosa**.**

Le due relazioni vengono seguite con molto interesse, con ampia partecipazione alla discussione finale.

Il Presidente ringrazia i relatori e il coordinatore.

La Seduta è tolta alle ore 11:25

Il Segretario verbalizzante — Barbara Giordana

Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA PLENARIA
Presiede il Presidente Prof. Romano Dallai
Segretario verbalizzante: la Vice Presidente Prof. Barbara Giordana

Il giorno 13 giugno 2015 alle ore 12:00, presso la sede dell'Accademia a Firenze, Cascine del Riccio, via Lanciola 12/A, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori dell'Assemblea Plenaria alla presenza degli Accademici:
Emeriti: M.V. Covassi, R. Dallai, L. Masutti, L. Santini.
Ordinari: A. Alma, A. Battisti, A. Binazzi, B. Giordana, P. Luciano, M. Mazzini, A. Minelli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, F. Pennacchio, C. Rapisarda, P.F. Roversi, S. Turillazzi.
Straordinari: M. Biondi, R. Cervo, M. Cristofaro, A. Di Palma, A.M. Fausto, G. Gargiulo, N. isidoro, A. Russo, M. Zapparoli.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, F. Frilli, A. Galvagni, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, F. Pegazzano, M.M. Principi, L. Rivosecchi, M. Solinas, S. Zangheri; *Ordinari*: M P.A. Audisio, A. Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, P. Cravedi, G. Gasperi, S. Longo, C. Malva, M. Maroli, R. Poggi, S. Ragusa di Chiara, V. Sbordoni, L. Süss, A. Vigna Taglianti; *Straordinari*: M. Cobolli, S. Colazza, E. De Lillo, F. Frati, G.S. Germinara, B. Massa, F. Nazzi, G. Pellizzari.

Viene discusso il seguente Ordine del Giorno:

1) Approvazione del verbale delle sedute precedenti (20 e 21 febbraio 2015)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Fauna d'Italia
4) Pubblicazioni dell'Accademia
5) XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia – Padova 2016
6) Premio Osella 2016
7) Varie ed eventuali

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (20 e 21 febbraio 2015)

Vengono esaminati i verbali dell'Assemblea Plenaria del 21 febbraio 2015 e delle Sedute Pubbliche del 20 e 21 febbraio 2015, già inviati a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici. I verbali vengono approvati all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

a) Il Presidente Romano Dallai rileva che negli ultimi anni l'attività dell'Accademia nell'organizzazione di Congressi e Convegni è stata molto limitata e dà la parola all'Accademico Roberto Nannelli riguardo all'opportunità di mantenere la partita IVA dell'Accademia. Su suggerimento del Commercialista che cura per l'Accademia le pratiche fiscali, il Tesoriere porta all'attenzione del Consiglio la proposta di attivazione della pratica di chiusura della partita IVA, che in questi ultimi anni ha creato solo oneri anche economici, non essendovi più la possibilità di ricavare introiti diretti dalla organizzazione e gestione di Congressi. Secondo il Commercialista "l'obbligo della partita IVA si ha quando l'attività che si svolge ha carattere continuativo e di qualche rilevanza economica anche se non necessariamente prevalente sull'attività istituzionale". Il fatto che negli ultimi anni l'attività dell'Accademia a livello commerciale sia stata molto marginale e effettivamente occasionale, conferma il fatto che l'Accademia possa tranquillamente cessare la gestione commerciale con partita IVA e i relativi adempimenti.
b) Il Presidente ricorda che la situazione economica dell'Accademia è molto critica e tale rimane anche dopo l'appello, rivolto a tutti gli Accademici nell'Assemblea del 21 febbraio 2015, a soste-

nere l'attività culturale dell'Accademia tramite l'elargizione di contributi volontari e/o l'acquisto del volume recentemente pubblicato "Allergologia e dermatologia entomologiche". Al 31 maggio, sono pervenuti 11 bonifici di contributi volontari, l'acquisto di 20 volumi dall'Università dell'Aquila, 1 volume dall'Università di Bari e dall'Università di Catania, 2 volumi da un Accademico e un contributo da parte del Comitato organizzatore del XXIV Congresso. È inoltre pervenuto il secondo contributo MIBAC e le cedole relative ai Titoli della Banca MPS. La somma complessiva disponibile ammonta a circa 4000 euro. Il Presidente sottolinea che la modesta disponibilità economica limita notevolmente l'Accademia nel suo sforzo di favorire un'attività culturale di alto profilo più frequente rispetto alle tradizionali Giornate Culturali annuali. Risulta così ridotta la possibilità di promuovere tempestivamente Tavole Rotonde su temi di rilevanza critica sia riguardo alle innovazioni scientifiche che alle problematiche per l'agricoltura del Paese. Risulta inoltre limitata la possibilità di invitare qualificati studiosi stranieri e di pubblicare e diffondere rapidamente le risultanti Monografie scientifiche. Il Presidente ribadisce che, nell'attuale situazione, i contributi volontari degli Accademici e l'acquisto delle pubblicazioni dell'Accademia rappresentano una risorsa essenziale per la sopravvivenza delle finalità culturali dell'Accademia stessa.

c) Il Presidente informa che nell'ambito della riforma del CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria) in fase di definizione, il 23 aprile 2015 è stato presentato dal Commissario Straordinario Dr. Salvatore Parlato un piano di riforma che prevedeva la cancellazione del gruppo di ricerca dell'Istituto di Zoologia Agraria di Firenze, con trasferimento fisico a Roma. Il Presidente ha tempestivamente inviato una lettera al Ministro Maurizio Martina, al Commissario Straordinario S. Parlato e ai Sottocommissari M. Pisante e A Gentile, e al Presidente della Regione Toscana E. Rossi, in appoggio al mantenimento dell'Istituto di Zoologia nella sua sede attuale, sottolineandone la storica tradizione culturale, l'attuale elevata qualificazione scientifica e l'importanza nella difesa delle colture agrarie e forestali nazionali. Il Presidente ha sottolineato nella lettera che l'Istituto è anche la sede legale dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Invitato dal Presidente, l'Accademico Pio Federico Roversi informa l'assemblea sulla situazione attuale, che sembra debba evolvere positivamente con il mantenimento dell'Istituto nella sede attuale. L'Accademico Pio Federico Roversi ringrazia il Presidente per la sua iniziativa e gli Accademici che, con il loro appoggio, hanno contribuito a ottenere questo risultato positivo.

d) Attività culturali novembre 2015, febbraio e novembre 2016.
Il Presidente fa presente che la tempestiva introduzione della Tavola Rotonda sul grave problema della *Xylella fastidiosa* e del disseccamento rapido dell'Olivo, organizzata dall'Accademico Giorgio Nuzzaci e che si è appena conclusa, ha richiesto alcune modifiche del programma culturale annuale già predisposto. Gli Accademici Nunzio Isidoro e Maurizio Biondi hanno gentilmente accettato di spostare la loro Lettura del sabato mattina a Novembre 2015 e a Febbraio 2016 rispettivamente.
La programmazione è la seguente:
- Venerdì 13 novembre 2015 è da tempo prevista una Tavola Rotonda coordinata dall'Accademico Maurizio Biondi su "La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali". L'Accademico Biondi illustra il programma.
- Sabato 14 novembre 2015, Lettura dell'Accademico Nunzio Isidoro su "Le antenne degli Imenotteri Parassitoidi: adattamenti funzionali di appendici multimodali".
- Come già nel novembre 2014, su iniziativa congiunta dell'Accademia e della Società Entomologica Italiana, gli incontri di novembre 2015 si articoleranno su tre giorni, a partire da giovedì 12. Gli Accademici Andrea Battisti e Francesco Pennacchio introducono l'iniziativa e l'Accademico Andrea Battisti indica il previsto programma di massima. Nella giornata di giovedì 12 novembre 2015 avrà luogo, a partire dalla mattina, l'incontro congiunto SEI-SIPAV su metodi di analisi dei dati. Contributi SIPAV: tre interventi di presentazione generale delle tematiche, associati a tre interventi di applicazione delle medesime (1. Modellistica, 2. Molecolare-filogenetico, 3. Statistica di base) per un totale di 3 ore. Contributi SEI: tre interventi di presentazione generale delle tematiche associati a tre interventi di applicazione delle medesime (1. Modellistica, 2. Biogeografico-filogenetico, 3. Statistica di base) per un totale di 3 ore.

Venerdì 13 novembre 2015 è previsto l'incontro SEI per giovani ricercatori.
- Ore 9: aggiornamento su un tema specifico di analisi di dati (ecologia applicata, analisi di liste di specie, da statistica descrittiva a multivariata, individuazione dei metodi più appropriati).
- Ore 15: la già riportata Seduta Pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia sul tema dei metodi statistici in entomologia, organizzata dall'Accademico Maurizio Biondi.

  Il programma dettagliato delle giornate verrà precisato successivamente. Per poter coprire in parte i costi organizzativi e di catering, si prevede di definire una contenuta quota di iscrizione.

Per il 2016 in date ancora da definire sono previste:
- Febbraio 2016 venerdì pomeriggio, Tavola Rotonda coordinata dagli Accademici Gavino Delrio e Giuseppe Rotundo sulla mosca delle olive
- Febbraio 2016 sabato mattina: Lettura dell'Accademico Maurizio Biondi su "Il fenomeno dell'endemismo nell'entomofauna italiana: stato dell'arte, conservazione, gestione"
- Novembre 2016 venerdì pomeriggio, era stata proposta dall'Accademico Paolo Audisio una Tavola Rotonda su *Aethina tumida* e altre problematiche riguardanti l'apicoltura, argomento ripreso anche dall'Accademico Francesco Nazzi. Poiché entrambi gli Accademici sono assenti giustificati, l'Accademica Rita Cervo, che ritiene opportuna e ripropone l'iniziativa, contatterà i due Accademici per organizzare insieme una Tavola rotonda sulle avversità delle api, che faccia il punto anche sulle nuove minacce.
- Novembre 2016 sabato mattina, sono state proposte dall'Accademico Mario Solinas una Lettura del Prof. Carlo Ricci dell'Università di Perugia su: «Coleotteri Coccinellidi: tratti essenziali di morfologia funzionale, etologia, ecologia e biodiversità. Flash panoramico sulla loro grande importanza agraria», e dal Presidente Romano Dallai una Lettura dell'Accademico Francesco Frati dell'Università di Siena su "Collemboli antartici: origine ed evoluzione".

e) Chiesta ed ottenuta la parola l'Accademico Stefano Turillazzi comunica che è prevista una giornata culturale a Firenze nel prossimo autunno in occasione del centenario dalla nascita di Leo Pardi, con programma e data ancora da definirsi.

f) Su invito del Presidente l'Accademico Francesco Pennacchio anticipa la richiesta avanzata dai Presidenti della Società Entomologica Italiana e della Società Italiana di Patologia Vegetale di Patrocinio gratuito dell'Accademia, per il Convegno Nazionale "*Xylella fastidiosa* – una nuova sfida per l'agricoltura italiana", che si terrà a Roma, il 3 luglio 2015, presso l'Aula Magna dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Il convegno ha lo scopo di fare il punto su questo problema che affligge in modo grave il Salento, e che costituisce una delle più temibili minacce per l'agricoltura italiana ed europea. Le due Società Scientifiche intendono offrire il loro contributo di chiarezza e rigore scientifico nell'analisi di questo problema e nella definizione di azioni concrete per il suo contenimento.

g) Il Presidente comunica che dal 13 al 16 giugno 2016 si terrà a Catania, nelle strutture dell'Università di Catania, il XIV International Symposium on Scale Insect Studies (ISSIS, sito web: www.issis2016.org), organizzato dal Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente. Gli Organizzatori locali, su mandato dell'International Committee, hanno presentato la richiesta di patrocinio gratuito dell'Accademia per l'iniziativa. L'Accademico Agatino Russo, in rappresentanza degli Organizzatori, illustra le caratteristiche del Simposio.

h) Il Presidente consegna il Diploma di Accademico Straordinario al neonominato Massimo Cristofaro, che viene accolto dall'Assemblea con un caloroso applauso.

3) Fauna d'Italia

Il Presidente del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia, Marco Bologna, non può essere presente all'Assemblea per improvvisi impegni. Relaziona perciò il Segretario Tesoriere, Accademico Marzio Zapparoli, il quale riferisce quanto segue.

Attività editoriali - A maggio 2015 è stato pubblicato, dopo lunga attesa, il volume XLIX della Collana Fauna d'Italia dedicato ai Cetacea, IV della serie Mammalia, coordinato da Luigi Cagnolaro, recentemente scomparso, Bruno Cozzi, Giuseppe Notarbartolo di Sciara e Michela

Podestà. L'opera, di 392 pagine, è frutto della collaborazione di circa 20 studiosi e si articola in una parte generale e una parte speciale, quest'ultima dedicata alle 23 specie del Mediterraneo, con chiavi dicotomiche, foto, cartine e tavole a colori e b/n. Il volume è stato completamente finanziato dalla casa editrice New Businnes Media - Edagricole.

A maggio 2015 è stato consegnato il testo ed è in stampa il volume L, dedicato ai Rotiferi marini, a cura di Giulio Melone, Wilem de Smet, Diego Fontaneto, Francesca Leasi. Il manoscritto, in inglese, tratta 118 taxa specifici e consta di 148 pagine con 166 figure b/n.

Sta per essere consegnata alle stampe, la monografia LI dedicata agli Ascidiacei, a cura di Francesco Mastrototaro e Riccardo Brunetti. L'opera, il cui manoscritto consta di oltre 300 pagine e un centinaio di tavole, è dedicata alle 400 specie attualmente segnalate nel Mediterraneo e nell'Atlantico nord-occidentale. Le due monografie saranno stampate con un contributo economico del CSFI.

Rapporti con l'Editore - A causa del dichiarato disinteresse dell'Editore New Business Media-Edagricole nei confronti della Collana Fauna d'Italia e della ferma volontà del CSFI a proseguire invece le proprie attività editoriali, tra aprile e maggio 2015 le due parti si sono accordate per la definitiva interruzione dello storico rapporto di collaborazione. All'ultimo momento, l'editore ha avuto tuttavia un inaspettato ripensamento e ha deciso di continuare nella stampa dei volumi della collana "Fauna d'Italia", ritenendo che il prestigio della collana possa essere utilizzato per lanciare una sua nuova attività editoriale in cui anche il Comitato fosse coinvolto. Tale attività editoriale è ancora da definire, ma in linea di massima dovrebbe consistere in opere di divulgazione scientifica seria ed attrattiva, a largo respiro, che includano anche aspetti relativi alla fauna italiana. In questa iniziativa, il Comitato dovrebbe svolgere un ruolo di vaglio scientifico.

Considerando il vantaggio che ne deriva per la prosecuzione della Collana Fauna d'Italia e che tale forma di collaborazione non è contraria ai compiti istituzionali del Comitato, il CSFI si è espresso favorevolmente all'iniziativa e si è reso disponibile ad un incontro, da realizzarsi nell'immediato futuro, per definire i dettagli dell'iniziativa.

Altre attività - È in fase di formalizzazione un accordo tra CSFI e ISPRA per la definizione, sperimentazione e pubblicazione delle Schede di Monitoraggio delle specie di Invertebrati di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CE, allegati II, IV, V) nell'ambito della convenzione tra ISPRA e Ministero dell'Ambiente, Tutela del territorio e del Mare "*Supporto alla realizzazione di un Piano Nazionale di Monitoraggio delle specie ed habitat terrestri e delle acque interne di interesse comunitario, in sinergia con la rete degli osservatori/uffici regionali biodiversità, per l'attuazione della Strategia Nazionale per la Biodiversità*". Tale attività sarà svolta in collaborazione con società scientifiche e porterà al CSFI risorse che potranno essere utilizzate principalmente per finanziare la stampa dei volumi della Fauna d'Italia.

Premio CSFI - In occasione del prossimo Congresso dell'Unione Zoologica Italiana (Viterbo, 15-18 settembre 2015), al fine di dare maggiore visibilità alle proprie attività e per stimolare la ricerca faunistica e tassonomica in Italia, il CSFI ha deciso di mettere a disposizione la cifra di 750,00 euro per finanziare uno dei quattro premi che in questa occasione saranno assegnati a "Giovani Ricercatori". Il premio promosso dal Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia sarà riservato a un contributo sostanziale ed originale nell'ambito della faunistica e della tassonomia di un gruppo di animali in Italia.

4) Pubblicazioni dell'Accademia

Il Presidente chiede all'Accademico Roberto Nannelli di illustrare la situazione relativa alle pubblicazioni dell'Accademia.

L'Accademico Nannelli riferisce che alla fine del mese di aprile è stato stampato il volume degli Atti e Rendiconti dell'Accademia, LXII (2014) e il pdf del volume è stato inviato in anteprima a tutti gli Accademici via mail; per la scarsa disponibilità finanziaria sono state stampate un limitato numero di copie cartacce che verranno distribuite solo agli Accademici che faranno espressamente richiesta. A causa del mancato finanziamento del MIPAAF non è stato possibile realizzare nessuna delle consuete monografie della collana "Tavole Rotonde sui maggiori problemi riguardanti l'Entomologia Agraria in Italia" relativamente ai convegni tenuti dall'Accademia nel 2014. Per il 2015, considerando l'importanza dell'argomento trattato nella Tavola rotonda dello scorso gennaio

(Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione) è stato deciso di dar corso alla preparazione di una monografia, come estratto anticipato del volume degli Atti dell'Accademia 2015, in maniera da distribuire il fascicoletto in occasione della manifestazione che si terrà alla fine di luglio a Milano, nell'ambito di EXPO 2015.

5) XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia - Padova 2016

Su invito del Presidente, l'Accademico Andrea Battisti espone all'Assemblea una descrizione dettagliata dell'organizzazione generale provvisoria del Congresso, che si aprirà Lunedì 20.6.2016 alle ore 16.00 nell'Aula Magna dell'Università di Padova, con una Lettura scientifica, seguita da una Lettura divulgativa aperta al pubblico. Seguirà un Rinfresco di benvenuto. Martedì 21 all'Orto Botanico, i lavori inizieranno alle 9.00 con la Lettura plenaria, seguita dalle 10 alle 13 e dalle 15 alle 17.30 dalle sessioni orali. Dalle 18 alle 20, potranno avere luogo le riunioni della SEI/Accademia. Mercoledì 22 ad Agripolis, Lettura plenaria dalle 9.00 alle 10 e sessioni orali dalle 10 alle 13. Dalle 14.30 alle 19.00, visita entomologica e culturale ai Colli Euganei, Esapolis e Arquà Petrarca, seguita in serata dalla Cena sociale. Giovedì 23 all'Orto Botanico, Lettura plenaria dalle 9.00 alle 10.00, seguita dalle 10 alle 13 e dalle 15 alle 17.30 dalle sessioni orali. Dalle 18 alle 20, potranno avere luogo le riunioni SEI/Accademia. Alle sessioni poster sono destinati gli orari 13.00-15.00 di martedì 21 e giovedì 23. Venerdì 24, dalle 9.00 alle 18.00, Gita sociale sugli Altipiani con escursione entomologica, eventi storico-culturali e pranzo in Malga. Si intende proporre ai congressisti 12 tematiche, e sulla base dei contributi pervenuti per ogni tematica, verranno successivamente stabiliti il numero e il tema delle diverse sessioni scientifiche.

6) Premio Osella 2016.

Il Presidente riferisce che con il reddito dei fondi messi a disposizione dalla Fondazione "Marco Osella", l'Accademia intende bandire il Premio per il 2016. Il Premio consisterà nell'iscrizione d'ufficio da parte dell'Accademia al XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia del 20-24 giugno 2016 a Padova, e in un contributo di 1500 Euro come rimborso forfettario per le spese di viaggio e soggiorno per l'intera durata del Congresso. Il Premio verrà bandito non appena sarà disponibile il sito web del XXV CNIE. La scadenza per la consegna della domanda e della documentazione richiesta è fissata al 160 ottobre 2015. La Commissione esaminatrice verrà nominata dal Consiglio di Presidenza nella seduta precedente le Assemblee di novembre p.v., e dovrà completare i lavori in tempo utile perché il vincitore del Premio possa essere proclamato nell'Assemblea Plenaria di febbraio 2016.

Il bando del concorso verrà tempestivamente e adeguatamente divulgato.

7) Varie ed eventuali

a) Su invito del Presidente l'Accademico Pio Federico Roversi propone di apporre una targa all'ingresso dell'Istituto di Zoologia Agraria, che dia visibilità al fatto che l'Istituto di Zoologia Agraria alle Cascine del Riccio è la sede ufficiale dell'Accademia.
b) ll Presidente comunica che il 4 maggio 2015 a Bologna ha partecipato con il Segretario Piero Cravedi, a nome dell'Accademia, all'incontro, organizzato dall'Università di Bologna, con l'Accademica Maria Matilde Principi, Professore Emerito dell'Alma Mater Studiorum, in occasione del suo centesimo compleanno. All'incontro erano presenti il Rettore dell'Università, studiosi di entomologia, colleghi e collaboratori, ricevuti dalla Professoressa con grande cordialità e chiarezza di memoria e pensiero.

La seduta dell'Assemblea Plenaria è tolta alle ore 12:45

Il Segretario verbalizzante — Barbara Giordana

Il Presidente — Romano Dallai

VERBALI DELLE ADUNANZE DEL 13-14 NOVEMBRE 2015

Presiede il Vice-Presidente prof. Romano Dallai
Segretario verbalizzante: il Segretario prof. Piero Cravedi

SEDUTA PUBBLICA

Venerdì 13 novembre 2015 alle ore 14:00, a Firenze Cascine del Riccio Via Lanciola 12/A, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori della Seduta Pubblica.

Sono presenti gli Accademici:

Emeriti: R. Dallai, L. Santini.
Ordinari: P. A. Audisio, A. Alma, A. Battisti, M.A. Bologna, P. Cravedi, G. Delrio, G. Gasperi. B. Giordana, P. Luciano, C. Malva, M. Maroli, A. Minelli, R. Nannelli, F. Pennacchio, R. Poggi, C. Rapisarda, G. Rotundo, S. Turillazzi.
Straordinari: M. Biondi, M. Cristofaro, A. Di Palma, A.M. Fausto, I. Floris, G. Gargiulo , N. Isidoro, S. Germinara, B. Massa, F. Nazzi, A. Russo, M. Zapparoli.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti:* A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, M.V. Covassi, F. Frilli, L. Masutti, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, L. Rivosecchi, M. Solinas, S. Zangheri. *Ordinari:*, S. Maini, M. Mazzini, L. Süss, O. Triggiani, A. Vigna Taglianti. *Straordinari:* M. Cobolli, S. Colazza, E, De Lillo, I. Floris, G. Pellizzari.

Alla Seduta Pubblica sono presenti anche numerosi ricercatori e studiosi ospiti dell'Accademia.

Il tema della Tavola Rotonda verte su:

"*La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali*"

Il Presidente Romano Dallai apre la seduta Pubblica e invita l'Accademico Maurizio Biondi a coordinare i lavori.

– Accademico Maurizio Biondi: *Introduzione*

Si susseguono gli interventi:

– Pierfilippo Cerretti *(Università di Padova) - "Dalle matrici numeriche agli alberi filogenetici: storia di osservazioni, concetti ed altro in entomologia"*
– Giovanni Burgio *(Università di Bologna) - "Dal campionamento all'analisi dei dati: problematiche e casi studio in entomologia applicata"*
– Ruggero Petacchi *(Scuola Superiore Sant'Anna. Pisa) - "Ecologia quantitativa delle popolazioni di insetti fitofagi: analisi spaziale dei dati a diversa scala territoriale"*
– Simone Fattorini *(University of the Azores) - "Misurare la rarità degli insetti: problemi e prospettive nella biologia della conservazione"*
– Daniele Salvi *(University of Porto) - "Analisi statistica delle sequenze di DNA nella ricostruzione filogenetica e filogeografica: applicazioni nella ricerca entomologica"*

Segue un'interessante discussione, al termine della quale la Seduta si conclude alle ore 18:00.
I testi delle relazioni verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2015 dell'Accademia

Il Segretario verbalizzante — Piero Cravedi
Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA PLENARIA
Presiede il Presidente prof. Romano Dallai
Segretario verbalizzante: il Segretario prof. Piero Cravedi

Sabato 14 novembre 2015 alle ore 09:30, a Firenze Cascine del Riccio, Via Lanciola 12/A, come da convocazione del Presidente iniziano i lavori dell'Assemblea Plenaria.

Sono presenti gli Accademici:
Emeriti: M.V. Covassi, R. Dallai, L. Masutti, L. Santini, M. Solinas.
Ordinari: P.A. Audisio, A. Alma, A. Battisti, A. Binazzi, M.A. Bologna, A. Casale, P. Cravedi, G. Delrio, G, Gasperi, B. Giordana, P. Luciano, S. Maini, C. Malva, M. Maroli, M. Mazzini, A. Minelli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, F. Pennacchio, R. Poggi, S. Ragusa Di Chiara, C. Rapisarda, G. Rotundo, P.F. Roversi, L. Süss, S. Turillazzi.
Straordinari: M. Biondi, R. Cervo, M. Cristofaro, A. Di Palma, A.M. Fausto, I. Floris, F. Frati, G. Gargiulo, N. Isidoro, S. Germinara, B. Massa, F. Nazzi, A. Russo, M. Zapparoli.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti:* A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, F. Frilli, V. Girolami, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, L. Rivosecchi, S. Zangheri. *Ordinari:* P. Brandmayr, O. Triggiani, V. Sbordoni, A. Vigna Taglianti. *Straordinari:* M. Cobolli, S. Colazza, E. De Lillo, G. Pellizzari.

Prima di dar inizio alla discussione dell'Ordine del Giorno il Presidente esprime lo smarrimento di fronte ai tragici fatti recentemente verificatisi a Parigi e chiede all'Assemblea di osservare un minuto di raccoglimento in ricordo delle vittime.

Viene quindi discusso il seguente Ordine del Giorno:

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (12 e 13 giugno 2015)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Proclamazione e consegna Diploma nuovo Accademico Ordinario (Paolo Aldo Audisio)
4) XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia (Padova, 20 - 24 /06/2016)
5) Fauna d'Italia
6) Programma definitivo delle Sedute Pubbliche per l'Anno Accademico 2016
7) Varie ed eventuali

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (12 e 13 giugno 2015)

Vengono esaminati i verbali della Seduta Plenaria del 13 giugno 2015, e delle Sedute Pubbliche del 12 e del 13 giugno 2015, già inviati a suo tempo per posta elettronica agli Accademici, che vengono approvati all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente.

Il Presidente comunica che nei giorni 11, 12 e 13 novembre scorsi, a Firenze presso la Scuola di Agraria dell'Università, si sono svolti L'European PhD Network in "Insect Science" 6th Annual Meeting e il SEI-SIPAV Joint Workshop. Su invito del Presidente l'Accademico A. Battisti riferisce che vi hanno partecipato circa 50 dottorandi e vari docenti attivi nell'ambito dell'entomologia e della patologia vegetale. Il prossimo meeting annuale si terrà in Francia, ad Antibes, nell'autunno 2016 seguendo lo stesso schema operativo.

Il Presidente informa che nella Seduta Pubblica di ieri pomeriggio, 13 novembre, si è tenuta la Tavola Rotonda coordinata dall'Accademico Maurizio Biondi sulla statistica nella ricerca entomologica. La Tavola Rotonda ha richiamato numerosi partecipanti e ha stimolato una interessante discussione.

Il Presidente ha poi invitato l'Accademico Francesco PENNACCHIO a riferire in merito al prossimo European Congress of Entomology. L'Accademico F. PENNACCHIO informa che l'organizzazione del XI European Congress of Entomology, che si terrà a Napoli dal 2 al 6 luglio 2018, procede con la costituzione del Comitato Organizzatore. In aggiunta al Comitato Scientifico e al Comitato Organizzatore Locale, sono stati definiti gruppi di lavoro aperti che dovranno coordinare diverse attività, essenziali per la riuscita del congresso. Fra questi abbiamo: Insect Expo (organizzazione di mostre e attività promozionale dell'Entomologia), Student Affairs (organizzazione di competizioni per studenti, sessioni a loro dedicate, sviluppo di un "career center", dove diffondere notizie relative a posizioni lavorativa e CV di potenziali candidati, ecc.), Sponsorship (richiesta e gestione delle risorse finanziarie per promuove la partecipazione al congresso), Guest Program and Tours (organizzazione di percorsi di interesse scientifico-naturalistico, in diverse parti d'Italia), Promotion and Communication (sviluppo di materiale promozionale). Alcuni colleghi hanno dato la disponibilità a fare parte del Comitato Organizzatore, che è una struttura aperta a chiunque volesse contribuire a questo sforzo organizzativo che investe l'intera comunità scientifica nazionale.

Il Presidente informa che nel corso del 2015, in occasione dell'EXPO, sono state organizzate varie iniziative riguardati la possibilità di valorizzare gli insetti per l'alimentazione umana o come mangimi ad uso zootecnico e invita l'Accademica Barbara GIORDANA a riferire in merito. L'Accademica B. GIORDANA informa che EXPO 2015 ha contribuito ad accelerare l'accettazione nella Unione Europea delle ragioni che indicano l'utilizzo dell'insetto come nuova importante fonte di cibo per l'uomo e gli animali da allevamento. Qui è riportato un breve riassunto degli eventi più importanti che si sono succeduti a EXPO e altrove, e dei documenti pubblicati da EFSA e dal Parlamento UE.

– A fine giugno l'Accademico Stefano TURILLAZZi è intervenuto su invito a un evento a Expo coordinato dall'ordine Nazionale dei Biologi
– Sempre a fine giugno è stata pubblicata dalla nostra Accademia, la Monografia sulla Tavola Rotonda del 16 gennaio 2015: "Gli insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione", la prima pubblicazione in Italia sulle ragioni e le problematiche fondamentali legate all'introduzione nel mondo occidentale dell'allevamento di insetti come fonte di cibo per l'uomo e mangime per gli animali. Una copia è stata inviata anche al Ministro Maurizio MARTINA, delegato EXPO del governo, e copie sono state distribuite alla Società Umanitaria di Milano, in prima fila su questa tematica, e in occasione di ulteriori eventi a EXPO sull'argomento. La monografia è reperibile sul sito dell'Accademia.
– Il 27 luglio la Società Umanitaria ha presentato alla stampa il Libro Bianco su "Edible Insects", frutto del lavoro di un network nazionale di ricercatori e studiosi di diverse Università, Enti di ricerca, Onlus e imprese private. A questo documento hanno contribuito molti dei partecipanti al gruppo SEI sugli Insetti commestibili e alcuni Accademici. Tutte le numerose iniziative dell'Umanitaria sull'argomento sono reperibili all'indirizzo: edibleinsects.it
– In settembre e ottobre si sono succeduti numerosi incontri sia a EXPO che altrove. Per citarne alcuni: a EXPO, il 4 ottobre ha avuto luogo un convegno organizzato dall'Università della Tuscia, dal tema " Toward sustainable feed/food production chains. Insects: from pests to resources. How we should change our standpoint"; e il 21 ottobre un evento promosso dal CNR su "Research, Sustainability and Innovation in New Foods" in cui si è parlato di insetti, ma anche di alghe e meduse. Fuori EXPO, il 9 ottobre sono stati organizzati due eventi: presso il Parco Tecnologico Padano Science Park di Lodi, la Conferenza internazionale "Change the food, save the world" che ha esaminato lo stato dell'arte in diversi Paesi e in Italia, e il secondo a Piacenza, organizzato dalle Federazioni europea (FEFAC) e italiana (Assalzoo) dei produttori di mangimi su "Nuove fonti proteiche: come garantire una efficace analisi del rischio?"
– A livello europeo, due documenti fondamentali sono costituiti dalla pubblicazione l'8 ottobre da parte della Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) della Scientific Opinion sul "Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed", Opinion espressamente richiesto in giugno dalla specifica commissione del Parlamento Europeo. Il Scientific Committee dell'EFSA ha preso in considerazione il rischio biologico, microbiologico, chimico, allergenico e ambientale associato all'intero ciclo di produzione di insetti destinati all'uso nel cibo e nei mangimi, a partire dall'allevamento fino al prodotto finale. E' ovviamente un parere molto articolato che si basa sull'analisi di tutta la letteratura scientifica prodotta negli anni. E' ben

individuata la carenza di adeguate conoscenze su numerosi aspetti e sottolineata l'esigenza di produrre nuovi dati e conoscenze scientifiche.
– Il 28 ottobre il Parlamento Europeo ha approvato una nuova lista di Novel Foods (alimenti non consumati in maniera significativa nella UE prima del1997) ammissibili alla commercializzazione previo accertamento della loro sicurezza, che include anche gli Insetti, anche se l'iter della legge non è ancora completo.
– Nel sito della SEI, nell'ambito del gruppo di lavoro sugli Insetti commestibili, sono reperibili tutte le informazioni che qui brevemente riassunte, oltre al Libro Bianco edito dall'Umanitaria e al parere pubblicato dall'EFSA.

Chiesta e ottenuta la parola, l'Accademica Anna Maria FAUSTO fornisce ulteriori approfondimenti sull'argomento. In primo luogo, dal documento prodotto dal Scientific Committee dell'EFSA emerge che quattro paesi europei (Belgio, Francia, Islanda e Paesi Bassi) hanno già effettuato valutazioni di rischi relativi a insetti come alimenti o mangimi. Su questa base, in tali paesi sono già in atto allevamenti di alcune specie di insetti per finalità alimentare.

Questa accelerazione in tale ambito, unita all'inserimento degli insetti nella lista del *novel food* da parte del Parlamento Europeo, anche se in attesa che si completi l'iter di legge, denota l'alto interesse su questo argomento e la forte spinta a far partire la filiera produttiva.

I nodi che rimangono da sciogliere sono legati alle carenze conoscitive sottolineate nel documento EFSA che la comunità scientifica è chiamata a colmare. In primo luogo, si raccomanda che vengano effettuate ulteriori ricerche per una migliore valutazione dei rischi microbiologici e chimici legati alla eventuale presenza di contaminanti in alimenti e mangimi derivati da insetti.

Tra le carenze conoscitive più importanti si evidenziano quelle relative agli aspetti conservazionistici, alle corrette pratiche di allevamento insetti, sia su piccola scala che a livello industriale, e sull'impatto che si può determinare sull'ambiente.

La scarsità di studi è un limite che dovrà essere superato in tempi rapidi, prima che programmi di allevamento su larga scala pongano questioni ambientali, e non solo, da dover tentare di risolvere in emergenza e in subordine a considerazioni di tipo meramente economico. Pertanto si auspica che gli Entomologi si facciano parte attiva promuovendo le ricerca in questo ambito ed il dialogo con il mondo imprenditoriale, in modo che ci si possa avvalere delle competenze entomologiche indispensabili per indirizzare lo sviluppo di questo settore nella giusta direzione.

Su invito del Presidente, l'Accademico Alessandro MINELLI dà notizia della firma, avvenuta il 12 novembre 2015 a Torino, in occasione del XXV Congresso dell'Associazione Nazionale Musei Scientifici (ANMS), di un accordo di collaborazione tra il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MIBACT) e l'ANMS per la valorizzazione e l'integrazione dei musei scientifici italiani nel sistema museale nazionale. Il documento, sottoscritto dal ministro on. Dario FRANCESCHINI e dal presidente ANMS dr. Fausto BARBAGLI, definisce "gli indirizzi volti al miglioramento della fruizione e della gestione dei musei scientifici italiani e della loro missione, al potenziamento della loro rete, nonché alla loro promozione, valorizzazione e integrazione nel sistema museale nazionale". La firma del documento risponde, oltre che alle legittime attese del mondo dei musei scientifici, che erano stati completamente dimenticati dal riordino dei musei italiani disciplinato dal decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 29 agosto 2014, n. 171, anche e specificamente alle istanze, richiamate nel documento stesso, sollevate in occasione del convegno "La gestione delle collezioni naturalistiche" del 14 ottobre 2014, organizzato dall'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL e dalla stessa ANMS. Sarà ora responsabilità di tutte le parti in causa dare un contenuto di fatto agli impegni dichiarati nell'accordo, tra i quali lo sviluppo di "progetti culturali mirati a promuovere efficaci attività di tutela, conservazione, ricerca, valorizzazione e di ottimizzazione della fruibilità del patrimonio culturale custodito dai musei scientifici".

Il Presidente ricorda che è da qualche tempo mancata l'Accademica Emerita Fausta PEGAZZANO. L'Accademico Roberto NANNELLI ha fornito la disponibilità per la commemorazione della collega scomparsa.

Chiesta e ottenuta la parola l'Accademico Bruno MASSA comunica che è recentemente mancato anche l'Accademico Emerito Antonio GALVAGNI. Il Presidente esprime il cordoglio dell'Accademia per la notizia e sollecita l'individuazione di un relatore per la commemorazione dell'autorevole collega.

3) Proclamazione e consegna Diploma al nuovo Accademico Ordinario Paolo Aldo Audisio

Il Presidente consegna il Diploma di Accademico Ordinario ai neonominato Paolo Aldo Audisio.

L'Assemblea si congratula con il nuovo Accademico Ordinario, accogliendolo con un caloroso applauso.

4) XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia (Padova 20 - 24 giugno 2016)

Su invito del Presidente l'Accademico Andrea Battisti illustra lo stato di avanzamento nell'organizzazione del prossimo Congresso Nazionale Italiano di Entomologia che si terrà a Padova dal 20 al 24 giugno 2016. Il sito del Congresso è stato completato ed è consultabile (http://www.eventplanet.it/CNIE2016/). Sono state definite le 12 tematiche del Congresso e i relativi referenti scientifici. Le Adunanze dell'Accademia potranno essere fissate per martedì 21 oppure giovedì 23 giugno. Venerdì 24 giugno sarà dedicato alla Gita Sociale sugli Altipiani con escursione entomologica.

5) Fauna d'Italia

Su invito del Presidente, l'Accademico Marco A. Bologna, Presidente del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia, prende la parola e riferisce quanto segue.

Attività editoriali

Nel mese di Giugno 2015 i rapporti con l'editore Edagricole si sono sbloccati per quanto attiene la possibilità di pubblicare dei volumi della "Fauna".

A maggio 2015 era stato pubblicato il volume XLIX della Collana Fauna d'Italia dedicato ai Cetacea, IV della serie Mammalia, a cura di Luigi Cagnolaro, Bruno Cozzi, Giuseppe Notarbartolo di Sciara e Michela Podestà. Su quest'opera è già stato riferito nella precedente seduta dell'Accademia.

Nel mese di Agosto è stato pubblicato il volume L relativo a "Marine Rotifera", a cura di W.H. de Smet, G. Melone, D. Fontaneto, F. Leasi. Questa monografia è stata cofinanziata dal CSFI.

Nel mese di dicembre dovrà essere consegnata per le stampe la monografia LI dedicata agli Ascidiacei, a cura di F. Mastrototaro e R. Brunetti. Si prevede inoltre che nei primi mesi del 2016 verrà consegnata per le stampe (volume LII) anche il primo volume degli Hymenoptera Symphyta a cura di F. Pesarini. Le due monografie saranno stampate con un contributo economico del CSFI.

Alcuni specialisti hanno inoltre confermato al Comitato la loro disponibilità alla preparazione di futuri volumi. Nello specifico si prevedono i seguenti volumi: Psylloidea (Rapisarda e Conci), Lepidoptera Rhopalocera (Balletto *et al.*), Lepidoptera Coleophoridae (Baldizzone), Polychaeta I (Giangrande), Scyphozoa (Boero *et al.*), Hymenoptera Symphyta II (Pesarini).

Dal mese di novembre si è inoltre provveduto, a cura dell'Accademico Sandro Minelli, ad aggiornare le norme editoriali per i volumi della Fauna d'Italia.

Altre attività

I due volumi su Cetacea e Rotifera sono stati presentati in una serie di iniziative pubbliche di divulgazione, nell'autunno del corrente anno. In particolare, le presentazioni sono state a: Viterbo (settembre) durante il congresso dell'Unione Zoologica Italiana; Roma (ottobre) durante lo European Congress of Ecology; Genova (ottobre) presso il Museo civico di Storia naturale "G. Doria"; Napoli (novembre) presso la Città della Scienza; Roma (novembre) presso il Museo civico di Zoologia; Milano (novembre) presso il Museo civico di Storia naturale; Torino (novembre) durante il Congresso dell'ANMS, Associazione nazionale dei Musei Scientifici.

Il CSFI ha stipulato nel mese di maggio 2015 una convenzione con ISPRA per il supporto alle attività di monitoraggio delle specie di invertebrati terrestri e di acqua dolce in Direttiva Habitat. Il contributo finanziario, oltre a pagare una borsa di studio ad una giovane ricercatrice che svilupperà le attività, consentirà al CSFI di disporre di una piccola cifra per cofinanziare i volumi 2016 della Fauna.

Nell'anno in corso il CSFI ha inoltre aderito alla piattaforma europea LIFE WATCH, in cui è stato formalmente accettato nel mese di luglio 2015. Ciò nell'ottica di fornire un supporto tassonomico e faunistico alla piattaforma e con la possibilità di ricevere un finanziamento per la riedizione della checklist della Fauna italiana, in sola versione online. Per quest'ultima iniziativa, il Comitato deciderà nei prossimi mesi le modalità di intervento.

Nel mese di luglio 2015 si è inoltre provveduto ad aggiornare il sito del CSFI (http://www.comitato.faunaitalia.it/) che è ora nuovamente disponibile a tutti gli interessati.

Premio CSFI

In occasione del Congresso dell'Unione Zoologica Italiana (Viterbo, 15-18 settembre 2015), organizzato tra gli altri dagli Accademici Marzio Zapparoli, Annamaria Fausto e Massimo Mazzini, al fine di dare maggiore visibilità alle proprie attività e per stimolare la ricerca faunistica e tassonomica in Italia, il CSFI ha messo a disposizione la cifra di 750,00 euro per finanziare uno dei quattro premi che in questa occasione sono stati assegnati a "Giovani Ricercatori". Il premio è stato vinto dalla Dr.ssa Alessandra Riccieri.

Durante il suddetto Congresso, gli Accademici Marco A. Bologna e Marzio Zapparoli hanno mostrato ai convegnisti la presentazione in Power Point relativa alla storia del CSFI che viene contestualmente ripristinata in questa seduta dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia.

6) Programma definitivo delle Sedute Pubbliche per l'Anno Accademico 2016

Il Presidente conferma che nel 2016 le Adunanze dell'Accademia si terranno a Firenze il19 e il 20 febbraio, a Padova il 21 oppure il 23 giugno in occasione del XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia e, a Firenze, il18 e il 19 novembre.

Nella Seduta Pubblica del 19 febbraio è prevista una Tavola Rotonda dedicata alla mosca delle olive coordinata dagli Accademici Gavino Delrio e Giuseppe Rotundo.

Nella Seduta Pubblica di sabato 20 febbraio l'Accademico Maurizio Biondi terrà la lettura su "Il fenomeno dell'endemismo nell'entomofauna italiana: stato dell'arte, conservazione, gestione".

Le Adunanze del mese di giugno si terranno a Padova e verranno inserite nel programma del XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia.

Nella Seduta Pubblica del 18 novembre è prevista la Tavola Rotonda su "*Aethina tumida* e altre problematiche riguardanti l'apicoltura" coordinata dagli Accademici Paolo Aldo Audisio, Francesco Nazi e Rita Cervo.

Nella Seduta Pubblica di sabato 19 novembre il prof. Carlo Ricci dell'Università di Perugia terrà la lettura su "Coleotteri Coccinellidi: tratti essenziali di morfologia funzionale, etologia e biodiversità. Flash panoramico sulla loro grande importanza agraria".

Nella stessa Seduta Pubblica l'Accademico Francesco Frati terrà una lettura su "Collemboli antartici: origine, evoluzione ed adattamento".

Nel 2016 l'attività culturale dell'Accademia verrà arricchita dal XIV International Symposium on Scale Insect Studies organizzato a Catania dal Dipartimento di Agricoltura Alimentazione e Ambiente, a cui afferiscono vari Accademici. L'Accademia ha concesso il suo patrocinio alla prestigiosa iniziativa.

7) Varie ed eventuali

Nessuna

La seduta dell'Assemblea Plenaria è tolta alle ore 10:30

Il Segretario verbalizzante
Piero Cravedi

Il Presidente
Romano Dallai

SEDUTA PUBBLICA

Alle ore 10:30 il Presidente Romano Dallai dichiara aperta la Seduta Pubblica.

Oltre agli Accademici presenti all'Assemblea Plenaria partecipano anche altri numerosi studiosi ospiti dell'Accademia.

Il Presidente dà la parola all'Accademico Straordinario Nunzio Isidoro per la lettura: "*Le antenne degli imenotteri parassitoidi: adattamenti funzionali e appendici multimodali*". Segue una breve discussione con alcuni interventi, al termine della quale il Presidente ringrazia il relatore e coloro che sono intervenuti.

Il testo della lettura verrà pubblicato sugli Atti-Rendiconti 2015.

La Seduta è tolta alle ore 11.30.

Il Segretario verbalizzante — Piero Cravedi

Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA ORDINARIA
Presiede il Presidente prof. Romano Dallai
Segretario verbalizzante: il Segretario prof. Piero Cravedi

Sabato 14 novembre 2015 alle ore 11,30, a Firenze Cascine del Riccio, Via Lanciola 12/A, come da convocazione del Presidente iniziano i lavori dell'Assemblea Ordinaria.

Sono presenti gli Accademici:
Emeriti: M.V. Covassi, R. Dallai, L. Masutti, L. Santini, M. Solinas.
Ordinari: P.A. Audisio, A. Alma, A. Battisti, A. Binazzi, M.A. Bologna, A. Casale, P. Cravedi, G. Delrio, G. Gasperi, B. Giordana, P. Luciano, S. Maini, C. Malva, M. Maroli, M. Mazzini, A. Minelli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, F. Pennacchio, R. Poggi, S. Ragusa Di Chiara, C. Rapisarda, G. Rotundo, P.F. Roversi, L. Süss, S. Turillazzi.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti:* A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, F. Frilli, V. Girolami, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, L. Rivosecchi, S. Zangheri. *Ordinari:* P. Brandmayr, S. Longo, V. Sbordoni, O. Triggiani, A. Vigna Taglianti.

Viene discusso il seguente Ordine del Giorno:
1) Approvazione verbale seduta precedente (13 giugno 2015)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Nomina Commissione Giudicatrice Premio Osella 2016
4) Esame e approvazione Bilancio preventivo a.f. 2016
5) Votazioni per elezione nuovi Accademici Ordinari
6) Votazione per elezione nuovo Accademico Onorario
7) Votazioni per elezione nuovi Accademici Straordinari
8) Votazione per conferma Accademico Straordinario in scadenza quinquennio
9) Varie ed eventuali

1) Approvazione dei verbali della seduta precedente (13 giugno 2015)

Viene esaminato il verbale dell'Assemblea Ordinaria del 13 giugno 2015, già inviato a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici, che viene approvato all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente.

Il Presidente dichiara che non vi sono comunicazioni.

3) Nomina Commissione Giudicatrice Premio Osella 2016.

Dopo breve discussione vengono nominati gli Accademici Roberto Nannelli, Stefano Maini e Marco A. Bologna come membri effettivi e gli Accademici Pio Federico Roversi e Carmelo Rapisarda come membri supplenti. Il Presidente evidenzia che i lavori della Commissione dovranno procedere rapidamente in quanto il risultato dovrà essere comunicato all'Assemblea Plenaria di febbraio 2016 per consentire al vincitore di partecipare al XXV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia che si terrà a Padova dal 20 al 24 giugno 2016.

4) Esame e approvazione Bilancio preventivo anno finanziario 2016

Su invito del Presidente, il Tesoriere Roberto Nannelli informa che nei primi giorni di novembre è stata predisposta una bozza di bilancio che è stata inviata per e-mail a ciascuno dei componenti del Collegio dei Revisori dei Conti. Non essendo emersi rilievi è stato poi concordato con il Presidente del Collegio (Dr.ssa Adele De Luca) di ratificare il bilancio in una prossima riunione da tenere prima dell'Assemblea dell'Accademia del febbraio 2016, in cui dovrà essere ratificato anche il Bilancio consuntivo 2015.

Viene quindi presentata in Assemblea la bozza di bilancio con riserva di approvazione appena sarà possibile convocare il Collegio dei Revisori dei conti per la stesura del verbale e la ratifica definitiva.

Il Tesoriere illustra i diversi punti della bozza di Bilancio preventivo 2016 ed evidenzia l'esiguità delle risorse disponibili per l'attività culturale dell'Accademia. Anche per il 2016 al momento l'unico finanziamento assicurato risulta essere quello del MIBACT che dovendo essere rendicontato entro il mese di aprile 2016, verrà utilizzato per la preparazione del volume degli Atti e Rendiconti relativamente all'attività svolta nel 2015.

L'Assemblea non pone rilievi ed approva all'unanimità la bozza.

5) Votazioni per elezione nuovi Accademici Ordinari

A norma dello Statuto (Articoli 12 e 13) e del Regolamento (Art. 7), a fronte di 5 posti disponibili per Accademico Ordinario, è pervenuta entro il 30 aprile 2015 le seguenti proposta per nuovi Accademici Ordinari per essere votata nell'Assemblea Ordinaria di novembre 2015:

– Anna Maria Fausto presentata dagli Accademici Michele Maroli, Mario Solinas e Massimo Mazzini.
– Francesco Frati presentato dagli Accademici Marco A. Bologna, Francesco Pennacchio e Stefano Turillazzi.

Il Presidente, verificata, come disposto dall'art. 13 dello Statuto, la presenza della maggioranza assoluta degli Accademici Ordinari, dichiara valida l'Assemblea.

a) Viene portata in votazione a scrutinio segreto la candidatura dell'Accademica Straordinaria Anna Maria Fausto. Come previsto dall'art. 12 l'Accademico Michele Maroli illustra all'Accademia i meriti scientifici e accademici della candidata.
La candidata raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama Anna Maria Fausto eletta e da proporre, a norma dell'art. 14 dello Statuto, al Ministero dei Beni Culturali e Ambientali per la nomina ad Accademico Ordinario dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia da parte del Presidente della Repubblica.
b) Viene portata in votazione a scrutinio segreto la candidatura dell'Accademico Straordinario Francesco Frati. Come previsto dall'art. 12 l'Accademico Marco A. Bologna illustra all'Accademia i meriti scientifici e accademici del candidato.

Il candidato raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama Francesco Frati eletto e da proporre, a norma dell'art. 14 dello Statuto, al Ministero dei Beni Culturali e Ambientali per la nomina ad Accademico Ordinario dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia da parte del Presidente della Repubblica.

6) Votazione per nuovo Accademico Onorario

Il Presidente ricorda che al 30 aprile 2015 era libero un posto di Accademico Onorario e che entro tale data è pervenuta, a norma di Statuto (art. 12) la proposta di nomina della prof. Angharad Margaret Roscoe Gatehouse dell'Università di Newcastle presentata dagli Accademici Francesco Pennacchio, Carla Malva e Giuliano Gasperi.

Il Presidente, verificata, come disposto dall'art.13 dello Statuto la presenza della maggioranza assoluta degli Accademici Ordinari dichiara valida l'Assemblea.

Viene portata in votazione a scrutinio segreto la candidatura della prof. Angharad Margaret Roscoe Gatehouse: Come previsto dall'art. 12 c.2 dello Statuto l'Accademico Francesco Pennacchio illustra all'Assemblea i meriti scientifici e accademici della prof. A.M. Roscoe Gatehouse.

La candidata raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama la prof. Angharad Margaret Roscoe Gatehouse Accademica Onoraria dell'Accademia nazionale Italiana di Entomologia.

7) Votazioni per elezione nuovi Accademici Straordinari

A norma dello Statuto (Articoli 12 e 13) e del Regolamento (Art. 7), a fronte di 10 posti per Accademico Straordinario, sono pervenute entro il 30 aprile 2015 le seguenti 5 proposte per nuovi Accademici Straordinari per essere votate nell'Assemblea Ordinaria di novembre 2015:

– avv. Alberto Ballerio presentato dagli Accademici Roberto Poggi, Andrea Battisti e Augusto Vigna Taglianti.
– prof. Claudio Bandi presentato dagli Accademici Alberto Alma, Francesco Pennacchio e Michele Maroli.
– prof. Domenico Bosco presentato dagli Accademici Andrea Battisti, Alberto Alma e Carmelo Rapisarda.
– prof. Maria Cristina Digilio presentata dagli Accademici Carla Malva, Francesco Pennacchio e Giuseppe Rotundo.
– prof. Andrea Lucchi presentato dagli Accademici Luciano Santini, Roberto Poggi e Francesco Pennacchio.

Il Presidente verificata, come disposto dall'art. 13 dello Statuto, la presenza della maggioranza assoluta degli Accademici Ordinari, dichiara valida l'Assemblea.

Viene portata in votazione a scrutinio segreto la candidatura dell'avv. Alberto Ballerio. Come previsto dall'art. 12 c.2, l'Accademico Roberto Poggi illustra all'Assemblea i meriti scientifici e accademici del candidato.

Il candidato raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama Alberto Ballerio Accademico Straordinario dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia per il quinquennio 2015-2020.

Viene portata in votazione a scrutinio segreto la candidatura del prof. Claudio Bandi. Come previsto dall'art. 12 c.2 l'Accademico Alberto Alma illustra all'Assemblea i meriti scientifici e accademici del candidato.

Il candidato raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama Claudio Bandi Accademico Straordinario dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia per il quinquennio 2015-2020.

Viene portata in votazione a scrutinio segreto la candidatura del prof. Domenico Bosco. Come previsto dall'art. 12 c.2, l'Accademico Alberto Alma illustra all'Assemblea i meriti scientifici e accademici del candidato.

Il candidato raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama Domenico Bosco Accademico Straordinario dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia per il quinquennio 2015-2020.

Viene posta in votazione a scrutinio segreto la candidatura della prof. Maria Cristina DIGILIO. Come previsto dall'art. 12 c.2, l'Accademica Carla MALVA illustra all'Assemblea i meriti scientifici e accademici della candidata. La candidata raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama Maria Cristina DIGILIO Accademica Straordinaria dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia per il quinquennio 2015-2020.

Viene posta in votazione a scrutinio segreto la candidatura del prof. Andrea LUCCHI. Come previsto dall'art 12 c.2 l'Accademico Luciano SANTINI illustra all'Assemblea i meriti scientifici e accademici del candidato. Il candidato raggiunge il quorum richiesto e il Presidente proclama Andrea LUCCHI Accademico Straordinario dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia per il quinquennio 2015-2020.

8) VOTAZIONE PER CONFERMA ACCADEMICO STRAORDINARIO IN SCADENZA QUINQUENNIO.

Il Presidente informa che per l'Accademico Straordinario Mauro DACCORDI è scaduto il quinquennio di appartenenza. Il Dott. DACCORDI, interpellato in merito al suo interesse a continuare a fare attivamente parte dell'Accademia, ha risposto con una cortese lettera con cui ringrazia per il sollecito, ma, per difficoltà personali a partecipare con continuità ai lavori dell'Accademia, rinuncia alla conferma. Il Presidente esprime apprezzamento per la correttezza del dott. DACCORDI di cui ricorda l'importante contributo nel campo entomologico.

9) VARIE ED EVENTUALI

Nessuna

La seduta dell'Assemblea Ordinaria è tolta alle ore 13:00

Il Segretario verbalizzante
Piero CRAVEDI

Il Presidente
Romano DALLAI

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 35-38

COMMEMORAZIONE

GRAZIELLA BOLCHI SERINI
(1931-2014)

LUCIANO SÜSS (*)

(*) *Accademico ordinario*
Commemorazione tenuta nella Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 21 febbraio 2015.

Ho conosciuto Graziella Bolchi quando nel 1962, studente del secondo anno nella Facoltà di Agraria frequentavo le lezioni di Entomologia del professore Minos Martelli, mentre le esercitazioni erano tenute principalmente dalla compianta Accademica.

Disponibile a chiarire i più minuti aspetti relativi a morfologia, fisiologia ed etologia degli insetti in modo semplice ma efficacissimo, era sicuramente fondamentale completamento alle brillanti lezioni che il professor Martelli teneva in aula al mattino. Caratteristica peculiare della sua personalità, così come ho sempre più potuto apprezzare successivamente, passando da studente a collaboratore esterno e via via con il prosieguo degli anni grazie alla reciproca conoscenza, è stata la sua costante dedizione alla "Famiglia" dell'Istituto in cui ha operato. È stata per lei la "seconda famiglia", potendo testimoniare come ci riferisse nei momenti di pausa della sua "prima famiglia", ovvero dell'amato marito che l'ha raggiunta pochi mesi dopo la sua scomparsa, del figlio, della nuora, dei carissimi nipotini.

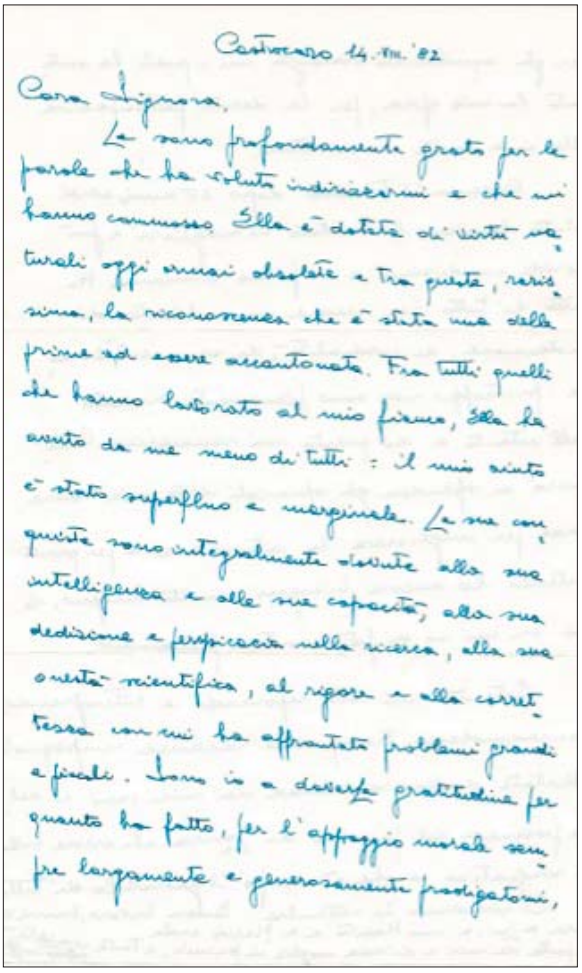
Ricordo in particolare come il professor Martelli la considerasse il suo "braccio destro", sempre disponibile per ogni evenienza della vita dell'Istituto stesso. Tale caratteristica, unita alla grande competenza e profonda cultura non esclusivamente entomologica, si evidenziavano tra l'altro nella piena disponibilità a rivedere e discutere i lavori che Martelli intendeva pubblicare sul Bollettino di Zoologia agraria e Bachicoltura, nonché a rivedere anche profondamente lavori altrui, ovvero di chi, pur scienziato di vaglia nel proprio settore, non poteva comunque fare a meno della "cara Graziella" nel momento in cui era necessario porre su carta i risultati delle proprie ricerche.

Brillantemente laureatasi in Scienze Naturali nell'Università di Milano nel 1955 con una tesi sviluppata presso l'Istituto di Entomologia agraria, aveva continuato a frequentare l'Istituto, dapprima come Assistente volontario, per divenire già dal novembre del 1955 Assistente straordinario presso la cattedra di Entomologia agraria. Assistente ordi-

Graziella Bolchi nel suo laboratorio all'Università.

Tutto il gruppo dell'ex Istituto di Entomologia in occasione del pensionamento.

Graziella Bolchi con il marito, figlio e nipoti e in occasione dei tanti congressi e convegni a cui ha partecipato nel corso della sua attività accademica.



Castrocaro 14.III.'82

Cara Signora,

La sono profondamente grato per le parole che ha voluto indirizzarmi e che mi hanno commosso. Ella è dotata di virtù naturali oggi ormai obsolete e tra queste, rarissima, la riconoscenza che è stata una delle prime ad essere accantonate. Fra tutti quelli che hanno lavorato al mio fianco, Ella ha avuto da me meno di tutti: il mio aiuto è stato superfluo e marginale. Le sue conquiste sono integralmente dovute alla sua intelligenza e alle sue capacità, alla sua dedizione e perspicacia nella ricerca, alla sua onestà scientifica, al rigore e alla correttezza con cui ha affrontato problemi grandi e fondali. Sono io a dovergli gratitudine per quanto ha fatto, per l'appoggio morale sempre largamente e generosamente prodigatomi,

Parte della risposta scritta dal professor Martelli alla professoressa Bolchi in occasione del pensionamento (sopra); partecipazione della professoressa Bolchi ad un convegno di apicoltura (in alto a destra) e durante la pausa di un congresso nazionale di entomologia (in basso a destra).

nario nel 1963, con la qualifica di Aiuto dal 1976, successivamente Professore incaricato di Entomologia agraria, divenne Professore ordinario nella stessa disciplina dal 1993.

Coinvolta con altri colleghi in un ricorso in occasione del Concorso a Cattedra per Professore Ordinario, risoltosi per tutti molto favorevolmente, mi esternava però il profondo rammarico e l'amarezza che tale evento aveva suscitato in lei. Ripetutamente mi disse che se avesse saputo che sarebbe stata messa in una situazione tanto sgradevole certamente mai e poi mai avrebbe partecipato al concorso stesso. Ciò a testimonianza dell'animo specchiato della cara collega.

Dopo alcune sporadiche note scientifiche, è dalla fine degli anni '60 che la professoressa Bolchi inizia a pubblicare più intensamente i risultati delle proprie ricerche. Dapprima l'interesse è rivolto allo studio degli afidi, notoriamente argomento di indagine da parte di Minos Martelli, ma successivamente indirizza gli studi soprattutto sugli Imenotteri Apoidei; si segnalano in particolare i lavori sul genere Bombus ed i rapporti tra Apoidei, flora mellifera e impollinazione. Oltre 130 sono i contributi scientifici dati alle stampe dall'Accademica.

Le competenze in campo apistico e sulla produzione del miele la portano a fondare nel 1981 il Laboratorio Apistico Regionale della Lombardia, a seguito di accordo tra l'Università di Milano e la Regione Lombardia; divenne poi nel 2000 Presidente del Comitato di gestione dell'Albo nazionale dei Melissopalinologi. È stata ripetutamente coordinatrice di Programmi di Ricerca, in particolare nel settore dell'Apidologia. Numerosi studenti hanno goduto della sua competenza e della costante disponibilità; attualmente l'attività melissopalinologica è sviluppata grazie ad eredi della sua scuola. Come riconoscimento per i suoi meriti scientifici nel 1998 venne nominata Accademico Onorario dell'Accademia Agraria di Pesaro e le venne confe-

rita la targa "Carlo Vidano" per la ricerca e la divulgazione in apicoltura. Accademico Ordinario di questa Accademia dal 2002.

Potrei illustrare numerosi altri aspetti della feconda attività professionale e dei successi ottenuti dall'Accademica Graziella Bolchi; lo ritengo però superfluo, anche nel rispetto e nel ricordo del suo carattere schivo.

Uscita dall'Università dall'a.a. 1998-'99 non volle più varcare la soglia di quell'Istituto in cui aveva trascorso parte fondamentale della sua vita; si rendeva conto che tutto stava cambiando e che non poteva più esservi posto per lei.

È ormai un anno da quando è mancata, ma il rimpianto di chi l'ha conosciuta e ne ha potuto apprezzare le doti scientifiche ed umane sarà sempre vivo. Da parte mia, ricordandola come una squisita signora di un tempo passato in cui determinati e precisi valori umani erano assolutamente prioritari, la ricordo e la accomuno al mio, al nostro comune maestro Minos Martelli. Sono stati elementi fondamentali di quella coesa Famiglia che era un tempo l'Istituto di Entomologia Agraria dell'Università di Milano ma che ora purtroppo è stata disintegrata nella riformata Università.

Concludo riportando parte della risposta che Martelli le scrisse in occasione del proprio pensionamento (vedi pagina precedente).

La figura di Graziella Bolchi vi è perfettamente delineata, certamente meglio di quanto abbia saputo fare io con questo breve ricordo.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 39-43

LA SISTEMATICA DEI PHYTOSEIIDAE: CENNI STORICI, SITUAZIONE ATTUALE E PROSPETTIVE DI SVILUPPO

HARALABOS TSOLAKIS (*)

(*) *Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze 90128 Palermo – Italy;* e-mail: haralabos.tsolakis@unipa.it
Lettura tenuta nella Seduta pubblica dell'Accademia – Firenze, 21 febbraio 2015.

Systematics of the Phytoseiidae: historical review, current situation and future prospects

The systematics of the family Phytoseiidae has a long and controversial history. These disputes were due mainly to the small size of these mites and to the difficulty in identifying valid morphological features for a systematic classification that also reflects the phylogeny. The author reports here an historical overview of the systematics of these predators, focusing on the two main theories on organization of taxa within this family. The author has tried to identify the weaknesses of both theories, providing some cues for the future of Phytoseiidae systematics.

KEY WORDS: Phytoseiidae, Systematics.

INTRODUZIONE

Al pari di altri gruppi animali di interesse economico, gli acari appartenenti alla famiglia Phytoseiidae hanno destato presto l'attenzione degli studiosi che iniziarono ad intrigarsi in questo affascinante mondo del appena visibile (KOCH, 1839; SCHEUTEN, 1857; CANESTRINI e FANZAGO, 1876; BERLESE, 1887). Ma proprio a causa le loro piccolissime dimensioni, il loro studio si è evoluto a pari passo con l'evoluzione tecnica della microscopia. In più di un secolo dalla loro scoperta si conoscevano solamente 61 specie di Phytoseiidae (NESBITT, 1951), che divennero 165 pochi anni più tardi (CHANT, 1959), 1.565 verso la fine degli anni ottanta (CHANT e YOSHIDA-SHAUL, 1989), mentre DE MORAES *et al.* (2004) nel loro catalogo mondiale ne riportarono 2.250 specie valide ripartite in 3 sottofamiglie e 67 generi.

EVOLUZIONE STORICA DELLA SISTEMATICA DEI PHYTOSEIIDAE

Le prime specie di fitoseidi furono descritte da KOCH nel 1839 e nel successivo secolo furono descritte poche decine di specie nuove da studiosi prevalentemente europei. Inizialmente, queste specie erano incluse in diverse famiglie dei Mesostigmata; nel 1913 Antonio BERLESE tentò per primo un inquadramento sistematico di questi acari, istituendo la tribù Phytoseiini, all'interno della famiglia Laelaptidae, nella quale incluse quattro generi: *Seiulus* Berlese, *Iphidulus* Ribaga, *Echinoseius* Ribaga e *Phytoseius* Ribaga. Ad opera di VITZTHUM nel 1941, la tribù è assurta nel rango di sottofamiglia con sei generi nella sua organizzazione interna. Dieci anni più tardi NESBITT (1951) mantenne il rango di sottofamiglia dei Phytoseiinae, riorganizzando i generi che la supportavano. L'anno successivo, BAKER e WHARTON (1952) istituirono la famiglia Phytoseiidae nella quale inclusero due sottofamiglie: Phytoseiinae e Podocininae; quest'ultima pochi anni più tardi smise di far parte dei Phytoseiidae (ATHIAS-HENRIOT, 1957; CHANT, 1959).

La definizione delle specie e dei generi di questi piccolissimi predatori riguardava, fino alla metà del novecento, la descrizione solo di alcuni caratteri ben visibili con la limitata attrezzatura ottica in possesso degli studiosi del tempo. Di solito non vi erano riportate misurazioni di placche o di setole ma solo la loro forma o qualche particolarità posseduta dalla specie descritta: "*Color badius, sed materia ingesta saepius infuscatovinosus. Dorsum totum nudum, lucidissimum*" scriveva BERLESE nella sua descrizione di *Iphiseius degenerans* nel 1889.

Nel 1944 SELLNICK individuò tre serie longitudinali di setole sulla placca dorsale che denominò S, Z, I (laterali, mediane e centrali rispettivamente) e 11 serie trasversali che secondo BAKER e WHARTON (1952) rifletterebbero la metameria perduta di questi acari. GARMAN (1948) utilizzò l'idea di Sellnick ribattezzando le serie in L, M, D (laterali, mediane e centrali), senza considerare le serie trasversali; questa denominazione venne poi a lungo adoperata da diversi sistematici non solo americani. ATHIAS-HENRIOT (1957) criticò il sistema di Garman perché esso non prendeva in considerazione le eviden-

– Pubblicato marzo 2016

ti omologie tra le setole, ma era solo una numerazione progressiva di queste; cosicché, secondo ATHIAS-HENRIOT, la stessa setola avrebbe avuto due denominazioni diverse in specie ipotriche e specie olotriche. Allo scopo di proporre un sistema ampiamente accettato, lei mescolò i due sistemi (Sellnick e Garman) adottando la divisione in 11 ranghi trasversali del primo autore e le lettere L, M, D del secondo.

CHANT (1957), basandosi su un'idea di BERHARD (1955, in CHANT, 1957), tentò un raggruppamento sopraspecifico dividendo il genere *Typhlodromus* in due sottogeneri in base alla presenza/assenza di due setole podosomali anterolaterali (z3 e s6 secondo il sistema attualmente adottato dagli acarologi): sottogenere *Typhlodromus* (+z3 +s6), sottogenere *Amblyseius* (-z3 -s6). Come difatti si rese evidente successivamente, questo carattere individua linee genetiche differenti.

Il 1957 fu un anno assai importante per l'acarologia mondiale giacché diversi lavori fondamentali per la sistematica dei Phytoseiidae ne furono pubblicati. DOSSE (1957) mise in evidenza un carattere anatomico dei fitoseidi fino ad allora mai considerato come carattere sistematico, nonostante fosse stato riportato nei disegni delle descrizioni originali di diversi autori (OUDEMANS, 1928; SMITH e SUMMERS, 1949; NESBITT, 1951; ATHIAS-HENRIOT, 1957): l'apparato d'inseminazione. Come notò l'autore esso presenta forme diverse nelle diverse specie e rappresenterebbe un importante carattere di distinzione specifica.

Tre anni più tardi SCHUSTER e SMITH (1960), riferendosi all'apparato d'inseminazione (ai tempi definito spermateca), riportarono in una breve nota due importanti intuizioni: l'apparato d'inseminazione "… *avrebbe un importante valore nella definizione di specie aventi una simile chetotassi e lunghezza delle setole*." E ancora che "… *questo carattere potrebbe dimostrare le relazioni* (filogenetiche) *tra gruppi di specie, più di quanto possa fare la chetotassi dorsale*.".

A partire dai primi anni '60, quasi tutti i sistematici hanno preso in considerazione questo carattere sistematico anche se non tutti gli hanno attribuito il valore che meritava.

Nel 1967, ATHIAS-HENRIOT avanzò l'ipotesi che l'apparato d'inseminazione potrebbe chiarire meglio le linee naturali all'interno dei Gamasida, giacché, trattandosi di un organo interno sarebbe stato meno soggetto alle modificazioni ereditarie rispetto agli organi esterni (per es. setole) che si trovano in contatto diretto con l'ambiente. Già qualche anno prima ATHIAS-HENRIOT (1960, 1962, 1966) tentò dei raggruppamenti sopraspecifici utilizzando la forma dell'apparato d'inseminazione, la forma della placca ventrianale e la chetotassi dorsale, lasciando però al lettore di trarre da solo le conclusioni sull'importanza sistematica di ciascuno dei caratteri usati.

Gli anni '60, furono anni di rielaborazioni delle scoperte sistematiche effettuate negli ultimi 3-4 anni del decennio precedente. I principali studiosi del periodo, Athias-Henriot, Chant, De Leon, Ehara, Muma, Schuster, Wainstein, propongono diverse organizzazioni interne della famiglia Phytoseiidae con la descrizione di nuovi generi che, tuttavia non riflettono, nella maggior parte dei casi, i percorsi evolutivi dei gruppi.

Nel 1965 LINDQUIST e EVANS, usando la famiglia Ascidae (caratterizzata da olotrichia) come esempio, propongono un nuovo sistema di nomenclatura chetotattica, che era in pratica la combinazione dei sistemi proposti da ATHIAS-HENRIOT (1957) e da HIRSCHMANN (1957).

Da questa data in poi, possiamo distinguere due linee di pensiero divergenti sull'organizzazione interna della famiglia Phytoseiidae:

1. La prima è quella definita dall'acarologa francese Claire Athias-Henriot, la quale a partire dalla metà degli anni '60, focalizzò i suoi studi sull'individuazione di caratteri apomorfici che meglio potevano definire le relazioni filogenetiche tra i vari gruppi sopraspecifici in ambito dei Phytoseiidae. Di fatto lei si discostò pian piano dai suoi colleghi che si occupavano di sistematica dei Phytoseiidae e criticò apertamente i loro lavori: "*Non è mai stato preso in considerazione il fenomeno dell'evoluzione parallela seguendo le regole delle linee evolutive, né il fenomeno della convergenza così comune nei Gamasida. Così che, queste classificazioni sembrano più numeriche che classificazioni sistematiche*" (ATHIAS-HENRIOT, 1971). Essendo biologa e studiosa dei gamasidi in generale e non solo di fitoseidi, si trovava in una situazione privileggiata per scorgere le diverse categorie filogeneticamente vicine e i caratteri morfo-anatomici che potevano identificare questi gruppi. Le sue ricerche portarono prima alla ridefinizione del genere *Cydnodromus* (ATHIAS-HENRIOT, 1977) e successivamente alla definizione dei generi *Dictydionotus* (ATHIAS-HENRIOT, 1978) e del genere *Pegodromus* (ATHIAS-HENRIOT, 1981). I caratteri utilizzati dalla suddetta autrice comprendevano la chetotassi dorsale e ventrale, la forma delle placche ventrali, il numero dei denti nel dito mobile dei cheliceri, la presenza e la posizione del solenostoma gv3 nella placca ventrianale e la forma dell'apparato d'inseminazione. Pochi anni più tardi, nella revisione del genere *Neoseiulus* (RAGUSA e ATHIAS-HENRIOT, 1983) la forma dell'apparato d'inseminazione divenne per ATHIAS-HENRIOT il

carattere discriminante per la definizione del genere. In questo lavoro gli autori riportano che la forma dell'apparato d'inseminazione può essere considerata il criterio più adatto per inquadrare gruppi sopraspecifici perché:

a. La podospermia è considerata primitiva rispetto alla tocospermia, quindi più antica.
b. In cloni podospermatici di gamasidi telitochi, questo apparato rimane invariato anche dopo lunghi periodi di disuso.
c. In caso di linee podospermiche fortemente alterate dalla vita parassitica, questo apparato, proprio per la sua stabilità, rende possibile la dimostrazione di relazioni ancestrali.

In base a queste considerazioni, secondo Athias-Henriot, l'apparato d'inseminazione dovrebbe essere considerato il carattere discriminante del genere anche se una serie di caratteri (habitus e chetotassi dorsale e ventrale, adenotassi etc) dovrebbero essere correlati ad esso.

2. La seconda linea di pensiero si basa principalmente sulla chetotassi (dorsale e ventrale) e il suo principale rappresentante è Donald Chant. L'inizio di questo pensiero però, possiamo individuarlo in un lavoro di HANSELL (1970), nel quale l'autore propose di considerare con peso diverso ciascun carattere impiegato nella tassonomia dei Phytoseiidae, facendo chiaramente intuire l'importanza della chetotassi e della misurazione delle setole. Un anno più tardi HANSELL e CHANT (1973) affrontano di nuovo questo problema e concludono che la tassonomia "*…dovrebbe essere idealmente descritta come un processo che si autocorregge attraverso il tempo man mano che nuove informazioni e nuovi caratteri vengono introdotti nel sistema*". Alcuni anni più tardi, ROWELL, CHANT and HANSELL (1978) nella ricerca di "*probabili omologie chetotattiche*" propongono i principali arrangiamenti dorsali delle setole presenti nei Phytoseiidae e una nomenclatura chetotattica che altro non era che l'adattamento ai Phytoseiidae della nomenclatura proposta da LINDQUIST e EVANS (1965) per gli Ascidae, che a sua volta combinava, come già detto sopra, i sistemi di HIRSCHMANN (1957; 1962) e ATHIAS-HENRIOT (1957). Negli anni ottanta Chant effettuò una lunga serie di revisioni dei diversi gruppi di Phytoseiidae, nelle quali l'autore applicava per lo più la chetotassi come carattere principale per i raggruppamenti sopraspecifici senza tuttavia esplicitarlo. Alla fine di quel periodo l'autore pubblica un lavoro nel quale riporta tutti gli arrangiamenti dorsali delle setole presenti nelle specie conosciute dei Phytoseiidae (CHANT e YOSHIDA-SHAUL, 1989). Tuttavia, gli autori ammoniscono (l.c. pag. 223): "*... è importante che il lettore comprenda che nel presente lavoro noi non proponiamo un sistema di classificazione né suggeriamo che gli arrangiamenti/schemi delle setole che noi riportiamo possano rappresentare taxa in ogni senso formale. In questo lavoro noi semplicemente riportiamo tutti gli arrangiamenti di setole osservati fino ad ora nei Phytoseiidae*". Nonostante ciò, questi schemi chetotattici vengono successivamente adottati in tutte le revisioni effettuate principalmente da CHANT e MCMURTRY (1994, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2005a, 2005b, 2005c, 2006a, 2006b, 2007), nelle quali gli autori definiscono i generi basandosi esclusivamente sulla chetotassi dorsale, mentre utilizzano gli altri caratteri sistematici per la definizione dei sottogruppi o delle singole specie.

IL QUADRO SISTEMATICO ATTUALE DELLA FAMIGLIA PHYTOSEIIDAE

Athias-Henriot si è ritirata verso la fine degli anni ottanta e gli ultimi anni della sua vita lavorativa sono stati poveri di lavori pubblicati, anche se lei continuò a lavorare intensamente e lasciò un'impressionante molle di dati non pubblicati ai posteri. Questa eclissi dal mondo scientifico lasciò molto spazio a Chant, il quale assunse il ruolo del leader incontrastato nella sistematica dei Phytoseiidae a livello mondiale. Ciò gli permise di pubblicare una serie di lavori, discuttibili dal punto di vista filogenetico, ma che tutt'oggi continuano ad essere considerati come punti di riferimento dalla maggioranza degli studiosi che si occupano di sistematica in questa famiglia. I punti deboli del sistema di classificazione proposto da Chant e McMurtry, diventano evidenti in diversi casi di raggruppamenti generici nei quali, come è stato notato anche dagli stessi autori, risulta difficile individuare gruppi monofiletici e determinare i caratteri che sostengono la validità di questi gruppi. La conseguenza pratica di questo sistema di classificazione, nonostante la sua validità da un punto di vista strettamente sistematico, è quella di portare alla formazione di gruppi polifiletici che complica notevolmente il lavoro del sistematico.

D'altra parte, il sistema proposto da Athias-Henriot e successivamente adottato da RAGUSA e TSOLAKIS (1994), nonostante la sua validità nello scoprire le sinapomorfie che permettono la definizione di gruppi monofiletici, sembra un sistema assai rigido, con l'evidente rischio di portare alla formazione di gruppi parafiletici. Questo porterebbe da una parte all'aumento delle difficoltà nell'inquadramento sistematico di alcuni gruppi e dall'altra alla proliferazione del numero dei generi nell'ambito della famiglia.

Prospettive di sviluppo nella classificazione dei Phytoseiidae

Dal punto di vista della classificazione classica, entrambe le suddette teorie sono da considerare valide ed entrambe adottano un approcio monistico. Tuttavia entrambe presentano punti deboli che non permettono l'adozione incondizionata da parte dei sistematici giacché si basano su caratteri esterni o interni arbitrariamente interpretabili. Quale indirizzo intraprendere per l'adozione di alcuni caratteri incontrovertibilmente rappresentativi dei vari taxa dei Phytoseiidae può essere indicato solo da un integrazione di metodologie interpretative classiche con metodologie genetiche.

Alcuni studi recenti, che adottarono questo approcio integrativo, hanno riportato risultati assai interessanti e promettenti sul futuro della sistematica dei Phytoseiidae (Kanouh *et al.*, 2010; Tixier *et al.*, 2011; Tsolakis *et al.*, 2012). Delle due principali ipotesi di classificazione sviluppate fino ad oggi, cioè l'utilizzo come carattere discriminante della chetotassi dorsale e ventrale *versus* la forma dell'apparato d'inseminazione come principale carattere discriminante, sembra che la seconda sia la più indicata per dimostrare relazioni filogenetiche tra i vari taxa. Bisogna però ricordare, che l'apparato d'inseminazione è una struttura complessa e più che alla sua forma generale bisognerebbe tenere in considerazione ciascuna parte di quest'organo per rilevare le reali omologie tra i taxa. A questo carattere, tuttavia, sono legati una serie di caratteri correlati come l'*habitus* della placca dorsale e delle placche ventrali, lo stato evolutivo del solenostoma gv3, nonché l'adenotassi dorsale e la presenza di macrosete come definite da Beard (2001).

Il lavoro futuro nell'ambito della sistematica dei Phytoseiidae si prospetta lento e difficile perché la maggior parte delle specie descritte sono poco comuni e le dimensioni degli esemplari non permettono un'identificazione specifica prima dell'utilizzo delle carcasse per esami molecolari. A ciò si aggiunge un'ampia diffusione mondiale dei diversi taxa sopraspecifici che portano gli specialisti a inferire sulla filogenesi di alcuni gruppi basandosi solo su un limitato numero di specie.

RIASSUNTO

La sistematica della famiglia Phytoseiidae ha una lunga e controversa storia. Tra le cause principali di queste controversie possiamo ricordare le piccole dimensioni di questi acari e le conseguenti difficoltà di individuare caratteri morfologici universalmente validi da adoperare in una classificazione sistematica che rispecchi anche la filogenesi. Viene riportato in seguito un *excursus* storico della sistematica di questi piccoli predatori focalizzando l'attenzione alle due più importanti teorie di organizzazione dei taxa nell'ambito della famiglia che si sono delineate nel tempo e attualmente vengono adottate dai diversi sistematici. L'autore ha cercato di individuare i punti deboli di entrambe, fornendo infine alcune indicazioni sull'indirizzo futuro della classificazione dei Phytoseiidae.

BIBLIOGRAFIA CITATA

Athias-Henriot C., 1957 – *Phytoseiidae et Aceosejidae (Acarina, Gamasina) d'Algerie.- 1. Genres* Blattisocius *Keegan,* Iphiseius *Berlese,* Amblyseius *Berlese,* Phytoseius *Ribaga,* Phytoseiulus *Evans.* - Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, 48: 319-352.

Athias-Henriot C., 1960 – *Nouveaux* Amblyseius *d'Algerie (Parasitiformes, Phytoseiidae).* - Acarologia 2*, 288-299.*

Athias-Henriot C., 1962 – Amblyseius swirskii, *un nouveau phytoséiide voisin d'* A. andersoni *(Acariens anactinotriches).* - Ann. École nat. agric. Alger, 3 (5): 1-7.

Athias-Henriot C., 1966 – *Contribution à l'étude des* Amblyseius *paléarctiques (Acariens anactinotriches, Phytoseiidae* . - Bull. Soc. Sci. Nat. Dijon, 24: 181-230.

Athias-Henriot C., 1967 – *L'appareil d'insémination laelopoïde. Remarques préliminaires sur la possibilité d'emploi à des fins taxonomiques (Acar. anactinotriches, Laelopoïdea).* - Proc. 2nd Int. Congr. Acarol. 1967, pp. 191- 193.

Athias-Henriot C., 1971 – *Idiosomal sigillotaxy of gamasids. Preliminary observations towards the knowledge of the morphology of these arachnids.* - Proc. 3rd Int. Cogr. Acarol.: 257-261.

Athias-Henriot C., 1977 – *Nouvelles notes sur les Amblyseiini III. Sur le genre* Cydnodromus*: Redéfinition, Composition (Parasitiformes, Phytoseiidae).* - Entomophaga, 22 (1): 61-73.

Athias-Henriot C., 1978 – *Définition de* Dictyonotus *nov. gen., avec description de deux espèces nouvelles de France méridionale (Gamasides, Phytoseiidae).* - Entomophaga, 23(2): 189-194.

Athias-Henriot C., 1981 – Pegodromus crassipilis, *n.g., n.sp., Typhlodromini nouveau du sud de la France (Parasitiformes: Phytoseiidae).* - Int. J. Acarol*.,* 7: 71-74.

Baker E.W., Wharton, G.W., 1952 – *An Introduction to Acarology*. The Macmillan Company, N.York, pp. 1-465.

Beard J.J., 2001 – *A review of Australian* Neoseiulus *Hughes and* Typhlodromips *De Leon (Acari: Phytoseiidae: Amblyseiinae).* - Invert. Taxon., 15: 73-158.

Berlese A., 1887 – *Acari, Myriopoda et Scorpiones hucusque in Italia reperta*. Tipografia del Seminario, Padova, Italy, 4(38): 6-7.

Berlese A., 1889 – *Acari, Myriopoda et Scorpiones hucusque in Italia reperta*. Tipografia del Seminario, Padova, Italy, 6(54): 7-9.

Canestrini G., Fanzago F., 1876 – *Nuovi acari italiani (Seconda Serie).* - Atti Società Veneto- Trentina di Scienze Naturali, Italy, 5: 130–142.

Chant D.A., 1957 – *Note on the status of some genera in the family Phytoseiidae (Acarina).* - Can. Entomol*.,* 89(7): 528-532.

Chant D.A., 1959 – *Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Part I. Bionomics of seven species in Southeastern England. Part II. A taxonomic review of the family Phytoseiidae, with descriptions of 38 new species.* - Can. Entomol*.,* 91(12) : 1-166.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 1994 – *A review of the subfamilies Phytoseiinae and Typhlodrominae (Acari: Phytoseiidae)*. - Int. J. Acarol., 20 (4): 223-316.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2003a – *A review of the subfamilies Amblyseiinae (Acari: Phytoseiidae): Part II. Neoseiulini new tribe*. - Int. J. Acarology, 29: 3-46.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2003b – *A review of the subfamilies Amblyseiinae (Acari: Phytoseiidae): Part II. The tribe Kampimodromini*. - Int. J. Acarol., 29: 179-224.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2004a – *A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): Part III. The tribe Amblyseiini Wainstein, subtribe Amblyseiina N. subtribe*. - Int. J. Acarol., 30: 171–228.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2004b – *A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): part IV. The tribe Amblyseiini Wainstein, subtrive Arrenoseiina Chant and McMurtry.* - Int. J. Acarol., 30: 291-312.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2005a – *A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): part V. Tribe Amblyseiini, subtribe Proprioseiopsina Chant and McMurtry.* - Int. J. Acarol., 31: 3-22.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2005b – *A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): part VI. The tribe Euseiini N. tribe, subtribes Typhlodromalina, N. subtribe, Euseiina N. subtribe and Ricoseiina N. subtribe.* - Int. J. Acarol., 31: 187-224.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2005c – *A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): part VII. Typhlodromipsini n. tribe.* - Int. J. Acarol., 31: 315-340.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2006a – *A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): part VIII. The tribes Macroseiini Chant, Denmark and Baker, Phytoseiulini n. tribe, Africoseiulini n. tribe and Indoseiulini Ehara and Amano*. - Int. J. Acarol., 32: 13-25.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2006b – *A review of the subfamily Amblyseiinae Muma (Acari: Phytoseiidae): part IX. An overview.* - Int. J. Acarol., 32: 125–152.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2007 – *Illustrated keys and diagnoses for the genera and subgenera of the Phytoseiidae of the world (Acari: Mesostigmata).* - Indira Publishing House, 220 pp.

CHANT D.A., YOSHIDA-SHAUL E., 1989 – *Adult dorsal setal patterns in the family Phytoseiidae (Acari: Gamasina)*. - Int. J. Acarol., 15: 219-233.

DOSSE G., 1957 – *Morphologie und biologie von* Typhlodromus zwoelferi *n.sp. (Acar., Phytoseiidae).* - Z. ang. Ent., 41(2-3): 301-311.

GARMAN P., 1948 – *Mite species from apple trees in Connecticut*. - Connecticut Agr. Exp. Stn. Bull., 520: 1-27.

HANSELL R.I.C., 1970 – *New methods for comparative systematic studies of phytoseiid mites*. A. thesis, 97 pp.

HANSELL R.I.C., CHANT D.A., 1973 – *Taxonomic methods: relative weights applied to characters by classical taxonomists in the genus* Iphiseius *Berlese (Acarina: Phytoseiidae*. - The Can. Entomol., 105: 775-785.

HIRSCHMANN W., 1957 – *Gangsystematik der Parasitiformes. Teil 1. Rumpfberhaarung und Ruckenflachen.* - Acarologie Schriftenreihe fur Vergleichende Milbenkunde, Hirschmann, Furth/Bay, 1-20 + 26 plates.

HIRSCHMANN W., 1962 – *Gangystematik der Parasitiformes*. - Acarologie Schriftenreihe fur Vergleichende Milbenkunde, Hirschmann-Verlag, Furth/Bay, 5(5-6), 80 pp.+ 32 plates.

KANOUH M., TIXIER M-S., OKASSA M., KREITER S., 2010 – *Phylogenetic and biogeographic analysis of the genus* Phytoseiulus *(Acari: Phytoseiidae).* - Zoologica Scripta, 39(5): 450-461.

KOCH C.L., 1839 – *Deutschlands Crustaceen, Myriapoden und Arachniden*. Regensburg, Germany, 5-6(25), 22; 5-6(27), 6, 13.

LINDQUIST E., EVANS G.W., 1965 - *Taxonomic concepts in the Ascidae, with a modified setal nomenclature for the idiosoma of the Gamasina (Acarina: Mesostigmata).* - Mem. Entomol. Soc. Canada, 47: 1-64.

MORAES DE G.J., MCMURTRY J.A., DENMARK H.A., CAMPOS C.B., 2004 – *A revised catalog of the mite family Phytoseiidae*. - Zootaxa, 434: 1-494.

NESBITT HHJ., 1951 – *A taxonomic study of the Phytoseiinae (family Laelaptidae) predaceous upon Tetranychidae of economic importance*. - Zool. Verhand., 12: 1-64.

OUDEMANS A.C., 1928 – *Acarologische Aanteekeningen LXXXIX*. - Entomol. Ber., 159(7): 285.

RAGUSA DI CHIARA S., TSOLAKIS H., 1994 - *Revision of the genus* Kampimodromus *Nesbitt 1951 (Parasitiformes, Phytoseiidae), with a description of a new species*. - Acarologia, 35(4): 305-322.

RAGUSA S., ATHIAS-HENRIOT C., 1983 – *Observations on the genus* Neoseiulus *Hughes (Parasitiformes, Phytoeiidae). Redefintion. Composition. Geography. Description of two new species*. - Rev. Suisse Zool., 90(3): 657-678.

ROWELL H.J., CHANT D.A., HANSELL R.I.C., 1978 – *The determination of setal homologies and setal patterns on the dorsal shield in the family Phytoseiidae (Acarina: Mesostigmata).* - Can. Entomol., 110: 859-876.

SCHEUTEN A., 1857 – *Einiges uber Milben*. - Archiv fur Naturgeschichte, Germany, 23: 104-112.

SCHUSTER R.O., SMITH L.M., 1960 – *The spermathecae as taxonomic features in phytoseiid mites of western North America (Acarina: Phytoseiidae).* - Proc. Entomol. Soc. Washington, 62(3): 181-188.

SELLNICK M., 1944 – Zercon *C.L. Koch. Acari (Lotzen)* nr. 5, 30-41.

SMITH L.M., SUMMERS F.M., 1949 – *The structure and biology of the red spider predator,* Hypoaspis macropilis *(Banks)*. - Proc. Entomol. Soc. Washington, 51(5): 209-218.

TIXIER M-S., TSOLAKIS H., RAGUSA S., POINSO A., MAXIME FERRERO M., OKASSA M., KREITER S., 2011 – *Integrative taxonomy demonstrates the unexpected synonymy between two predatory mite species:* Cydnodromus idaeus *and* C. picanus *(Acari : Phytoseiidae).* - Invertebrate Systematics, 25: 273-281. http://dx.doi.org/10.1071/IS11025

TSOLAKIS H., TIXIER M-S., KREITER S., RAGUSA S., 2012 – *The concept of genus within the family Phytoseiidae (Acari: Parasitiformes): historical review and phylogenetic analyses of the genus* Neoseiulus *Hughes.* - Zool. J. Linnean Soc., 165: 253-273. doi: 10.1111/j.1096-3642.2011.00809.x

VITZTHUM G.H., 1941 – *Acarina*. In: Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs, 5(4): 764-767.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 45-50

LE ANTENNE DEGLI IMENOTTERI OOPARASSITOIDI: ADATTAMENTI FUNZIONALI DI APPENDICI MULTIMODALI

NUNZIO ISIDORO [1] - SARA RUSCHIONI [1] - EMANUELE RANIERI [1] - ROBERTO ROMANI [2]

[1] *Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università Politecnica delle Marche, Via Brecce Bianche, 60131, Ancona*; e-mail: n.isidoro@univpm.it
[2] *Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi di Perugia, Borgo XX Giugno 74, 06121, Perugia*.
Lettura tenuta nella Seduta pubblica dell'Accademia – Firenze, 14 novembre 2015.

The antennae of hymenopteran egg parasitoids: functional adaptations of multimodal appendices

Egg parasitoids are considered the most effective biocontrol agents of crop pests among parasitic wasps, since they are able to remove the herbivores from the agroecosystem before larval eclosion. In this article, morphological and functional aspects of antennal structures related with egg parasitoids host and sex recognition will be covered. We will focus on the different sensilla on the basis of the stimulus conducting systems, in terms of pores, their presence or absence, their relative abundance and location: aporous, uniporous and multiporous sensilla. Moreover we will discuss male and female antennal glands separately, referring to the studies where a detailed description of the presence of glands was provided.

KEY WORDS: Egg parasitoids, Hymenoptera, utrastructure, sensilla, glands.

I SENSILLI ANTENNALI DEGLI OOPARASSITOIDI

Le antenne degli insetti ospitano organi sensoriali denominati "sensilli" (KEIL, 1999) ed altri tipi di strutture (Isidoro *et al*., 1996; BIN *et al*., 1999a) come le ghiandole antennali (BIN *et al*., 1999b; ISIDORO *et al*., 2000; KALTENPOTH *et al*., 2005; ROMANI *et al*., 2003, 2005, 2006, 2008; GOETTLER *et al*., 2007). I sensilli antennali sono piccole unità funzionali, ognuna dei quali comprende differenti parti che si formano attorno al vero "organo di senso", il neurone sensoriale. I neuroni sensoriali sono cellule che portano il segnale dall'estrema periferia del corpo dell'insetto ai principali centri di elaborazione, situate all'interno della capsula cefalica, principalmente al protocerebro e al deutocerebro. Il neurone sensoriale può essere diviso in una parte cellulare (pericario), un processo efferente (assone) e un processo afferente (dendrite). Quest'ultimo è ulteriormente suddiviso in un segmento dendritico interno ed uno esterno. I neuroni sensoriali sono associati a strutture cuticolari di forma variabile che ne consentono la stimolazione (meccanica, fisica o chimica). Essi sono rivestiti da tre o più cellule ausiliarie che intervengono durante la morfogenesi delle diverse parti sensillari e ne assicurano la funzionalità. La parte cuticolare dei sensilli, che in molti casi ospita le terminazioni dendritiche dei neuroni sensoriali, può avere forme diverse, e può presentare dei pori. Grazie allo sviluppo di tecniche di microscopia elettronica, sono state effettuate nuove classificazioni in base a dettagli ultrastrutturali, con particolare riferimento alla parete sensillare (ALTNER, 1977; ALTNER and PRILLINGER, 1980). In questo lavoro verrà presa in considerazione la classificazione dei sensilli proposta da ALTNER (1977) basata sulla presenza o meno di pori.

I *sensilli apori*, vengono descritti da ZACHARUK (1985) come sensilli che non presentano pori sulla cuticola esterna. Sono stati descritti principalmente sensilli meccanorecettori, campaniformi e celoconici. I sensilli meccanorecettori possiedono un corpo cuticolare di varia lunghezza che permette la distorsione della membrana flessibile che si trova alla base (KEIL, 1997). Questi sensilli sono innervati da un singolo neurone sensoriale circondato da due o tre cellule accessorie (MCIVER, 1985). La proiezione dendritica del neurone sensoriale è modificata a formare un corpo tubolare (THURM, 1964), localizzato nella parte distale del segmento dendritico esterno, che appare in sezione trasversale come un raggruppamento circolare di materiale elettrondenso. Questa struttura è il sito di trasduzione sensoriale (GNATZY and TAUTZ, 1980; THURM, 1983) poiché il corpo tubulare è collegato alla membrana flessibile e, con l'ausilio di elementi cuticolari specializzati come le fibre di sospensione, ne registra la distorsione (GAFFAL *et al*., 1975). La presenza di questi sensilli sui punti di congiunzione tra il capo e lo scapo e lo scapo e il pedicello suggerisce la loro funzione di propriorecettori nel comunicarne la posizione. I

– Pubblicato marzo 2016

sensilli campaniformi devono il loro nome alla particolare forma di disco cuticolare liscio, leggermente rialzato, simile ad una cupola. Generalmente questi sensilli si ritrovano in varie parti del corpo, localizzati soprattutto in prossimità delle strutture di collegamento, dove avviene la deformazione meccanica della cuticola (MORAN *et al*., 1971; GNATZY *et al*., 1987; GRÜNERT and GNATZY, 1987), in risposta alle tensioni cuticolari (PRINGLE, 1961; ZILL and MORAN, 1981). I sensilli campaniformi sono innervati da un singolo neurone sensoriale, che termina con il corpo tubolare. In *Trissolcus basalis* (Woll.) sono associati a ghiandole dorsali antennali, ad indicare la loro possibile funzione di controllo del rilascio del secreto ghiandolare. I sensilli celoconici possono essere disposti sulla superficie antennale, o si trovano completamente immersi all'interno della parete antennale, e la loro comunicazione con l'ambiente esterno avviene attraverso una stretta apertura superficiale (ALTNER and LOFTUS, 1985). Essi sono generalmente composti da una spessa parete e tre neuroni sensoriali, dei quali solo due entrano ramificandosi all'interno della cavità del sensillo, il terzo termina in genere alla sua base (ALTNER and PRILLINGER, 1980). La funzione di questi sensilli è spesso associata alla percezione delle variazioni di temperatura e umidità (TICHY, 1979; ALTNER *et al*., 1981; YOKOHARI, 1983). I sensilli celoconici sono poco studiati negli ooparassitoidi, perché difficili da localizzare in quanto poco numerosi e molto piccoli; una delle poche descrizioni dettagliate ultrastrutturali è stata effettuata su *T. basalis* da ISIDORO (1992).

I *sensilli uniporosi* sono caratterizzati dalla presenza di un solo poro sulla parete cuticolare, generalmente apicale. Il poro esternamente può apparire semplice oppure come il risultato di elaborate proiezioni cuticolari. Questi sensilli sono generalmente innervati da un numero di neuroni che varia da quattro a sei (ZACHARUK, 1985). Nella maggior parte dei casi un neurone si ferma alla base, in prossimità della membrana, formando un corpo tubolare (con funzione meccanorecettiva) e gli altri si estendono senza ramificazioni all'interno del lume, raggiungendo il poro apicale (con funzione chemiorecettiva di contatto). Talvolta il loro lume è diviso in due camere: la camera dendritica che ospita i dendriti avvolti da una guaina, e la camera sensillare dove si trovano pori tubolari connessi con il poro esterno. Negli Sceliionidi *Telenomus reynoldsi* (CAVE and GAYLOR, 1987) e *T. basalis* (BIN *et al*., 1989) sono stati descritti sensilli gustativi uniporosi (ISIDORO *et al*., 1996) per i quali sono stati ipotizzati due differenti significati biologici: (i) riconoscimento del partner durante l'accoppiamento e (ii) ricerca e riconoscimento dell'ospite.

I *sensilli multiporosi*, sia che essi siano a parete singola o doppia (ALTNER, 1977), hanno numerosi pori cuticolari (STEINBRECHT, 1997), distribuiti su tutta la superficie sensillare o concentrati su regioni specifiche. Ad essi è assegnata una funzione olfattiva, raramente gustativa. Il sistema di trasduzione sensoriale varia in base alla loro morfologia. I sensilli multiporosi a parete singola hanno un'unica parete che può apparire sottile o ispessita (ALTNER, 1977), perforata da numerosi e minuscoli pori collegati a sottili canali cuticolari che attraversano la parete antennale. La base di questi sensilli è piuttosto rigida. Il sistema di trasduzione sensoriale in queste strutture è così organizzato: le molecole idrofobiche dall'ambiente esterno entrano attraverso i pori lungo dei canali dove vengono intrappolate da speciali strutture di trasporto che le fanno entrare all'interno del lume del sensillo in contatto con i neuroni olfattivi (LOCKE, 1965; STEINBRECHT and MÜLLER, 1971; KEIL, 1982). Una volta avvenuto il contatto le molecole si legano a proteine idrosolubili (VOGT and RIDDIFORD, 1981; KLEIN, 1987; MCKENNA *et al*., 1994; DICKENS *et al*., 1995; TUCCINI *et al*., 1996; PAESEN and HAPP, 1995) dove attivano i recettori specifici ed innescano, quindi, la risposta allo stimolo olfattivo (VOGT *et al*., 1990; ZIEGELBERGER, 1995). I principali sensilli multiporosi a parete singola sono i sensilli tricoidei e i sensilli placoidei; la principale funzione ad essi associata è quella olfattiva, ma si possono trovare anche sensilli multiporosi a parete singola con funzione gustativa. I sensilli tricoidei sono rigidi, hanno una forma allungata che termina con una punta sottile e sono innervati da un numero relativamente basso di neuroni sensoriali. Sulla loro sottile parete sono uniformemente distribuiti piccoli pori. Sono stati descritti in numerosi gruppi di ooparassitoidi e, nonostante una piccola variabilità nella morfologia (AMORNSAK *et al*., 1998), studi li associano a funzioni olfattive. I sensilli mutiporosi placoidei hanno la forma circolare, ovale, oppure di placca, appiattiti a livello della parete antennale o leggermente rialzati da essa. La sottile cuticola è perforata da numerosi piccoli pori concentrati in una parte o distribuiti uniformemente su tutta la superficie. Il numero di neuroni sensoriali associati è variabile, ma i dendriti sono sempre numerosi e ramificati sotto la cuticola sensoriale. Possono esserci fino a sei cellule accessorie associate (LACHER, 1964). Generalmente ai sensilli multiporosi viene associata una funzione olfattiva, ma negli Imenotteri ooparassitoidi ci sono alcune eccezioni: sensilli multiporosi gustativi sono stati descritti sul lato ventrale dell'antenna della femmina sia degli Scelionidae che dei Platygastridae (BIN, 1981; BIN *et al.,* 1989; ISIDORO *et al.,* 1996, 2001). L'ipotesi di una funzione gustativa è fortemente supportata dal fatto che sono rivolti verso il lato a contatto del sub-

strato durante l'antennamento, diversamente dai sensilli olfattivi che sono sempre rivolti dorsalmente e/o lateralmente. Possiedono inoltre un corpo cuticolare a forma di cono troncato, con la parte apicale appiattita e attraversata da numerosi minuscoli pori, visibili solo al TEM, il corpo è attraversato da creste trasversali (BIN *et al*., 1989; ISIDORO *et al*., 1996, 2001). All'interno del sensillo sono presenti numerosissime ramificazioni dendritiche (BIN *et al*., 1989; ISIDORO *et al*., 2001).

I sensilli multiporosi a doppia parete sono inseriti in depressioni della cuticola antennale o completamente immersi in essa, in questo caso comunicano con l'esterno attraverso una stretta apertura. La loro cavità linfatica è divisa da una porzione cuticolare, in uno spazio più esterno ed uno più interno (HUNGER and STEINBRECHT, 1998). La cavità esterna ospita vescicole o altri prodotti di secrezione delle cellule accessorie, mentre nello spazio più interno si trovano le terminazioni dendritiche dei neuroni sensoriali che vengono raggiunte dalle molecole volatili che entrano nel lume passando in piccoli canali, generalmente disposti in modo radiale, che attraversano entrambe le pareti (ALTNER and PRILLINGER, 1980). Ai sensilli multiporosi a doppia parete sono state associate funzioni olfattive (ALTNER *et al*., 1977; ALTNEr and PRILLINGER, 1980; POPHOF, 1997; DIEHL *et al*., 2003; POPHOF *et al*., 2005), di chemio-termorecettori (ALTNER *et al*., 1981; ALTNER and LOFTUS, 1985) e di termo-igrorecettori (WALDOW, 1970).

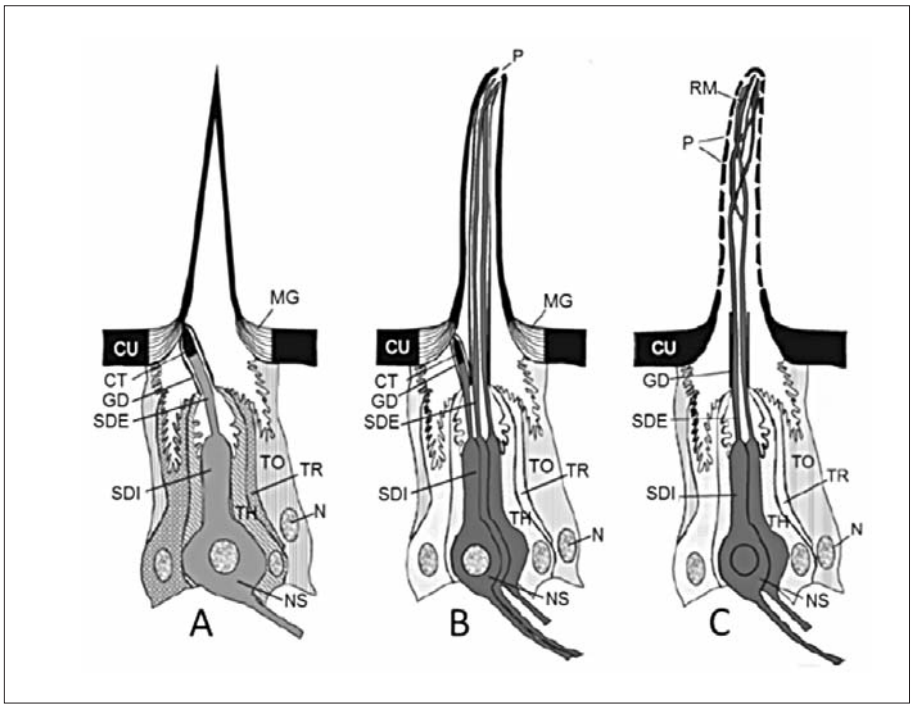


Fig. 1 – Disegno schematico raffigurante le tre principali tipologie di sensilli. (**a**) Sensillo aporo; (**b**) Sensillo uniporoso; (**c**) Sensillo multiporoso. CT – corpo tubolare, CU – cuticola, GD – guaina dendritica, MG – membrana di giunzione, N – nucleo, NS – neurone sensoriale, P – pori, RM – ramificazioni dendritiche, SDE – segmento dendritico esterno, SDI – segmento dendritico interno, TH – cellula tecogena, TO – cellula tormogena, TR – cellula tricogena.

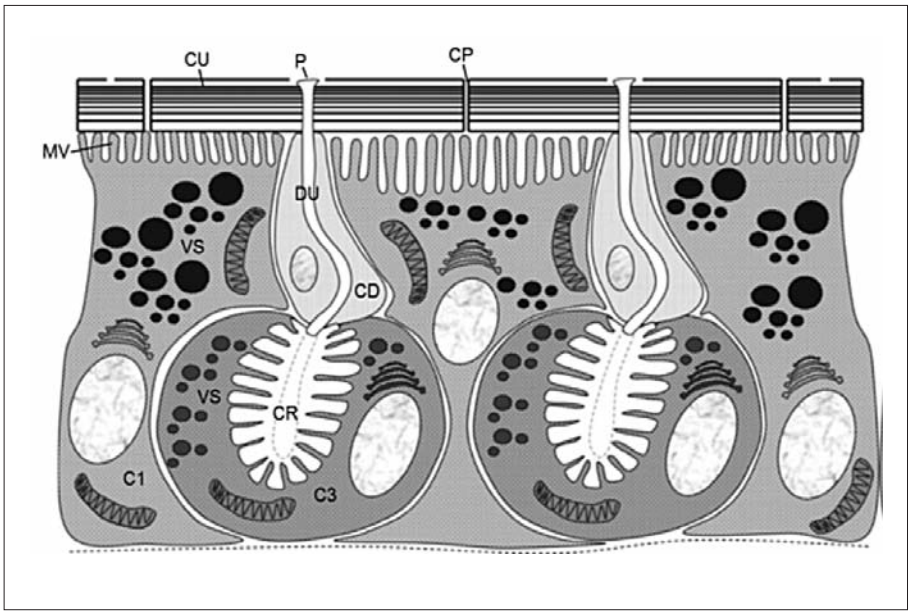


Fig. 2 – Disegno schematico raffigurante le cellule secretrici di Classe 1 (C1) e di Classe 3 (C3), in accordo con Noirot and Quennedey (1974). CD – cellula del dotto; CP – canale del poro; CR – canale di ricezione; CU – cuticola; DU – dotto di uscita della ghiandola; MV – microvilli, P – pori; VS - vescicola di secrezione. Modificato da Quennedy (1998).

Le Ghiandole Antennali degli Ooparassitoidi

La comunicazione negli insetti viene spesso mediata da stimoli di natura chimica, che rientrano in diverse classi di composti biologicamente attivi, rilasciati dagli insetti stessi o da altri organismi e operano a livello intra- o inter-specifico. Gli insetti rilasciano i secreti attraverso aree cuticolari specializzate. Questi composti vengono prodotti da cellule secretrici specializzate, definite ghiandole, che possono essere isolate o organizzate in complessi ghiandolari. Attualmente la classificazione largamente più accettata delle ghiandole di derivazione epidermica, tiene conto del rapporto tra cellule secretrici e la cuticola che la secrezione deve attraversare per potere essere secreta all'esterno del corpo. Noirot and Quennedey (1974) e Quennedey (1998) hanno classificato le ghiandole epidermiche in tre diverse classi come segue: (i) Classe 1 - le cellule secretrici sono direttamente in contatto con la cuticola. La secrezione prodotta viene rilasciata dopo aver superato lo strato cuticolare, dove sono presenti piccoli pori; (ii) Classe 2 – le cellule secretrici non sono in diretto contatto con la cuticola e scaricano la secrezione nelle circostanti cellule di Classe 1 che hanno il compito di rilasciare la secrezione all'esterno; (iii) Classe 3 - caratterizzate da più cellule che formano unità secretrici collegate a pori esterni mediante dotti cuticolari specializzati. Negli ooparassitoidi sono state descritte solo ghiandole di Classe 1 e di Classe 3 (Billen and Morgan, 1998) e sono rappresentate numericamente in modo diverso tra i due sessi. Bin and Vinson (1986) sono stati i primi a descrivere le ghiandole antennali maschili negli ooparassitoidi, descrivendo la presenza di un epitelio secernente associato con il quinto antennomero di *T. basalis*, la cui superficie ventrale è liscia e presenta un processo basiconico prominente con 8-10 aperture apicali. Indagini ultrastrutturali hanno rivelato la presenza di un epitelio ghiandolare costituito da unità secretrici bicellulari, quindi appartenente alla Classe 3. Si ipotizza che questa secrezione sia coinvolta nel corteggiamento (Bin and Vinson, 1986; Isidoro *et al*., 1996). Sempre in questa specie, è stato descritto un secondo tipo di ghiandole antennali di Classe 1 (Bin *et al*., 1989; Isidoro *et al*., 1996) che si trovano sul lato dorsale delle antenne e sono situate sotto una depressione cuticolare. Generalmente un sensillo campaniforme è associato a queste ghiandole. Un altro tipo di ghiandole antennali trovate sulle femmine di ooparassitoidi, sono quelle associate ai sensilli gustativi multiporosi di *T. basalis* (Bin *et al*., 1989). In questo caso, due o tre cellule secretrici di Classe 1 sono associate ad ogni sensillo, rilasciando il loro secreto direttamente alla base di esso in modo tale da incorporarlo parzialmente. Indagini ultrastrutturali hanno rivelato la presenza di vescicole secretorie elettrondense, in prossimità di un ampio spazio ricoperto da microvilli, attraverso il quale la secrezione raggiunge il canale di uscita della ghiandola. Si è ipotizzato che la secrezione rilasciata da queste ghiandole sia coinvolta nel riconoscimento dell'ospite, dissolvendo il cairomone di contatto presente sulle uova (Bin *et al*., 1989; Isidoro *et al*., 1996).

Conclusioni

Le strutture antennali degli ooparassitoidi sono estremamente importanti per il ruolo che rivestono in diversi aspetti del comportamento riproduttivo e di ricerca dell'ospite. Oltre ai pochi studi elencati in questo lavoro, le strutture antennali degli ooparassitoidi hanno ricevuto finora poca attenzione. Questa situazione ha portato ad interpretazioni errate sugli aspetti funzionali dei sensilli, nonché all'utilizzo di nuovi nomi per definire lo stesso tipo di sensillo. Indagini effettuate al TEM potrebbero essere necessarie nel rivelare le caratteristiche funzionali di strutture ancora sconosciute e la scoperta di ghiandole antennali, a tal proposito, ne è un ottimo esempio. Finora, considerando solo gli ooparassitoidi, le ghiandole antennali sono state descritte in specie appartenenti alla superfamiglia Platygastroidea, ma riteniamo che questa caratteristica biologica potrebbe essere molto più diffusa. Sviluppi futuri nella ricerca potrebbero essere concentrati sui seguenti argomenti: (i) caratterizzazione ultrastrutturale di strutture sensoriali antennali, in modo particolare in quei gruppi dove esistono poche informazioni; (ii) ulteriori ricerche sulla presenza di ghiandole antennali (sia su maschi che su femmine); (iii) lo sviluppo di protocolli specifici di fisiologia sensoriale, messi a punto per registrare le attività dei sensilli. Le risposte a questi punti saranno le basi per una migliore comprensione di molti aspetti biologici dei processi di selezione dell'ospite e del riconoscimento sessuale negli ooparassitoidi. Questi dati, infine, potrebbero essere di grande aiuto per migliorare l'uso degli ooparassitoidi nelle strategie di difesa integrata negli agroecosistemi.

BIBLIOGRAFIA

Altner H., 1977 – *Insect sensillum specificity and structure: an approach to a new typology*. - Olfaction Taste, 6: 295–303.

Altner H., Loftus R., 1985 – *Ultrastructure and function of insect thermo- and hygroreceptors*. - Annu. Rev. Entomol., 30: 273-295.

Altner H., Prillinger L., 1980 – *Ultrastructure of invertebrate chemo-, thermo- and hygroreceptors and its functional significance*. - Int. Rev. Cytol. 6: 69-139.

Altner H., Sass H., Altner I., 1977 – *Relationship*

between structure and function of antennal chemoreceptive, hygroreceptive, and thermoreceptive sensilla in Periplaneta americana. - Cell. Tissue Res., 176: 389-405.

ALTNER H., ROUTIL C., LOFTUS R., 1981 – *The structure of bimodal chemoreceptive, thermoreceptive, and hygroreceptive sensilla on the antenna of* Locusta migratoria. – Cell. Tissue Res., 215: 289-308.

AMORNSAK W., CRIBB B., GORDH G., 1998 – *External morphology of antennal sensilla of* Trichogramma australicum *Girault (Hymenoptera: Trichogrammatidae).* – Int. J. Insect Morphol. Embryol., 27: 67-82.

BILLEN J., MORGAN E.D., 1998 – *Pheromone communication in social insects: sources and secretions*. In: van der Meer RK, Breed MD, Espelie KE, Winston ML (eds) Pheromone communication in social insects: ants, wasps, bees and termites. - Westview Press, Boulder, pp. 3-33.

BIN F., 1981 – *Definition of female antennal clava based on its plate sensilla in Hymenoptera Scelionidae Telenominae.* – Redia, 64: 245–261.

BIN F., VINSON S.B., 1986 – *Morphology of the antennal sex-gland in male* Trissolcus basalis *(Woll) (Hymenoptera: Scelionidae), an egg parasitoid of the green stink bug,* Nezara viridula *(Hemiptera: Pentatomidae).* - Int. J. Insect Morphol. Embryol., 15:129–138.

BIN F., COLAZZA S., ISIDORO N., SOLINAS M., VINSON S.B., 1989 – *Antennal chemosensilla and glands, and their possible meaning in the reproductive behaviour of* Trissolcus basalis *(Woll.) (Hym.: Scelionidae).* - Entomologica, 24: 33-97.

BIN F., ROMANI R., ISIDORO N., 1999A – *Antennal structures of Hymenoptera: sensilla or glands?* - Atti Accad. Naz. Ital. Entomol. Rend., XLVII: 251-263.

BIN F., WAECKERS F.L., ROMANI R., ISIDORO N., 1999b –*Tyloids are release structures of male antennal glands involved in courtship behaviour (Hymenoptera: Ichneumonidae).* – Int. J. Insect Morphol. Embryol., 28: 61-68.

CAVE R.D., GAYLOR M.J., 1987 – *Antennal sensilla of male and female* Telenomus reynoldsi *Gordh and Coker (Hymenoptera: Scelionidae).* - Int. J. Insect Morphol. Embryol., 16: 27-39.

DIEHL P.A., VLIMANT M. GUERENSTEIN P., GUERIN P.M., 2003 – *Ultrastructure and receptor cell responses of the antennal grooved peg sensilla of* Triatoma infestans *(Hemiptera: Reduviidae).* - Arthropod Struct. Dev., 31: 271-285.

DICKENS J.C., CALLAHAN F.E., WERGIN W.P., ERBE E.F., 1995 – *Olfaction in a hemimetabolous insect: antennal-specific protein in adult* Lygus lineolaris *(Heteroptera: Miridae).* - J. Insect Physiol., 41: 857-867.

GAFFAL K.P., TICHY H., THEISS J., SEELINGER G., 1975 – *Structural polarities in mechanosensitive sensilla and their influence on stimulus transmission (Arthropoda).* - Zoomorphologie, 82: 79-103.

GNATZY W., TAUTZ J., 1980 – *Ultrastructure and mechanical properties of an insect mechanoreceptor: Stimulus-transmitting structures and sensory apparatus of the cercal filiform hairs of* Gryllus. - Cell. Tissue Res., 213: 441-463.

GNATZY W., GRÜNERT U., BENDER M., 1987 – *Campaniform sensilla of* Calliphora vicina *(Insecta, Diptera). I. Topography*. - Zoomorphology, 106: 312-319.

GOETTLER W., KALTENPOTH M., HERZNER G., STROHM E., 2007 – *Morphology and ultrastructure of a bacteria cultivation organ: the antennal glands of female European beewolves,* Philanthus triangulum *(Hymenoptera, Crabronidae).* - Arthropod Struct. Dev., 36:1-9.

GRÜNERT U., GNATZY W., 1987 – *Campaniform sensilla of* Calliphora vicina *(Insecta, Diptera). II. Typology.* - Zoomorphology, 106: 320-328.

HUNGER T., STEINBRECHT R.A., 1998 – *Functional morphology of a double-walled multiporous olfactory sensillum: the sensillum coeloconicum of* Bombyx mori *(Insecta, Lepidoptera).* - Tissue Cell., 30: 14-29.

ISIDORO N., 1992 – *Fine structure of the sensillum coeloconicum in* Trissolcus basalis *(Woll.) (Hymenoptera, Scelionidae) antennae*. - Redia, 75: 169-178.

ISIDORO N., BIN F., COLAZZA S., VINSON S.B., 1996 – *Morphology of antennal gustatory sensilla and glands in some parasitoid Hymenoptera with hypothesis on their role in sex and host recognition*. - J. Hymenopt. Res., 5: 206-239.

ISIDORO N., ROMANI R., VELASQUEZ D., RENTHAL R., BIN F., VINSON S.B., 2000 – *Antennal glands in queen and worker of the fire ant,* Solenopsis invicta *Buren: first report in female social Aculeata (Hymenoptera, Formicidae)*. - Insectes Soc., 47: 236–240.

ISIDORO N., ROMANI R., BIN F., 2001 – *Antennal multiporous sensilla: their gustatory features for host recognition in female parasitic wasps (Insecta, Hymenoptera: Platygastroidea)*. - Microrsc. Res. Tech., 55: 350-358.

KALTENPOTH M., GÖTTLER W., HERZNER G., STROHM E., 2005 – *Symbiotic bacteria protect wasp larvae from fungal infestation*. - Curr. Biol., 15: 475-479.

KEIL T.A., 1982 – *Contacts of pore tubules and sensory dendrites in antennal chemosensilla of a silkmoth: demonstration of a possible pathway for olfactory molecules.* - Tissue Cell., 14: 451-462.

KEIL T.A., 1997 – *Functional morphology of insect mechanoreceptors*. – Microsc. Res. Tech., 39: 506-531.

KEIL T.A., 1999 – *Morphology and development of the peripheral olfactory organs.* In: Hansson BS (ed) Insect olfaction. Springer, Berlin, pp. 5-47.

KLEIN U., 1987 – *Sensillum-lymph proteins from antennal olfactory hairs of the moth* Antheraea polyphemus *(Saturniidae).* - Insect Biochem., 8: 1193-1204.

LACHER V., 1964 – *Elektrophysiologische Untersuchungen an einzelnen Rezeptoren für Geruch, Kohlendioxyd, Luftfeuchtigkeit und Temperatur auf den Antennen der Arbeitsbiene und der Drohne (*Apis mellifera *L.).* - Z. Vgl. Physiol., 48: 587-623.

LOCKE M., 1965 – *Permeability of insect cuticle to water and lipids.* - Science, 147: 295-298.

MCIVER S.B., 1985 – *Mechanoreception*. In: Kerkut GA, Gilbert LI (eds) Comprehensive insect physiology, biochemistry, and pharmacology, vol 6. Pergamon, Oxford, pp. 71-132.

MCKENNA M.K., HEKMAT-SCAFE D.S., GAINES P., CARLSON J.R., 1994 – *Putative* Drosophila *pheromonebinding proteins expressed in a subregion of the olfactory system*. - J. Biol. Chem., 23: 16340-16347.

MORAN D.T., CHAPMAN K.M., ELLIS R.A., 1971 – *The fine structure of cockroach campaniform sensilla.* - J. Cell. Biol., 48: 155-173.

NOIROT C., QUENNEDEY A., 1974 – *Fine structure of insect epidermal glands*. - Annu. Rev. Entomol., 19: 61-80.

PAESEN G.C., HAPP D.M., 1995 – *The beta proteins secreted by the tubular accessory sex glands of the male mealworm beetle,* Tenebrio molitor, *have sequence*

similarity to moth pheromone-binding proteins. - Insect Biochem. Mol. Biol., 25: 401-408.

POPHOF B., 1997 – *Olfactory responses recorded from sensilla coeloconica of the silkmoth* Bombyx mori. - Physiol. Entomol., 22: 239-248.

POPHOF B., STANGE G., ABRELL L., 2005 – *Volatile organic compounds as signals in a plant-herbivore system: Electrophysiological responses in olfactory sensilla of the moth* Cactoblastis cactorum. - Chem. Senses., 30: 51-68.

PRINGLE J.W.S., 1961 – *Proprioception in arthropods*. In: Ramsay JA,Wigglesworth VB (eds) The cell and the organism. Cambridge University Press, Cambridge, pp: 256-282.

QUENNEDEY A., 1998 – *Insect epidermal gland cells: ultrastructure and morphogenesis*. In: Harrison FW, Locke M (eds) Microscopic Anatomy of invertebrates, vol 11A: Insecta. Wiley Liss, New York, pp: 177-207.

ROMANI R., ISIDORO N., RIOLO P., BIN F., 2003 – *Antennal glands in male bees: structures for sexual communication by pheromones?* - Apidologie, 34: 603-610.

ROMANI R., ISIDORO N., RIOLO P., BIN F., FORTUNATO A., TURILLAZZI S., BEANI L., 2005 - *A new role for antennation in paper wasps (Hymenoptera: Vespidae): antennal courtship and sex dimorphic glands in antennomeres.* - Insectes Soc., 52: 96-102.

ROMANI R., GRASSO D.A., MORI A., ISIDORO N., LE MOLI F., 2006 – *Antennal glands of the slave-making ant* Polyergus rufescens *and its slave species* Formica cunicularia *(Hymenoptera, Formicidae)*. - Can. J. Zool., 84: 490-494.

ROMANI R., ROSI M.C., ISIDORO N., BIN F., 2008 – *The role of the antennae during courtship behavior in the parasitic wasps* Trichopria drosophilae. - J. Exp. Biol., 211: 2486-2491.

SCHNEIDER D., 1964 – *Insect antennae*. - Annu. Rev. Entomol., 9:103-122.

STEINBRECHT R.A., 1997 – *Pore structures in insect olfactory sensilla: a review of data and concepts*. - Int. J. Insect Morphol. Embryol., 26: 229-245.

STEINBRECHT R.A., MÜLLER B., 1971 – *On the stimulus conducting structures in insect olfactory receptors.* - Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat., 117: 570-575.

THURM U., 1964 – *Mechanoreceptors in the cuticle of the honeybee: fine structure and stimulus mechanism.* – Science, 145: 1063-1065.

THURM U., 1983 – *Mechano-electric transduction*. In: Hoppe W, Lohmann W, Markl H, Ziegler H (eds) Biophysics. Springer, Berlin, pp: 666-671.

TICHY H., 1979 – *Hygro-receptive and thermo-receptive triad in antennal sensillum of the stick insect,* Carausius morosus. - J. Comp. Physiol., 132: 149-152.

TUCCINI A.R., MAIDA P., ROVERO M., MAZZA M., PELOSI P., 1996 – *Putative odorant binding protein in antennae and legs of* Carausius morosus. - Insect Biochem. Mol. Biol., 26: 19-24.

VOGT R.D., RIDDIFORD L.M., 1981 – *Pheromone binding and inactivation by moth antennae*. - Nature, 293: 161-163.

VOGT R.G., RYBCZYNSKI R., LERNER M.R., 1990 – *The biochemistry of odorant reception and transduction*. In: Schild D (ed) Chemosensory information processing, NATO ASI Ser. H, vol 39. Springer, New York, pp: 33-76.

WALDOW U., 1970 – *Electrophysiological investigations of moist, dry and cold receptors on antenna of migratory locus*t. - Z. Vgl. Physiol., 69: 249-283.

YOKOHARI F., 1983 – *The coelocapitular sensillum, an antennal hygroreceptive and thermoreceptive sensillum of the honey bee,* Apis mellifera. - Cell. Tissue Res., 233: 355-365.

ZACHARUK R.Y., 1985 – *Antennae and sensilla*. In: Kerkut GA, Gilbert LI (eds) Comprehensive insect physiology, biochemistry, and pharmacology, vol 6. Pergamon, Oxford, pp: 1-69.

Ziegelberger G., 1995 - *Redox-shift of the pheromone-binding protein in the silkmoth* Antheraea polyphemus. – Eur. J. Biochem., 232: 706-711.

ZILL S.N., MORAN D.T., 1981 – *The exoskeleton and insect proprioception. I. Responses of tibial campaniform sensilla to external and muscles-generated forces in the American cockroach,* Periplaneta americana. - J. Exp. Biol., 91: 1-24.

Seduta pubblica, Firenze 16 gennaio 2015

Tavola Rotonda su:

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE

Coordinatori:
Stefano Turillazzi e Barbara Giordana, Accademici

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 53-55

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE
Introduzione alla Tavola Rotonda

STEFANO TURILLAZZI (*) - BARBARA GIORDANA (**)

(*) *Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Firenze*
(**) *Università di Milano*
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Gli Insetti come alimenti: oltre l'originalità e la moda

La pratica di cibarsi di insetti ha recentemente destato un certo interesse nel grande pubblico. A questo hanno contribuito vari episodi riportati dai media, un numero sempre più consistente di iniziative volte a far conoscere questo tipo di alimento e la pubblicizzazione di proposte imprenditoriali provenienti da alcuni paesi della comunità europea che, in certi casi, coinvolgevano anche cuochi famosi, con dovizia di immagini più o meno allettanti.

Il fenomeno rischia però di apparire come un'originalità e una moda, destinate a scomparire entro breve tempo.

Gli Insetti e le loro potenzialità per l'alimentazione umana

Gli insetti sono una classe di animali appartenente al raggruppamento degli Artropodi, molto vicini, dal punto di vista filogenetico, ai Crostacei. Questa classe rappresenta il più grande tra i raggruppamenti di viventi che popolano il nostro pianeta, annoverando circa un milione di specie descritte, pari ai cinque sesti dell'intero regno animale. Se solo pensiamo che un quarto delle specie conosciute sono costituite da Coleotteri capiamo che il nostro mondo è popolato per la maggior parte d'insetti.

Non conosciamo però tutte le specie di insetti e molte specie (alcune stime le fanno aggirare sui 4-5 milioni), principalmente a causa della deforestazione operata dall'uomo, si estinguono ancor prima di essere scoperte. Gli insetti non solo presentano una grande biodiversità ma anche dal punto di vista della biomassa totale superano in grandezza quella degli animali vertebrati, soprattutto nelle regioni tropicali, e si trovano implicati in tutte le catene alimentari terrestri. Essi rappresentano una cospicua parte dell'alimentazione di molti animali che vengono utilizzati dall'uomo, e dell'uomo stesso, come è riportato da approfondimenti condotti dalla FAO in vari paesi emergenti e del terzo mondo.

Gli insetti sono molto comuni perché molto adattabili. Occupano tutti gli ambienti terrestri, vari ambienti d'acqua dolce e l'ambiente aereo; inoltre si adattano a tutte le temperature, da quelle dei poli a quelle dell'Equatore. Mangiano di tutto, dai funghi alla carne, dai detriti al legno, dalla stoffa alle piante. Le loro piccole dimensioni (da 0,2 a 120 mm), limitate da un efficiente sistema respiratorio, hanno determinato altri fattori di successo come l'occupazione di nicchie ecologiche circoscritte, il fabbisogno ridotto di cibo per ciascun individuo e la possibilità di costituire popolazioni numerose in piccoli habitat.

Il rivestimento esterno del corpo, una sorta di guscio rigido ricoperto di sostanze cerose chiamato esoscheletro, costituisce il più importante fattore di successo perché protegge dai danni meccanici limitando la perdita dei liquidi interni e rende gli insetti anche in grado di colonizzare ambienti molto aridi. Il "guscio" ostacola però l'accrescimento rendendo quindi necessario un periodico processo di sostituzione (la muta) che in certi casi culmina con una completa metamorfosi del corpo (ad esempio dal bruco-larva all'insetto maturo). Questo handicap, però, ha permesso a stadi di sviluppo diverso (giovani ed adulti) di occupare nicchie ecologiche separate non entrando in competizione tra loro.

Un altro fattore di successo degli insetti è il volo

– Pubblicato marzo 2016

perché permette di disperdersi, di sfuggire ai predatori terrestri e di cercare più velocemente il cibo e i compagni con cui accoppiarsi.

Fin dai tempi antichi la storia dell'uomo è collegata agli insetti sia nel bene che nel male. Essi competono con noi per le risorse alimentari (un esempio sono gli sciami di locuste che hanno causato varie carestie riportate nella Bibbia e nel Corano) e sono spesso vettori di malattie ed epidemie. La peste nera, causata da un batterio che è trasmesso all'uomo dalla pulce dei ratti, nel 14esimo secolo uccise un terzo della popolazione europea; mentre la malaria, trasmessa dalla zanzara *Anopheles*, oggi minaccia oltre il 40% della popolazione mondiale, soprattutto quella residente nei paesi tropicali.

Gli insetti però possono essere anche utili per l'uomo. Il rapporto più antico è quello con l'ape, di cui si trovano testimonianze nelle pitture rupestri risalenti al tardo paleolitico (ca. 15000 anni fa) ritrovate presso la *Cueva de la Araña* (Valencia; Spagna). La presenza dell'ape è anche testimoniata in molte civiltà antiche, quali ad esempio i Sumeri e gli Egizi. Un altro insetto che ha segnato la storia dell'uomo è il baco da seta (*Bombyx mori*) il cui allevamento è nato in Cina tra il 2500 e il 3000 a.C. Degli insetti noi utilizziamo alcuni prodotti: sono molto conosciuti quelli dell'ape, forse meno quelli della cocciniglia (*Dactylopius coccus*) (utilizzata come colorante rosso nel Campari, nel *sushimi* ect).

Secondo uno studio della FAO, realizzato in collaborazione con l'Università di Wageningen nei Paesi Bassi, nel mondo sono già oltre 1900 le specie di insetti di cui si cibano gli esseri umani. A livello globale, gli insetti più consumati sono: i Coleotteri (31%); i bruchi di farfalle (18%); api, vespe e formiche (14%); cavallette, locuste e grilli (13%).

In paesi come il Messico, varie nazioni del Centro Africa e del Sud Est Asiatico più di 300 specie sono incluse come cibo comune. In Sud Africa vengono usati molto i bruchi di farfalle (*Imbrasia belina*) detti bruchi del Mopane (alberi particolari caratteristici del sud dell'Africa) che sono cucinati in vari modi anche dopo essere stati essiccati. Un altro insetto che è molto impiegato come cibo, o meglio le sue larve che sono molto grosse, è il Punteruolo della palma, un coleottero che attacca le palme mangiandone l'interno (Sud Est Asiatico, Africa, America Latina, presente ora anche in Italia). Anche le cicale, le termiti, le cimici acquatiche e le cavallette (chiamate anche gamberetti di terra) vengono utilizzate nell'alimentazione umana. Si mangiano anche le api sia nello stadio di larve e pupe sia come adulti, avendo l'accortezza di togliere il pungiglione. Altri insetti molto utilizzati sono i coleotteri della farina. Non tutti sanno, poi, che in Sardegna esiste un formaggio particolare (*casumarzu*) che viene lasciato colonizzare dalle larve di una mosca (*Piophilia casei*).

Il consumo degli insetti per l'alimentazione umana e animale è ora vivamente incoraggiato dalla FAO, che ha promosso vari convegni sul tema e che stimola la ricerca dal punto di vista della regolamentazione delle leggi per l'allevamento e la consumazione a livello nazionale e internazionale. Nella prospettiva di una richiesta sempre maggiore di nuove fonti di cibo per sostenere la crescita della popolazione mondiale nei prossimi decenni, gli insetti possono quindi rappresentare una risposta adeguata sia come fonte di proteine animali per l'allevamento del bestiame, sia come alimentazione umana diretta, più facilmente accettabile da numerose popolazioni di paesi in via di sviluppo. La necessità di allevare su larga scala le specie di insetti più idonee a garantire un cibo sano, può inoltre favorire lo sviluppo di iniziative imprenditoriali di vario tipo ed è una proposta che acquista un'importanza particolare soprattutto nell'anno della grande esposizione milanese sull'alimentazione.

Da cosa nasce questo incontro?

I Presidenti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia e della Società Entomologica Italiana, su nostra sollecitazione, hanno caldeggiato lo svolgimento di questo convegno. Queste due associazioni volte allo studio degli insetti, rappresentano infatti i riferimenti naturali a livello nazionale per indirizzare le ricerche scientifiche e gli approfondimenti indispensabili sulle numerose problematiche presentate da questo nuovo tipo di alimentazione e per sollecitare a livello politico la definizione di norme dirette alla regolamentazione delle iniziative imprenditoriali nella sicurezza sanitaria.

L'alimentazione basata sugli insetti utilizzati sia come mangime che come cibo implica il confronto e la risoluzione di problematiche di vario tipo (nutrizionali, sanitarie, legali, ecologiche ed economiche) che saranno prese in esame dai relatori dell'incontro.

Paul Vantomme, senior officer della FAO, sottolineerà l'urgenza di aumentare la produzione di cibo in modo sostenibile, cambiando drasticamente l'attuale sistema di produzione di proteine animali basato sull'allevamento industriale di bestiame, e ci mostrerà come gli insetti possono essere un'ottima fonte alimentare alternativa

sotto vari aspetti. Antonia Ricci, dell'Istituto Zooprofilattico delle Venezie di Padova, ci parlerà del complesso problema della sicurezza alimentare e degli aspetti normativi, che differiscono in modo significativo tra i vari paesi della comunità europea. Dopo una breve discussione, Roberto Valvassori dell'Università dell'Insubria, parlerà di alcune iniziative imprenditoriali che stanno cominciando a nascere nel nostro paese. Mario Colombo dell'Università di Milano e Silvia Cappellozza dell'Unità di ricerca di apicoltura e bachicoltura CRA-API di Padova tratteranno invece delle problematiche e delle prospettive legate all'allevamento anche su larga scala degli insetti. Con Morena Casartelli dell'Università di Milano verrà affrontato il tema degli insetti come biotrasformatori e della loro successiva utilizzazione nella produzione di mangimi. Infine, Annamaria Fausto dell'Università della Tuscia ci parlerà dei benefici e dei costi ambientali legati alla produzione massiva di insetti.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 57-63

FARMING INSECTS AS A VIABLE AND GLOBAL SOURCE OF ANIMAL PROTEINS

PAUL VANTOMME (*)

(*) *Senior Officer, FAO; viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italy;* e-mail: Paul Vantomme@fao.org
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su " Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Farming insects as a viable and global source of animal proteins

The promotion of insects as food for humans and as feed for livestock is being recognized now by a wide range of organizations, academics, private sector, the media and even by the Food and Agriculture Organization of the United Nations. This paper reviews some of the underlying forces in our global food security that are explaining the currently increasing acceptance in the western world of using insects as food and animal feed. Global food production will not be able to increase further if no radical new technological innovations in our food production systems are introduced as evidenced by some earlier made food production forecasts, such as the Report from the Club of Rome from 1972.

Global food production was estimated in 2012 at 8.4 billion tons. However, food also needs to be produced for approximately 1 billion pet animals as well as for the close to 100 billion farmed animals. To feed the world in 2014 required to dedicate 40% of world ice-free land surface to agriculture. 70% of total agriculture land use is for feeding our livestock, and some 30% of all grains produced are fed to farm animals. Agriculture consumed during 2014 some 70% of total fresh water use and is responsible for 14 to 17% of total GHG emissions.

A crucial factor for achieving global food security is the need to produce more animal proteins for a growing and wealthier population more efficiently and with a lower environmental impact than the present industrial scale animal farming systems. Farming insects on organic waste offers so far one of the most promising alternatives for animal protein sources.

Integrating edible insects as healthy food into the agenda and campaigns of food agencies will require a more comprehensive understanding on the nutritional and health values of more insect species. Further investigation is needed particularly of impacts on consumer's health, food safety, environmental impacts and risk assessments of using insects in the food chain. National and international poverty alleviation agencies and aid programs need to be made aware that gathering and farming insects is a viable option to help people improve their livelihoods. Legislators and policy makers are called on to deliberate and include insects as feed and food into existing national policy and legal frameworks covering the food, health and feed sectors.

KEY-WORDS: insects, food security, protein, poverty alleviation, feed, legislation

1. SETTING THE CONTEXT FOR ENTOMOPHAGY: WHY ARE WE REVISITING IT NOW?

In 1885 British entomologist V.M. Holt published his booklet, *Why not eat Insects* to promote insects as food, and he received mainly laughter in response. Today, promoting insects as food for humans and for our animals alike is being endorsed by a wide range of organizations, academics, private sector, the media and even by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2013c). So what has changed during the past 130 years in our food producing systems and what are the underlying forces leading to the now successful backing of the use of insects as food and animal feed?

Global context and drivers in our food and animal feed supply.

a) Previous forecasts on food production

Since millennia people have struggled with the challenge to produce enough food, be it at a local level for family survival, at the level of a county and since some decades now at the global level. Even the emperors of antique Rome knew all too well that when the food supply for the city was endangered, their job was at risk through popular upheaval. Recently, in the Near East during 2010-2012, food shortages and sharp price increases of bread for example caused serious civil unrest toppling even governments like in Egypt or in Tunisia.

An interesting forecast on the outlook of the global food availability was published in 1798 by Thomas Robert Malthus, with the title "*An Essay on the Principle of Population*". His summary statement was that "*the power of population growth is indefinitely greater than the power in the earth to produce subsistence for man*". At that time, world population was estimated to be around 1 billion.

In 1972, the CLUB OF ROME published its

– Pubblicato marzo 2016

famous report "*The limits to Growth*". Their forecast was that per capita food production of the world would reach its maximum around 2010 to decline sharply after (see Fig. 1). Total world population in 1972 was around 4 billion.

When looking today at the forecasts from this report as shown in Fig. 1, several of them turned out quite differently than projected. It is remarkable, however, that the prediction of the "*food per capita*" indicator would peak around 2010 and sharply decline afterwards. This can be explained that global food production will not be able to increase if no radical new technological innovations in our food production systems are introduced.

b) Feeding the world in 2014

World population at the end of 2014 was estimated at some 7.2 billion people. Global food production was estimated by FAO at 8.4 billion tons in 2012. For example average capita availability for animal proteins like meat and fish was respectively 42 kg of meat and close to 20 Kg of fish (aqua products). However, food also needs to be produced for approximately 1 billion pet animals as well as for the close to 100 billion farmed animals! During 2014 some 20 billion chickens, 1.5 billion each for cattle and pigs, 1.2 billion ducks, 1.1 billion sheep, 1 b. goats, 0,8 b. rabbits were raised and fed. In addition an innumerable number of fish, shrimps, mollusks, and other aquatic animals were farmed to produce an estimated 70 million tons of aquaculture food products.

Total feed production was estimated at some 6.4 billion tons dry matter (by the FAO Global livestock environmental assessment model, GLEAM, 2014). To feed the world in 2014 required to dedicate 40% of world ice-free land surface to agriculture (the remaining consists of: 30% forests; 25% deserts and mountains; and the rest of wetlands and urban areas). 70% of total agriculture land use is for feeding our livestock, and some 30% of all grains produced are fed to farm animals, with up to 50% for corn and up to 80% for soy. Agriculture consumed during 2014 some 70% of total fresh water use, dispersed in nature some 110 million tons of chemical fertilizer and 2.3 million tons of pesticides and is responsible for the production of 14 to 17% of total GHG emissions (pending the source).

While population doubled during the last 50 years, global agriculture output **tripled** with only 12% increase in farmed area. However, our use of fresh water is growing **twice** as fast as global population growth, and food losses and waste are estimated at 1.3 billion tons/year. Net food availability per capita stands now at approximately 1 ton/ person/ year.

c) The animal protein crunch

Per capita consumption of animal based products is spurred by population growth and by the increase of per capita income of a growing part

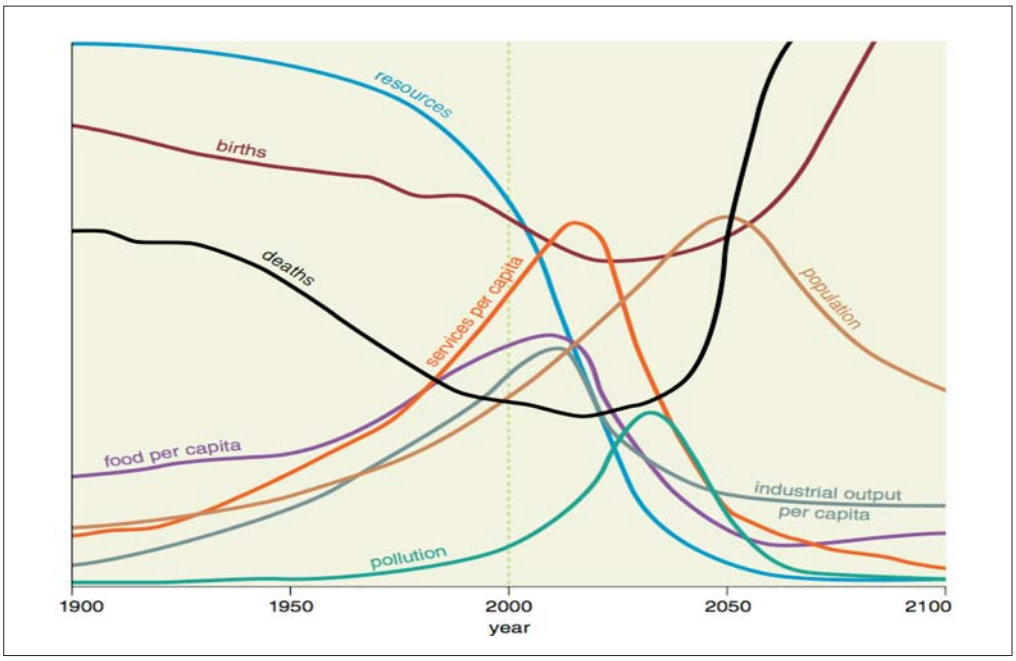


Fig. 1 – Forecasted global trends of key indicators. Taken from "*The limits to Growth*", published by the Club of Rome (1972).

of the world's inhabitants. Per capita consumption of major food items in developing countries (1961-2005) shows the highest increases for eggs, meat and milk, while the consumption of carbohydrates like cereals or roots and tubers is stable or even declining (see Fig. 2).

A crucial factor for achieving global food security is the need to produce more animal proteins for a growing and wealthier population (DREW *et al.,* 2011). In addition, more proteins will be needed to feed the growing number of farmed animals worldwide. Aquaculture and Poultry are by now the fastest growing livestock sectors with an annual growth of 7% over the last decades (see Fig. 3). Not only have chickens and fish much higher feed conversion factors as compared with pork or cattle, they also do grow faster! For example it takes now 12 weeks to fatten chickens as compared with 6 and 18 months for pigs and cows.

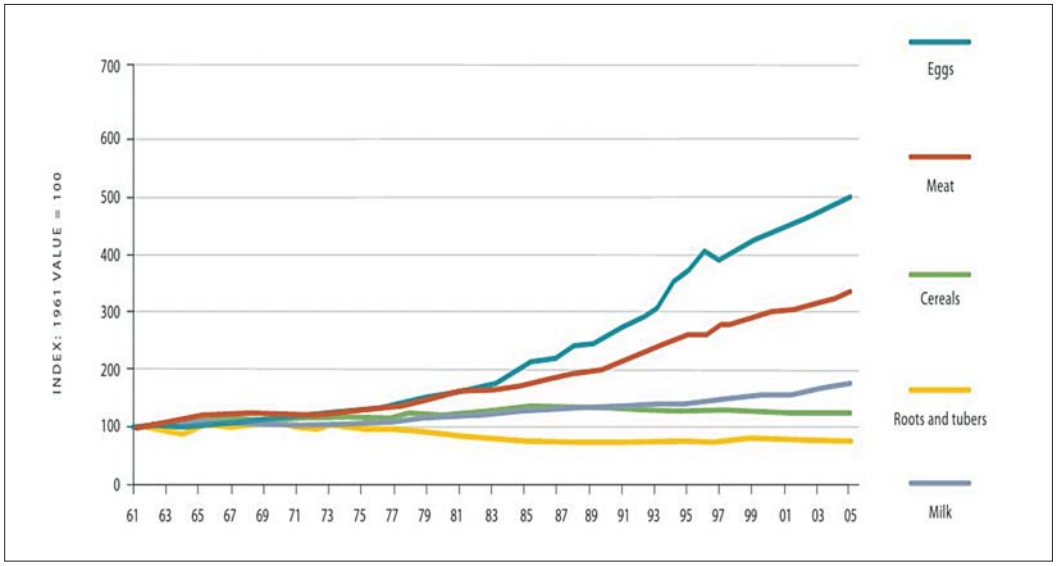


Fig. 2 – Per capita consumption of major food items in developing countries (1961-2005). Source FAOSTAT.

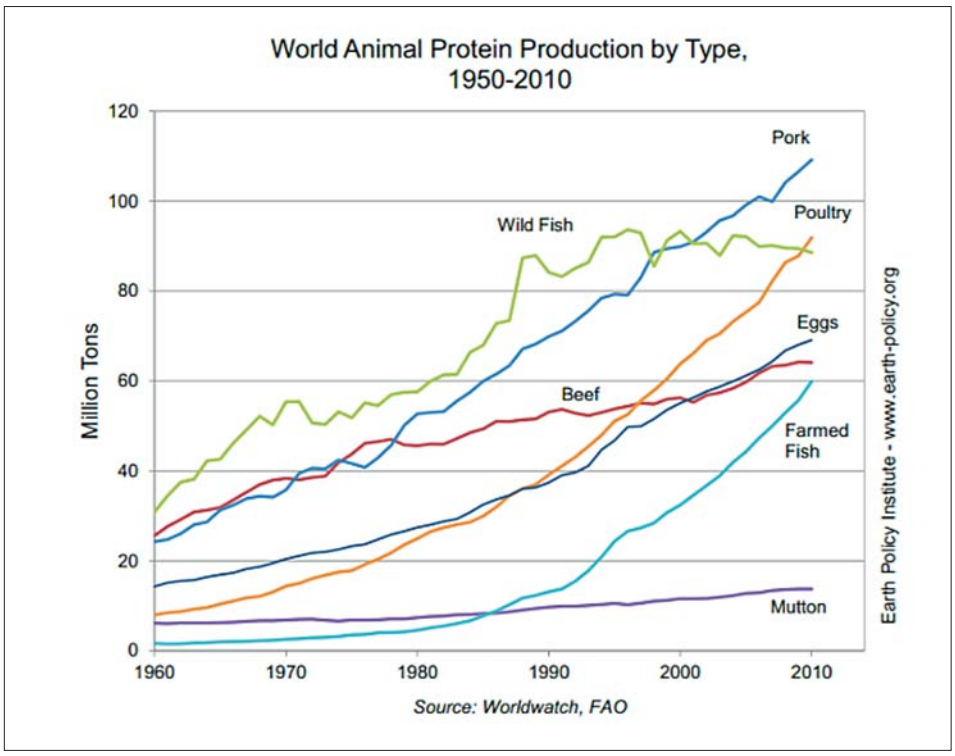


Fig. 3 – World animal protein production by type, 1960-2010.

A major challenge to safeguard future food security at the global level will be to produce more animal protein more efficiently and with a lower environmental impact than the present industrial scale animal farming systems.

Feeding our farmed animals during the year 2013, particularly those in intensive rearing systems, required some 795 million tonnes of cereals for use in compound feeds (IFIF,2014). This corresponds to almost 1/3 of global cereal production. By diverting such huge quantities of cereals for animal feed (mainly corn or soy but also wheat and barley), less is consequently available as food for humans. FAO predicts that by the year 2050 an additional 520 million tonnes of cereal production would be required to feed our animals; and which would correspond to almost half of the world's cereal production. In 2013 the monogastric sector (chickens, pigs, aquaculture) consumed 155 million tonnes of feed protein (mainly soy). By 2050, an additional 110 million tonnes of feed protein (50% from cereals/soy and rest from other protein sources) would be needed. Important to note that in 2013 some 110 million tonnes of course grains were used for the production of bioethanol and bio plastics resulting in a fierce competition for the use of course grains for food, feed and/or energy/bio materials.

2. Protein alternatives and why insects

By 2050, the key challenge will be to produce enough proteins to feed humans as well as livestock, and particularly to cope with the expected surge in demand for animal-derived proteins. In addition to improve the efficiency in production and use of the traditional vegetative protein sources (such as soy, beans, wheat germs,…) as well as further improving our existing livestock systems, a wide range of alternative protein sources is being investigated and for some already unfolding (OECD-FAO, 2010). These "*alternative or new*" protein sources can be summarized as follows:

a) **Capture** more resources out of oceans: such as for example Medusae, jelly fish, krill, or other sea based organisms.
b) **Farming** the sea: growing macro algae in swallow waters, which is very common in South-East Asia. In addition to farming micro algae in capital, energy and technology intensive systems such as for Spirula.
c) **Artificial** proteins: for example artificial meat made from stem cells (120.000$/kg), synthetic amino acids (6$/kg)
d) Recovering more proteins out of **Agro-industry processing** by-products: such as mais gluten, brewers and distillers grains, yeast production,…
e) **Farming** less common plants rich in protein sources: such as oil seeds, legumes, forages, trees (for example Moringa, of which its leaves have a high protein content).

However, all these alternatives do in one way or another compete for land, water, fertilizers, and farm inputs with the traditional land-based protein sources, such as farming soy. Also, some of these alternatives, such as artificial proteins or even the farming of algae (particularly Spirula) can be very capital and technology intensive, and as such be out of reach for the poor. Nevertheless, some of these alternatives like growing macro-algae already do have market potential mainly at the regional level and for given food/feed niche markets.

Why insects?

Insects are an alternative and healthy food and feed source (Belluco *et al.*, 2013; Rumpold *et al.*, 2013) with a smaller environmental footprint then meat and insect rearing emits less greenhouse gases and ammonia compared to cattle and pig farming (Oonincx *et al.*, 2010) and requires less land (Oonincx and de Boer, 2012). Rearing insects can also be done on organic waste streams, and as such, huge quantities of grains and soybeans presently used as animal feed could be made available for direct human consumption. Insect rearing can be done not only in large-scale producing units, but also on a small scale in the backyard. Setting up small cricket-rearing units is possible for even a single person, as well as in urban areas and with little investment. Rearing insects can help the poor to grow additional food and earn money by selling off excess production to local markets, and as such insect farming is socially more inclusive than cattle, pig or chicken farming.

The very fact that insect rearing can address environmental, socio-economic, and health concerns simultaneously makes insect farming for food and feed production an attractive and very timely option in our search for a more sustainable global food supply. As the global population increases coupled with the demand for more protein (FAO, 2013b), the pressure on producing these proteins with shrinking resources is growing (Heinrich Böll Foundation, 2014). The search for alternative and sustainable animal protein sources is more acute now than ever, and insects are a major component in that search. While insects as food may seem like some new high in protein 'superfood' for a growing but still quite limited number of 'adventurous' consumers in the

West (FELLOWS, 2014), insects are and have always been part of the traditional diets of approximately 2 billion people worldwide (FAO, 2013a; VAN HUIS, 2013). Some 2000 species of insects are referred to in literature as used for food (JONGEMA, 2012). In addition, insects are already consumed indirectly, as trace amounts of unwanted matter which end up in the food we eat (FDA, 2011). Insects are also part of the 'natural' diets of some animals we farm, such as free roaming chickens, pigs, and carnivore fish. The majority of insects consumed in developing countries today are harvested in nature from wild populations (FAO, 2012). Farming can be an option to help conserve wild populations from overharvesting (YEN, 2009). In the developed countries up to some 10 species of insects are farmed, mainly for pet food. Recently, a part of the production of some of these species is sold as food for humans in countries such as Thailand, China, South Africa, the Netherlands, Belgium, USA, and France.

Insects have a Feed Conversion efficiency 4x higher than for cattle, and have a fast breeding cycle (from days to 1 month) that does not require the use of administrating antibiotics or other veterinary drugs so commonly applied in our intensive livestock production systems. Insect farming can be done anywhere in the world at all scales of production. It is a truly interdisciplinary activity, linking food-feed-health-waste disposal-climate change and has a huge global market potential.

3. THE ROLE OF THE FAO

What began in 2002 as a small effort in FAO's Forestry Department (VANTOMME *et al.*, 2004) to recognize traditional livelihood practices and sustainably managed habitats is unfolding into a broad based effort to look into the multiple dimensions of insect gathering and rearing. A growing body of evidence has made it increasingly apparent that insects offer unique opportunities to serve as important sources of food and feed – with minimal environmental costs – but also to contribute to alleviating malnutrition and poverty in rural and urban areas worldwide (DURST *et al.,* 2010; FAO, 2012; FAO, 2014; HALLORAN *et al.,* 2014; VAN HUIS, 2013). The continuous support and guidance that FAO can provide to this fast emerging sector would be crucial.

The FAO has the required multidisciplinary expertise and mandates in the following key disciplines for promoting edible insects (EI) at the global level: conservation of natural resources and forests, nutrition, animal husbandry, trade and market analyses, governance of legal and regulatory frameworks dealing with food and animal husbandry.

The world population is expected to increase to 9.3 billion by 2050 and most of the growth is in the developing countries, including those countries with entomophagy practices, which will further increase demand for insects. Urgent actions to preserve edible insect species in their natural habitat are needed. The FAO through its activities to promote more sustainable natural resources and forest management, as insects are frequently gathered in forests, is a key partner to help raising awareness on the contribution of EI to food security and better nutrition in its member countries through the following actions: elaborate nature conservation and forest management strategies that include managing edible insects' species, just as done for wildlife and birds; introduce socially equitable access rights for local EI gatherers; develop harvesting regulation levels and techniques; develop and publicize semi-cultivation techniques; improve shelf life (processing and conservation techniques) and provide support to enhance EI value chains in developing countries; and promote EI as part of more sustainable farming techniques and agricultural extension programmes.

FAO plays a key role in information exchange and awareness raising on food and agriculture related issues globally through its publications, work programmes, field projects and through its communication with the media. FAO as the UN agency for food and agriculture is highly respected and FAO messages are widely accepted in the press globally. In particular, FAO's communication facilities can be focused to further disseminate the following key message as to help advance consumer acceptability on EI in its member countries, i.e. that EI are a healthy food and good for diversification of diets.

FAO can assist its member countries by compiling and widely disseminating information on:

(a) Nutritional composition tables of more insect species and by promoting similar methodologies among countries on EI nutritional compositions easily comparable with other main protein sources such as fish, chicken, pig, beans and pulses.;
(b) Bio-availability of micronutrients: such as iron, zinc, and others, particularly because of the massive occurrence of these deficiencies in the tropics leading to stunted growth in children. This is very important in many developing

countries characterized by protein deficient diets and where for example mixing cassava meal with grinded insect powder could easily improve local diets;

(c) Processing insect (extracts) into re-composed foods: extraction of protein and by-products such as fats, chitin, minerals, vitamins into burgers, spreads, energy bars, etc.; and

(d) Support EI inclusive legal and regulatory frameworks, such as Novel Foods, Codex Alimentarious, Food safety standards and healthy food regulations. The FAO can help stakeholders through the identification and dissemination of best practices for farming insects, by supporting projects and research helping to reduce production costs as to make insect derived products competitive with the traditional animal protein sources such as chicken, fish or pig meat.

RIASSUNTO

ALLEVARE GLI INSETTI COME FONTE INNOVATIVA DI PROTEINE ANIMALI

La proposta di utilizzare gli insetti come cibo per l'uomo e come mangime per gli animali domestici è ormai accettata da una ampio numero di organizzazioni, di accademie, di settori di produzione privati, dai media e, infine, dalla Food and Agriculture Organization delle Nazioni Unite. Questo articolo presenta una rassegna delle principali motivazioni che stanno alla base del problema globale della sicurezza alimentare e che spiegano le ragioni del crescente consenso da parte del mondo occidentale sull'utilizzo degli insetti sia come cibo per l'uomo che come mangime per l'allevamento animale. La produzione globale di cibo, infatti, non può crescere ulteriormente se non viene introdotta una radicale innovazione tecnologica nell'attuale sistema di produzione di cibo, come già da tempo anticipato in alcune previsioni, quali quelle del Report del Club di Roma nel 1972.

La produzione globale di cibo nel 2012 è stata stimata a 8.4 miliardi di tonnellate. Peraltro, cibo deve essere prodotto anche per circa un miliardo di animali da compagnia e per quasi 100 miliardi di animali di allevamento. Nutrire il pianeta nel 2014 ha richiesto di utilizzare per l'agricoltura il 40% delle terre del globo libere da ghiaccio, e il 70% di queste sono state coltivate per nutrire gli animali in allevamento. Il 30% di tutto il grano prodotto è di fatto impiegato nell'allevamento animale. L'agricoltura, inoltre, ha consumato nel 2014 circa il 70% dell'acqua dolce disponibile ed è responsabile del 14 - 17% della produzione totale di gas serra.

Un fattore cruciale per il raggiungimento di una sicurezza alimentare globale è dato dalla necessità di produrre con più efficienza una quantità di proteine animali adeguata a sostenere una popolazione mondiale in crescita sana, con un impatto ambientale inferiore a quello dell'attuale produzione industriale di animali. La possibilità di allevare insetti sui rifiuti organici è attualmente l'alternativa più promettente per ottenere una nuova fonte di proteine animali.

L'introduzione degli insetti come cibo sicuro nell'agenda e nelle campagne promozionali delle agenzie per il cibo richiederà una più approfondita conoscenza del valore nutrizionale e della sicurezza alimentare di un maggior numero di specie di insetti commestibili. In particolare, sono necessarie maggiori conoscenze riguardo al loro effetto sulla salute del consumatore, sulla sicurezza alimentare, sull'impatto ambientale e una corretta valutazione del rischio nell'introduzione degli insetti nella catena alimentare. Le agenzie nazionali e internazionali coinvolte nella gestione della povertà e dei programmi di aiuto dovranno essere informate che la raccolta e l'allevamento degli insetti è un'opzione percorribile per il miglioramento del tenore di vita delle popolazioni. I legislatori e i decisori politici sono ora chiamati a prendere posizione e a includere gli insetti come cibo e mangime nelle politiche nazionali e nel contesto legale che riguarda il cibo, la salute e l'uso di mangimi per animali.

REFERENCES

Belluco S., Losasso C., Maggioletti M., Alonzi C.C., Paoletti M.G., Ricci, A., 2013 – *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review.* - Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety, vol.12, no. 3, pp. 296-313. DOI: 10.1111/1541-4337.12014

Club of Rome, 1972 – *The limits to Growth*. http://www.clubofrome.org/?p=326 [7 May 2015]

Drew J., Lorimer D., 2011 – *The Protein Crunch*. Print Matters Planet (Pty) Ltd, South Africa.

Durst P.B., Johnson D.V., Leslie R.N., Shono K. (Eds.), 2010 – *Forest insects as food: humans bite back.* Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development. 19- 21 February 2008, Chiang Mai, Thailand. Food and Agriculture Organization of the United Nations RAP Publication 2010/02. Available at: http://www.fao.org/docrep/012/i1380e/i1380e00.pdf.

FAO, 2014 – *Insects to feed the world.* Conference summary report. http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/86385/en/

FAO, 2013a – *The State of Food and Agriculture in the World: Food systems for better nutrition (SOFA 2013).* - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e.pdf> [7 May 2015]

FAO, 2013b – *The state of food insecurity in the world: the multiple dimensions of food security*. - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Available from: <http://www.fao.org/docrep/018/i3434e/i3434e00.htm> [7 May2015]

FAO, 2013c – *The contribution of insects to food security, livelihoods and the environment.* - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Available from: <http://www.fao.org/docrep/018/i3264e/i3264e00.pdf> [7 May 2015]

FAO, 2012 January – *Expert consultation meeting on "Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security"*. http://foris.fao.org/preview/31654-08b9c12f60eda84d122b1ad454c381bb4.pdf

FDA, 2011– *Defect Levels Handbook. Levels of natural or unavoidable defects in foods that present no health hazards for humans.* - Food and Drug Administration of the United States of America, Available from: <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/SanitationTransportation/ucm056174.htm> [7 May 2015]

Fellows P., 2014 – *Insect products for high-value Western markets*. Food Chain Vol. 4 No. 2, 119-128, June 2014.

Practical Action Publishing, UK. http://dx.doi.org/10.3362/2046-1887.2014.012

GLEAM, 2014 – at: http://www.slideshare.net/cgiarclimate/opio-global-livestock-enviro-assess-model-gleam-nov-12-2014 ([7 May 2015]

HALLORAN A., MUENKE C., VANTOMME P., VAN HUIS A., 2014 – *Insects in the human food chain: global status and opportunities*. Food Chain Vol. 4 No. 2, June 2014. Practical Action Publishing, UK. http://dx.doi.org/10.3362/2046-1887.2014.011

HEINRICH BÖLL FOUNDATION, 2014 – *Meat Atlas, Facts and figures about the animals we eat*. Berlin, Germany. Available from: <http://www.boell.de/sites/default/files/meatatlas2014_2.pdf> [7 May 2015]

IFIF, 2014, Annual Report 2013, at http://www.ifif.org/

JONGEMA Y., 2012 – *List of edible insect species of the world.* Wageningen, Laboratory of Entomology, Wageningen University. Accessed from: http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm/) [7 May 2015]

OECD-FAO, 2010 – Agricultural commodity markets outlook 2-11-2020. OECD publishing. Available from: http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/tradepol/worldmarkets/outlook/2011_2020_en.pdf [accessed 7 May 2015]

OONINCX D.G.A.B.., VAN ITTERBEECK J., HEETKAMP M.J.W., VAN DEN BRAND H., VAN LOON J.J.A., VAN HUIS A., 2010 – *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption.* - Plos One, vol. 5, no.12, DOI:10.1371/journal.pone.0014445

OONINCX D.G.A.B., DE BOER I.J.M., 2012 – *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment.* - PLoS ONE, *vol.* 7, no.12 DOI:10.1371/journal.pone.0051145

RUMPOLD B.A., SCHLÜTER O.K., 2013 – *Nutritional composition and safety aspects of edible insects.* - Molecular Nutrition and Food Research, vol. 57, no. 3, pp. 802-823. DOI: doi 10.1002/mnfr.201200735

VAN HUIS A., VAN ITTERBEECK J., KLUNDER H., MERTENS E., HALLORAN A., MUIR G., VANTOMME P., 2013 – *Edible insects: future prospects for food and feed security.* - FAO Forestry paper 171. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Available at: http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf.

VANTOMME P., GÖHLER D., N'DECKERE-ZIANGBA F., 2004 – *Contribution of Forest Insects to Food Security and Forest Conservation: The Example of Caterpillars in Central Africa.* - ODI Wildlife Policy Briefing, London: ODI.

YEN A.L., 2009 – *Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion.* - Journal of Insect Conservation, vol. 13, no. 6, pp. 667-670.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 65-72

IL CONSUMO DI INSETTI DAL PUNTO DI VISTA DELLA SICUREZZA ALIMENTARE: INQUADRAMENTO NORMATIVO E VALUTAZIONE DEI RISCHI

SIMONE BELLUCO (* - **) - ALBERTO MANTOVANI (***) - ANTONIA RICCI (*)

(*) *Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie. Viale dell'Università 10, 35020 Legnaro (PD).*
(**) *Dipartimento di Medicina Animale, Produzioni e Salute, Università degli Studi di Padova. Viale dell'Università, 35020 Legnaro (PD).*
(***) *Istituto Superiore di Sanità (ISS). Viale Regina Elena 299, 00161,* e-mail: aricci@izsvenezie.it
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Food safety aspects of edible insects: legislation and health

Edible insects represent a potential solution to the growing protein demand worldwide, as they are recognized as a nutritious and sustainable source of food. However, due to the scarcity of scientific evidences, their legal recognition as novel food in Europe encounters many obstacles. In particular, little attention has been posed to the risks deriving from human consumption. Edible species can harbor pathogenic bacteria and parasites, however specific data deriving from insect farming scenarios are needed to implement knowledge about biological hazards. Moreover appropriate processing techniques are required to guarantee consumer safety without impairing the nutritional content. Allergic reactions are described after insect consumption as they can cause cross reactions with known allergens like tropomyosin of crustaceans and house dust mite. Chemical hazards should not be overlooked as they represent a relevant concern especially in the absence of specific information. Important aspects like species selection, insect metabolism, bioaccumulation, potential treatments with antibiotics or other drugs should be studied and defined before claiming the safety of edible insects.

KEY WORDS: Entomophagy, risk, hazard, microbiology, toxicology.

INTRODUZIONE

Gli insetti rappresentano una valida fonte di proteine per l'alimentazione umana e sono pertanto annoverati tra le possibili soluzioni atte a soddisfare il crescente fabbisogno di proteine animali a livello mondiale, dovuto sia all'aumento demografico sia alla globalizzazione delle abitudini alimentari caratterizzata da un aumento del consumo e della richiesta di alimenti di origine animale nei paesi in via di sviluppo, soprattutto Asiatici.

L'entomofagia rappresenta una pratica già ampiamente diffusa sul nostro pianeta che interessa aree estese del pianeta e contribuisce fino al 50% dell'apporto proteico di alcune popolazioni; è importante sottolineare come in popolazioni asiatiche (Cina compresa), africane e dell'America Latina (ad es. Messico) l'entomofagia non è una *extrema ratio* dettata dalla scarsa disponibilità di alimenti, al contrario è una normale componente della cultura alimentare e gastronomica (PAOLETTI and DREON 2005). La sua riscoperta nel mondo occidentale ha catalizzato l'interesse di operatori economici, ricercatori e consumatori incentivando esperienze di consumo, produzione e vendita di alimenti a base di insetti e stimolando una crescente produzione di lavori scientifici che stanno formando un consistente *corpus* di conoscenze.

Si contano numerose pubblicazioni atte a definire la composizione nutrizionale di specie commestibili di insetti da cui emergono dati interessanti per quanto riguarda il contenuto in proteine, in grassi insaturi e in altri micronutrienti essenziali (RUMPOLD and SCHUELTER, 2013). A queste si sommano i lavori volti ad esaltare la sostenibilità ambientale della produzione di insetti, apparentemente superiore a quella di altre specie comunemente allevate per il consumo umano (OONINCX and DE BOER 2012; OONINCX *et al.*, 2010), nonché numerosi studi sociali interessati ad indagare la percezione dei consumatori e il possibile impatto nel mercato (CAPARROS MEGIDO *et al.*, 2013; VERBEKE 2015).

In contrapposizione a questo scenario promettente e apparentemente risolutorio, troviamo una legislazione restia ad approvare *sine condicio* l'uso di insetti per l'alimentazione umana e ricercatori impegnati nell'indagare eventuali evidenze su possibili controindicazioni per la salute legate al consumo abituale di insetti da parte della popolazione. Infatti, l'entomofagia rientra a pieno nella defini-

– Pubblicato marzo 2016

zione di "nuovo alimento" (*novel food)*. Se, tuttavia, si indaga sui potenziali pericoli degli insetti come fonte alimentare si scopre una certa limitatezza delle informazioni disponibili dovuta allo scarso interesse che questo argomento ha storicamente ricoperto nella comunità scientifica occidentale. Tale lacuna non è stata compensata dal recente exploit dell'entomofagia, probabilmente a causa della colpevole "dimenticanza" da parte degli *stakeholders,* interessati maggiormente all'indagine di aspetti produttivi, compositivi e commerciali.

Il già ampio consumo di insetti da parte di popolazioni residenti in Africa, America centrale e Meridionale, Asia e Australia, non è sufficiente a garantire la salubrità di tale pratica alimentare perché, come noto, il rischio derivante dal consumo degli alimenti dipende da numerose condizioni sia individuali (status immunitario, flora microbica, abitudini) che di abitudine (esposizione, modalità di preparazione). Inoltre, non risulta che siano stati effettuati studi sistematici sugli eventuali effetti avversi a breve o a lungo termine dell'entomofagia abituale nei paesi in via di sviluppo. Infine ciò che costituisce un rischio accettabile in alcune aree del pianeta può non essere considerato tale in altre come nel caso dei pesci appartenenti alla famiglia dei tetradontidae vietati nell'Unione Europea ma diffusi in Asia.

L'obiettivo di questa raccolta è quello di definire il tema dell'entomofagia da un punto di vista legislativo e descrivere le attuali problematiche relative ai pericoli (Biologici, Chimici, Allergenici) potenzialmente riscontrabili a seguito del consumo di insetti

Legislazione europea

Il quadro normativo europeo riguardante la possibilità di commercializzazione degli insetti ad uso alimentare è piuttosto chiaro e vincolante. Gli insetti rientrano infatti nella definizione di *Novel Food* (Reg. 258/1997) che raccoglie tutti gli alimenti non consumati in misura significativa nell'Unione europea prima del 15 maggio 1997 (data di entrata in vigore del regolamento) e rientranti in una delle categorie definite dal regolamento stesso. Il campo di applicazione di questo dispositivo è sicuramente vasto se si pensa che alla data di entrata in vigore esso si applicava, tra gli altri, anche a OGM, alimenti da animali clonati e nanotecnologie. Nonostante gli obiettivi fossero probabilmente diversi, esso si trova a regolamentare anche i prodotti a base di insetti e ne ammette la commercializzazione solamente previa sottomissione di un dossier di sicurezza ai sensi della Raccomandazione 97/618/CE che contenga dati scientifici sufficienti a dimostrare la sicurezza degli alimenti di cui si richiede l'autorizzazione, considerando eventuali gruppi maggiormente vulnerabili ai potenziali effetti avversi identificati. Tale dossier deve essere approvato dall'autorità nazionale competente e eventualmente dall'Authority Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA) (Belluco *et al.*, 2013).

Poiché i requisiti necessari al soddisfacimento del dossier sono numerosi e complessi (tra l'altro ogni specie di insetto o suo prodotto può essere identificato come un differente *novel food*), ad oggi nessuno ha affrontato in modo convinto questo percorso e si sono preferite strade alternative. Alcuni stati membri dell'UE hanno interpretato alla lettera il Reg. 258/1997 e hanno escluso dalla definizione di *Novel food* gli insetti interi ammettendone, a seguito di sommarie valutazioni del rischio, la distribuzione nel loro territorio di competenza (FASFC, 2014; Netherlands Food and Consumer Product safety authority, 2014). Altri stati hanno scelto approcci più cautelativi rimandando la decisone alle istituzioni europee le quali hanno chiesto parere formale ad EFSA circa i possibili rischi per la salute derivanti dal consumo di insetti. Una nuova versione del Reg. 258 è inoltre in fase di preparazione da molti anni ma non ancora approvata. Tale proposta prevederebbe l'inclusione certa degli insetti tra i *Novel Food* ma consentirebbe una procedura di autorizzazione più snella per i prodotti tradizionalmente consumati in paesi terzi. In tale contesto le esperienze di paesi tradizionalmente entomofagi sarebbero ammesse a sostegno della salubrità di nuovi alimenti, sempre previa un'appropriata valutazione scientifica della sicurezza.

Pericoli biologici

Le evidenze scientifiche disponibili riguardanti i pericoli biologici che possono essere associati al consumo di insetti provengono raramente da studi *ad hoc*. Molti dati derivano infatti dallo studio degli insetti come organismi vettori e considerano le specie che ecologicamente hanno più probabilità di ricoprire questo ruolo negli allevamenti. Tale ruolo è stato ampiamente descritto in letteratura (Wales *et al.*, 2010). Il ruolo degli artropodi (*Musca domestica* e *Alphitobius diaperinus)* come vettori di *Salmonella* e *Campylobacter* è, anche in questo caso, ampiamente dimostrato (Agabou and Alloui, 2010; Davies and Breslin, 2003; Goodwin and Waltman, 1996; Holt *et al.*, 2007; Strother *et al.*, 2005; Templeton *et al.*, 2006) e contempla anche sierotipi rilevanti per la salute pubblica come ad esempio *Salmonella* Enteritidis (Leffer *et al.*, 2010). Alcuni autori, a seguito di studi in condizioni sperimentali, sugge-

riscono la possibilità che *Campylobacter* abbia una sopravvivenza limitata negli insetti (HAZELEGER *et al.*, 2008; STROTHER *et al.*, 2005; TEMPLETON *et al.*, 2006). Il coleottero *Alphitobius diaperinus* è in grado di eliminare *Salmonella* in media per otto giorni (intervallo 6-12 giorni) e il 95% delle larve mantengono il batterio anche durante la metamorfosi (CRIPPEN *et al.*, 2012). È possibile anche una trasmissione transovarica di batteri patogeni dagli insetti adulti alla loro progenie (DAVIES and BRESLIN, 2003).

La flora microbica degli insetti può essere composta da batteri appartenenti a diversi generi: *Staphylococcus, Streptococcus, Bacillus, Proteus, Pseudomonas, Escherichia, Micrococcus, Lactobacillus* and *Acinetobacter* (AGABOU and ALLOUI, 2010; AMADI *et al.*, 2005; BRAIDE *et al.,* 2011; GIACCONE, 2005). Nell'insetto fresco, allevato, (*Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* e *Brachytrupes* sp.) possono essere isolati batteri sporigeni ed Enterobacteriaceae (KLUNDER *et al.*, 2012).

Gli insetti possono essere soggetti ad una contaminazione rilevante non solo durante i loro stadi vitali ma anche nelle fasi successive all'allevamento che precedono il consumo. In Kenya il decesso di cinque individui fu ricondotto all'ingestione di termiti contaminate con *Clostridium botulinum* e conservate sottovuoto durante i quattro giorni di trasporto (NIGHTINGALE and AYIM, 1980). Il botulino è stato anche considerato come responsabile della morte di tre persone in Namibia a seguito di un pasto a base di bruchi (SCHABEL, 2010).

Alcuni dati provenienti dalla neonata filiera di produzione degli insetti, benché non ancora pubblicati, sono disponibili nelle valutazioni del rischio condotte dalle autorità competenti per la sicurezza alimentare di Belgio e Olanda (Scientific committee of the FAFSC, 2014; Netherlands Food and Consumer Product safety authority 2014).

Tali dati descrivono elevate cariche di batteri aerobi, anaerobi e di Enterobacteriaceae in tarme della farina (*Tenebrio molitor*), locuste (*Locusta migratoria*) e larve morio (*Zophobas atratus*).

I dati provenienti dalla valutazione del rischio Olandese riguardanti *Tenebrio molitor, Alphitobius diapherinus e Locusta migratoria* evidenziano una presenza di Enterobacteriaceae e batteri aerobi che supererebbe il criterio di accettabilità per le preparazioni di carni nella maggioranza dei campioni testati; per contro, un dato rassicurante è l'assenza di patogeni quali *Salmonella, Clostridum perfringens, Vibrio* ed una presenza di *Bacillus cereus* inferiore a 100 CFU/g nel 93% dei campioni testati.

Anche i parassiti rappresentano un possibile pericolo in relazione al consumo di insetti. L'importante ruolo di alcuni insetti come vettori biologici di infezioni protozoarie è noto nel caso della Tripanosomiasi (malattia di Chagas) e recentemente la via di trasmissione orale è stata rivalutata a seguito di alcuni casi legati all'ingestione di alimenti contaminati da insetti (PEREIRA *et al.*, 2010). Gli insetti possono essere anche portatori di alcuni importanti patogeni di natura protozoaria come *Entamoeba histolytica, Giardia lamblia, Toxoplasma* spp. e *Sarcocystis* spp (GRACZYK *et al.*, 2005).

La possibile presenza di elminti parassiti come i trematodi *Lecitodendridi* e Plagiorchidi è stata ben documentata in una revisione della letteratura riguardante le parassitosi intestinali dell'Asia orientale (CHAI *et al.*, 2009).

Altro interessante esempio di parassita trasmissibile da insetto a uomo è rappresentato da *Dicrocoelium dendriticum*. L'infezione può essere dovuta all'ingestione di formiche parassitate, mentre la "pseudo-infezione" è data dall'ingestione del fegato di animali infetti. In un'area peri-urbana del Kyrgyzstan è stata riscontrata una prevalenza dell'8% anche se il test diagnostico utilizzato non era in grado di distinguere tra infezione e pseudo-infezione (JEANDRON *et al.*, 2011).

Casi sporadici di infestazione dal nematode *Gongylonema pulchrum* sono stati descritti nell'uomo con localizzazione sottocutanea, a seguito del consumo di insetti, in varie parti del mondo (MOLAVI *et al.*, 2006). Nell'uomo la localizzazione è sottocutanea a carico della cavità orale come ben descritto in letteratura (WILSON *et al.*, 2001).

Lieviti e funghi sono stati isolati in considerevoli quantità da insetti (edibili *Tenebrio molitor* e *Locusta migratoria*) freschi, liofilizzati ed essiccati (FAFSC, 2014).

Inoltre l'importanza di un'appropriata preparazione, manipolazione, essicazione e conservazione è stata ulteriormente sottolineata da uno studio condotto in Botswana su alcuni lotti commerciali di mopane (*Gonimbrasia belina*: Saturniidae) (SCHABEL, 2010). Dalla stessa specie, essiccata in laboratorio, sono stati isolati alcuni funghi (*Aspergillus, Fusarium, Penicillium*) tra cui anche specie in grado di produrre micotossine (SIMPANYA *et al.*, 2000).

L'ebollizione degli insetti (*Tenebrio molitor, Acheta domesticus* and *Brachytrupes* sp.) per 5 minuti si è confermata come un trattamento efficiente per eliminare le *Enterobacteriaceae* ma non i batteri sporigeni: gli insetti bolliti costituiscono un prodotto da conservarsi a temperatura di refrigerazione (5-7°C) che si mantiene stabile per 2 settimane, differentemente dal prodotto fresco. Un altro studio ha mostrato che l'ebollizione a 100° per 8 minuti è stata in grado di ridurre la carica microbica totale e le *Enterobacteriaceae* a valori inferiori a 10 cfu/g (FAFSC, 2014).

L'arrostimento da solo non si è dimostrato efficace

nell'eliminazione totale delle *Enterobacteriaceae*, quindi dovrebbe essere accoppiato ad un'ebollizione di qualche minuto (KLUNDER *et al.*, 2012)

Un altro studio condotto su *Tenebrio molitor* e *Locusta migratoria* ha dimostrato la capacità dell'essicazione in forno (11 minuti a 90°) di ridurre la carica aerobica totale di 2-3 gradi logaritmici e la carica di *Enterobacteriaceae* di 3-5 gradi logaritmici.

Uno studio su 55 campioni di insetti liofilizzati ha evidenziato una carica aerobica totale maggiore di 10^6 cfu/g nel 59% dei campioni e una carica di *Enterobacteriaceae* maggiore di 10^3 cfu/g nel 65%. *Clostridium perfringens, Vibrio* e *Salmonella* non sono stati isolati e nel 93% dei casi *Bacillus cereus* è risultato inferiore a 100 cfu/g (Netherlands Food and Consumer Product safety authority, 2014).

La fermentazione si è dimostrata in grado di inattivare le *Enterobacteriaceae* e mantenere i batteri sporigeni residui stabili e a livelli accettabili (KLUNDER *et al.*, 2012).

Recentemente anche l'impatto di tecniche moderne quali il trattamento con plasma e le pressioni idrostatiche si sono dimostrate efficaci nella processazione di *Tenebrio molitor*.

L'associazione di alte pressioni idrostatiche (600 MPa) e alte temperature (90°) ha prodotto le conte batteriche inferiori (RUMPOLD *et al.*, 2014)

ALLERGIE

Diverse reazioni allergiche riconducibili al consumo di insetti sono state descritte in letteratura (BELLUCO *et al.*, 2013). In Cina si stima che circa 1000 persone manifestino ogni anno reazioni anafilattiche conseguenti l'ingestione di larve di *Bombyx mori* anche in soggetti che consumavano tali insetti per la prima volta (JI *et al.*, 2008). Inoltre casi di shock anafilattico sono descritti anche a seguito dell'ingestione di cavallette e grilli in Thailandia (PENER, 2014). La reattività crociata tra allergeni di origine diversa è stata descritta. La tropomiosina e l'arginina kinasi infatti rappresentano proteine altamente conservate a livello filogenetico in diverse classi di artropodi e possono essere responsabili di reazioni crociate a seguito dell'ingestione di insetti in persone allergiche a crostacei o acari della polvere (Der p 10) (LEUNG, *et al.*, 1996; LIU *et al.*, 2009; VERHOECKX *et al.*, 2014).

Altro interessante dato riguarda il rosso carminio (E120), colorante estratto dal corpo essiccato di insetti femmina (*Dactylopius coccus* Costa/*Coccus cacti* L.) e utilizzato nell'industria alimentare, che è stato riconosciuto come causa di reazione allergiche e shock anafilattico (DICELLO *et al.*, 1999; KAGI *et al.*, 1994).

PERICOLI CHIMICI

L'identificazione di potenziali rischi tossicologici per la valutazione e gestione del rischio degli insetti destinati a consumo umano deve prendere in considerazione diversi aspetti: la biologia della specie oggetto di interesse (ciclo vitale, metamorfosi, produzione endogena di sostanze velenose), le caratteristiche dell'allevamento e dei successivi processi produttivi.

Per quanto riguarda gli aspetti biologici, non è possibile prescindere dalla chiara identificazione della specie di interesse, né tantomeno pensare a caratteristiche comuni e facilmente trasponibili da una specie ad un'altra.

L'Autorità belga in un documento recente (2014) elenca 11 specie edibili presenti sul mercato belga (nel 2011), vale a dire, tre specie di grillo, due di cavallette, due di lepidotteri e quattro specie di larve della farina o tenebrioni (coleotteri): questo scenario, seppur limitato, mostra già una "biodiversità" paragonabile a quella delle specie di mammiferi normalmente consumati in Europa (FASFC, 2014) e non può risolversi nell'utilizzo di una categoria di identificazione delle dimensioni della classe Insecta. Infatti le grandi differenze di anatomia, metabolismo e alimentazione esistenti nelle specie di insetti sono potenzialmente rilevanti per la valutazione del rischio chimico; ad esempio, eventuali diversità nella capacità di accumulare e/o metabolizzare sostanze tossiche hanno un diretto rilievo per l'esposizione del consumatore. Inoltre, le specie di insetti edibili possono richiedere alimentazione e metodi di allevamento, un altro fattore che può influenzare l'esposizione a contaminanti. Oltre alle diverse specie devono essere considerati anche i diversi stadi del ciclo vitale (adulto, larva, uova) di interesse commerciale e alimentare. Le marcate differenze tra larve e adulti possono ripercuotersi negli aspetti di sicurezza alimentare, compresa la produzione di sostanze indesiderabili endogene (per esempio, allergeni) o la capacità di metabolizzare sostanze tossiche. Inoltre, come è noto, alcuni insetti possono produrre sostanze tossiche, prevalentemente a scopo difensivo, come acidi di carbonio, alcoli, aldeidi, fenoli. Queste sostanze, irritanti a livello locale, possono in alcuni casi avere una significativa tossicità sistemica, come nel caso di alcaloidi, steroidi o chinoni cancerogeni prodotti dai tenebrioni. Il caso dei chinoni sottolinea l'importanza dello stadio biologico, in quanto essi vengono prodotti solo dagli individui adulti, ma non dalle larve che spesso rappresentano lo stadio edibile.

Data l'attuale mancanza di "limiti di tolleranza" per l'assunzione orale di sostanze tossiche "endogene", le specie di insetti o gli stadi biologici che producono tali sostanze non dovrebbero, in linea di

principio, essere allevati per produrre alimenti o mangimi.

In alternativa, efficaci procedure di rimozione delle sostanze tossiche andrebbero validate e applicate di routine all'interno di un programma HACCP.

Oltre agli aspetti biologici, anche gli aspetti legati all'allevamento meritano un'attenta considerazione. Infatti, la rilevanza di sostanze esogene (pesticidi, inquinanti lipofili, altre sostanze bioaccumulabili, residui di farmaci) dipende dalle caratteristiche metaboliche dell'insetto allevato, ma anche dalle metodologie di allevamento.

La bioconcentrazione di elementi tossici, come il piombo e il cadmio, sembra il rischio tossicologico più evidente per la sicurezza degli insetti come alimenti o mangimi. Uno studio recente ha dimostrato il possibile bioaccumulo di metil-mercurio (MeHg) nelle libellule, con significative differenze tra le specie e gli stadi biologici oggetto di indagine, e una conseguente alta probabilità di trasferire notevoli quantità di MeHg ai loro predatori (Buckland-Nicks *et al.*, 2014).

Il problema del bioaccumulo di elementi tossici può essere particolarmente evidente quando residui organici e materiali affini sono utilizzati per l'alimentazione degli insetti, magari con l'intento di aumentare la sostenibilità economica e ambientale dell'allevamento.

Sulla base dei dati disponibili, il bioaccumulo di elementi tossici può essere particolarmente elevato in alcuni tessuti (esoscheletro, sistemi riproduttivo e digestivo) e può variare in modo significativo con gli stadi biologici e le mute. Nel complesso, considerando la rilevanza per la sicurezza dei consumatori, la presenza di elementi tossici negli insetti edibili e nei loro prodotti è un aspetto di primaria importanza che deve essere approfondito con ulteriori ricerche.

Una questione correlata è rappresentata dal possibile accumulo, a partire da substrati alimentari, di alcuni elementi nutrizionalmente essenziali a dosi molto basse, ma che possono diventare tossici se assunti in dosi superiori (selenio, cobalto, molibdeno, etc.). Diversi studi ecotossicologici mostrano la capacità di alcuni insetti erbivori di accumulare elementi come rame, molibdeno e zinco (Mann, 2011). Per tali elementi sono già in vigore nell'UE livelli massimi autorizzati nei mangimi. Tuttavia, ulteriori ricerche sono necessarie per valutare l'appropriatezza dei livelli attuali anche per l'alimentazione degli insetti edibili.

Oltre al metilmercurio, anche altri inquinanti con notevole potenziale tossico, organostannici e composti perfluoroalchilici, possono concentrarsi in alcuni membri del Phylum Arthropoda, come i crostacei marini edibili. È importante verificare l'eventuale presenza di tali composti, di elevata persistenza ambientale, anche in substrati o ambienti di allevamento per determinare la possibilità di concentrazione anche negli insetti.

Alcuni insetti edibili come le cavallette e i tenebrioni sono alimentati completamente o in parte con vegetali freschi. I residui di pesticidi, presenti in tali verdure entro i limiti massimi di residui stabiliti per i consumatori, potrebbero danneggiare la salute degli insetti allevati: la tossicità dei pesticidi per gli artropodi non bersaglio è stata recentemente considerata dall'EFSA, pur senza alcun riferimento specifico agli insetti edibili (EFSA, 2015). In esperimenti controllati, le larve di tenebrioni hanno mostrato uno scarso bioaccumulo del triazolo epossiconazolo (Lv *et al.*, 2014) ma sono stati in grado di accumulare il fenilamide metalaxil (Gao *et al.*, 2013). Come nei vertebrati, il potenziale di bioaccumulo è in parte dovuto alle proprietà chimiche di un dato pesticida. Tuttavia, non ci sono informazioni sull'eventuale capacità di insetti edibili di bioaccumulare residui di pesticidi in scenari realistici. L'utilizzo di vegetali freschi può comportare inoltre l'esposizione a sostanze tossiche naturali di notevole importanza per la salute degli insetti, quali micotossine o alti livelli di sostanze bioattive vegetali (glucosinolati, isoflavoni, tannini).

Infine, il potenziale assorbimento di metalli tossici e di altri inquinanti da parte degli insetti attraverso l'ambiente di allevamento (polvere, lettiera) non sembra aver ricevuto alcuna attenzione: tuttavia esso rappresenta una problematica da approfondire.

Analogamente agli altri animali produttori di alimenti, anche gli insetti allevati possono richiedere trattamenti farmacologici per contrastare le possibili infezioni. Antibiotici, fungicidi e farmaci antiprotozoari, pertanto, potrebbero rappresentare possibili trattamenti da somministrare con il mangime, l'acqua e/o per nebulizzazione. Tuttavia, non vi sono dati per valutare le dosi massime di trattamento, i livelli massimi di residui e i tempi di sospensione. Infine, particolare importanza è rivestita dal tipo di prodotto che si vuole ottenere. Se si tratta di prodotti derivati (farine, estratti di proteine, grassi, etc), infatti, bisogna considerare il relativo bioaccumulo in relazione alle caratteristiche dello specifico prodotto. A titolo di esempio, se gli insetti potrebbero, di per sé, avere un modesto potere di bioaccumulo degli inquinanti lipofili (diossine, PCB, PBDE, etc.), tali concentrazioni, tuttavia, potrebbero aumentare notevolmente nei grassi estratti.

Considerazioni conclusive

L'identificazione dei pericoli presenti nelle specie di insetti potenzialmente edibili costituisce un ele-

mento fondamentale nella definizione del rischio associato al consumo di un nuovo alimento e rappresenta l'elemento base per la creazione di una filiera produttiva in grado di gestire efficacemente tali pericoli. La futura filiera derivante dal riconoscimento degli insetti come alimenti deve prevedere, in ogni sua fase, la necessità di prevenire – ove possibile – e controllare i pericoli identificati attraverso l'applicazione di misure utili alla riduzione del rischio per il consumatore finale e gestire in modo corretto il prodotto finito. Alcuni operatori ritengono che la sicurezza dell'alimento a base di insetti possa essere raggiunta con il ricorso a processi di produzione in grado di abbattere drasticamente la carica microbica. Questa possibilità, seppur realistica, ha diverse limitazioni. Non si conoscono ad oggi processi in grado di ridurre i pericoli chimici o associati ad allergeni che devono pertanto essere affrontati attraverso la conoscenza e selezione delle specie edibili e il controllo di mangimi e materie prime. I trattamenti intensivi possono avere controindicazioni, quali l'impatto sfavorevole sulle caratteristiche nutrizionali dell'alimento. Inoltre, i consumatori tendono a preferire alimenti poco processati, quindi la via del trattamento intensivo potrebbe riscontrare alcuni ostacoli commerciali.

Per concludere, è possibile fare alcune considerazioni utili per guidare lo sviluppo del settore alimentare tenendo conto delle esigenze di sicurezza dei nuovi alimenti definite dalla normativa europea, che non devono più essere viste come ostacoli da evitare, ma come strumenti utili alla produzione di alimenti di qualità.

Va tenuto conto della "biodiversità" esistente fra le specie di insetti edibili, ciascuna delle quali può meritare una considerazione specifica, analogamente ai mammiferi produttori di alimenti. Diverse specie di insetti (con le rispettive caratteristiche di alimentazione e allevamento) e diversi stadi biologici all'interno della stessa specie probabilmente richiedono specifici piani di autocontrollo in grado di identificare e gestire i rischi tossicologici e microbiologici. In particolare la biodisponibilità e il bioaccumulo di contaminanti e residui nelle principali specie di insetti edibili (e loro stadi biologici) rappresenta una critica lacuna conoscitiva. Il potenziale uso di farmaci, come gli antibiotici, durante le fasi di allevamento deve basarsi sulla definizione, ottenuta mediante dati scientifici, di dosi massime di trattamento, di livelli massimi di residui e di tempi di sospensione

Il substrato di allevamento deve essere caratterizzato da un punto di vista chimico e microbiologico, al fine di prevedere il possibile trasferimento e accumulo di sostanze tossiche nonché la contaminazione microbiologica potenzialmente trasferibile agli insetti.

Occorre considerare la definizione di specifiche soglie tollerabili per inquinanti prioritari (ad es., alcuni elementi tossici) e i microrganismi patogeni o indicatori negli insetti edibili e loro prodotti, nonché nei mangimi destinati all'allevamento degli insetti. La definizione di tali livelli richiede studi mirati a rispondere ai requisiti della legislazione, specifiche disposizioni normative, nonché strumenti per la loro attuazione, ad esempio metodi analitici di riferimento validati.

RIASSUNTO

Gli insetti commestibili rappresentano una promettente fonte di proteine che potrebbe rappresentare una delle soluzioni alla crescente domanda di fonti alimentari alternative a livello globale.

Nonostante il consumo di insetti sia tradizionalmente praticato in vaste aree geografiche, esso rappresenta una novità per il mondo occidentale con notevoli difficoltà di inquadramento legislativo. Il riconoscimento ufficiale degli insetti come alimento per l'uomo non può prescindere dalla presenza di dati microbiologici e chimici che ne attestino la sicurezza per il consumatore.

Gli insetti possono essere contaminati con diverse tipologie di batteri e parassiti, anche di rilevanza clinica. Inoltre possono contenere e accumulare sostanze tossiche di natura endogena o esogena in grado di causare problemi nel consumatore, specie nei casi di ingestione di notevoli quantità o di consumo abituale.

La scarsità di dati derivanti da allevamenti di insetti, l'assenza totale di una filiera di produzione, le ridotte analisi chimiche su insetti allevati con diete diverse e i potenziali problemi derivanti dalla contaminazione ambientale con metalli e pesticidi e dai possibili trattamenti farmacologici in fase di allevamento, rendono necessari ulteriori dati ed un approccio cautelativo prima di poter definire gli insetti come alimento sicuro.

BIBLIOGRAFIA

AGABOU A., ALLOUI N., 2010 – *Importance of* Alphitobius diaperinus *(Panzer) as a reservoir for pathogenic bacteria in Algerian broiler houses.* Veterinary World, 3 (2): 71-73.

AMADI E.N., OGBALU O.K., BARIMALAA I.S., PIUS M., 2005 – *Microbiology and nutritional composition of an edible larva* (Bunaea alcinoe *Stoll*) *of the Niger Delta*. J. Food Safety, 25: 193-197.

BELLUCO S., LOSASSO C., MAGGIOLETTI M., ALONZI C.C., PAOLETTI M.G., RICCI A., 2013 – *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12 (3): 296-313.

BRAIDE W., ORANUSI S., UDEGBUNAM L.I., OGUOMA O., AKOBONDU C., 2011 – *Microbiological quality of an edible caterpillar of an emperor moth,* Bunaea alcinoe. J. Ecol. Nat. Environ. 3: 176-180.

BUCKLAND-NICKS A., HILLIER K.N., AVERY T.S., O'DRISCOLL N. J., 2014 – *Mercury bioaccumulation in*

dragonflies (Odonata: Anisoptera): examination of life stages and body regions. Environmental toxicology and chemistry / SETAC, 33(9), 2047-54. doi:10.1002/etc.2653

Caparros Megido R., Sablon L., Geuens M., Brostaux Y., Alabi T., Blecker C., *et al.*, 2013 – *Edible Insects Acceptance by Belgian Consumers: Promising Attitude for Entomophagy Development*. Journal of Sensory Studies, n/a–n/a. doi:10.1111/joss.12077

Chai, J.Y., Shin E. H., Lee S. H., Rim H. J., 2009 – *Foodborne intestinal flukes in Southeast Asia.* The Korean journal of parasitology, 47 Suppl, S69–102. doi:10.3347/kjp.2009.47.S.S69

Crippen T.L., Zheng L., Sheffield, C.L., Tomberlin, J.K., Beier, R.C., Yu Z., 2012 – *Transient gut retention and persistence of Salmonella through metamorphosis in the lesser mealworm,* Alphitobius diaperinus *(Coleoptera: Tenebrionidae).* Journal of applied microbiology, 112(5): 920-6. doi:10.1111/j.1365-2672.2012.05265.x

Davies R.H., Breslin M., 2003 – *Persistence of Salmonella Enteritidis Phage Type 4 in the environment and arthropod vectors on an empty free-range chicken farm.* Enviromenthal Microbiol., 5: 79-84.

DiCello M.C., Myc A., Baker Jr J.R., Baldwin, J.L., 1999 – *Anaphylaxis after ingestion of carmine colored foods: two case reports and a review of the literature*. Allergy and Asthma Proceedings : The Official Journal of Regional and State Allergy Societies, 20 (6): 377-382.

EFSA, 2015 – *Scientific Opinion addressing the state of the science on risk assessment of plant protection products for non-target arthropods*. EFSA Journal, 13(2): 3996.

FASFC, 2014 – *Circular concerning the breeding and marketing of insects and insect-based food for human consumption*. PCCB/S3/ENE/KBE/1158552.

Gao Y., Chen J., Wang H., Liu C., Lv X., Li J., Guo B., 2013 – *Enantiomerization and enantioselective bioaccumulation of benalaxyl in* Tenebrio molitor *larvae from wheat bran. Journal of agricultural and food chemistry*. J. Agric. Food Chem., 61(38): 9045-51. doi:10.1021/jf4020125

Giaccone, V., 2005 – *Hygiene and health features of Minilivestock.* In M.G. Paoletti (Ed.), Ecological implications of minilivestock: role of rodents, frogs, snails and insects for sustainable development (pp. 579-598). Science Publisher.

Goodwin M.A., Waltman W.D., 1996 – *Transmission of Eimeria, Viruses, and Bacteria to Chicks: Darkling Beetles (*Alphitobius diaperinus*) as Vectors of Pathogens*. The Journal of Applied Poultry Research, 5(1): 51-55.

Graczyk T.K., Knight R., Tamang L., 2005 – *Mechanical transmission of human protozoan parasites by insects*. Clinical microbiology reviews, 18(1): 128-132. doi:10.1128/CMR.18.1.128-132.2005

Hazeleger, W.C., Bolder, N.M., Beumer, R.R., & Jacobs-Reitsma, W.F., 2008) – *Darkling beetles (Alphitobius diaperinus) and their larvae as potential vectors for the transfer of* Campylobacter jejuni *and* Salmonella enterica *serovar paratyphi B variant Java between successive broiler flocks*. Applied and Environmental Microbiology, 74(22): 6887-6891. doi:10.1128/AEM.00451-08

Holt P.S., Geden, C.J., Moore R.W., Gast R.K., 2007 – *Isolation of* Salmonella enterica *serovar Enteritidis from houseflies (*Musca domestica*) found in rooms containing* Salmonella *serovar Enteritidis-challenged hens*. Applied and environmental microbiology, 73(19): 6030-5. doi:10.1128/AEM.00803-07

Jeandron A., Rinaldi L., Abdyldaieva G., Usubalieva J., Steinmann P., Cringoli G., Utzinger J., 2011 – *Human Infections with* Dicrocoelium dendriticum *in Kyrgyzstan: The Tip of the Iceberg?* Journal of Parasitology, 97(6), 1170–1172. doi:10.1645/GE-2828.1

Ji K.M., Zhan Z.K., Chen J.J., Liu, Z.G., 2008 – *Anaphylactic shock caused by silkworm pupa consumption in China*. Allergy, 63(10), 1407-1408. doi:10.1111/j.1398-9995.2008.01838.x

Kagi M.K., Wuthrich B., Johansson S.G., 1994 – *Campari-Orange anaphylaxis due to carmine allergy*. Lancet, 344(8914): 60-61.

Klunder H.C., Wolkers-Rooijackers J., Korpela, J.M., Nout M.J.R., 2012 – *Microbiological aspects of processing and storage of edible insects*. Food Control, 26(2): 628-631. doi:10.1016/j.foodcont.2012.02.013

Leffer A.F., Kuttel J., Martins L.M., Pedroso A.C., Astolfi-Ferreira C.S., Ferreira F., Ferreira A.J.P., 2010 – *Vectorial Competence of Larvae and Adults of* Alphitobius diaperinus *in the Transmission of Salmonella Enteritidis in Poultry*. Vector Borne Zoonotic Dis. 10(5): 481-488.

Leung P.S., Chow W.K., Duffey S., Kwan H.S., Gershwin M.E., Chu K.H., 1996 – *IgE reactivity against a cross-reactive allergen in crustacea and mollusca: evidence for tropomyosin as the common allergen*. The Journal of allergy and clinical immunology, 98(5 Pt 1): 954-961.

Liu Z., Xia L., Wu Y., Xia Q., Chen J., RouxK.H., 2009 – *Identification and characterization of an arginine kinase as a major allergen from silkworm* (Bombyx mori) *larvae*. International archives of allergy and immunology, 150(1): 8-14. doi:10.1159/000210375

Lv X., Liu C., Li Y., Gao Y., Wang H., Li J., Guo B., 2014 – *Stereoselectivity in bioaccumulation and excretion of epoxiconazole by mealworm beetle (*Tenebrio molitor*) larvae. ... and environmental safety*. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651314000815. Accessed 7 May 2015

Mann R., 2011 – *Metals and metalloids in terrestrial systems: Bioaccumulation, biomagnification and subsequent adverse effects. ...* Impacts of Toxic Chemicals.

Molavi G.H., Massoud J., Gutierrez Y. 2006 – *Human Gongylonema infection in Iran*. Journal of helminthology, 80(4): 425-428.

Netherlands Food and Consumer Product safety authority, 2014 – Advisory report on the risks associated with the consumption of mass-reared insects.

Nightingale K., Ayim E., 1980 – *Outbreak of botulism in Kenya after ingestion of white ants. BMJ*. http://www.bmj.com/content/bmj/281/6256/1682.2.full.pdf. Accessed 13 February 2015

Oonincx D.G., de Boer I.J., 2012 – *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment*. PloS one, 7(12): e51145. doi:10.1371/journal.pone.0051145; 10.1371/journal.pone.0051145

Oonincx D.G., van Itterbeeck J., Heetkamp M.J., van den Brand H., van Loon J.J., van Huis A., 2010 – *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. PloS one, 5(12): e14445. doi:10.1371/journal.pone.0014445

Paoletti M.G., Dreon A., 2005 – *Minilivestock environment, sustainability, and local knowledge disappearance*. In: M.G. Paoletti (Ed.), Ecological implication of Minilivestock: role of rodents, frogs, snails and insects

for sustainable development (pp. 1-18). Science Publisher.

PENER M.P., 2014 – *Allergy to Locusts and Acridid Grasshoppers: a Review*. Journal of Orthoptera Research, 23(1), 59-67. doi:10.1665/034.023.0105

RUMPOLD B.A., SCHLUETER O.K., 2013 – *Nutritional composition and safety aspects of edible insects.* Molecular Nutrition & Food Research, 57(5): 802–823. doi:10.1002/mnfr.201200735

RUMPOLD B.A., FRÖHLING A., REINEKE K., KNORR D., BOGUSLAWSKI S., EHLBECK J., SCHLÜTER O., 2014 – *Comparison of volumetric and surface decontamination techniques for innovative processing of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*)*. Innovative Food Science & Emerging Technologies.

SCHABEL H.G., 2010 – *Forests insects as food: a global review.* In: P.B. Durst, D.V. Johnson, R.N. Leslie, K. Shono (Eds.), Forest insects as food: humans bite back Proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development (pp. 3764). Bangkok, Thailand.

SCIENTIFIC COMMITTEE OF THE FEDERAL AGENCY FOR THE SAFETY OF THE FOOD CHAIN, 2014 – *Food safety aspects of insects intended for human consumption (Sci Com dossier 2014/04; SHC dossier n° 9160).*

SIMPANYA M.F., ALLOTEY J., MPUCHANE S.F., 2000 – *A Mycological Investigation of Phane, an Edible Caterpillar of an Emperor Moth,* Imbrasia belina. Journal of food protection, 1. http://www.ingentaconnect.com/content/iafp/jfp/2000/00000063/00000001/art00024?token=00571e979f3724ea20e1f66720297d76345f7b3a2b5f7a403838386b6d3f6a4b6e4e395e4e6b6331c1d28be. Accessed 13 February 2015

STROTHER K.O., STEELMAN C.D., GBUR E.E., 2005 – *Reservoir competence of lesser mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) for Campylobacter jejuni (Campylobacterales: Campylobacteraceae)*. Journal of medical entomology, 42(1): 42-7. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15691007. Accessed 10 February 2015

TEMPLETON J.M., DE JONG A.J., BLACKALL P.J., MIFLIN J.K., 2006 – *Survival of Campylobacter spp. in darkling beetles (*Alphitobius diaperinus*) and their larvae in Australia*. Applied and Environmental Microbiology, 72(12), 7909-7911. doi:10.1128/AEM.01471-06

VERBEKE W., 2015 – *Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society.* Food Quality and Preference, 39(0): 147-155.

VERHOECKX K.C.M., VAN BROEKHOVEN S., DEN HARTOG-JAGER C. F., GASPARI M., DE JONG, G.A.H., WICHERS H.J., *et al.*, 2014 – *House dust mite (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing Yellow mealworm proteins*. Food and Chemical Toxicology, 65, 364-373. doi:10.1016/j.fct.2013.12.049

WALES A.D., CARRIQUE-MAS J.J., RANKIN M., BELL B., THIND B.B., DAVIES R.H., 2010 – *Review of the carriage of zoonotic bacteria by arthropods, with special reference to Salmonella in mites, flies and litter beetles*. Zoonoses and public health, 57(5): 299-314. doi:10.1111/j.1863-2378.2008.01222.x

WILSON M.E., LORENTE C.A., ALLEN J.E., EBERHARD M.L., 2001 – *Gongylonema infection of the mouth in a resident of Cambridge, Massachusetts.* Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America, 32(9): 1378-1380. doi:10.1086/319991

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 73-76

GLI INSETTI: UNA RISORSA SOSTENIBILE PER L'ALIMENTAZIONE. LE INIZIATIVE IN ITALIA

ROBERTO VALVASSORI (*)

(*) *Dipartimento di Biotecnologie e Scienze della Vita, Università degli Studi dell'Insubria, via Dunant 3, 21100 Varese, Italy;* e-mail: roberto.valvassori@uninsubria.it
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Edible insects: state of the art in Italy

The general interest for edible insects has rapidly increased in the last decade. Research groups, academic lectures and private enterprises are now active in Italy in this new field. A survey of the various activities is briefly summarized.

KEY WORDS: Edible insects, research projects, company activities, scientific network.

È arduo fare previsioni, specialmente per quanto riguarda il futuro
YOGI BERRA

Alessandro Canestrini, naturalista trentino inizia così l'articolo *'Menu' d'insetti* che viene pubblicato nel luglio del 1905 su La Lettura, Rivista mensile del Corriere della Sera.

> *«Non è stata certo qualche raffinatezza gastronomica, né l'idea che tutti gli animali sieno stati creati a vantaggio dell'uomo, il motivo per il quale molti popoli incominciarono a cibarsi d'insetti.*
>
> *E se l'insaziabile smania di nuovi eccitanti potè trarre delle nazioni incivilite a preferire la selvaggina putrefatta, ed il formaggio convertito in una metropoli di bacherozzoli, la fame impellente e la scarsezza del cibo sono stati di certo i primi fattori per i quali parecchi insetti figurano tra i commestibili».*

Al di là di questo e di pochi altri esempi simili in Italia, l'attenzione del grande pubblico sull'argomento degli insetti commestibili è sempre stata molto modesta e limitata ai resoconti di viaggi in paesi lontani con culture gastronomiche esotiche e curiose.

Anche nella comunità scientifica nazionale l'argomento dell'entomofagia è stato quasi del tutto trascurato fatta eccezione per i lavori di tipo etnobiologico dell'ecologo Maurizio Paoletti dell'Università di Padova, che sin dagli anni '90 sottolinea come gli insetti siano una tradizione alimentare, in particolare in aree tropicali, e evidenzia la presenza e il ruolo delle chitinasi nell'intestino umano. Anche altri ricercatori di area padovana fra i quali Silvia Cappellozza (CRA) si sono, più recentemente, occupati di vari altri aspetti legati all'impiego di insetti per la produzione di alimenti.

Questo interesse così limitato e circoscritto è ben fotografato dalla sparuta partecipazione di italiani al Technical consultation meeting "*Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in assuring Food Security*" (1) organizzato a Roma nel gennaio del 2012 su iniziativa della Food and Agriculture Organization delle Nazioni Unite. La FAO aveva da qualche tempo dato il via ad una serie di iniziative promozionali sul tema in considerazione della impellente necessità di individuare e promuovere vie alternative e sistemi innovativi per affrontare il problema di come poter garantire un'alimentazione sufficiente e dotata delle necessarie garanzie di sicurezza e salubrità ad una popolazione mondiale in rapida crescita. A questo meeting parteciparono solo Maurizio Paoletti, professore di ecologia a Padova, Silvia Cappellozza, esperta di bachicoltura del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria di Padova e Giulia Tacchini, neo laureata della Facoltà di Disegno industriale del Politecnico di Milano.

Fra gli obbiettivi del meeting, oltre a quello di migliorare ed incrementare le strategie comunicative sull'importanza e l'attualità dell'entomofagia, vi era anche quello di pianificare l'organizzazione

– Pubblicato marzo 2016

di una prima Conferenza internazionale sugli insetti commestibili.

Nel giro di poco tempo, a seguito di sollecitazioni concomitanti e sinergiche (grazie ad incontri e dibattiti di divulgazione, iniziative didattiche in ambito universitario, e vari eventi gastronomici organizzati anche da chef di grido) si è attivata, con una crescente copertura mediatica, l'attenzione del grande pubblico. Ad oggi sarebbe troppo lungo elencare l'ampia serie di iniziative che, in particolare negli ultimi tempi, sono state realizzate e quindi mi limito a ricordare alcuni esempi fra le attività divulgative o didattiche che hanno visto protagonisti il Museo Civico di Scienze Naturali di Bergamo, con l' organizzazione di serate di discussione con dimostrazione di varie preparazione di cibi a base di insetti (a partire dal 2007), l'Università dell'Insubria con un ciclo di seminari *"Entomofagia: il futuro ha sei zampe"* per dottorandi in discipline biologiche e mediche (aprile 2013), l'Università della Tuscia con alcune attività didattiche sull'Entomofagia per studenti di corsi di laurea (novembre 2013), l'Università di Firenze Caffè-Scienza SMS Rifredi incontro dibattito su *"Cosa bollirà in pentola domani? Insetti per l'alimentazione* (gennaio 2014), l'Università Cattolica di Piacenza CaffExpo incontro dibattito su *"A tavola con gli Insetti"* (gennaio 2014).

Come risultato di studi universitari, sono state prodotte la Tesi di laurea di Simone Belluco – Facoltà di Medicina Veterinaria – Università di Padova nell'a.a. 2008/09 e la Tesi di laurea di Giulia Tacchini- Facoltà di Disegno Industriale – Politecnico di Milano nell' a.a. 2010/11.

Anche sul versante della ristorazione sono stati numerosi gli eventi gastronomici o dimostrazioni di qualche chef stellato che si è cimentato con questo nuovo ingrediente. Tutte queste esperienze hanno tuttavia avuto solo carattere episodico per le difficoltà e gli ostacoli legati a una normativa in merito del tutto assente, che ha rappresentato e ancora rappresenta una insormontabile barriera.

Nel mondo accademico e della ricerca italiana, nel giro di pochi anni, si sono palesati nuovi interessi oppure convergenze su questo promettente settore, di presistenti linee di ricerca affini. Prova evidente di questa apertura verso il nuovo ambito di interesse sta nel fatto che la prima conferenza internazionale su "Insects to feed the world" (2) tenutasi a Wageningen in Olanda nel maggio del 2014 ha visto la presenza di una ventina di italiani tra biologi, entomologi ed esperti di zoocolture oltre ad alcuni piccoli imprenditori, tra i quattrocento partecipanti provenienti da tutto il mondo,.

L'uso degli insetti nella produzione di alimenti in genere e più specificamente l'entomofagia in senso stretto hanno ormai raggiunto un livello di grande attualità e prova ne è la nascita di siti web di informazione e di divulgazione nonchè di varie piccole attività imprenditoriali. Non potendo anche in questo caso farne una elencazione puntuale, cito a titolo di esempio solo alcune delle iniziative:

- **Diptera** e **Smartbugs** La prima iniziativa è situata nel foggiano (3) e la seconda nel trevigiano (4). Cito entrambe come esempio di aziende per la produzione di insetti destinati all'alimentazione di animali d'affezione, mercato di nicchia ma di sicuro interesse, o per l'acquacoltura e l'avicoltura, settori ancor più interessanti che avranno maggiore successo non appena il quadro normativo a riguardo consentirà un sicuro e diffuso utilizzo degli insetti o dei loro derivati.
- **Biosistemi Srls** è un'azienda che utilizza l'allevamento di insetti saprofagi per il trattamento di rifiuti organici urbani da raccolta differenziata (5).
- **Italbugs** (6) e **Entonote** (7) sono un esempio di siti web che forniscono informazioni e aggiornamenti su iniziative di divulgazione e di promozione del consumo degli insetti commestibili.

Anche la grande industria alimentare ha iniziato a considerare l'entomofagia come di interesse potenziale e, non a caso, nei primi mesi di quest'anno si è chiuso il *contest "Good4 our Planet – Start up the future (soluzioni innovative per la sostenibilità del Pianeta)"* che la Barilla ha promosso, in collaborazione con Sda Bocconi e l'incubatore SpeedMiUp. In questo *contest* è stato selezionato come finalista il progetto *"addENTO-enjoy the food revolution"* (8) proposto da tre giovani milanesi con l'obbiettivo di proporre in maniera accattivante cibi confezionati a base di farina di insetti.

Nell'ambito della ricerca, qualche segnale di attenzione si è manifestato di recente con il finanziamento di alcuni progetti relativi allo sfruttamento degli insetti per scopi alimentari e che vedono il coinvolgimento di più gruppi di ricerca con competenze multidisciplinari.

Enti pubblici e privati o fondazioni hanno sostenuto:

- **PROINSECTLIFE** (Preliminary evaluation of the nutritive value of insect meal for European Sea Bass) Coordinatore: Università degli Studi di Torino, 2013, ente finanziatore: programma Aquaexcel - FP7 program.
- **PIAS** (Impiego di farine di *Tenebrio molitor* (TM) nell'alimentazione delle specie avicole) Coordinatore: Università degli Studi di Torino, 2013, ente finanziatore: Programma di Sviluppo Rurale 2007-2013, Regione Piemonte.

– **INDIFI** (Evaluation of apparent digestibility coefficients of different dietary inclusion levels of insect meal for European Sea bass) Coordinatore: Università degli Studi di Napoli Federico II, 2014, ente finanziatore: programma Aquaexcel - FP7 program.
– **INBIOPROFEED** (Insect Bioconversion: from vegetable waste to Protein production for fish Feed) Coordinatore: Università dell'Insubria, 2015, ente finanziatore: Fondazione Cariplo.

Chiunque si occupi di insetti commestibili o si cimenti per la prima volta con questa ampia ed articolata tematica di ricerca, certamente non può non vedere quanto ancora ci sia da indagare, da precisare e da definire e quanto margine ci sia per nuove e interessanti applicazioni. È perciò molto istruttivo leggere alcuni dei passaggi più significativi contenuti nel *Summary Report* (2) della già citata Conferenza di Wageningen che trascrivo di seguito e integralmente:

Recommendations

For Academia (and Research agencies) to:
– *Establish international research consortiums which can apply for or support/provide funding*
– *Conduct interdisciplinary and international research programs on using insects as food and feed*
– *Reposition the field of entomology to focus more on the use of insects for food, feed health and as a provider of raw materials for other sectors*

For governments & international donors to:
– *Recognize the potential of and include insects into national food and feed security strategies*
– *Create enabling environments for developing the edible insects sector, including through incentive policies, legislation and clear regulations governing the sector*
– *Take an active and constructive role in policy debates and legal issues through relevant ministerial bodies at national level and at regional/international levels where relevant in the global food and feed authority discussion*
– *Increase funding opportunities for education, communication and for fundamental and applied research in insects as food and feed*
– *Include edible insects into habitat conservation strategies, practices and legislation to protect insects poputalions from overharvesting…*

Pochi mesi dopo la conclusione del convegno olandese e in occasione della annuale Giornata mondiale dell'alimentazione, si è tenuta a Milano il 16 ottobre una conferenza intitolata "*Nutrire il pianeta con nuove fonti sostenibili. L'insetto nel piatto*". Questo evento, voluto come anticipazione di Expo 2015, è stato promosso e organizzato dal "Salone Internazionale della Ricerca Innovazione Sicurezza Alimentare" della Società Umanitaria (9). L'incontro, ospitato nei locali dell'Acquario Civico di Milano, location simbolica in quanto unica struttura superstite dell'Expo di Milano del 1906, ha previsto una conferenza a carattere divulgativo a cui ha fatto seguito un tavolo di discussione pomeridiano promosso da Andrea Mascaretti di Umanitaria, Ettore Capri e Maura Calliera dell'Università Cattolica di Piacenza, Mario Colombo dell'Università di Milano e dal sottoscritto. I lavori sono proseguiti raggruppando circa venti tavoli tecnici, coordinati da esperti di varie Università, enti pubblici e privati, in cinque aree tematiche con l'obbiettivo di puntualizzare i vari aspetti legati agli "edible insects". Sono stati evidenziati differenti punti, come la valutazione circa le prospettive sociali e culturali, lo stato delle conoscenze, le opportunità e le cautele legate all'allevamento, gli aspetti alimentari e nutrizionali, i problemi legati alla sicurezza alimentare, la valutazione dei rischi, il quadro normativo in materia ed infine le strategie di comunicazione e d'informazione.

Attraverso questa iniziativa e con un meccanismo partecipativo, si è progressivamente costituito un *network* italiano di esperti di diversa estrazione. Il gruppo di un centinaio di persone, che è destinato ad aumentare progressivamente, sta lavorando alla produzione di un documento di sintesi che verrà pubblicizzato in ambito Expo e portato all'attenzione di vari stakeholders e policy makers.

Proseguiva il Canestrini nel suo articolo del 1905:

> *«E chi vi sa dire se, coll'andar degli anni, in mezzo a questo vertiginoso aumentare di popoli, non dovremo anche noi rivolgere il nostro sguardo a qualche umile rappresentante di questa numerosa famiglia di pigmei!»*

L'aforisma di Yogi Berra citato in premessa può essere smentito, la previsione di Canestrini si sta avverando e possiamo anche noi dire che il futuro avrà sei zampe!

L'uso degli insetti come fonte di food e feed è certamente una delle vie da percorrere per mitigare i grossi problemi alimentari che incombono sulle nostre società nei prossimi decenni, e in Italia sia il mondo della ricerca che quello dell'imprenditoria non possono essere assenti rispetto a questo tema. Se il nostro Paese, che giustamente e orgogliosamente si vanta di essere leader nella produzione di cibo di alta qualità e di certificata sicurezza e salubrità, vorrà compe-

tere con altri paesi come l'Olanda, la Francia e l'Inghilterra, dove da più tempo vengono allocate risorse in questo ambito, dovrà non solo dedicare una maggiore attenzione ma destinare adeguati finanziamenti affinchè gli studi e le attività sugli edible insects non siano solo marginalmente e occasionalmente presi in considerazione.

RIASSUNTO

In Italia l'attenzione sugli insetti commestibili è andata via via crescendo nell'ultimo decennio e il nuovo ambito di interesse ha coinvolto progressivamente un numero sempre maggiore di competenze accademiche e di nuove attività imprenditoriali. Il nucleo iniziale concentrato in particolare in area padovana si è via via arricchito di gruppi di varie regioni italiane e si è così identificato un corposo network di ricerca ove sono presenti competenze diverse e integrate. L'interesse sugli Edible Insects che trova ampio spazio anche nei mezzi di comunicazione, auspicabilmente dovrebbe portare a un maggiore coinvolgimento degli stakeholder politici ed istituzionali affinchè, in questo nuovo settore assolutamente pertinente con il tema portante di Expo 2015, l'Italia non perda l'occasione di tenere il passo con quanto avviene da più tempo in altri Paesi.

BIBLIOGRAFIA

1) http://www.fao.org/docrep/015/an233e/an233e00.pdf
2) http://www.fao.org/forestry/edibleinsects/86385/en/
3) info@dipteranutrition.com
4) info.smartbugs@gmail.com
5) https://it-it.facebook.com/biosistemisrl
6) http://www.italbugs.com/
7) http://www.entonote.com/
8) https://www.facebook.com/addento
9) http://www.edibleinsects.it/

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 77-82

L'ALLEVAMENTO DEGLI INSETTI PER L'ALIMENTAZIONE: PROBLEMATICHE, CAUTELE E PROSPETTIVE

MARIO COLOMBO (*)

(*) *Dipartimento di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente, Università degli Studi di Milano, via G. Celoria 2, 20133 Milano, Italy;* e-mail: mario.colombo@unimi.it
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Insect rearing as food: problems, caution and prospects

An overview of the interactions over the centuries between humans and insects is given. Different fields of interest are considered: the importance of the insect in human diet, in human health and in some commercial activities, like animal feed and agriculture. Particular attention is given to the role of insects as human food.

KEY WORDS: man-insect interaction, bees, entomophagy, animal feed, insect rearing.

Chi pensa che l'uomo anticamente abbia intrapreso rapporti di utilità solo con animali superiori, quali: cavalli, vacche, pecore, asini, ecc., sbaglia: quantomeno alcuni millenni prima della nascita di Cristo, in Cina, veniva addomesticato, allevato e selezionato il baco da seta, *Bombyx mori* (L.) (GOOD, 2002).

Facendo un grande balzo verso i nostri tempi, proveremo a ricordare quali rapporti l'uomo ha saputo intraprendere con gli insetti.

L'ape, *Apis mellifera* L., grazie alla sua produzione più nota e diffusa, il miele, sin da epoche remote ha riscosso l'interesse e l'attenzione da parte dell'uomo. Tenendo in considerazione solo la specie più diffusa, la *mellifera*, il suo allevamento è stato sempre semi brado. Per essere più precisi, sino alla metà del secolo XIX, non si è trattato di una gestione in cattività, ma semplicemente di una predazione, con il sacrificio delle api, perché l'uomo si potesse appropriare del miele. In realtà, forme primordiali ed elementari di allevamento sono consistite nel fornire alle famiglie di api dei ricoveri, più o meno rifiniti e curati, dove potessero vivere, lavorare, produrre e immagazzinare il miele. Fino al momento in cui, sopprimendo le api con tecniche rudimentali, l'allevatore sottraeva i favi con il miele, per poi spremerli con dei torchi, o lasciarli colare lentamente. A questo metodo cruento, di cui restano tracce in disegni, si abbinava il nomadismo, per incrementare le produzioni e quindi sfruttare maggiormente le famiglie. Ma restava, quale epilogo di questo rapporto apparentemente mutualistico, la soppressione delle colonie per appropriarsi di un miele sempre e comunque di qualità scadente rispetto a quello attuale. Benché ancor oggi, nelle aree meno sviluppate del pianeta sussista l'apicidio come modalità di gestione delle api, all'incirca 150 anni fa è stata progettata e realizzata l'arnia razionale, con cui gli apicoltori possono meglio gestire l'allevamento, soprattutto evitando la soppressione delle colonie. Con l'ausilio delle arnie razionali infine sono stati conseguiti più obiettivi: di ispezionare le colonie per fare le valutazioni sanitarie e di ordine biologico; di migliorare la qualità del miele; di ottenere produzioni integrative (la pappa reale, la propoli, il veleno e il polline). Questi sono solo alcuni dei vantaggi determinati dal cambiamento delle metodiche di allevamento. Ciò nonostante, l'ape resta indomita, e solo per compiacere alle esigenze dell'apicoltore si è adeguata a vivere nelle arnie di umana ideazione.

* * *

Zigzagando, avanti e indietro con il tempo, un altro settore, molto più vicino a noi e che è via via cresciuto, è quello dell'allevamento di specie di insetti come esche per la cattura di pesci.

Se originariamente erano esclusivamente le larve di moscone (*Sarcophaga carnaria* (L.), *Calliphora* sp.) allevate a scopo alieutico, oggi il mercato di insetti ha perfezionato le tecniche d'allevamento e si è arricchito di molte altre specie: la tarma della cera, *Galleria mellonella* (L.), il verme delle farine, *Tenebrio molitor* L., la mosca soldato, *Hermetia illucens* (L.), sono solo alcune delle esche che sono andate ad arricchire la gamma di quelle disponibili. Alle specie locali si

– Pubblicato marzo 2016

sono aggiunte le alloctone, quali il "kaimano", *Zophobas atratus* (F.).

In altri casi le difficoltà irrisolte di approntare allevamenti veri e propri, ha fatto sì che si continuasse a raccogliere l'esche direttamente in natura come nel caso di larve di tipule, volgarmente chiamate "gatoss".

Originale e frequente è il caso delle larve di tricotteri, prelevate dalle pietre dei corsi d'acqua, poi impiegate per la pesca di trote e salmerini presenti negli stessi torrenti. Larve che essendo protette da un astuccio a sua volta rivestito di pietruzze, vengono chiamate "porta sassi".

L'elenco di insetti impiegati come esche è molto lungo e sostanzialmente si basa sul principio di impiegare quelle specie di cui i pesci, predatori insettivori, si nutrono spontaneamente perché attratti dalle forme, dai colori o da movimenti che stimolano la naturale aggressività della specie ittica.

Una parte delle specie già citate viene allevata o semplicemente raccolta per alimentare animali da compagnia. *T. molitor*, anziché *Acheta domesticus* (L.), sono comunemente reperibili, vive, o morte disidratate, per questo scopo. È il caso anche dei chironomidi, che possono essere allevati o prelevati da ambienti favorevoli alla loro riproduzione, per essere dati in pasto a pesci d'acquario o di laghetti, particolarmente esigenti.

* * *

Un numero vastissimo di specie, che tende sempre più ad incrementare, è quello destinato alla lotta biologica.

Predatori e parassitoidi afferenti a diversi Ordini, oggi vengono allevati per essere distribuiti all'occorrenza per controllare insetti nocivi che con la loro attività trofica sono in grado di causare gravissimi danni economici o di sconquassare interi ecosistemi. Rincoti, Imenotteri, Ditteri e Coleotteri, rappresentano la schiera di adepti alleati dell'uomo per la salvaguardia delle colture o degli agroecosistemi oltre che dell'*habitat*. Questo ambito scientifico e operativo è relativamente recente, anche se concettualmente l'uso di insetti entomofagi per eliminare quelli fitofagi dannosi, si perde nei secoli scorsi. Negli ultimi anni questo settore ha avuto un notevole dinamismo, anche dettato da una tendenza generale alla riduzione dell'impiego dei fitofarmaci di sintesi – si vedano le misure adottate nel Piano Agricolo Nazionale –, a vantaggio di metodiche che contemplino organismi utili naturali; tale esigenza è inoltre di molto incrementata nei recentissimi decenni al fine di contrastare un perpetuo e crescente flusso di specie aliene, prive di antagonisti nei nuovi territori di conquista (JUCKER e LUPI, 2012). È riconosciuto infatti che l'impiego di ausiliari, in particolare insetti, nematodi, funghi e virus, nella limitazione di specie esotiche, abbia le prerogative di essere il metodo più efficace e permanente. Oggi sono molteplici le biofabbriche o i semplici laboratori in grado di fornire il materiale richiesto e un adeguato supporto tecnico. Riguardo agli insetti, le metodiche di allevamento sono delle più disparate. A volte si tratta a tutti gli effetti di riprodurre e moltiplicare in ambiente adeguato una determinata specie, in altri casi di prelevare il materiale biologico in campo, conservarlo e distribuirlo dove è necessario (VIGGIANI, 1997). Non si deve celare anche il rischio a cui si va incontro quando si impiegano organismi viventi, per i quali non sempre si riesce a prevedere l'effettivo impatto ambientale. Uno dei casi più recenti è quello del colettero coccinellide *Harmonia axyridis* Pallas introdotto nel vecchio continente quale ausiliario predatore di afidi, tripidi ecc, ma rivelatosi poi come un famelico predatore, che terminate le vittime preferite, ha rivolto l'attenzione verso le coccinelle autoctone, decimandone le popolazioni (ROY e WAJNBERG, 2008)).

* * *

Una certa affinità all'ambito sopra descritto, lo hanno gli insetti allevati o gestiti per l'impollinazione. Emblema dell'insetto pronubo è indubbiamente l'ape. Specie che in questo contesto ha un suo specifico spazio, derivante dalla molteplicità delle peculiarità che ingloba e dei comuni interessi che la vedono alleata dell'uomo. Bombi, Osmie e altri Imenotteri, invece, hanno come loro unica peculiarità, rispetto agli interessi dell'uomo, quella di impollinare. Ci si potrebbe domandare perché non utilizzare solo le api, più facili da gestire e più economiche da riprodurre. L'evoluzione di molte specie botaniche, non di rado, passa anche da aspetti coevolutivi con l'insetto che ne ha favorita la moltiplicazione e diffusione. L'etologia dei diversi gruppi entomologici che svolgono la funzione pronuba e le loro caratteristiche morfologiche, fanno sì che solo o soprattutto determinate specie, abbiano una precisa correlazione con le diverse essenze botaniche.

Temperature ambientali consone al volo, lunghezza della ligula, dimensione del corpo, momento delle secrezioni nettarifere e pollinifere, costituiscono un *unicum* a cui non ci si può sottrarre nella scelta del pronubo più idoneo e quindi da destinare all'allevamento.

Ma l'entomologia, nella sua accezione più narcisistica, assolve anche a un ruolo estremamente prezioso, sia per l'ambiente che per le singole persone. Considerando il contesto nel quale verrà letto questo lavoro, ometto di scrivere della famosa cassetta di

farfalle che si propone di fare vedere alla propria corteggiata, ma certo è che il fascino estetico di molte specie entomologiche attira l'attenzione dell'appassionato, ma pure di chi ama il bello. Emblematico di questo aspetto è l'ordine dei lepidotteri. Chi nella propria vita, entomologo o meno, non ha mai subìto l'attrazione verso farfalle dai colori appariscenti e dal volo armonioso o imprevedibile? Così, senza volerlo, una moltitudine di insetti riescono con il loro aspetto ad attirare l'attenzione dello scienziato, dell'appassionato, ma pure della persona attenta a quanto la circonda. Le livree, ma pure le luci dei lampiridi attirano, affascinano e incuriosiscono l'uomo. Ma ad essere colpito non è solo il senso della vista, anche l'udito. Il canto dei grilli ne è un esempio. In molti Paesi asiatici vengono allevati e venduti grilli all'interno di apposite gabbiette in bambù per allietare le giornate di chi li acquista. Veri e propri kit, per l'allevamento e la cura dei grilli, i riproduttori e per la loro progenie.

Insetti che vengono utilizzati per gratificare la voglia del collezionista, a volte più collezionista che entomologo. Cassette entomologiche contenenti spaventosi coleotteri dai colori brillanti o metallici, dalle zampe e antenne lunghe oltre il corpo, inoffensive mandibole che danno un aspetto terrifico, fasmidi dalle dimensioni impensabili. Specie a rischio di estinzione a causa della loro bellezza e straordinarietà.

Altre volte si tratta di insetti che si allevano per il piacere di vederne i comportamenti, e magari con un pizzico di piacere di vendetta, quando forniamo una fastidiosa mosca in pasto a una bella e magari esotica mantide. Infine, chi non si volta a vedere o ammirare un affascinante Papilionide o un ingombrante Saturnide?

Per concludere, insetti non utili all'economia o all'ambiente, ma che con la loro presenza provocano benessere a chi li ammira o li detiene.

* * *

Ci sono poi casi, non rari, in cui il rapporto non è solo di tipo estetico o comunque fisicamente esterno all'uomo, ma diviene talmente intimo da entrare nella fisiologia e nei complessi meccanismi vitali umani. Anche qui consideriamo le api come punto di partenza; si pensi ai loro tanti prodotti che vengono ingeriti dall'uomo: miele, pappa reale, polline con effetto terapeutico o placebo. Alla cera, da secoli usata per la bellezza, ma pure per la salute delle parti trattate. Al veleno, involontariamente ricevuto con la puntura di un aculeato provocata per difesa o offesa, ma anche volutamente ricevuto per un trattamento pilotato di punture per lenire le sofferenze dell'artrite. L'elenco non inizia e finisce con le api o di altri aculeati, si estende ad altre specie ben lontane da quell'eletto ordine.

Noto a molti è il caso della cocciniglia *Kermes vermilio* (Planchon), allevata sulle pale di fichi d'India *Opuntia* sp. ed usata come colorante naturale per la produzione di alchermes e di *Dactylopius coccus* Costa nota per dare una caratteristica tinta a un noto aperitivo. Abbiamo poi la valorizzazione di cibi, grazie al contributo organolettico di insetti vivi, che triturati nella masticazione, provocano un gradito arricchimento nel sapore. Il Casu marzu, formaggio rinomato sardo, è forse il più noto e particolare. Artefice di questo miglioramento delle qualità organolettiche del formaggio è *Piophila casei* (L.), moschino tanto temuto dai casari, ma ricercato dai buon gustai del formaggio sardo. Uguale infestante ma altro formaggio lo troviamo in Val Staffora, nell'Oltrepò pavese dove si produce il Nisso di Menconico, il formaggio che salta…ovvero con le larve di Piofila, caratterizzate dallo spiccare piccoli salti quando disturbate.

L'elenco di insetti abbinati a cibi o bevande è lungo, ma chiudo con un liquore arricchito dalla larva di *Comadia redtenbacheri* Hammerschmidt, un lepidottero cosside che nello stadio preimmaginale si nutre di agavi, e che viene abbinato al Mezcal, influenzandone il sapore e magari, chissà, favorendo la digestione.

Il passo è breve per passare da insetti con effetti medicamentosi placebi o ipotetici, ad altri la cui attività terapeutica è riconosciuta. Specie che vengono raccolte in natura o che vengono allevate per usi curativi o stimolanti. La cantaridina, prodotta dalle elitre del Coleottero Meloide *Lytta vesicatoria* (L.), ne è un esempio. Tralasciando le varie prescrizioni mediche a cui viene associata, resta comunque uno degli esempi emblematici di un rapporto consolidato fra un insetto e il suo uso a beneficio della salute umana.

Altrettanto noto è *Paederus fuscipes* Curtis e suoi congeneri, che attraverso la pederina contenuta nell'emolinfa e ben più velenosa del veleno del Cobra, è in grado di provocare gravi danni cutanei, ma se adeguatamente gestita farmacologicamente, è un potente cicatrizzante.

A volte nell'uso degli insetti come farmaci o coadiuvanti, ci sono rapporti diretti fra loro e l'uomo, altre volte intervengono altri organismi, con il ruolo terapeutico, e l'insetto, si potrebbe dire di essere un "vettore". È il caso dei lepidotteri *Hepialidae*, contaminati dal fungo *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.), che vengono impiegati da secoli nella medicina cinese (WANG e YAO, 2011). Raccolti manualmente uno per volta in zone ben delimitate coincidenti col Tibet, oggi il prelievo è contingentato e la stessa esportazione è limitata o vietata.

Un esempio attuale, riguarda l'uso dei ditteri della famiglia dei Calliforidi, utilizzati con criteri razionali e ben misurati, per sanificare le ferite. L'uso è basato sul principio di fare assumere, da parte delle larve, tutte le parti necrotiche delle ferite, in modo da lasciare esclusivamente le cellule sane e non contaminate, quindi pronte a rigenerare tessuti sani (SHERMANN *et al.*, 2000).

Ma si sa che oltre la vita e le cure, c'è sempre la morte. Ed anche qui gli insetti non ci lasciano. Se fa parte della natura che molte specie si nutrano di corpi morti e/o in putrefazione, l'applicazione razionale delle conoscenze nel rapporto fra queste specie e la morte dell'uomo ha dato avvio alla entomologia forense, limite "estremo" a cui si spinge la nostra scienza: oltre la morte. Se a questi esempi, estremamente parziali, aggiungiamo quelli legati alla tradizione popolare, alle credenze locali i cui effetti benefici non sono sempre certificati da sperimentazioni scientifiche, l'elenco sarebbe infinito, o quasi.

È però ampiamente presumibile che il primo rapporto fra uomo e insetti, sia stato di tipo trofico, probabilmente da entrambe le parti, parassita per una parte, in cambio di un approvvigionamento proteico senza grandi fatiche e rischi, dall'altra. Del resto ancora oggi abbiamo ampie tracce di insetti che vivono a spese dell'uomo, anche come vettori di gravi pestilenze. Ma è pur vero che ancora oggi è di oltre due miliardi il numero di persone che si nutrono di circa 2000 specie di insetti. Coleotteri, Imenotteri, Ortotteri, Isotteri, Emitteri e altri Ordini compongono il carniere da cui intere popolazioni si approvvigionano, utilizzandoli crudi, fritti e pepati, bolliti e in altri modi. Una vera cucina a sé stante, coincidente prevalentemente con le aree tropicali, dove la presenza temporanea, ma ciclica o permanente di copiose quantità di insetti garantisce una continua disponibilità proteica, senza fatica e senza rischi (DEFOLIART, 1997; CERRITOS, 2009; VAN HUIS *et al.*, 2013).

* * *

Anche in aree meno vocate a questa fonte alimentare, è capitato di lambire l'entomofagia. In certe zone della Pianura Padana, dove la presenza di marcite, di paludi e acquitrini consentiva la vita di grandi popolazioni di Odonati, fino a 70/80 anni or sono si mangiavano le libellule. Del resto, un testimone di tutto rispetto, Leonardo da Vinci, in un suo trattato, prevalentemente di cucina, suggerisce per la preparazione di piatti dell'epoca: api, grilli e larve (ROUTH, 2005).

Seppure ci siano tracce di un uso edule degli insetti nel nostro Continente, resta assodato che questi "ingredienti" non fanno parte della tradizione culinaria occidentale. Benché recentemente, sulla scia di una globalizzazione che investe tutto e tutti, un certo filone di pensiero abbia portato gli artropodi sulle tavole, restano due elementi incontestabili. Il primo è che questa alimentazione, per l'uomo, risulta al momento, più una curiosità che non una possibile fonte proteica integrativa o sostitutiva. Il secondo è che gli insetti godono di requisiti estremamente favorevoli nella loro capacità di sintetizzare proteine, caratterizzati da un basso impatto ambientale, ovvero, impronta ecologica. Questo aspetto, abbinato ad alcune esigenze sempre più evidenti del mondo occidentale – smaltimento e valorizzazione della frazione umida dei rifiuti; necessità di proteine di alto valore a basso costo; riduzione delle superfici destinate all'agricoltura intensiva; eccessivo impatto degli allevamenti zootecnici –, ci ha fatto riflettere sulla possibilità di trasformare tramite l'azione trofica degli insetti rifiuti organici in proteine (RUMPOLD e SCHLÜTER, 2013; VAN HUIS, 2013).

Benché questa tematica non sia nuova, resta comunque ampio l'ambito nel quale la ricerca può e deve muoversi. Si pensi infatti alla grande quantità di rifiuti potenzialmente impiegabili come alimento per gli insetti, alla plasticità di questi ultimi nell'adattarsi ad alimenti diversi e infine all'elevatissimo numero di specie a cui si può fare riferimento per individuare quelle più consone ai nostri scopi.

Seppure si tratti di un allevamento, quello degli insetti ha caratteristiche, esigenze e finalità ben diverse da quelli intesi in modo "tradizionale". Dando attuazione ad un loro allevamento massale, mirato alla produzione di proteine da destinare agli animali superiori, ci sono quindi una serie di problematiche originali.

Anche se di esempi a cui fare riferimento (api, bachi, bombi, ecc) ne abbiamo già molteplici, gli obiettivi che ci si prefigge, fanno sì che siano relativamente utili per risolvere i dubbi e le domande che ci si pone quando lo scopo è quello di utilizzare la specie scelta, come alimento per animali superiori.

Innanzitutto le strutture all'interno delle quali si andrà ad operare, dovranno essere dotate di tutte le misure necessarie ad evitare possibili fughe di individui. Perché l'allevamento abbia significato economico, le produzioni di tonnellate di individui sono raggiunte con concentrazioni di milioni di individui, presenti in diversi stadi di sviluppo. Quindi di dimensioni ridotte, grandi, più o meno mobili, alati e non. Ogni minimo pertugio rappresenta una possibile via di fuga e, indipendentemente dai maggiori o minori rischi ambientali o per la salute umana, rappresentati dalla specie considerata, è evidente

che l'evasione può rappresentare gravi problemi, anche solo considerando il potenziale numero di individui in fuga.

Quindi la struttura deve essere ben isolata dall'esterno, pressoché quanto una serra da quarantena.

Se da un lato si devono evitare le fughe, altrettanto si deve fare per gli ingressi di specie "inquinanti", predatrici o parassitoidi dell'insetto in allevamento. In questi casi i rischi per l'allevamento, sono ancora più alti. L'accesso può avvenire non solo attraverso la struttura, ma anche con le movimentazioni dei materiali e il transito degli operatori. Saranno quindi da prevedere altre barriere all'interno degli edifici al fine di tamponare delle possibili proliferazioni di acari o infestanti sull'intera area d'allevamento.

La presenza di sistemi di monitoraggio costante, attuati tramite trappole o filtraggio dell'aria, permette di essere tempestivi nell'intercettazione di organismi pericolosi e di dare attuazione alle reazioni necessarie per preservare l'ambiente da letali infestazioni.

Non da meno deve essere evitato a microrganismi di diversa natura di proliferare, sia quali patogeni degli insetti, sia come saprofiti sui substrati alimentari. Infatti la degenerazione qualitativa del cibo è sicuramente fonte di danno e nocività.

Non da sottovalutare è la predisposizione più consona delle condizioni ambientali: temperatura, flussi d'aria, umidità, fotoperiodo, microambienti di proliferazione (SCHNEIDER, 2009). Devono essere ideali per la vita e la crescita delle popolazioni e nel contempo non consentire e favorire lo sviluppo di funghi o microrganismi nocivi. A seconda delle diverse età di sviluppo, cambiano le condizioni più appropriate alla crescita dell'insetto e di conseguenza tali condizioni devono essere modificate. Flussi d'aria, criteri di umidificazione, tipologia e modalità di illuminazione, forme e materiali, sono elementi essenziali per il successo o meno dell'allevamento. Tutte queste attenzioni, dovranno avere sempre come costante riferimento, l'economicità degli investimenti, ma pure quella gestionale, senza ignorare le esigenze degli individui in allevamento.

A quanti entomologi è capitato di fallire nell'allevare una specie che in natura prolifera senza limite e con esigenze apparentemente minime?

La stessa tipologia del substrato alimentare deve essere motivo di attenzione, sia nei contenuti, sia nella forma e dimensione. La qualità, la certezza di assenza di sostanze venefiche, tossiche o semplicemente interferenti nella fisiologia dell'insetto determinano un fallimento o un successo. Nel contempo, i vari substrati dovranno subire dei processi di sanificazione che garantiscano agli insetti di potersene cibare senza rischi, ma che non causano lo scadimento nutrizionale del *pabulum* stesso.

Soprattutto quando si pensa di utilizzare substrati poveri e di origini dubbie, è essenziale una sua standardizzazione e omologazione igienica. È pur vero che documenti e filmati ci mostrano allevamenti di specie spartane adatte a vivere in condizioni igieniche assenti, ma si deve obbligatoriamente pensare alla salute dell'insetto allevato, esattamente come ora si verifica nel caso di polli, suini ecc. Ciò in considerazione anche, che il prodotto di questo allevamento, diventerà a sua volta nutrimento per altre specie superiori.

Riguardo all'impianto è da prevedere una progettazione, che riguardi tanto le strutture quanto i materiali, che consenta un'economia nella gestione e mantenga nelle condizioni ideali l'insetto.

A fianco dell'allevamento massale si devono prevedere degli allevamenti dei riproduttori, in modo tale da mantenere il genotipo ed eventualmente andare verso una selezione della progenie, che abbia esaltate le caratteristiche a cui noi diamo maggiore valore.

La fase produttiva, termina con l'abbattimento nel momento più consono e nel processo di trasformazione per la migliore conservazione. Privilegiate sono le farine.

Resta di tutto il processo produttivo lo scarto del nutrimento e le deiezioni, che a loro volta potranno rappresentare una fonte ecologica di reddito, quali concimi e ammendanti.

Il percorso di questo nuovo filone nei rapporti uomo-insetto passa anche dalla ricerca avanzata. Si sondano nuovi campi e come tali lo sono solo in minima parte. Ma le stesse condizioni in cui si muove l'economia mondiale favoriscono l'approccio a questa tematica. Si pensi come la concentrazione delle merci, l'agroalimentare, l'industria di trasformazione, dispongano di masse di materia prima, mai avuta disponibile prima d'ora. L'industria conserviera, le distillerie, i birrifici, producono centinaia di migliaia di tonnellate di scarti per i quali lo smaltimento è oneroso e va a detrimento dell'ambiente. Considerando che il mondo entomologico dispone di oltre un milione di specie, pronte ad aggredire un'infinità di substrati alimentari, uno dei passi auspicabili è quello di rintracciare le specie che più di altre si adattano agli scarti delle produzioni industriali.

Nel contempo, perché tutto questo processo di gestione possa assumere concretezza, è essenziale che si incomincino a scrivere le regole e norme perché diventino legge e quindi consentano l'avvio di attività produttive.

Per concludere si può affermare che questo approccio all'entomologia, fortifica l'immagine dell'insetto, quale alleato dell'ambiente e dell'uomo. Non più

come antagonista negli interessi economici o indesiderato commensale delle nostre abitazioni.

In questo caso l'insetto a pieno titolo è alleato dell'uomo, con un'impronta fortemente ambientale e persino economica, assurgendo a pieno titolo nella *green economy*.

RIASSUNTO

Vengono analizzate le interazioni tra uomo ed insetti attraverso una panoramica nel corso dei secoli, in diversi campi: l'importanza degli insetti nell'alimentazione, per la salute e in molte attività commerciali.

In particolare viene evidenziato il ruolo degli insetti come cibo, analizzando eventuali criticità degli allevamenti massali.

BIBLIOGRAFIA

CERRITOS R., 2009 - *Insects as food: an ecological, social and economical approach*. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 4(27): 1-10.

DEFOLIART G.R., 1997 – A*n overview of the role of edible insects in preserving biodiversity.* Ecology of Food and Nutrition, 36 (2-4), 109-132.

ERENS J., Es Van S., HAVERKORT F., KAPSOMENOU E., LUIJBEN A., 2012 – *A bug's life*. - Project 1052: 'Large-scale insect rearing in relation to animal welfare'

GOOD I., 2002 – *The Archaeology of Early Silk*. - Proceedings of the 8th Biennial Symposium of the Textile Society of America, September 26-28, 2002, Northampton, Massachusetts, Paper 388.

JUCKER C., LUPI D., 2011 – *Exotic Insects in Italy: An Overview on Their Environmental Impact*. - In: The Importance of Biological Interactions in the Study of Biodiversity, Jordi Lopez Pujol (Ed.), InTech, Rijeka (Croatia): 51-74.

ROUTH J., 2005 – *Note di cucina di Leonardo da Vinci*. Voland, Roma: 174 pp.

ROY H., WAJNBERG E., 2008 – *From biological control to invasion: the ladybird Harmonia axyridis as a model species*. BioControl (2008) 53:1-4.

RUMPOLD B., SCHLÜTER O., 2013 – *Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 17: 1-11.

SCHNEIDER J.C., 2009. – *Environmental biology of insect rearing*. In: J.C. Schneider (ed.), *Principles and procedures for rearing high quality insects*. - Mississippi State University, Mississippi State, MS, pp. 97-120.

SHERMAN R.A., M.J.R. HALL M.J., THOMAS S., 2000 – *Medicinal Maggots: An Ancient Remedy for Some Contemporary Afflictions.* Annual Review of Entomology, 45: 55-81.

VAN HUIS A., VAN ITTERBEECK J., KLUNDER H., MERTENS E., HALLORAN A., MUIR G., VANTOMME P., 2013 – *Edible insects: future prospects for food and feed security*. FAO eds: 187 pp.

VAN HUIS, A. 2013 – *Potential of insects as food and feed in assuring food security*. Annual Review of Entomology. - 58(1): 563-583.

VIGGIANI G., 1997 – *Lotta biologica e integrata nella difesa fitosanitaria. Vol. 2: Lotta integrata ai fitofagi*. Liguori Ed.: 460 pp.

WANG X.L., YAO Y.J., 2011 – *Host insect species of* Ophiocordyceps sinensis*: a review*. - Zookeys, 127: 43-59.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 83-87

ALLEVAMENTO SU LARGA SCALA D'INSETTI E FILIERE PRODUTTIVE

SILVIA CAPPELLOZZA (*) - ALESSIO SAVIANE (*)

(*) *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CRA), Unità di Apicoltura e Bachicoltura di Bologna, sede di Padova, Via Eulero, 6a - 35143 Padova;* e-mail: silvia.cappellozza@entecra.it
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Insect mass-rearing and production chains

Industrial mass-rearing of insects on a large scale is a recent process, with peculiar characteristics, which distinguish it from other insect rearing activities practiced in more ancient times quite. Particularly the rearing dimensions, continuity in time of the activity, economic sustainability of the process, if compared to other agricultural crops, modern and efficient management by the staff are distinctive tracts. In the paper some basic criticalities of the technique, the choice of the species are discussed and the silkworm *Bombyx mori* is proposed as the most convenient species for a "made in Italy" insect chain for feed and food production.

KEY WORDS: mass-rearing, pathogens, diets, "made in Italy" insect rearing, silkworms

INTRODUZIONE

L'allevamento degli insetti è una pratica piuttosto recente, poiché gli insetti utilizzati per l'alimentazione sono sempre stati prevalentemente raccolti in natura. Casi eccezionali sono rappresentati dalle api, i bachi da seta e le cocciniglie. Negli insetti, a causa delle piccole dimensioni, la concentrazione degli individui per unità produttiva è spesso molto elevata. A fronte di questa elevata concentrazione, la produzione alimentare rimane piuttosto limitata. Ad esempio, un alveare contiene circa 50-60.000 api ed anche fino a 90.000 prima della sciamatura, ma la produzione di miele si colloca tra i 10-12 kg per alveare (CONTESSI, 2010). Il baco da seta è allevato per la sua duplice attitudine (seta e crisalide), di cui la più rilevante è la produzione di fibra. Da un ettaro di superficie investita a gelso si ottiene la quantità di foglia necessaria ad allevare circa 25 telaini di seme-bachi, ovvero 500.000 uova, le quali dopo la schiusa e crescita delle larve daranno però luogo a circa 300 kg/ha di bozzolo secco, ovvero 150-200 kg di crisalidi secche (CAPPELLOZZA, 2010). Per quanto riguarda le cocciniglie, questi insetti sono utilizzati soprattutto per il pigmento alimentare che se ne estrae (FAO, 1995): in particolare *Kermes vermilio* (vermiglio della quercia) è impiegato per produrre l'alchermes, *Dactylopius coccus* (da cui si estrae rosso carminio), infeudato alle famiglie delle Cactaceae e allevato su *Opuntia ficus indica* (in ambito mediterraneo), origina il colorante alimentare E120. Sono tuttavia necessari da 80.000 a 100.000 insetti per ottenere un kg di colorante. Più recentemente nuovi allevamenti d'insetti hanno preso piede per finalità non strettamente correlate alla nutrizione umana. Fra questi si annoverano: a) gli impollinatori (specialmente per l'impollinazione in serra): bombi (*Bombus* spp.) e *Apis* spp.; b) predatori e parassitoidi per il controllo biologico degli insetti dannosi, ad es. la coccinella (*Hippodamia variegata, Adalia bipunctata, Cryptolaemus montrouzieri*), *Trichogramma* spp., parassitoide delle uova; c) insetti per "pet food": *Gryllodes sigillatus*, *Grillus bimaculatus*, *Zophobos morio*, *Alphitobius diaperinus*, *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria*, *Galleria mellonella*… Tuttavia nessuno degli allevamenti fino a qui illustrato può essere considerato realmente un allevamento su scala industriale, per cui devono essere, invece, adottati standard basati sulla produzione giornaliera, la concentrazione produttiva, la meccanizzazione e il contenimento dei costi. Esaminando il primo parametro, un allevamento industriale è stato definito come quello che permette di raggiungere la produzione di 1 tonnellata di peso fresco per giorno ("Expert Consultation Meeting at Fao Headquarter, Rome, 2012" riportato in VAN HUIS *et al.*, 2013). Questo concetto ne implica necessariamente un altro: la produzione giornaliera deve essere in continuo, e non legata alla stagionalità, come invece avviene nella maggioranza degli allevamenti d'insetti oggi praticati (pensiamo all'apicoltura e bachicoltura), almeno

– Pubblicato marzo 2016

nei climi temperati. Inoltre, s'intende come allevamento industriale un processo in cui, a differenza di altri allevamenti semi-domestici del passato, le unità produttive non si immaginano come piccole e separate (alveari, piccoli tunnel dei bachicoltori o locali degli allevatori di grilli tailandesi…), ma ampie e con una bassa densità di manodopera, in maniera da ottenere un'elevata concentrazione produttiva, che faccia ottimizzare gli spazi e utilizzare razionalmente le strutture. Infine, le operazioni allevatorie tendono a essere quanto più possibile meccanizzate, al fine di contenere i costi, elemento essenziale, specialmente se l'allevamento di insetti è destinato a creare mangime per l'alimentazione di animali domestici.

La scelta della specie in un allevamento su scala industriale

La scelta della specie assume una rilevanza particolare per determinare la possibilità di iniziare un allevamento di tipo industriale. Infatti, le specie d'insetti prescelte devono rispondere a requisiti fondamentali (Kok, 1983, Gon and Price, 1984), ovvero:

- La struttura sociale della popolazione deve essere di tipo gregario, gli individui devono poter occupare un territorio limitato, per ottimizzare gli spazi, e maschi e femmine devono potere convivere nello stesso habitat.
- Il comportamento sia intraspecifico, sia, eventualmente, interspecifico, deve essere non competitivo.
- Dal punto di vista alimentare è preferibile una specie generalista, che appetisce cibo facile da reperire o accetta una dieta artificiale e non mostra cannibalismo.
- Nei confronti dell'uomo deve essere di facile adattamento, priva di comportamenti di tipo antagonistico, e non emettere odori sgradevoli.
- Dal punto di vista produttivo deve avere: ciclo breve, elevata sopravvivenza degli stadi giovanili, elevata capacità di deposizione, elevata potenzialità di accrescimento biomassa/giorno e bassa vulnerabilità alle malattie/parassiti.
- Per quanto riguarda l'attività locomotoria e la scelta dell'habitat, deve essere: non migratoria o sedentaria o con spostamenti a breve raggio, di agilità limitata, con elevata tolleranza ambientale e versatilità ecologica.
- Il comportamento riproduttivo deve comportare: cura delle uova, stadi giovanili rapidi e facilmente separabili facilmente da quelli adulti.

La scelta della specie è anche influenzata fondamentalmente dalla finalità; infatti, se l'allevamento viene compiuto per la mangimistica animale, si può scegliere una specie che si alimenti su prodotti di scarto o prodotti secondari di altre filiere, poiché l'alimentazione degli insetti deve essere economica, per potere essere competitiva con altre materie prime, reperibile in loco, costante in qualità e quantità e di facile approvvigionamento. D'altra parte, se l'allevamento è compiuto con la finalità dell'alimentazione umana, in questo caso il riutilizzo di materiali di scarto è più difficile perché il "pabulum" alimentare degli insetti deve essere almeno "feed grade", ma anche "food grade" se l'insetto verrà consumato senza rimuoverne l'intestino. Anche in questo caso è preferibile che le risorse prime per la nutrizione degli insetti siano reperibili in loco, e mostrino le caratteristiche di quantità e qualità costante, ma, addizionalmente devono essere ancora più controllate per l'assenza di pesticidi e antibiotici.

I problemi dell'allevamento d'insetti su scala industriale

In Fig. 1 riadattata da Cohen (2004), è riportato uno schema in cui si possono apprezzare quali siano le criticità della gestione di un processo industriale di allevamento d'insetti. Nell'ambiente d'allevamento ci sono molti fattori da cui dipende non solo il benessere degli insetti, ma la loro produttività e il loro tasso di riproduzione. Se, ad esempio, consideriamo uno solo di questi fattori, quali l'umidità relativa, ci accorgiamo che non è sufficiente controllare l'umidità ambientale, ma è fondamentale monitorare quella della nicchia ecologica dove si trovano gli individui. Infatti, la regolazione dell'umidità ambientale può essere tarata su un determinato livello, ma la densità di popolazione, l'idratazione del substrato alimentare, gli scambi gassosi degli stessi insetti ne possono determinare un notevole innalzamento a livello di micro-nicchie. Inoltre, ci possono essere esigenze diverse in conseguenza dello stadio attraversato dallo stesso insetto e, frequentemente, ci troviamo in situazioni in cui, nello stesso ambiente, sono allevati insetti che sovrappongono fasi diverse del loro ciclo vitale. Ricordiamo che in pieno campo gli insetti sono liberi di cercare il microclima più adatto e che vicino al terreno troveranno un'umidità più elevata, ad esempio, che sull'apice di un ramo distante dal suolo. Possiamo adottare analogo ragionamento per la temperatura, il fotoperiodo, l'intensità e la lunghezza d'onda delle fonti luminose, senza contare le eventuali contaminazioni dell'aria. Per quanto riguarda gli insetti stessi, la composizione genetica della

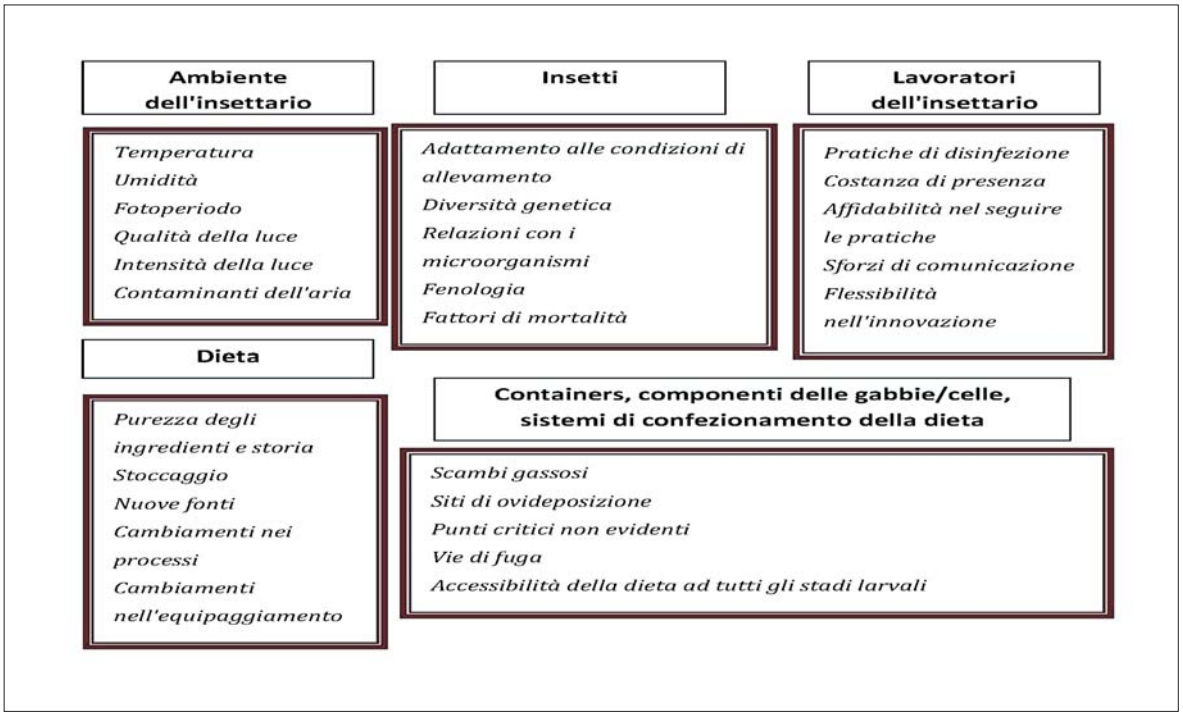


Fig. 1 – Criticità dell'allevamento industriale di larga scala compiuto in un insettario (tradotto e riadattato da COHEN, 2004).

popolazione presente nell'allevamento su larga scala è un'altra fonte di criticità. La taglia della colonia d'insetti e il pool genetico sono relativamente ristretti quando, per dare inizio all'allevamento industriale, si prelevano da poche centinaia a poche migliaia d'individui. Questi individui sono a loro volta un sottogruppo della popolazione di campo di una determinata località, perciò una frazione molto limitata della popolazione totale della specie oggetto d'interesse. Una volta in cattività, c'è un'ulteriore selezione degli individui che sopravvivono alle nuove condizioni ambientali, fortemente semplificate rispetto alle naturali. L'accoppiamento è solitamente limitato agli individui che si trovano in una stessa gabbia/contenitore e non libero fra tutti gli individui dell'allevamento, a meno che non si prevedano particolari protocolli per la riproduzione e il mantenimento dello stock d'insetti. Altre forti criticità sono rappresentate dai rapporti con i microorganismi (m.o.). Infatti, gli insetti hanno una relazione con i m.o. che comprende molti aspetti diversi: 1) i m.o. possono essere in simbiosi (commensalismo – mutualismo); 2) possono essere parassiti o patogeni degli insetti; 3) contaminanti della dieta o di altri materiali d'allevamento. I m.o. simbionti possono essere fondamentali nel determinare l'appropriato sfruttamento del substrato alimentare, come pure lo stato sanitario dell'insetto e, in taluni casi, può essere necessario procedere addirittura a inoculi selettivi. D'altronde i m.o. patogeni e contaminanti possono costituire un serio problema, provocando epidemie diffuse con esiti distruttivi per l'allevamento e devono essere costantemente monitorati. In particolare, è necessario capire quali possono essere le vie preferenziali d'entrata dei m.o. dannosi nell'insettario. Le principali fonti di contaminazione in un allevamento industriale sono: 1) i contaminanti del substrato alimentare all'origine; 2) le contaminazioni del substrato alimentare successive all'introduzione nell'allevamento e dovute ai diversi trattamenti e allo stoccaggio; 3) i m.o. introdotti dal personale o dal sistema di ventilazione dell'aria; 4) l'inoculo derivante dagli insetti stessi. Per quanto riguarda la nutrizione degli insetti, una delle principali criticità dell'allevamento su larga scala è costituita dal fatto che quando si formula una dieta per l'alimentazione dell'insetto si rinuncia di solito ad avere piante vive nell'adatto stato fenologico o prede vive od ospiti per parassiti o predatori, ma si rimpiazzano con misture di prodotti che si hanno in stock. Generalmente il cibo per gli insetti subisce trattamenti, quali: riduzione di taglia, mescolamento, e riscaldamento ad alta temperatura. Alcuni minerali come ferro, rame, zinco, manganese (distruttivi nei confronti degli acidi grassi polinsaturi della dieta) sono posti a diretto contatto con i lipidi stessi. Gli zuccheri raffinati e proteine sono mischiati e riscaldati for-

mando complessi indigeribili con le reazioni di Maillard. Gli enzimi distruttivi sono liberati dai loro compartimenti naturali inducendo ossidazione e idrolisi dei nutrienti e spesso estraendo inavvertitamente sostanze antinutrizionali. Una volta ottenuta un'equilibrata composizione alimentare del mangime è fondamentale che questo rimanga costante nel tempo e standardizzate le fonti. In caso di cambiamento di fonte d'approvvigionamento è necessario compiere test preliminari e apportare le necessarie correzioni determinate dalla variazione anche di un solo ingrediente. Il fattore umano è pure fondamentale nell'allevamento e determina l'accuratezza di ogni operazione, la capacità di reazione di fronte a situazioni inusitate, individuando strategie adeguate, l'igiene e lo standard qualitativo generale. Anche la struttura d'allevamento può mostrare punti critici, che sarà cura del personale individuare e correggere, o, se ciò non può essere fatto, monitorare frequentemente.

Ipotesi di filiere produttive

Una grande enfasi è stata posta, in tempi recenti sull'allevamento sostenibile d'insetti su materiale organico (ad esempio letame, liquame suino, compost). L'allevamento d'insetti su rifiuti biodegradabili parrebbe una pratica molto auspicabile per trovare un impiego eco-compatibile per i rifiuti stessi e abbattere i costi di produzione, disponendo di una risorsa a costo zero per l'alimentazione delle specie in grado di vivere su tali scarti (insetti saprofagi). Gli insetti, dopo trattamento, potrebbero diventare alimento per gli animali d'interesse zootecnico, la cui carne sarebbe poi venduta al consumatore. A livello internazionale ci si è concentrati, in tempi recenti, su poche specie, sostanzialmente tre: la mosca soldato (*Hermetia illucens*), la mosca comune (*Musca domestica*) e la tarma della farina (*Tenebrio molitor*) come bioconvertitori organici dotati di grande efficienza. Per quanto riguarda *M. domestica*, nel 2004, ha avuto inizio un progetto europeo LIFE, "Ecodiptera", con la finalità di riutilizzare il letame suino. Sono state utilizzate larve di mosche per trasformare il letame in fertilizzante e proteine, poiché dal sottoprodotto dell'alimentazione dell'insetto si è ottenuto un concime adatto alla fertilizzazione in agricoltura e con meno problemi di contaminazione ambientale rispetto ai liquami suini, mentre dall'allevamento delle mosche sono state ottenute pupe, che avevano la finalità dell'impiego in acquacoltura (anche se attualmente non consentito dalla legislazione Europea). Una società del SudAfrica (Agriprotein) ha iniziato la produzione di mosche per ottenere mangime. Enviroflight, è invece una ditta statunitense che usa il grano essiccato dei distillatori con sostanze solubili provenienti dagli impianti di etanolo e da birrifici per l'allevamento della mosca soldato *H. illucens* (van Huis *et al.*, 2013).

In generale, tutti questi processi di produzione di proteine per l'alimentazione animale o umana da insetti saprofagi devono essere attentamente valutati, per alcuni fattori: 1) salute umana (limiti legislativi posti dal loro utilizzo nell'alimentazione animale per i m.o. patogeni potenzialmente trasmessi o i residui di fitofarmaci o altri prodotti chimici o metalli pesanti); 2) costanza e facile reperibilità del materiale di scarto, costo di trasporto, semplicità ed economicità del trattamento pre-alimentazione. In Olanda vengono allevati i grilli, sia per l'alimentazione umana, sia per quella dei "pet animals". Nel caso dei grilli, i mangimi in generale forniti agli insetti sono di buona qualità e, quindi, il costo della farina d'insetti è comparabile a quello di un mangime zootecnico, anche se l'efficienza di conversione è maggiore. Altre filiere d'insetti che si alimentano su piante (ad esempio il baco da seta) o xilofagi, possono essere valutati per la loro sostenibilità ambientale ed economica.

Esempio di una filiera produttiva "made in Italy"

Alcuni insetti, meglio di altri, si prestano a instaurare delle filiere produttive per l'alimentazione (Cappellozza, 2013). Ad esempio, baco da seta e ape sono domesticati da millenni; l'uomo ha, perciò, instaurato con essi un rapporto di profonda conoscenza. Innanzitutto di entrambi questi insetti l'uomo ha sequenziato tutto il DNA ed essi sono utilizzati da secoli come modelli biologici; abbiamo familiarità con la loro fisiologia e sappiamo quali condizioni li portano a prosperare e produrre al massimo delle loro possibilità. Il baco da seta ha un tasso di crescita rapidissimo: in meno di un mese aumenta circa 8.000 volte di volume e 6.000 di peso. Vive ad altissime densità di popolazione e le larve sono capaci anche di comportamenti "sociali" intesi a mantenere igienico l'ambiente in cui vivono. Gli individui malati cercano di isolarsi dal resto della comunità e vanno a morire lontano: questo comportamento, che in natura diffonde i virus nell'ambiente, in un allevamento diminuisce la possibilità di trasmettere le infezioni ad altre larve; *B. mori* ha altissima capacità di ovi-

deposizione (circa 600 uova per farfalla). Mostra un'altissima variabilità genetica e da tempo esistono banche di germoplasma per il mantenimento dei genotipi diversi di baco da seta in purezza; l'uomo è anche in grado di selezionare gli individui portatori di caratteristiche utili. L'allevamento del baco da seta si presta all'alimentazione con dieta artificiale e meccanizzazione; *B. mori* è consumato come alimento, sotto forma di larva e crisalide, da millenni da parte dell'uomo e degli animali. L'Italia ha il vantaggio di potere disporre delle razze da cui partire come stock genetico con la banca di germoplasma (CAPPELLOZZA *et al.*, 2013) conservata presso il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di Ricerca di Apicoltura e Bachicoltura (CRA-API), sede di Padova e le può differenziare a seconda del prodotto finale che si vuole ottenere. Non solo, in Veneto, sta attualmente ripartendo una filiera di allevamento che potrebbe risultare a duplice attitudine produttiva, corteccia serica e crisalide. La corteccia serica può trovare applicazione sia nella cosmesi, sia nella cardatura, mentre le crisalidi possono essere utilizzate come tal quale, sotto forma di sfarinato o dopo estrazione dell'olio per finalità farmaceutiche, come farina proteica (FAO, 2003). Il MIPAAF ha recentemente approvato un disciplinare per la gelsibachicoltura biologica (http://www.icea.info/it/news/article/1226-nasce-la-seta-bio-e-la-certifica-icea) (marzo 2015), cosicché il baco da seta potrebbe rappresentare una filiera made in Italy e biologica, in cui la crisalide, e prodotti da essa derivati, potrebbe essere utilizzata per l'alimentazione animale e anche per quella umana, una volta stabiliti gli standard produttivi industriali. Il CRA-API di Padova ha avviato tutte le pratiche per essere riconosciuto come il primo centro mondiale dove si producono uova di baco da seta biologiche, indispensabile materia prima per avviare tutto il ciclo produttivo biologico da parte degli agricoltori. Inoltre, in Veneto, sta già ripartendo la produzione di baco da seta a livello degli agricoltori e la trattura della seta.

RIASSUNTO

L'allevamento industriale di insetti su larga scala è un processo abbastanza recente, che presenta alcune caratteristiche peculiari, che lo contraddistinguono da altre attività di allevamento degli insetti praticate in tempi più antichi. In particolare, le dimensioni dell'allevamento, la continuità dell'allevamento nel tempo, la sostenibilità economica del processo, in comparazione ad altre analoghe produzioni agricole, una gestione moderna ed efficiente da parte dello staff sono tratti distintivi. Nell'articolo alcuni punti critici fondamentali della tecnica e la scelta della specie vengono, altresì, discusse e il baco da seta *Bombyx mori* è proposto come la specie più conveniente per una filiera di produzione d'insetti "made in Italy" per l'alimentazione di animali e uomo.

BIBLIOGRAFIA

CAPPELLOZZA S., 2010 – *Manuale di buona pratica agricola.* https://www.politicheagricole.it/flex/files/8/7/c/D.60d46250dbc0314586d7/manuale_pratica_bach.pdf

CAPPELLOZZA S., 2013 – *Insetti come cibo: tradizione esotica o opportunità per il nostro futuro?* – Analysis, 3-4: 1-10.

CAPPELLOZZA S., SAVIANE A., TOSO L., 2013 - *La collezione di germoplasma di baco da seta (Bombyx mori L.) appartenente all'Unità di Apicoltura e Bachicoltura di Bologna, sede di Padova.* In: Conservazione biodiversità, gestione banche dati e miglioramento genetico. Biodati, D'Andrea F., Edizioni Nuova Cultura, Roma, 2: 961-990

COHEN A. C., 2004 – *Insect diets. Science and Technology.* CRC Press, 324 pp.

CONTESSI A., 2010 – *Le api. Biologia, allevamento, prodotti.* Edagricole, XXV-497 pp.

FAO, 1995 – *Non-Wood Forest Products 4. Natural colourants and dyestuffs.* http://www.fao.org/docrep/v8879e/V8879e00.htm

FAO, 2003 - *Conservation Status of Sericulture Germplasm Resources in the World - II. Conservation Status of Silkworm (Bombyx mori) Genetic Resources in the World.* http://www.fao.org/docrep/005/ad108e/ad108e00.htm#Contents

GON S.M., PRICE O.E., 1984 – *Invertebrate Domestication: Behavioral Considerations*. - Bioscience, 34 (9): 575-579.

KOK R., 1983 – *The production of insect as human food*. - Can. Inst. Food Sc. Tecnol. J., 16 (1): 5-18.

VAN HUIS A., VAN ITTERBEECK J., KLUNDER H., MERTENS E., HALLORAN A., MUIR G., VANTOMME P., 2013 – *Edible insects: future prospects for food and feed security*. FAO Forestry Paper (171), 187 pp.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 89-93

UTILIZZO DI INSETTI COME BIOTRASFORMATORI: DALLO SCARTO ALIMENTARE ALLA PRODUZIONE DI PROTEINE ANIMALI PER LA MANGIMISTICA

MORENA CASARTELLI (*) - GIANLUCA TETTAMANTI (**)

(*) *Dipartimento di Bioscienze, Università degli Studi di Milano, via Celoria 26, 20133 Milano;* e-mail: morena.casartelli@unimi.it
(**) *Dipartimento di Biotecnologie e Scienze della Vita, Università degli Studi dell'Insubria, via Dunant 3, 21100 Varese.* gianluca.tettamanti@uninsubria.it
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Use of insects in bioconversion processes: from food waste to protein production for animal feed

In the years to come it will be mandatory to face the crucial problem of feeding the constantly increasing world population avoiding or limiting the depletion of food resources, the unsustainable exploitation and exhaustion of agricultural land and water, and the environmental pollution due to the increased waste production and greenhouse gas emission. The higher demand for human food, and more specifically for animal proteins, requires an increasing production of feeds for livestock, poultry and aquaculture, all of which largely rely on fish and soybean meal as essential additives. Another serious concern is represented by food waste disposal: one third of all food produced globally is wasted, amounting to 1.3 billion tons per year and inadequate waste treatment in developing countries is a serious source of pollution. These critical challenges require innovative solutions and the development of novel approaches towards recognition of new biological resources, new production and consumption cycles, and novel waste processing, recycling and disposal.

In addition to their use as a regular food supplement in eastern countries, insects must be considered as a high potential source of animal protein for feed production as well as a primary agent for organic waste reduction and bioconversion into usable proteins. In view of this remarkable potentiality, studies in basic and applied entomology, biology, science of nutrition, animal production science and aquaculture must produce a solid platform of knowledge useful to develop new high technological industrial processes.

KEY WORDS: Insect meal, feed production, livestock, aquaculture, waste management.

INTRODUZIONE

Gli insetti rappresentano un'importante fonte di nutrimento per l'uomo in molte regioni dell'Asia, dell'America Latina e dell'Africa, dove vengono consumati da circa due miliardi di persone. In queste zone, gli insetti utilizzati come alimento vengono raccolti in natura, sebbene nel Sud-Est asiatico esistano esempi di allevamento su larga scala di Ortotteri per consumo umano (VAN HUIS *et al.*, 2013). Più comune è la pratica della semi-coltivazione o produzione naturale migliorata, utilizzata da differenti popolazioni indigene per creare condizioni ottimali per la riproduzione, la deposizione delle uova e lo sviluppo delle specie di insetto abitualmente consumate, in modo da poterle poi raccogliere più agevolmente e in abbondante quantità (VAN HUIS *et al.*, 2013). Gli insetti più consumati a livello mondiale appartengono agli ordini di: Coleotteri (31%), Lepidotteri (18%) Imenotteri (14%), Ortotteri (13%), Emitteri (10%), Isotteri (3%), Odonati (3%), Ditteri (2%) (VAN HUIS *et al.*, 2013). Nella maggior parte dei Paesi occidentali l'entomofagia è invece considerata una pratica primitiva e la sola idea di consumare insetti a scopo alimentare suscita disgusto. Questo atteggiamento è legato essenzialmente alla cultura che nel corso dei secoli si è affermata in queste regioni, influenzata dalla storia, dalla struttura politico-sociale e dallo sviluppo economico. Negli ultimi anni, però, anche nei Paesi occidentali si è iniziato a considerare l'importanza degli insetti commestibili, soprattutto come fonte di proteine da utilizzare per la produzione di mangimi. Questo cambiamento di rotta è da imputare a diversi fattori. Il consumo mondiale di carne e pesce è in costante aumento (VAN HUIS, 2013; VAN HUIS *et al.*, 2013) e questo richiede necessariamente un aumento della produzione dei mangimi impiegati per l'allevamento. Attualmente le farine di pesce e di soia rappresentano le principali fonti proteiche utilizzate per la loro produzione e l'aumento della richiesta di queste materie prime ha determinato un drastico

– Pubblicato marzo 2016

aumento del loro prezzo. Inoltre, la loro produzione sfrutta risorse impiegate anche per l'alimentazione umana e ha un grosso impatto sull'ambiente (PELLETIER e TYEDMERS, 2010; STEINFELD e GERBER, 2010). Ciò impone di individuare fonti proteiche alternative e, in questo contesto, gli insetti possono rappresentare una concreta alternativa (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Un importante criterio da considerare per stabilire se una determinata fonte possa rappresentare una valida materia prima per la produzione di mangimi è il contenuto in proteine. Numerosi studi, riassunti in recenti pubblicazioni (MAKKAR *et al.*, 2014; SANCHEZ-MUROS *et al.*, 2014), hanno evidenziato che molte specie di insetto hanno un elevato contenuto in proteine, paragonabile a quello presente nelle farine di pesce o di soia. Tali proteine possiedono un'ottima qualità nutrizionale poiché ricche in amminoacidi essenziali, tra cui lisina, metionina e leucina, solitamente carenti nelle fonti proteiche vegetali convenzionali. A questo va aggiunto che gli insetti presentano un'elevata efficienza di conversione del cibo ingerito, di gran lunga superiore a quella di bovini, suini o ovini (VAN HUIS, 2013; VAN HUIS *et al.*, 2013), che il loro allevamento non necessita di ampi spazi, richiede un basso consumo di acqua e determina ridotte emissioni di gas serra e ammoniaca (OONINCX *et al.*, 2010; OONINCX e DE BOER, 2012). Inoltre, alcuni insetti sono saprofagi e possono crescere su materia organica in decomposizione, trasformando così un materiale di rifiuto in fonte di proteine animale. Questo aspetto è particolarmente interessante perché è stato stimato che un terzo del prodotto della filiera agro-alimentare mondiale (pari a circa 1,3 miliardi di tonnellate l'anno) viene oggi perso o eliminato come scarto (GUSTAVSSON *et al.*, 2011) e la valorizzazione di questa enorme quantità di materia organica attraverso la sua biotrasformazione in proteine animali con alto valore nutrizionale è una prospettiva sicuramente stimolante.

Sono diverse le specie di insetto ritenute interessanti per la produzione di mangimi. Su di esse sono stati condotti studi, e altri sono tuttora in corso, per comprenderne al meglio la biologia, valutarne la capacità di crescita su differenti substrati ed analizzare la qualità della farina ottenuta in termini di contenuto in macro- e micronutrienti e di sicurezza igienico-sanitaria. Qui di seguito vengono elencate le principali.

MOSCA SOLDATO NERA (*HERMETIA ILLUCENS*)

Questo dittero, originario delle regioni tropicali, subtropicali e temperate dell'America, è oggi diffuso in tutte le regioni della Terra comprese tra il 45° parallelo Nord e il 40° parallelo Sud (MAKKAR *et al.*, 2014). Le larve sono estremamente voraci (consumano quotidianamente una quantità di substrato alimentare pari al doppio del loro peso) e possono crescere su differenti rifiuti organici, tra cui scarti dell'industria agroalimentare e dei processi agricoli, reflui zootecnici, rifiuto umido urbano, riducendone in modo significativo la massa (DIENER *et al.*, 2009, KALOVA e BORKOVCOVA, 2013; SHEPPARD *et al.*, 1994; ST-HILAIRE *et al.*, 2007; VAN HUIS *et al.*, 2013). Il suo ciclo di sviluppo è relativamente veloce: in condizioni ideali di temperatura e umidità lo stadio larvale ha una durata media di 2 mesi, quello pupale di 2 settimane, mentre l'adulto si accoppia 48 ore dopo lo sfarfallamento e ovidepone entro pochi giorni (MAKKAR *et al.*, 2014). L'adulto non è vettore di malattie e non si alimenta, altre due caratteristiche interessanti di questo insetto. E' stato anche dimostrato che le larve alimentate su letame sono in grado di modificarne la microflora, riducendo la carica di batteri come *Escherichia coli* e *Salmonella enterica* (ERICKSON *et al.*, 2004): ciò è probabilmente legato alla capacità di questi insetti di produrre peptidi antimicrobici particolarmente efficaci nei confronti di differenti ceppi batterici (MAKKAR *et al.*, 2014). Numerosi studi hanno evidenziato che la farina ottenuta dallo stadio prepupale di questo insetto presenta un elevato contenuto in proteine ad alto valore nutrizionale, paragonabile a quello presente nelle farine di pesce e di soia (riassunti da MAKKAR *et al.*, 2014). Tali farine sono state impiegate come materia prima per la produzione di mangimi per l'allevamento di differenti animali quali polli, maiali, trota iridea, pesce gatto, tilapia e salmone con risultati assolutamente soddisfacenti (MAKKAR *et al.*, 2014). Nel caso del mangime utilizzato per l'acquacoltura sono riportati dati molto incoraggianti poiché, utilizzando percentuali di sostituzione della farina di pesce pari al 25, 50 e 100%, le specie allevate hanno mostrato buone performance di crescita e nessuna variazione negli indici istologici o nella qualità del filetto (MAKKAR *et al.*, 2014).

MOSCA DOMESTICA (*MUSCA DOMESTICA*)

Questo insetto, diffuso in tutto il mondo, può essere allevato su letame e rifiuti organici in decomposizione. Le femmine depongono fino a 2000 uova e il ciclo di sviluppo è estremamente rapido: in condizioni controllate, dalla schiusa al termine dell'età pupale trascorrono solo 6 giorni (MAKKAR *et al.*, 2014). Sebbene sia stato dimo-

strato che le larve rappresentano un adeguato ingrediente per i mangimi utilizzati per l'allevamento di pollame, di alcune specie di pesce, come tilapia o pesce gatto, e di crostacei, dove può sostituire parte della farina di pesce, il contenuto in proteine è piuttosto variabile (tra il 40% e il 60% del peso secco) (MAKKAR *et al.*, 2014). L'utilizzo di questo insetto genera però non poche perplessità poiché l'adulto è vettore di patogeni e le larve si alimentano su un substrato particolarmente a rischio. Pertanto, per l'utilizzo della mosca domestica nell'ambito della produzione di farine, risulta indispensabile un approfondito studio in ambito batteriologico, micologico e tossicologico.

TARME DELLA FARINA (*TENEBRIO MOLITOR*, *TENEBRIO OBSCURUS*)

Questi insetti sono diffusi in tutto il mondo e hanno un ciclo di sviluppo piuttosto lungo, che può durare fino a diversi mesi. L'allevamento di queste specie è però relativamente semplice e si sono ottenuti ottimi risultati di crescita utilizzando materiale vegetale di scarto come substrato (MAKKAR *et al.*, 2014). È stato dimostrato che la farina ottenuta da questi insetti può essere utilizzata con successo per l'allevamento di pollame e pesci (pesce gatto, orata, branzino, trota) (MAKKAR *et al.*, 2014).

LOCUSTE, CAVALLETTE E GRILLI

Sono stati eseguiti studi su differenti specie di Ortotteri e messi a punto allevamenti su larga scala di differenti specie di cavallette, tra cui *Oxya fuscovittata* e *O. hyla*. È stato dimostrato che esse presentano un elevato valore nutrizionale che, insieme agli elevati tassi di fecondità e fertilità, rendono questi insetti adatti alla produzione di mangimi (DAS *et al.*, 2009; 2012a; 2012b). Tra i grilli, *Acheta domesticus* è relativamente facile da allevare, non necessita di ampi spazi (circa 2000 insetti possono crescere su una superficie pari a un metro quadrato), è onnivoro, svolge 6-7 generazioni ogni anno e il contenuto in proteine è particolarmente elevato (55-67% del peso secco) (MAKKAR *et al.*, 2014).

I dati che ad oggi abbiamo a disposizione sono sicuramente importanti e incoraggianti, ma rappresentano solo il punto di partenza. Per fare una corretta valutazione della potenzialità degli insetti come biotrasformatori, da cui ricavare la materia prima per la produzione di mangimi, occorre innanzitutto tenere presente la possibilità di allevare su larga scala le specie di interesse, le quali devono quindi presentare alcune caratteristiche quali:

- capacità di crescita su substrato alimentare di scarso valore, derivante da scarti dei processi di produzione;
- elevato tasso di conversione del substrato alimentare in biomassa;
- basso tasso di mortalità degli stadi giovanili;
- breve ciclo di sviluppo;
- elevato potenziale riproduttivo;
- capacità di vivere ad alta densità;
- elevata qualità nutrizionale;
- ridotta vulnerabilità alle malattie.

Altri fattori, non meno importanti, che devono essere considerati nel caso di allevamenti su scala industriale, sono: la possibilità di effettuare allevamenti basati su processi di automazione, riducendo l'impiego di mano d'opera e abbattendo i costi di produzione; lo sviluppo di piani di miglioramento genetico della specie per l'ottenimento di linee altamente produttive; la definizione di strategie di contenimento se la specie è allevata in aree non endemiche.

Per rispondere alla crescente domanda nel settore dell'alimentazione animale esistono già in Europa esempi di aziende che hanno sviluppato su scala industriale l'allevamento di specie di insetti quali *H. illucens* e *M. domestica*, mentre sul fronte della ricerca diversi progetti sono stati finanziati da agenzie nazionali o da programmi della Comunità Europea. Anche in Italia negli ultimi anni la comunità scientifica si sta interessando al possibile impiego di insetti nella produzione di mangimi per animali d'allevamento, principalmente pesci e specie avicole. Differenti Università e Centri di Ricerca (tra cui Università degli Studi di Camerino, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi di Messina, Università degli Studi di Napoli Federico II, Università degli Studi di Torino, Università degli Studi della Tuscia, CNR di Torino, CNR di Messina) sono coinvolti in progetti in cui vengono utilizzate sopratutto *H. illucens* e *T. molitor*. Recentemente è stato finanziato da Fondazione Cariplo, nell'ambito del Bando 2014 "Ricerca integrata sulle biotecnologie industriali", un progetto dal titolo "Insect Bioconversion: from vegetable waste to Protein production for fish Feed (InBioProFeed)" in cui sono coinvolte l'Università degli Studi dell'Insubria, l'Università degli Studi di Milano e il CRA-API di Padova. I principali obiettivi del progetto sono:

1) Standardizzazione dell'allevamento di *H. illu-*

cens su materiale di scarto di origine vegetale, derivante dal comparto ortofrutticolo. Ciò permetterà di individuare le condizioni ottimali per ottenere la migliore crescita dell'insetto, la massima riduzione dello scarto e la migliore efficienza di conversione del substrato. Occorre tenere presente che nella maggior parte degli studi eseguiti fino ad ora per l'allevamento di questo insetto è stato utilizzato materiale organico di scarto quale letame o rifiuto umido urbano, mentre sono limitate le informazioni sulla possibilità di allevare *H. illucens* su scarti di origine vegetale (KALOVA e BORKOVCOVA, 2013), un substrato di crescita caratterizzato da un migliore profilo igienico-sanitario.

2) Individuazione di marcatori morfologici, molecolari e funzionali da utilizzare come marker diagnostici per monitorare la crescita, lo sviluppo e la salute degli insetti in allevamento. Questa attività di ricerca permetterà di ottenere da un lato informazioni di base sulla biologia, la fisiologia e lo sviluppo di questo insetto, ad oggi piuttosto limitate ma indispensabili per poter sfruttare appieno le sue potenzialità per scopi applicativi, e dall'altro di costruire una solida piattaforma di conoscenze da utilizzare nel miglioramento delle metodologie di allevamento attuali, individuando marcatori diagnostici utilizzabili di routine per monitorare lo sviluppo e la salute degli insetti, un aspetto fondamentale negli allevamenti su larga scala.
3) Produzione della farina di insetto e valutazione delle sue qualità nutrizionali e microbiologiche. Gli studi finora eseguiti sulle specie di insetto commestibili e sulle farine da essi derivate hanno evidenziato una certa variabilità nella composizione di macro- e micro-nutrienti in relazione allo stadio di sviluppo utilizzato e al substrato su cui sono allevate; ciò rende difficile una generalizzazione circa il loro valore nutrizionale e il possibile impiego nella produzione di mangimi. Per queste ragioni sono previste una serie di azioni dedicate all'analisi dettagliata in termini di contenuto nutrizionale della farina di *H. illucens* ottenuta dagli insetti allevati su substrato vegetale; inoltre, verranno eseguiti controlli per valutare la presenza di contaminazioni batteriche durante l'intero ciclo produttivo, in modo da garantire un prodotto finale microbiologicamente sicuro.
4) Valutazione della performance della farina di *H. illucens* come fonte proteica per l'allevamento di trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*). La scelta di questa specie è legata alla sua importanza nella produzione ittica italiana. Il progetto prevede dettagliate analisi, con i metodi più innovativi nell'ambito dell'acquacoltura, sulle performance di crescita e la salute dei pesci alimentati con diete in cui la farina di pesce viene sostituita con percentuali crescenti di farina di insetto. I risultati della ricerca daranno un contributo fondamentale per lo sviluppo di nuove prospettive nell'ambito dell'acquacoltura.
5) Sfruttamento della biomassa residua dall'allevamento di *H. illucens* per la produzione di ammendanti. Il residuo dei rifiuti vegetali non consumato dalle larve e arricchito dagli escrementi degli insetti e dalle loro exuviae sarà analizzato per un suo possibile impiego in vermicoltura al fine di ottenere fertilizzanti. Il progetto ha quindi l'ambizioso obiettivo di valutare la possibile creazione di un sistema di produzione a ciclo chiuso, con un riutilizzo completo dei rifiuti.

In conclusione, possiamo affermare che la conoscenza dettagliata della biologia di un significativo numero di insetti che presentano le caratteristiche precedentemente elencate, del loro valore nutrizionale, della sicurezza alimentare delle farine in termini di presenza di pesticidi, metalli pesanti, tossine, patogeni, allergeni, e l'individuazione dei migliori substrati di scarto su cui è possibile mettere a punto l'allevamento, rappresenteranno una solida base scientifica per poter sfruttare l'enorme biodiversità degli insetti e permettere lo sviluppo di un nuovo settore industriale. Affinché questo obiettivo possa essere raggiunto, è urgente la promulgazione di leggi che regolino l'utilizzo degli insetti come materia prima per la produzione di mangimi.

RIASSUNTO

Un'impegnativa sfida per il futuro sarà quella di soddisfare le richieste alimentari di una popolazione mondiale in costante crescita, cercando di sfruttare al meglio e in modo sostenibile le risorse, i terreni coltivabili e l'acqua, limitando nel contempo l'inquinamento ambientale. Per soddisfare la richiesta crescente di cibo sarà necessario aumentare la produzione di mangimi per l'allevamento animale e far fronte al grave problema dello smaltimento dei rifiuti alimentari, dal momento che un terzo del prodotto della filiera agro-alimentare mondiale viene oggi perso o eliminato come scarto. Queste sfide cruciali richiedono soluzioni innovative e strategie volte alla ricerca di nuove risorse alimentari, alla realizzazione di nuovi cicli di produzione e di consumo, e alla progettazione di nuovi sistemi per il trattamento, il riciclo e lo smaltimento dei rifiuti.

Gli insetti rappresentano una potenziale fonte di proteine animali per la produzione di mangimi e, nello stesso tempo, una soluzione per la riduzione di rifiuti organici

che possono essere biotrasformati in proteine ad elevato contenuto nutrizionale. Considerate queste notevoli potenzialità, la ricerca scientifica nel campo dell'entomologia di base ed applicata, della biologia, delle scienze della nutrizione, delle produzioni animali e dell'acquacoltura può fornire una solida base di conoscenze da cui sarà successivamente possibile sviluppare nuovi processi industriali ad elevato contenuto tecnologico.

BIBLIOGRAFIA

DAS M., GANGULY A., HALDAR P., 2012a - *Annual biomass production of two acridids (Orthoptera: Acrididae) as alternative food for poultry.* Spanish J. Agric. Res., 10: 671-680.

DAS M., GANGULY A., HALDAR P., 2012b - *Effect of food plants on nutritional ecology of two acridids (Orthoptera: Acrididae) to provide alternative protein supplement for poultry*. Turk. J. Zool., 36: 699-718.

DAS M., GANGULY A., HALDAR P., 2009 - *Space requirement for mass rearing of two common Indian acridid adults (Orthoptera: Acrididae) in laboratory condition*. Am.-Eur. J. Agric. Environ. Sci., 6: 313-316.

DIENER S., ZURBRUGG C., TOCKNER K., 2009 - *Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates*. Waste Manage. Res., 27: 603-610.

ERICKSON M.C., ISLAM M., SHEPPARD C., LIAO J., DOYLE M.P., 2004 - *Reduction of* Escherichia coli *O157:H7 and* Salmonella enterica *serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly*. J. Food Prot. 67: 685-690.

GUSTAVSSON J., CEDERBERG C., SONESSON U., VAN OTTERDIJK R., MEYBECK A., 2011 - *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention*. FAO, Rome.

KALOVA M., BORKOVCOVA M., 2013 - *Voracious larvae* Hermetia illucens *and treatment of selected types of biodegradable waste*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 61: 77-83.

MAKKAR H.P.S., TRAN G., HEUZÉ V., ANKERS P., 2014 - *State-of-the-art on use of insects as animal feed*. Anim. Feed Sci. Tech., 197: 1-33.

OONINCX D.G.A.B., DE BOER I.J.M., 2012 - *Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans. A life cycle assessment*. PLoS ONE, 7: e51145.

OONINCX D.G.A.B., VAN ITTERBEECK J., HEETKAMP M.J.W., VAN DEN BRAND H., VAN LOON J.J.A., VAN HUIS A., 2010 - *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*. PLoS ONE, 5: el14445.

PELLETIER N., TYEDMERS P., 2010 - *Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000-2050*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 107: 18371-18374.

SÁNCHEZ-MUROS M.J., BARROSO F.G., MANZANO-AGUGLIARO F., 2014 - *Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review*. J. Clean. Prod., 65: 16-27.

SHEPPARD D.C., NEWTON G.L., THOMPSON S.A., SAVAGE S., 1994 - *A value added manure management system using the black soldier fly*. Bioresour. Technol., 50: 275-279.

STEINFELD H., GERBER P., 2010 - *Livestock production and the global environment: Consume less or produce better?* Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 107: 18237-18238.

ST-HILAIRE S., CRANFILL K., MCGUIRE M.A., MOSLEY E. E., TOMBERLIN J.K., NEWTON L., SEALEY W., SHEPPARD C., IRVING S., 2007 - *Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids*. J. World Aquacult. Soc., 38: 309-313.

VAN HUIS A., 2013 - *Potential of insects as food and feed in assuring food security*. Annu. Rev. Entomol., 58: 563-583.

VAN HUIS A., VAN ITTERBEECK J., KLUNDER H., MERTENS E., HALLORAN A., MUIR G, VANTOMME P., 2013 - *Edible insects: future prospects for food and feed security*. FAO forestry paper Vol. 171.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 95-99

COSTI E BENEFICI DELL'ENTOMOFAGIA: SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELL'ALLEVAMENTO DI INSETTI SU LARGA SCALA

ANNA MARIA FAUSTO (*) - ROMOLO FOCHETTI (*) - MARZIO ZAPPAROLI (*) - PIER PAOLO DANIELI (**)

(*) *Dipartimento per la Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis s.n.c., 01100 Viterbo;* e-mail: fausto@unitus.it
(**) *Dipartimento di scienze e tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia (DAFNE), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis s.n.c., 01100 Viterbo*
Lettura tenuta durante la Seduta pubblica dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia su "Gli Insetti: una risorsa sostenibile per l'alimentazione" - Firenze, 16 gennaio 2015.

Costs and benefits of entomophagy: environmental sustainability of intensive insect farming

At least 1,900 insect species are presently used as food in the world, mainly in Asia, Africa, Australia and Latin America. Their value as food is usually high and, as far as we know, insects proved to be more efficient than conventional farmed species in terms of conversion of food into body weight. Therefore there is a growing interest in insect mass rearing as an alternative food source, not only for humans but especially farmed animals. Although many positive aspects on the use of insects as food are now well defined (high coefficient of feed conversion, reduced water needs, high adaptability to grow on low value substrates, reduced greenhouse gases emission) the literature on this subject is still scarce, above all on what deals with the assessment of environmental performances, while the estimate of the reduction of the environmental impact compared to the other sources of dietary proteins is still in its embryonic phase.

Here we present a short summary on the state of the art of insects mass rearing, in order to stress both advantages and knowledge gaps, especially on what deals with farming impacts (either on small or on large scale) and on biodiversity conservation.

KEY WORDS: edible insects, massive production, *food* & *feed*, environmental performances

INTRODUZIONE

Attualmente, almeno 1.900 specie di insetti sono utilizzate per l'alimentazione umana, prevalentemente in Asia, Africa, Australia, America Latina (ANANKWARE *et al.,* 2015).

Il loro contenuto di proteine è in effetti molto elevato, talora superiore al 60% del peso secco; il contenuto di grassi varia invece sensibilmente da specie a specie e in base alla dieta; non è poi da trascurare il contenuto di fibre, di minerali e di vitamine (vedi tra gli altri PREMALATHA *et al.,* 2011; BELLUCO *et al.,* 2013; RUMPOLD & SCHLÜTER, 2013; VAN HUIS, 2013; SÁNCHEZ-MUROS *et al.,* 2014).

Queste caratteristiche rendono gli insetti un'interessante fonte alimentare, non solo per l'uomo ma soprattutto per gli animali di interesse zootecnico (SÁNCHEZ-MUROS *et al.,* 2014). I pochi lavori sull'argomento mostrano la grande potenzialità di utilizzo degli insetti in questo settore.

D'altra parte, secondo l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (*Food and Agricolture Organization of the United Nations*, FAO), l'allevamento degli insetti per alimentazione umana e/o animale è ritenuta una delle alternative più promettenti all'attuale approvvigionamento di proteine di origine animale (VAN HUIS *et al.*, 2013).

È comprensibile quindi come, con la crescente consapevolezza del valore alimentare degli insetti, sia conseguentemente aumentato l'interesse per il loro allevamento massale. Occorre infatti specificare che, sebbene molti insetti utilizzati come alimento siano raccolti in natura, alcune specie vengono allevate in aree stabilite, isolate dagli ambienti naturali, in condizioni controllate (*e.g.,* PAOLETTI, 2005).

ALLEVAMENTO MASSALE DI INSETTI PER PRODUZIONE *FOOD & FEED*

Allo stato attuale, i sistemi di produzione di insetti su larga scala sono molto costosi. MEUWISSEN (2011) ha stimato che la produzione di larve di *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera,

– Pubblicato marzo 2016

Tenebrionidae) è circa cinque volte economicamente più onerosa di quella del pollo. Inoltre, sono necessarie ulteriori ricerche per ampliare le conoscenze su numerosi aspetti, dalle proprietà nutritive delle specie utilizzabili, alla caratterizzazione e alla standardizzazione delle tecniche di allevamento per garantire risultati quali/quantitativi soddisfacenti anche su scala industriale; dall'affidabilità, costi e continuità di fornitura delle materie prime da utilizzare nell'alimentazione degli insetti, alla sicurezza, salute e tracciabilità delle filiere. In ultimo, ma non meno importante, sottolineiamo l'attenzione che andrebbe rivolta verso gli aspetti di conservazione ambientale connessi a queste nuove forme di allevamento.

A questo proposito, la consultazione tra esperti promossa dalla FAO (*Expert Consultation Meeting on Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security*), tenutasi a Roma nel gennaio 2012 (VANTOMME *et al.*, 2012), ha evidenziato la necessità di valutare con attenzione la sostenibilità ambientale connessa alla raccolta o all'allevamento degli insetti, anche rispetto ai sistemi convenzionali di produzione animale.

Il crescente interesse per l'allevamento massale degli insetti è testimoniato dall'aumento della letteratura scientifica sull'argomento che, seppur ancora limitata, al momento riguarda prevalentemente studi sulle componenti nutritive degli insetti e sullo sviluppo di ingredienti standardizzati per il settore mangimistico. I benefici associati all'uso degli insetti in questo senso sono in sintesi riconducibili alle seguenti considerazioni:

– gli insetti possono essere alimentati con sottoprodotti, scarti e rifiuti di natura organica, contribuendo così alla riduzione dei costi ambientali ed economici connessi allo smaltimento di tale frazione, trasformando al contempo i rifiuti in mangimi di elevata qualità (valorizzazione degli scarti) (*e.g.*, NEWTON *et al.*, 2005);
– gli insetti, in quanto organismi eterotermi, hanno generalmente un'elevata efficienza di conversione alimentare e possono essere consumati integralmente, non generando, a differenza di altri animali da allevamento, materiali di scarto (NIJDAM *et al.,* 2012);
– a parità di contenuto proteico ottenibile da altre fonti, l'allevamento di insetti comporta una ridotta emissione di gas ad effetto serra (GHG), minore consumo di acqua e di suolo (*land-use*), in quanto gli allevamenti sono in genere non *land-intensive* (OONINCX *et al.*, 2010);
– utilizzando gli insetti per la produzione di mangimi, si utilizzerebbe in questo settore una minore quantità di altre fonti alimentari le quali potrebbero essere indirizzate al consumo umano, riducendo così la competizione tra le filiere *food* e *feed* (FAO, 2012).

PERFORMANCE AMBIENTALI DELL'ALLEVAMENTO MASSALE DI INSETTI

Anche la valutazione delle performance ambientali dell'allevamento degli insetti per alimentazione umana ed animale, intesa come stima della riduzione dell'impatto ambientale rispetto ad altre fonti proteiche, è nel complesso ancora in una fase iniziale.

Dall'analisi della letteratura scientifica emergono, infatti, profonde carenze, sia per quanto riguarda la quantificazione delle emissioni prodotte dal metabolismo degli insetti (*e.g.*, CO_2, CH_4, N_2O, NH_3) sia, di conseguenza, per ciò che attiene la stima delle performance ambientali dei sistemi intensivi d'allevamento. In tal senso, l'attuale quadro di riferimento si può ricondurre a pochi lavori specifici, come quello pionieristico di BLONK *et al.* (2008), che ha messo in evidenza una bassa emissione di CO_2 (anidride carbonica) da parte di una non meglio identificata specie di ortottero grillide, oppure il più recente studio di OONINCX *et al.* (2010) in cui sono state stimate le emissioni di CO_2, CH_4 (metano), N_2O (protossido d'azoto) e NH_3 (ammoniaca) di cinque specie di insetti, a diversi stadi di sviluppo, cresciuti su diversi substrati alimentari. Oggetto di tale studio sono stati *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, *Locusta migratoria* Linnaeus, 1758 (Orthoptera, Acrididae), *Pachnoda marginata* Burmeister, 1842 (Coleoptera, Cetoniidae) e *Blaptica dubia* Serville, 1838 (Blattodea, Blaberidae), le prime tre edibili, le altre due potenziali fonti proteiche. I risultati di questo studio hanno evidenziato che, pur con differenze significative tra le specie, le emissioni di gas ad effetto serra (CO_2, CH_4, N_2O) riferite al medesimo incremento ponderale erano dell'ordine dell'1% di quelle osservate per i ruminanti allevati. Anche la produzione di NH_3 per chilogrammo di biomassa prodotta è risultata notevolmente inferiore (3-5,4 mg/kg) se comparata con i valori noti in letteratura per i suini (4,8-75 mg/kg) ed i bovini (14-170 mg/kg).

Più recentemente, alcuni ricercatori hanno iniziato a valutare le performance ambientali dell'allevamento massale degli insetti con un approccio volto all'analisi del ciclo di vita, o *Life Cycle Assessment* (LCA), metodologia che valuta l'insieme delle interazioni che un prodotto ha con l'ambiente, dalle fasi di pre-produzione, alla dismissione finale. Tale metodologia è codificata dall'*International Organization for Standardization* (ISO) con

le Norme della serie 14040 ed è oggi alla base di riconosciuti schemi di certificazione ambientale di prodotto (*e.g.*, *Environmental Product Declaration* – EDP) e di valutazione dell'impatto dei processi produttivi sul clima (*Carbon Footprint*) o sulle risorse idriche (*Water Footprint*).

Adottando un approccio LCA, ad esempio, OONINCX & DE BOER (2012) hanno pubblicato uno studio dettagliato inerente la stima dell'impatto ambientale in termini di riscaldamento globale, consumo di suolo agricolo ed energetico per l'allevamento massale dei Coleotteri Tenebrionidi *Tenebrio molitor* e *Zophobas morio* Fabricius, 1776, in comparazione con fonti proteiche tradizionali per alimentazione umana (latte, pollo, maiale, manzo). Tale studio ha dimostrato che il potenziale di riscaldamento globale (GWP) per l'allevamento dei due insetti, riferito alla produzione di 1 kg di proteine edibili, si attesta a 14 kg CO_2-eq[1], risultando più basso rispetto a quello delle produzioni di confronto (da un minimo di 19 kg CO_2-eq per la carne di pollo, a 175 kg CO_2-eq per quella di manzo). OONINCX & DE BOER (2012) hanno dimostrato che nell'allevamento di insetti anche il consumo di suolo (*land use*) è mediamente più basso (18 m^2) rispetto a quello stimato per la produzione di latte (33-58 m^2), di carne di pollo e di maiale (41-63 m^2) e di carne di manzo (142-254 m^2). Inoltre, l'impiego complessivo di energia per l'ottenimento di 1 kg di proteina edibile (173 MJ) è risultato paragonabile a quello riportato in letteratura per la produzione della carne di maiale (92-240 MJ), inferiore a quello necessario per la produzione di carne bovina (181-277MJ), ma superiore a quello relativo alla produzione di latte (40-140MJ) e pollame (83-153MJ). OONINCX & DE BOER (2012) sottolineano però che l'elevato consumo energetico osservato per la produzione di insetti è dovuto in larga parte alla necessità di climatizzare i locali adibiti all'allevamento.

La capacità degli insetti di utilizzare substrati a basso valore economico o che rappresentano un'esternalità ambientale negativa dell'attività antropica (*e.g.*, rifiuti e scarti agro-industriali, prodotti di risulta delle filiere commerciali *food*, deiezioni animali) sembra estremamente promettente al fine di ridurre il tasso di diversione delle risorse agricole (uso del suolo) e ittiche dalle filiere *food* a quelle *feed*.

NEWTON *et al.* (2005) affermano che gli insetti possono svolgere un ruolo importante nel riciclare rifiuti o altri nutrienti accumulati nell'ambiente. Secondo questi autori, *Hermetia illucens* Linneaus, 1758 (Diptera, Stratiomyidae), una delle specie più studiate ai fini della possibile utilizzazione come prodotto alimentare, sembra essere in grado di consumare letame proveniente da allevamenti di pollame e di suini e convertirlo in biomassa larvale ricca di proteine e grassi, utilizzabile nell'allevamento animale. Tale processo potrebbe essere già commercialmente conveniente e si configurerebbe come un impatto positivo in un'analisi ambientale dei costi connessi ad uno sfruttamento a larga scala di tale proprietà.

Nello stesso senso va un lavoro di ERICKSON *et al.* (2004), dove si riporta come larve di *H. illucens* aggiunte al letame proveniente da allevamenti avicoli, sono state in grado di accelerare l'inattivazione di *Escherichia coli* O157:H7, ceppo enteroemorragico che causa malattie a trasmissione alimentare (KARCH *et al.*, 2005), e di *Salmonella enterica* preventivamente inoculati nei volatili. Oltre alla possibilità di smaltire in modo rapido deiezioni solide e liquide originate da allevamenti zootecnici, gli insetti sarebbero quindi in grado di diminuirne la carica microbica, con beneficio per l'igiene ambientale e la salute umana.

Per quanto riguarda la sostenibilità ambientale dell'allevamento di insetti destinati alle filiere *feed*, VAN ZANTEN *et al.* (2014) hanno stimato l'impatto ambientale di un allevamento di larve di *Musca domestica* Linneaus, 1758 (Diptera, Muscidae) che utilizzava come substrato di crescita una miscela di rifiuti alimentari e deiezioni avicole (pollina). Nelle condizioni di quello studio, per la produzione di un chilogrammo di proteina (proteina grezza) il potenziale di riscaldamento globale (GWP) è stato stimato pari a 1,61 kg di CO_2-eq, il fabbisogno energetico (EU) da fonti non rinnovabili pari a 1,93 MJ ed il *land use* (LU) pari a 0,06 m^2. Tali valori indicherebbero come la produzione di larve di *M. domestica* allevate su scarti organici (alimentari e agricolo-zootecnici) rappresenti un'opzione interessante se paragonata all'approvvigionamento proteico da farine d'estrazione di soia (GWP = 1,54 kg CO_2-eq; LU = 7,72 m^2; EU = 0,85 MJ) o farina di pesce (GWP = 2,87 kg CO-eq; EU = 4,13 MJ) (VELLINGA *et al.*, 2013).

In una prospettiva di cambiamenti climatici, può essere importante prevedere soluzioni alternative per la produzione di proteine animali che, oltre a generare minori quantità di gas climalter-

[1] Unità convenzionale di misura dell'emissione di gas ad effetto serra che, secondo quanto stabilito dal Panel Intergovernativo per i Cambiamenti Climatici (IPCC) nel 2007, tiene conto degli indici relativi d'impatto per i gas ad effetto serra rispetto all'anidride carbonica (posto convenzionalmente pari a 1): 25 per il metano (CH_4), 298 per protossido d'azoto (N_2O), 124-14.800 per gli idrofluorocarburi (HFCs), 22.800 per l'esafluoruro di zolfo (SF6) e 7.390-12.200 per i perfluorocarburi (PFCs).

anti, siano anche meno dipendenti dall'acqua. Un elemento che può quindi essere considerato come impatto positivo è il ridotto consumo idrico negli allevamenti di insetti confrontato con gli allevamenti da reddito tradizionali. L'acqua è una risorsa primaria irrinunciabile la cui mancanza si sta facendo sempre più drammatica: la FAO stima che per il 2025 circa 1,8 miliardi di persone vivranno in aree con scarsità di acqua (FAO, 2012). L'agricoltura utilizza circa il 70% dell'acqua disponibile (PIMENTEL *et al.*, 2004) e la produzione convenzionale di un chilogrammo di proteine animali richiede 5-20 volte più acqua rispetto alla produzione di uno stesso quantitativo di proteine vegetali (CHAPAGAIN & HOEKSTRA, 2003). La quantità d'acqua richiesta per ottenere la stessa quantità di proteine da insetti edibili sembra essere invece molto minore. A ciò occorre aggiungere che la crescente domanda di risorse idriche ai fini della produzione di proteine alimentari metterebbe a rischio la biodiversità negli habitat delle acque interne o in quelli ad essi adiacenti, oltre a minacciare gli stessi bisogni vitali umani (VAN HUIS *et al.*, 2013).

CONSIDERAZIONI DI SINTESI, CARENZE E PROSPETTIVE

Gli strumenti di valutazione basati sulla metodologia LCA sembrano quelli che rispondono maggiormente all'esigenza di stimare correttamente le potenzialità del settore dell'allevamento di insetti a scopo alimentare, anche in comparazione con altri sistemi di allevamento tradizionale; tuttavia, la letteratura scientifica disponibile in tal senso è ancora limitata.

Tra le carenze conoscitive più importanti si evidenziano quelle relative agli aspetti conservazionistici, ad esempio sulle conseguenze del prelievo di individui in natura, sul rischio di introduzione di specie alloctone, sul rischio di inquinamento genetico delle popolazioni animali. Tra i pochi studi effettuati si veda CHOO (2008); RONGHANG & AHMED (2010); VAN ITTERBEECK *et al.* (2014). Più in generale, scarse sono anche le conoscenze sull'impatto che l'allevamento di insetti, sia su piccola scala che a livello industriale, può determinare sull'ambiente.

La mancanza di studi è un limite che dovrà essere superato in breve tempo, allocando risorse idonee prima che l'attuazione di programmi di allevamento su larga scala ponga emergenze ambientali, e non solo, da dover risolvere con urgenza e in subordine a considerazioni di tipo meramente economico.

Considerate le variabili che maggiormente incidono sulla emissione di inquinanti e sugli altri indicatori ambientali (potenziale climalterante, utilizzo di energia non rinnovabile, uso di suolo), le ricerche da intraprendere dovrebbero essere mirate ad approfondire gli impatti delle specie allevabili per il consumo umano e/o animale, in contesti geografici e socio-economici diversi, anche per offrire elementi di confronto con le locali fonti proteiche di origine animale e vegetale.

Per il settore dell'allevamento massale degli insetti si prevede una forte espansione ma, per disporre di una più ampia base di conoscenze, gli aspetti da analizzare in dettaglio sono ancora molti. Se le specie oggetto di studi con finalità applicative per le filiere *food* & *feed* sono ancora poche, quelle per le quali esistono evidenze sulle performance ambientali in condizioni di allevamento massale sono ancora meno. D'altro canto, poco o nulla è stato fatto per ridurre l'impatto da prelievo di artropodi nelle aree del mondo dove, per ragioni storico-culturali, questi animali fanno parte della dieta umana, in particolare Asia, Africa, Centro e Sud America (RAMOS-ELORDUY, 2002; YEN, 2009; GAHUKAR, 2011). Probabilmente, in tali aree l'allevamento massale potrebbe avere effetti positivi in termini di conservazione della biodiversità locale, anche se al momento non sono disponibili studi specifici a supporto di tale ipotesi.

Le prospettive per l'intero settore sembrano quindi enormi, come enormi sono i riflessi sul piano socio-culturale che tale innovazione può portare, soprattutto nei Paesi occidentali, dove gli insetti sono considerati più come un problema che come una risorsa.

Una grande sfida, quindi, da affrontare con un approccio di *Life Cycle Thinking,* ma anche una grande opportunità per approfondire quegli aspetti che rappresentano punti deboli degli attuali modelli di valutazione ambientale basati su LCA, compresa la conservazione della biodiversità. La tematica si prospetta essere un terreno fertile per sviluppare e applicare una "scienza della sostenibilità" che, in maniera transdisciplinare, possa colmare quelle lacune conoscitive e intellettuali che ancora si frappongono tra Sviluppo e Sostenibilità.

RIASSUNTO

Almeno 1.900 specie di insetti sono attualmente utilizzate nel mondo a scopo alimentare, prevalentemente in Asia, Africa, Australia, America Latina. Il loro valore alimentare è di norma elevato e, stando alle conoscenze sinora acquisite, si dimostrano molto più efficienti delle convenzionali specie animali di allevamento in termini di conversione di alimento in peso corporeo. Vi è quindi un crescente interesse verso l'allevamento massale degli insetti come fonte alimentare alternativa, non solo per l'uomo ma soprattutto per la produzione di mangimi ad uso zootecnico. Sebbene siano ormai noti numerosi aspetti positivi dell'uso di insetti come cibo (alto coefficiente di conversione alimentare, ridotto fabbisogno idrico, elevata adattabilità a substrati di crescita a basso valore, ridotte emissioni di

gas ad effetto serra), la letteratura sull'argomento è tuttavia ancora carente e anche la valutazione delle performance ambientali, intesa come stima della riduzione dell'impatto ambientale rispetto ad altre fonti di proteine alimentari, è nel complesso in una fase embrionale. In questa nota viene presentata una breve sintesi delle conoscenze sinora acquisite nel settore dell'allevamento massale degli insetti, al fine di mettere in evidenza i possibili vantaggi di questa attività ma soprattutto di sottolineare le ancora notevoli carenze conoscitive, in particolare riguardo all'impatto degli allevamenti (sia su piccola che su grande scala) e alla conservazione della biodiversità.

BIBLIOGRAFIA

Anankware P.J., Fening K.O., Osekre E., Obeng-Ofori D., 2015 – *Insects as food and feed: A review.* -International Journal of Agricultural Research and Review, 3(1): 143-151.

Belluco S., Losasso C., Maggioletti M., Alonzi C.C., Paoletti M.G., Ricci A., 2013 – *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review.* -Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12: 296-313.

Blonk H., Kool A., Luske B., 2008 – *Milieu effecten van Nederland seconsumptie van eiwitrijke producten.* -BMA/VROM, Gouda, VIII+143 pp.

Chapagain A.K., Hoekstra A.I., 2003 – *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products.* -Value of Water, Research Report Series n. 13. UNESCO-IHE The Netherlands.

Choo J., 2008 – *Potential ecological implications of human entomophagy by subsistencegroups of the Neotropics.* -Terrestrial Arthropod Reviews, 1: 81-93.

Erickson M.C., Islam M., Sheppard C., Liao J., Doyle M.P., 2004 – *Reduction of* Escherichia coli *O157:H7 and* Salmonella *enteric serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly.* -Journal of Food Protection, 67: 685-690.

FAO, 2012 – *Hot issues: water scarcity. Water & poverty, an issue of life and livelihoods.* - FAO Land and Water Division.

Gahukar R.T., 2011 – *Entomophagy and human food security.* -International Journal of Tropical Insect Science, 31: 129-144.

Karch H., Tarr P., Bielaszewska M., 2005 – *Enterohaemorrhagic* Escherichia coli in *human medicine.* -International Journal of Medical Microbiology, 295 (6-7): 405-418.

Meuwissen P., 2011 – *Insecten als nieuwe eiwitbron. Een scenarioverkenning van de marktkansen.* -ZLTO-projecten. 's Hertogenbosch, The Netherlands.

Newton L., Sheppard C., Watson D.W., Burtle G., Dove R., 2005 – *Using the black soldier fly,* Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure.* -Report. Waste Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC.

Nijdam D., Rood T., Westhoek H., 2012 – *The price of protein: review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes.* -Food Policy, 37: 760-770.

Oonincx D.G.A.B., Van Itterbeeck J., Heetkamp M.J.W., Van Den Brand H., Van Loon, J.J.A., Van Huis A., 2010 – *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption.* -PLoS ONE, 5: e14445.

Oonincx D.G.A.B., De Boer I.J.M., 2012 – *Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment.* -PLoS ONE, 7: e51145.

Paoletti M.G. Ed., 2005 – *Ecological implications of minilivestock; role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development.* -Science Publisher Inc., Enfield, New Hampshire, 608 pp.

Pimentel D., Berger B., Filiberto D., Newton M., Wolfe B., Karabinakis E., Clark S., Poon E., Abbett E., Nandagopal S., 2004 – *Water resources: agricultural and environmental issues.* -BioScience, 54: 909-918.

Premalatha M., Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S.A., 2011 – *Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: the use of edible insects.* -Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15: 4357-4360.

Ramos-Elorduy J., 2002 – *The biodiversity in edible insects and their use and conservation.* -In: Ethnobiology and conservation of cultural and biological diversity: Proceedings of the Fifth International Congress of Ethnobiology, Nairobi, Kenya, September 2-6, 1996, Kabuye C.H.M. Ed., National Museums of Kenya: 320.

Ronghang R., Ahmed R., 2010 – *Edible insects and their Conservation strategy in Karbi Anglong District of Assam, North East India.* -The Bioscan, 2: 515-521.

Rumpold B.A., Schlüter O.K., 2013 – *Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production.* - Innovative Food Science and Emerging Technologies, 17: 1-11.

Sánchez-Muros M.J., Barroso F.G., Manzano-Agugliaro F., 2014 – *Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review.* -Journal of Cleaner Production, 65: 16-27.

Van Huis A., 2013 – *Potential of Insects as food and feed in assuring food security.* -Annual Review of Entomology, 58: 563-583.

Van Huis A., Van Itterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G., Vantomme P., 2013 – *Edible insects: future prospects for food and feed security.* FAO Forestry Paper, 171, 187 pp.

Van Itterbeeck J., Sivongxay N., Praxaysombath B., Van Huis, A., 2014 – *Indigenous knowledge of the edible weaverant* Oecophylla smaragdina *Fabricius (Hymenoptera: Formicidae) from the Vientiane Plain, Lao PDR.* -Ethnobiology Letters, 5: 4-12.

Vantomme P., Mertens E., Van Huis A., Klunder H., 2012 – *Assessing the Potential of Insects as Food and Feed in assuring Food Security.* -Technical Consultation Meeting 23-25 January 2012, FAO, Rome, Italy. Summary Report. Food And Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Department, Rome, 38 pp.

Van Zanten H.H., Oonincx D.G., Mollenhorst H., Bikker P., Meerburg B.G., De Boer I.J., 2014 – *Can the environmental impact of livestock feed be reduced by using waste-fed housefly larvae?* -9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014.

Vellinga T.V., Blonk H., Marinussen M., Van Zeist W.J., De Boer I.J.M., 2013 – *Methodology used in feedprint: a tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization.* -Wageningen UR, Lelystad, the Netherlands.

Yen A.L., 2009 – *Entomophagy and insect conservation: some thoughts for digestion.*- Journal of Insect Conservation, 13: 667-670.

Seduta pubblica, Firenze 20 febbraio 2015

Tavola Rotonda su:

EVOLUZIONE DELL'ACAROLOGIA NELL'ECOSISTEMA AGRARIO

Coordinatori:
Salvatore Ragusa di Chiara, Giorgio Nuzzaci,
Roberto Nannelli, Accademici

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 103-104

MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL ADAPTATION OF THE FEMALE REPRODUCTIVE SYSTEM IN SOME GAMASID MITES (ACARI, ANACTINOTRICHIDA) AND THEIR REPRODUCTIVE EFFICIENCY

ANTONELLA DI PALMA (*)

(*) *Dipartimento delle Scienze Agrarie degli Alimenti e dell'Ambiente, Università di Foggia, Via Napoli 25, 71100 Foggia;* e-mail: antonella.dipalma@unifg.it

Sintesi della lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Evoluzione dell'Acarologia nell'ecosistema agrario". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 20 febbraio 2015.

SYNTHESIS – Mites represent a subclass of Arachnida displaying a remarkable range of morphological and behavioral adaptations matched by their diverse forms. Presently two mite superorders are recognized: Anactinotrichida (=Parasitiformes) and Actinotrichida (=Acariformes). Among Anactinotrichida the Gamasida (Mesostigmata) represent the largest subgroup and the most diverse and geographically widespread with great economic importance for man, either as pest, zoo and phytoparasites or their antagonists (LINDQUIST *et al*., 2009).

Regarding reproduction, mites are dioecious with internal fertilization showing either direct or indirect sperm transfer. In direct sperm transfer, males introduce the sperm into the females while in indirect sperm transfer, males produce and deposit a spermatophore on the substrate, then, the females collect and transfer it to their genital opening. So contact between the partners is not a prerequisite anymore (EVANS, 1992; ALBERTI and COONS, 1999).

Among gamasid (Mesostigmata) mites only direct sperm transfer occurs but never mediated by a penis. Actually, gamasid males use the chelicerae, that may exhibit special modifications (EVANS, 1992; ALBERTI and COONS, 1999; ALBERTI, 2002a, b; DI PALMA *et al.*, 2009; KRANTZ, 2009), to introduce the spermatophores, or just the sperm, into the female body using, in early derived groups, the primary genital opening (vagina) or, in more derived ones, secondary inseminations pores (solenostomes) (ALBERTI and COONS, 1999; KRANTZ, 2009). In fact, females belonging to more derived groups (Parasitina and Dermanyssina) have developed morphological and functional adaptations of the reproductive system to different insemination modes.

Actually, early derived taxa (Uropodina, Sejina), show no special modifications in the female reproductive system having hollow ovary (with a lumen), not differentiated in a nutritive and a germinative part, paired oviducts and the endospermatophores introduced into the female body via the genital orifice (vagina) (MICHAEL, 1892; WOODRING and GALBRAITH, 1976).

On the other hand, Parasitina and Dermanyssina females (more derived groups) display a genital system with a solid gonad (with no lumen), composed of a germinal part and a nutritive part, and unpaired oviducts (uterus, vaginal duct, vagina). Such morphological adaptations increase their reproductive efficiency since involved in speeding up oogenesis, and embryogenesis (ALBERTI and HÄNEL, 1986; ALBERTI *et al.*, 1999; DI PALMA and ALBERTI, 2001; ALBERTI, 2002a, b).

Moreover, Parasitina and Dermanyssisna developed specialized structures to receive the sperm as seminal receptacles (Parasitina) or complex sperm access system (Dermanysssina).

In Parasitina the "endogynium", representing an enlargement of the vagina, presents special adaptations involved in receiving, holding, storing and manipulating the spermatophore.

While the complex sperm access system present in Dermanyssina starts with secondary insemination pores (solenostomes or sperm induction pores) and is composed of a system of tubules and reservoirs where the sperm is introduced and stored. Then, the sperm somehow moves to the ovary from the reservoir(s) maybe thanks to an active penetration of the female tissue by the spermatozoa (ALBERTI and HÄNEL, 1986; EVANS, 1992; ALBERTI and COONS, 1999; DI PALMA and ALBERTI, 2001; ALBERTI and DI PALMA, 2002; ALBERTI, 2002a, b; DI PALMA and ALBERTI, 2005; KRANTZ, 2009; LINDQUIST *et al.*, 2009). The sperm access system is not connected to the female genital opening, hence, in Dermanyssina, the female reproductive system is

– Pubblicato marzo 2016

composed of two regions: one involved in egg development and deposition (through the oviporus) and another in insemination and sperm storage (the sperm access system).

The sperm access system of dermanyssiae mites have been often classified into two classic types laelapid and phytoseiid-types (Athias-Henriot, 1968), already known and widely used in taxonomy (Evans, 1992; Alberti and Coons, 1999; Krantz, 2009). However, recent studies (Alberti *et al.*, 2009; Di Palma *et al.*, 2013) reported a certain similarity of the veigaiid sperm access system and the phytoseiid-type of sperm access systems and a general resemblance of the sperm access system of an amerosiid species with the laelapid type. Yet several ultrastructural differences were evident. Thus it seems that among dermanyssiae mites the female sperm access system might be more diverse than the two known "classical" laelapid and phytoseiid types. Therefore, it is reasonable to think that some steps must have been present in the evolution of this complex system and that several "variations" might be present.

This system likely evolved according to sperm competition concepts (Thomas and Zeh, 1984). In fact, females might have evolved such access system to select sperm during its path to the ovary. Hence such complex sperm system is likely to represent a case of cryptic female choice: females can selectively favor one male's chances of paternity over those of another. In fact the females specify the "rules of the game": determining that some variants of the male morphology (e.g. sperm morphology) or behavior will be more successful than others. In this case enhancing sperm competition and, hence, its selection.

REFERENCES

Alberti G., Gegner A., Witalinski W., 1999 – *Fine structure of the genital system in the females of* Pergamasus *mites (Acari: Gamasida: Pergamasidae).* - J. Morphol., 240: 195-223.

Alberti G., 2002a – *Ultrastructural investigations of sperm and genital systems in Gamasida (Acari: Anactinotrichida) current state and perspectives for future research*. - Acarologia, XLII (2): 107-126.

Alberti G., 2002b – *Reproductive systems of gamasid mites (Acari, Anactinotrichida) reconsidered*. In: Bernini, F., Nannelli, R., Nuzzaci, G., de Lillo, E. (Eds.), Acarid Phylogeny and Evolution Adaptations in Mites and Ticks. Kluwer Academic Publisher, pp.125-139.

Alberti G., Coons L.B., 1999 – *Acari-Mites*. In: Harrison, F.W., Foelix, R.F. (Eds.), Microscopic Anatomy of Invertebrates, vol. 8C. Wiley, New York, pp. 515-1265.

Alberti G., Di Palma A., 2002 – *Fine structure of the phytoseiid-type sperm access system (Acari, Gamasida, Phytoseiidae).* In: Proceedings of the IV Symposium of the EURAAC: 241-252.

Alberti G., Di Palma A., Krantz G.W., Błaszak C., 2009 – *First ultrastructural observations on a putative sperm access system in veigaiid females (Veigaiidae, Gamasida).* In: Sabelis, M.W., Bruin, J. (Eds.), Trends in Acarology—Proceedings 12th International Congress of Acarology. Springer, Dordrecht, pp. 59-64.

Alberti G., Hänel H., 1986 – *Fine structure of the genital system in the bee parasite*, Varroa jacobsoni *(Gamasida: Dermanyssina) with remarks on spermiogenesis, spermatozoa and capacitation*. - Exp. Appl. Acarol., 2: 63-104.

Athias-Henriot C., 1968 – *L'appareil d'insémination laelapoïde (Acariens anachtinotriches: Laelapoidea). Premières observations. Possibilité d'emploi a des fins taxonomiques*. - Bull. Sientifique Bourgogne, 25: 229-274.

Di Palma A., Alberti G., 2001 – *Fine structure of the female genital system in phytoseiid mites with remarks on egg nutrimentary development, sperm-access system, sperm transfer, and capacitation (Acari, Gamasida, Phytoseiidae).* - Exp. Appl. Acarol., 25: 525-591.

Di Palma A., Alberti G., 2005 – *Functional morphology of accessory structures involved in reproduction among gamasid mites (Acari, Anactinotrichida): a review*. In: Atti Accad. Naz. Ital. Entomol. R. A. LIII Morfologia Funzionale degli Acari, pp. 361–378.

Di Palma A., Alberti G., Wegener A., 2009 – *On the ultrastructure and functional morphology of the male chelicerae (gonopods) in Parasitina and Dermanyssina mites (Acari: Gamasida).* - Arthropod. Struct. Dev., 38: 329–338.

Di Palma A., Seeman O., Alberti G., 2013 – *Ultrastructure investigation of the secondary insemination system of the gamasid mite* Hattena cometis *Domrow (Acari: Anactinotrichida: Ameroseiidae)*. - J. Morphol., 274: 918-925.

Evans G.O., 1992 – *Principles of Acarology*. C.A.B International, Wallingford.

Krantz G.W., 2009 – *Form and function*. In: Krantz, G.W., Walter, D.E. (Eds.), A Manual of Acarology, third ed. Texas Tech University Press, Lubbock, TX, pp. 5-53.

Lindquist E.E., Krantz G.W., Walter D.E., 2009 – *Order Mesostigmata*. In: Krantz, G.W., Walter, D.E. (Eds.), A Manual of Acarology, third ed. TX Texas Tech University Press, Lubbock, pp. 124-232.

Michael A.D., 1892 – *On the variations in the internal anatomy of the Gamasinae, especially in that of the genital organs, and their mode of coition*. - Trans. Linn. Soc. Lond., (Zool) Ser 2 (5): 281-324.

Thomas R.H., Zeh D.W., 1984 – *Sperm transfer and utilization strategies in Arachnids: Ecological and morphological constraints*. In: Smith RL, editor. Sperm competition and the evolution of animal mating systems. New York: Academic Press, Inc. pp 180-221.

Woodring J.P., Galbraith C.A., 1976 – *The anatomy of the adult uropodid* Fuscoropoda agitans *(Arachnida; Acari), with comparative observations on other Acari*. - J. Morphol., 150: 19-58.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 105-111

EFFETTI DELL'EVOLUZIONE DEI SUOLI SULLE ORIBATOCENOSI. INDICAZIONI PER UN LORO UTILIZZO NELLA VALUTAZIONE AMBIENTALE

MASSIMO MIGLIORINI (*)

(*) *Dipartimento di Scienze della Vita, Università degli Studi di Siena, via A. Moro 2 53100 Siena*; e-mail: massimo.migliorini@unisi.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Evoluzione dell'Acarologia nell'ecosistema agrario". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 20 febbraio 2015.

Evolution of soils affects oribatid mite coenoses. Indications for their use in the environmental assessment

The main topics treated in recent years by the soil fauna research group of Department of Life Science (University of Siena) were listed. The aim of our researches was to determine whether oribatid mite coenoses can be used as a valuable tool in environmental assessment and to understand the mechanisms involved in reconstructing of soil communities after disturbance and in fragmented habitats. A satisfactory comprehension of spatially structured populations can only be reached through quantification of key features such as species diversity, population sizes and turnover rates (β diversity). Although oribatid mite communities are able to produce significant ecological informations, caution should be used in the interpretation of the results: both the structure and the dynamics of the communities seem to be driven by processes involving stochastic and deterministic mechanisms and all environmental variables correlated to a disturbance can directly or indirectly affect them.

KEY WORDS: Oribatid mites, deterministic and stochastic processes, disturbance, Population dynamics

INTRODUZIONE

Il presente contributo ha come obiettivo quello di elencare, riassumendo quanto più possibile, gli argomenti principali che sono stati approfonditi negli ultimi anni dal gruppo di ricerca di fauna del suolo del Dipartimento di Scienze della Vita dell'Università di Siena. Il lavoro ha interessato le comunità di acari oribatei, presenti sia in ambienti naturali che disturbati, al fine di capire se queste zoocenosi possono essere utilizzate come valido strumento nelle analisi di valutazione ambientale e nella comprensione dei meccanismi che intervengono durante la ricostituzione delle comunità dopo uno stress ambientale. Il suolo mostra un livello di diversità, sia a scala locale che globale, notevolmente più grande degli ambienti epigei (WARDLE, 2002). Quello che è stato definito da ANDERSON (1975) "l'enigma della diversità del suolo" rimane un problema ancora aperto, non essendo state chiarite le relazioni tra biodiversità e funzioni ecosistemiche né sono state comprese a pieno le ragioni della coesistenza di un numero così elevato di specie. Una delle spiegazioni più convincenti è che l'eterogeneità strutturale dei suoli, contribuirebbe alla separazione fisica degli organismi nella matrice edafica, riducendo così i fenomeni di competizione (WARDLE, 2002). In tale contesto ambientale troviamo gli acari oribatei, chelicerati appartenenti alla classe Arachnida che, dopo funghi, batteri e nematodi, rappresentano la componente più numerosa della fauna edafica sia come numero di individui che di specie (NORTON, 1990). Gli oribatei hanno conosciuto una spettacolare radiazione adattativa che li ha portati a colonizzare tutte le nicchie ecologiche aventi un sufficiente contenuto di materiale organico (LEBRUN e VAN STRAALEN, 1995). Presentano un ampio spettro alimentare sebbene non sempre sia possibile riconoscere una specializzazione netta in quanto molte specie mostrano abitudini alimentari opportuniste, utili per sopravvivere anche in condizioni ambientali molto diverse a cui si associa uno scarsissimo potere di dispersione che rende questi animali fortemente dipendenti dall'evoluzione dei suoli. Per queste loro caratteristiche, gli acari oribatei possono rappresentare un utile strumento di ricerca per quanti cercano di descrivere la variabilità delle comunità edafiche, a diverse scale spaziali e temporali, e le loro interazioni con i fattori ambientali che guidano il funzionamento degli ecosistemi.

CAPACITÀ DI DISCRIMINARE GLI HABITAT INDAGATI. L'APPROCCIO PRATICO

Le informazioni che possiamo ricavare da queste zoocenosi sono legate agli obiettivi che il ricercatore si pone ma già al termine di una accurata campagna di campionamento, può essere effettuata una analisi critica del tratto autoecologico e corologico di ogni singolo taxon. Questo dato riesce a fornire utili infor-

– Pubblicato marzo 2016

mazioni sulle modalità e sulle dinamiche che hanno plasmato le comunità facendo assumere loro l'aspetto odierno. Le cenosi edafiche sono il prodotto di uno stock faunistico originario modellato nel tempo dagli eventi, naturali e non, che si sono succeduti in un certo territorio. Sulla base di queste semplici analisi, che spesso si rifanno all'ampia letteratura oribatologica reperibile anche online e magari effettuando una semplice elaborazione di statistica multivariata, possiamo trovarci di fronte a risultati ottimali in cui le oribatocenosi mostrano una notevole capacità di discriminare e di descrivere gli ambienti in cui vivono (per dettagli vedi MIGLIORINI *et al.*, 2002). Le oribatocenosi presentano generalmente un certo numero di specie a larga distribuzione geografica, spesso dotate di ampie capacità adattative, che rappresentano la struttura di base della maggior parte di queste comunità a cui si associano specie sensibili e molto specializzate che riescono inequivocabilmente a caratterizzare tutti gli ambienti, spesso anche molto vicini tra di loro.

DIFFICOLTÀ NELL'OTTENIMENTO DEL DATO ORIBATOLOGICO. ESISTONO METODI ALTERNATIVI SEMPLICI ED EFFICACI? AGGREGAZIONE TASSONOMICA E INDICE DI DOMINANZA DI BERGER-PARKER

Gli animali che vivono nel suolo sono estremamente sensibili al disturbo ambientale ed alla evoluzione degli habitat. Negli ultimi anni gli acari oribatei sono stati utilizzati in ricerche finalizzate ad identificare e comprendere i cambiamenti che avvengono nella struttura delle loro comunità. Tuttavia la complessa tassonomia di questi invertebrati rende difficile e lungo il tempo necessario per la determinazione a livello di specie. Nel tentativo di risolvere, almeno in parte, queste difficoltà abbiamo proposto due metodologie. La prima prevedeva di verificare se matrici di dati costruite determinando gli oribatei ad un livello tassonomico superiore rispetto a quello specifico (OLSGARD *et al.*, 1998) fossero in grado di intercettare cambiamenti nella struttura delle loro comunità senza perdita significativa di informazione ecologica. CARUSO e MIGLIORINI (2006a) hanno testato questo metodo su delle oribatocenosi raccolte in un'area costiera della Riserva Naturale di Castel Volturno (CE) sottoposta ad incendi sperimentali di bassa e alta intensità. I risultati hanno confermato che i dataset costruiti a vario livello tassonomico sono stati in grado di rilevare gli effetti del disturbo con una perdita irrilevante di informazione (Fig. 1a,d). I siti di controllo hanno sempre formato clusters ben definiti mentre i plot incendiati si sono disposti attorno al gruppo centrale. Analizzando successivamente lo stesso ordinamento sulla base del fattore temporale, i campioni raccolti in date differenti si sono aggregati in tre gruppi diversi in funzione del tempo trascorso dagli incendi sperimentali.

Il secondo approccio metodologico parte da una

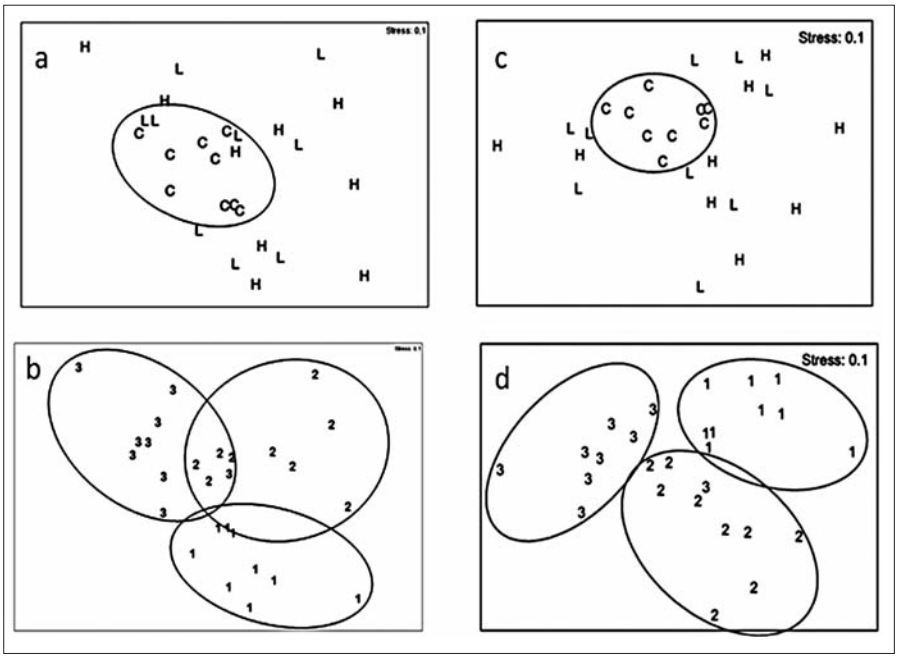


Fig. 1
Non metric Multidimensional Scaling basato sulle abbondanze delle specie (a) e delle famiglie (c) raccolte in aree sottoposte ad incendi sperimentali di bassa (L), alta (H) intensità e confrontate con dei controlli (C). b e d: gli stessi ordinamenti effettuati sulla base dei tempi trascorsi dagli incendi (1, 147 giorni; 2, 245 giorni; 3, 365 giorni).

delle domande che la comunità di ecologi si pone da tempo: riuscire a comprendere se e in che modo la diversità delle specie sia legata alla stabilità della comunità (MAY, 1973). Quando l'ecologia di una comunità è governata da qualche fattore ambientale, la distribuzione delle abbondanze delle specie (SAD) segue un pattern non omogeneo caratterizzato da un gran numero di specie rare e poche entità molto abbondanti (MAGURRANN, 1988). Nella sua forma ideale la SAD può essere descritta dal Modello della Serie Geometrica in cui l'abbondanza della specie di più abbondante ammonta ad una frazione K del numero totale di individui N_T, l'abbondanza della seconda specie dallo stessa frazione degli individui rimanenti e così via. *K* descrive la SAD della comunità ed è equivalente all'indice di dominanza Berger-Parker (CARUSO *et al.*, 2006b). Successivamente CARUSO *et al.* (2007) hanno dimostrato che questo conosciutissimo indice può essere elevato a potenziale strumento di bioindicazione in grado di intercettare le variazioni delle abbondanze delle specie di comunità edafiche sottoposte a disturbo ambientale. Nello studio l'indice è stato applicato ad una serie di dati raccolti in sette aree della Toscana Meridionale, due indisturbate e cinque soggette a differenti tipi di impatto ambientale di varia intensità, mostrando una notevole sensibilità e capacità di selezionare sia la tipologia che l'intensità del disturbo. I suoi valori crescono man mano che l'impatto si fa più pesante e da cronico (suoli contaminati da elevate concentrazioni di metalli pesanti) diventa acuto, raggiungendo i valori massimi in quelle aree in cui impatti di tipo fisico ricorrono ciclicamente, come nei terreni sottoposti a colture intensive (Fig. 2). Due risultati indubbiamente interessanti per quanti sono intenzionati ad effettuare monitoraggi ambientali senza possedere particolari competenze tassonomiche dei gruppi analizzati.

ETEROGENEITÀ AMBIENTALE E HABITAT FRAMMENTATI. CAUTELA NELL'INTERPRETAZIONE DEI DATI.

Il paesaggio che siamo quotidianamente abituati ad osservare può essere rappresentato come un patchwork di diverse situazioni ambientali che sono il prodotto dei disturbi ambientali, naturali e antropici, che storicamente hanno modellato il territorio in base al tipo, all'intensità e alla periodicità con cui si sono verificati. Ovviamente gli ecosistemi frammentati contribuiscono a generare e mantenere eterogeneità spaziale e temporale anche nelle comunità che in esse vivono e che sono legate a processi di dispersione, a fluttuazioni demografiche stocastiche, all'azione di filtri ambientali, alle interazioni biotiche, sia all'interno che tra i livelli trofici (MAAß *et al.*, 2014; HUBBEL, 2001; CHASE e LEIBOLD, 2003; MORIN, 2011). Abbiamo perciò ritenuto importante cercare di comprendere i meccanismi legati al turnover spaziale delle specie (β diversità, intesa come misura del grado di variazione della

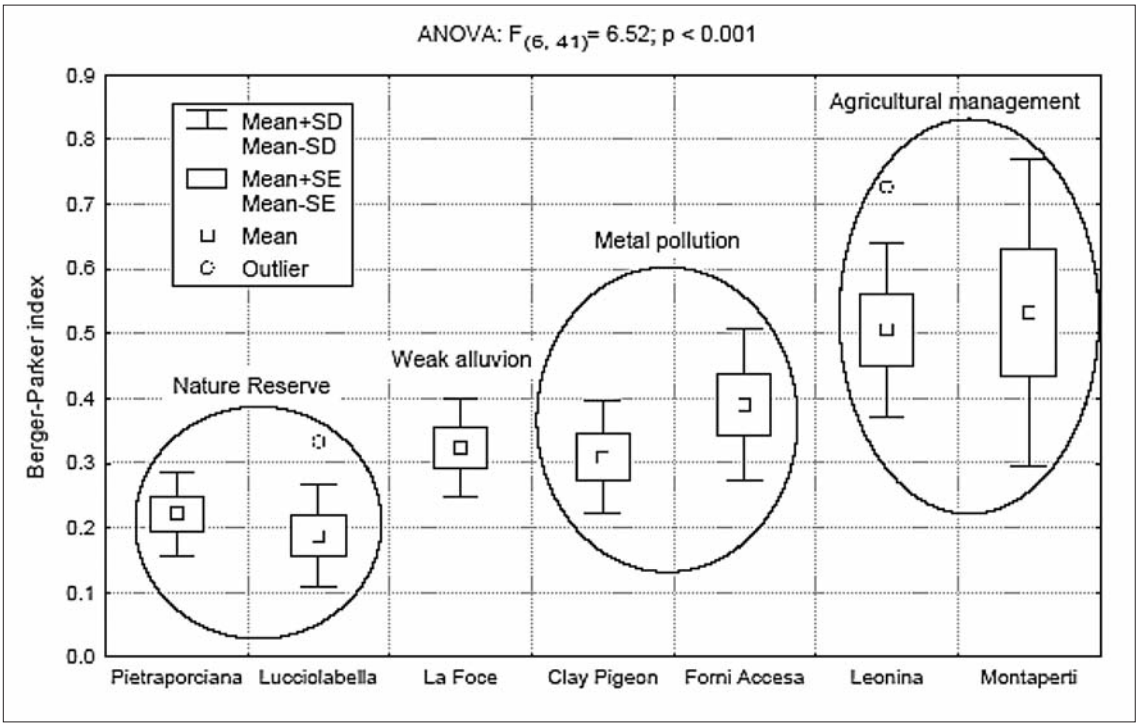


Fig. 2
Valori medi dell'Indice di Berger-Parker rilevati nelle sette aree di studio (CARUSO *et al.*, 2007).

diversità tra unità di campionamento delle comunità edafiche di aree con caratteristice ecologico/ambientali diverse) (CARUSO *et al.*, 2012). A tale proposito si può invocare l'intervento di due meccanismi: a) Deterministici, cioè basati sulla scelta di nicchia dove il turnover di specie (β diversità), la diversità e le abbondanze sono influenzati da fattori ambientali; b) Stocastici (Processi neutrali), cioè il disturbo agisce frammentando l'habitat e i processi di colonizzazione che regolano le dinamiche delle popolazioni seguono meccanismi casuali in cui ogni specie, funzionalmente equivalente, che scompare viene sostituita casualmente da una qualsiasi altra specie (HUBBELL, 2001; CARUSO *et al.*, 2012). Nella ricerca si ipotizza che il Modello Neutrale possa fornire una robusta ipotesi nulla utile per capire se un disturbo ambientale possa governare i pattern di β diversità (LEGENDRE e DE CACERES, 2013). Il modello concettuale postula che se le popolazioni sono governate da dinamiche semplici (le più parsimoniose) in grado di fornire misure di β diversità da cui è possibile calcolare media e varianza, allora le dinamiche reali potranno divergere o convergere rispetto ai valori simulati partendo dal Modello Neutrale. Nel lavoro sono stati confrontati i valori di β diversità (simulati vs reali) ottenuti da campionamenti effettuati in 12 diverse situazioni ambientali (6 naturali e 6 legate disturbo antropico) (per i dettagli: MIGLIORINI *et al.*, 2002; CARUSO *et al.*, 2005; CARUSO *et al.*, 2009; CARUSO e MIGLIORINI, 2006a). Il metodo è stato in grado di discriminare i cambiamenti nella β diversità causati da disturbi che accrescono l'eterogeneità ambientale da a quelli di ambienti naturalmente eterogenei, anche a scale spaziali differenti. Sono stati, invece, rilevati pattern vicini a quelli neutrali in quelle aree dove il disturbo ha determinato una omogeneizzazione spaziale delle proprietà dei suoli a prescindere dalla presenza e dal tipo di impatto (Fig. 3).

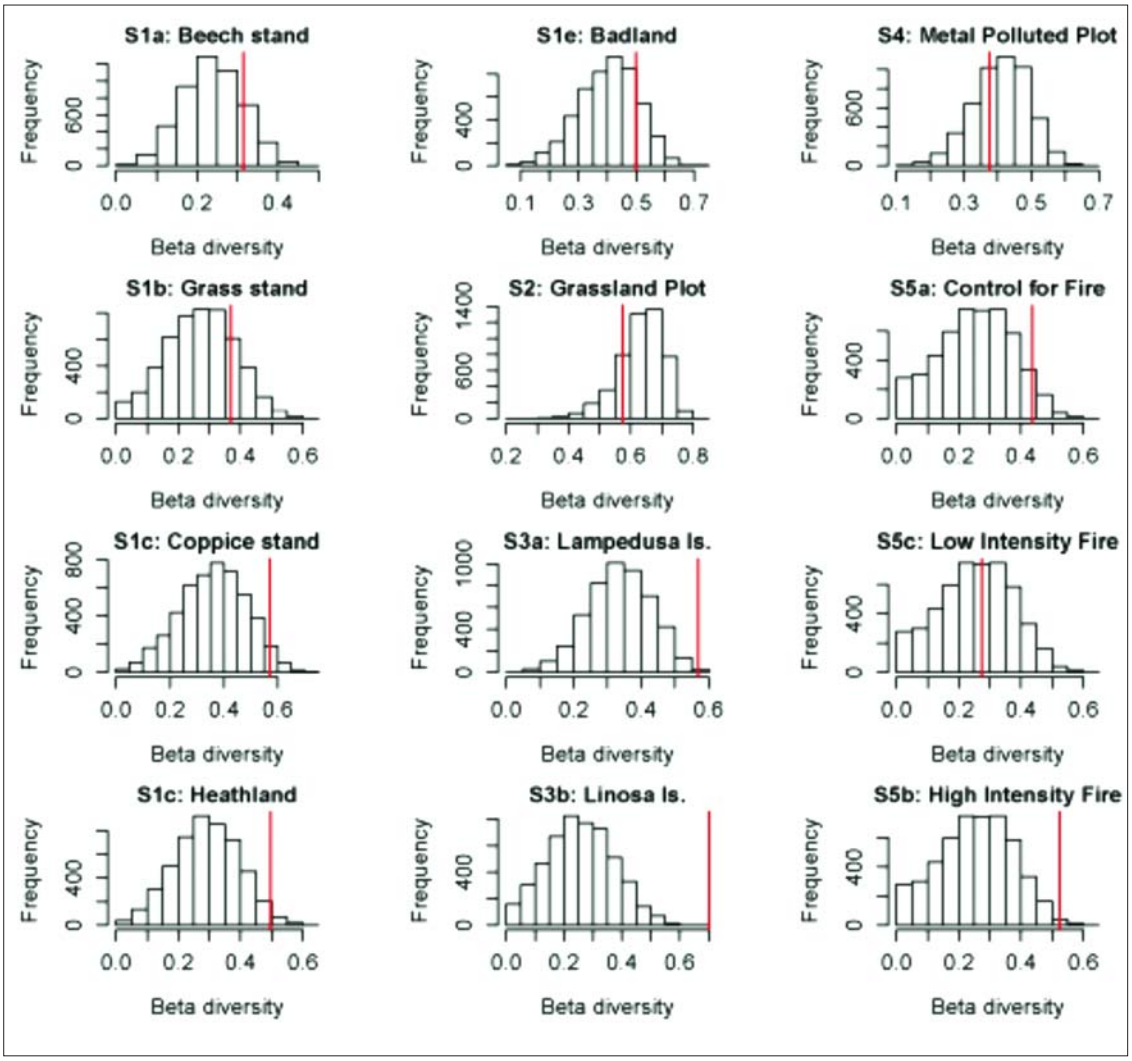


Fig. 3
Valori di β diversita osservati (linea verticale) confrontati con la distribuzione delle frequenze dei valori di β diversity ottenuti simulando 4999 comunità neutrali.

Sebbene intrigante il metodo, però, non è in grado di fornire indicazioni sui soggetti che entrano in gioco nei meccanismi che guidano le dinamiche di ricostituzione delle comunità edafiche. È necessario quindi usare cautela nell'interpretazione dei risultati. Prendiamo per esempio l'ordinamento (CCA) di due ambienti molto diversi (un prato e una faggeta) ma molto vicini tra di loro (non più di 100 m), situati nella Riserva Naturale di Pietraporciana (Fig. 4a). Le analisi statistiche multivariate effettuate hanno mostrato che le due tipologie ambientali presentano comunità oribatologiche totalmente diverse e che le variabili ambientali considerate (tenore idrico, quantità di sostanza organica, tessitura dei suoli, tipologia di habitat e coordinate geografiche) sono in grado di influenzare in maniera significativa i descrittori di tali comunità (abbondanza e la ricchezza specifica) separando i due ambienti nettamente. Tuttavia, considerando separatamente gli effetti dipendenti dalle coordinate geografiche e quelli dipendenti dalle variabili ambientali si nota che viene spiegata solamente il 29,1% di tutta la variabilità nei due ambienti mentre il restante 70,9% di tale variabilità rimane inspiegato (Fig. 4b).

La notevole percentuale di variabilità non spiegata dai fattori considerati potrebbe far ipotizzare un possibile meccanismo neutrale come guida delle comunità, ma quando viene effettuato un confronto tra le comunità reali e quelle comunità simulate, applicando il modello neutrale, questo viene rifiutato (Fig. 4c). I livelli di dissimilarità osservati risultano sempre maggiori di quelli simulati. Questo comportamento non sembra casuale visto che si ripete anche in suoli contaminati da elevate concentrazioni di metalli pesanti (Fig. 5). I modelli lineari misti generalizzati (GLMM) non rilevano rapporti diretti tra metalli pesanti-oribatei perché i gradienti spaziali (Lat/Long) osservati per gli assemblaggi sono indipendenti da quelli di concentrazione dei metalli e scomponendo la quantità di variazione globale espressa dalla CCA si vede che solo il 57% della varianza osservata (18% metalli; 18% componente spaziale; 21% effetto metalli spazialmente strutturati) viene spiegata.

Considerazioni conclusive

Volendo trarre delle conclusioni credo sia lecito affermare che le comunità di acari oribatei possiedono un elevato contenuto di informazione, qualunque sia lo scopo della ricerca. Riescono a fornire indicazioni sull'origine dei popolamenti, discriminare ambienti naturali da quelli disturbati, distinguere un disturbo ed intercettare la sua intensità. Conoscere i pattern di distribuzione spaziale di questi microartropodi non rappresenta, quindi,

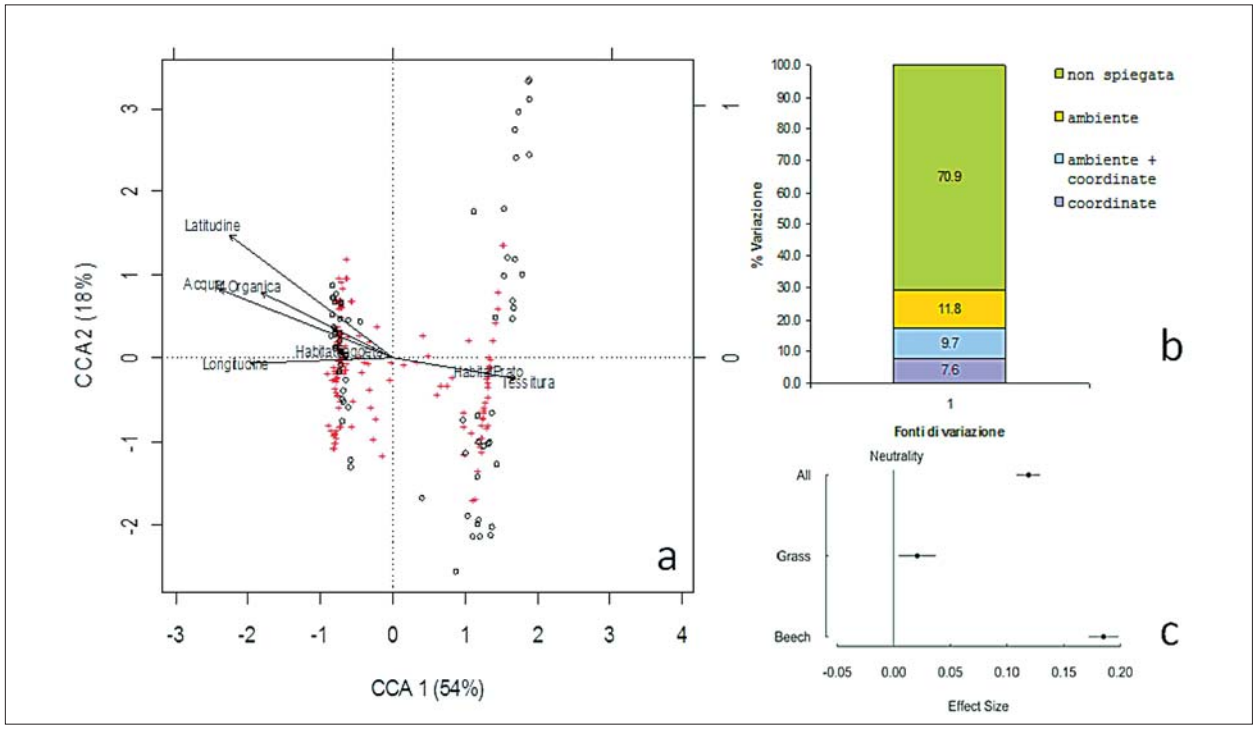


Fig. 4
a) Analisi Canonica delle Corrispondenze (CCA). Croci = specie, pallini= campioni. Le frecce rappresentano i vettori che esprimono il peso, intensità e verso della correlazione fra le variabili e la distribuzione multivariata delle specie. b) Partizione della varianza della CCA. c) L'ipotesi neutrale: linea verticale a zero. I tratti indicano la divergenza rispetto a quelli previsti per il prato e la faggeta.

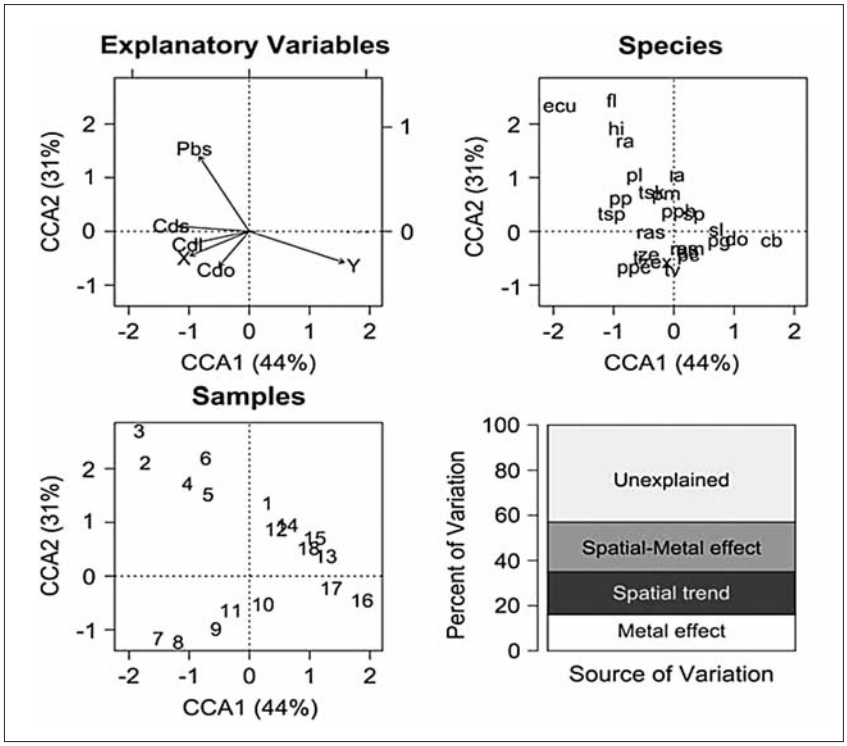


Fig. 5
Analisi delle Corrispondenze Canoniche (CCA). Il triplot delle variabili, specie e campioni è stato scomposto in tre diversi plots. Y, latitudine; X, longitudine; Pbs, concentrazione Pb nei suoli; Cds, Cdl e Cdo rispettivamente cadmio nel suolo, lettiera e orizzonte organico dei suoli. h (plot altamente contaminati), 1-6; m (plot mediamente contaminati), 7-12; l (plot con bassa contaminazione), 13-18. Le specie sono state abbreviate. L'istogramma rappresenta la partizione della varianza.

soltanto un elemento d'informazione essenziale per il corretto disegno dei piani campionari o per la scelta delle tecniche di analisi statistica adeguate, ma porta con se riflessioni sulle profonde implicazioni biologiche che i pattern spaziali esercitano sull'organizzazione delle comunità o sui meccanismi generali di funzionamento degli ecosistemi. Occorre tuttavia usare prudenza visto che i pattern di β diversità non possono essere interpretati solo alla luce di eventi demografici stocastici e di limitata capacità di dispersione. Le comunità ad acari oribatei sembrano regolate da processi che coinvolgono entrambi i meccanismi in grado di operare a varia scala e variabili spazialmente strutturate, legate al disturbo, possono influenzare le oribatocenosi indirettamente. Purtroppo il numero dei fattori necessari a ridurre sensibilmente la percentuale di varianza non spiegata probabilmente è molto elevato, trattandosi di sistemi molto complessi in cui le dinamiche di relazione tra le variabili difficilmente appaiono lineari o dirette.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON J.M., 1975 - *The enigma of soil animal species diversity*. In: J. Vanek, ed. Progress in soil zoology. Prague Academia, Prague, Czech, pp. 51-58.

CARUSO T., MIGLIORINI M., 2006a – *Micro-arthropod communities under human disturbance: is taxonomic aggregation a valuable tool for detecting multivariate change? Evidence from Mediterranean soil oribatid coenoses*. - Acta Oecologica, 30: 46-53.

CARUSO T., MIGLIORINI M., 2006b – *A new formulation of the geometric series with applications to oribatid (Acari, Oribatida) species assemblages from human-disturbed Mediterranean areas*. Ecological Modelling, 195: 402-406.

CARUSO T., NOTO LA DIEGA R., BERNINI F., 2005 – *The effects of spatial scale on the assessment of soil fauna diversity: data from the oribatid mite community of the Pelagian Islands (Sicilian Channel, southern Mediterranean)*. - Acta Oecologica, 28: 23-31.

CARUSO T., PIGINO G., BERNINI F., BARGAGLI R., MIGLIORINI M., 2007 – *The Berger-Parker index as an effective tool for monitoring the biodiversity of disturbed soils: a case study on Mediterranean oribatid (Acari: Oribatida) assemblages*. - Biodiversity and Conservation, 16: 3277-3285.

CARUSO T., MIGLIORINI M., BUCCI., BARGAGLI R., 2009 – *Spatial patterns and autocorrelation in the response of microarthropods to soil pollutants: the example of oribatid mites in an abandoned mining and smelting area.* - Environmental Pollution, 157: 2939-2948.

CARUSO T., TAORMINA M., MIGLIORINI M., 2012 – *Relative role of deterministic and stochastic determinants of soil animal community: a spatially explicit analysis of oribatid mites.* - Journal of Animal Ecology, 81: 214-221.

CHASE J.M., LEIBOLD M.A., 2003 – *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches.* Chicago University Press, Chicago, IL.

HUBBELL S.P., 2001 – *The unified neutral theory of*

biodiversity and biogeography. Princeton University Press, Princeton.

Lebrun P., van Straalen N.M., 1995 – *Oribatid mites: prospects for their use in ecotoxicology*. - Experimental and Applied Acarology, 19: 361-379.

Legendre P., De Caceres M., 2013 – *B diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning.* - Ecology Letters, 16: 951-963.

Migliorini M., Petrioli A., Bernini F., 2002 – *Comparative analysis of two edaphic zoocoenoses (oribatid mites and Carabid beetles) in five habitats of the Pietroporciana and Lucciolabella Nature reserves (Orcia Valley, central Italy).* - Acta Oecologica, 23: 361-374.

Norton R.A., 1990 – *Acarina: Oribatida*. In: Dindal, D.L. (Ed), Soil Biology Guide. Wiley Interscience, New York, pp. 779-803.

Maaß S., Migliorini M., Matthias C., Rillig M.C., Caruso T., 2014 – *Disturbance, neutral theory, and patterns of beta diversity in soil communities*. - Ecology and Evolution, 4(24): 4766-4774.

Magurran A.E., 1988 – *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm, London, UK

May R.M., 1973 – *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton University Press, Princeton, USA.

Morin P.J., 2011 – *Community ecology*, 2nd ed. Wiley-Blackwell, Oxford, U.K.

Olsgard F., Somerfield P.J., Carr M.R., 1998 – *Relationships between taxonomic resolution, macrobenthic community patterns and disturbance*. - Marine Ecology Progress Series, 172: 25-36.

Schatz H., 2004 – *Biodiversity and global distribution of oribatid mites-evaluation of the present state of knowledge*. - Atti del V Symposium of the European Association of Acarologists Berlino 2004. Luxograph, Palermo, Italia, pp. 485-500Walker, L. R. 2012. The biology of disturbance ecology. Oxford Univ. Press, New York.

Wardle D.A., 2002 – *Linking the Aboveground and Belowground Components*. Monographs in Population Biology. Princeton University Press, Princeton.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 113-121

ATTUALI CONOSCENZE SUGLI ERIOFIOIDEI VETTORI DI VIRUS

ENRICO DE LILLO (*) - DOMENICO VALENZANO (*) - PASQUALE SALDARELLI (**)

(*) *Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e degli Alimenti (Di.S.S.P.A.), Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italy*; e-mail: enrico.delillo@uniba.it
(**) CNR *Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante, Bari, Italy.*
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Evoluzione dell'Acarologia nell'ecosistema agrario". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 20 febbraio 2015.

Current knowledge on eriophyoid-virus vectoring

Only a small number of diseases have been confirmed to be caused by virus species transmitted by eriophyid mites; many others have uncertain aetiology and the involvement of a virus is suspected. Many eriophyid species produce symptoms which may be confused with viral diseases or hide virus infections not identified yet. The development of biotechnologies and their continuous updating and improvements could allow a larger detection of virus entities. The purpose of the present review is to describe the current state of knowledge on the eriophyid and plant virus interactions pointing out the weak points of these investigations.

KEY WORDS: Acari, Eriophyidae, plant pathogens, transmission, plant disease.

INTRODUZIONE

OLDFIELD e PROESELER (1996) elencarono una decina di malattie indotte da virus delle piante trasmessi da eriofidi, mentre JONES (1999) associò questi acari alla trasmissione degli agenti di 26 malattie virali. Negli ultimi vent'anni, alcune di queste associazioni sono state provate o smentite, e altre sono state dimostrate o ipotizzate. Purtroppo, le interazioni tra virus ed eriofidi sono conosciute ancora in modo lacunoso e frammentario a causa di difficoltà oggettive nello studio di questi minuscoli acari (DE LILLO e SKORACKA, 2010).

Solo specie della famiglia Eriophyidae (superfam. Eriophyoidea) sono risultate vettrici di virus e gli acari coinvolti non causano reazioni letali alle cellule vegetali punte. Invece, le specie delle famiglie Phytoptidae e Diptilomiopidae (anch'esse della superfam. Eriophyoidea) non sono implicate o sospettate di trasmettere virus alle loro piante ospiti.

Considerando il notevole sviluppo che hanno avuto le applicazioni biotecnologiche nelle indagini molecolari e virologiche, come anche l'incremento delle conoscenze sugli eriofioidei (DE LILLO e SKORACKA, 2010), il presente contributo vuole fornire un aggiornamento, seppur conciso, sulle interazioni tra gli eriofidi e i virus vegetali enfatizzando i punti di forza e di debolezza mostrati dalla relativa linea di ricerca.

VIRUS TRASMESSI DA ERIOFIDI

Per quanto finora noto, le specie virali trasmesse da eriofidi non sono veicolate né da un'altra specie di eriofide né da altri vettori (OLDFIELD e PROESELER, 1996). I virus trasmessi dagli eriofidi appartengono alle famiglie *Potyviridae*, *Alpha-* e *Betaflexiviridae*, *Secoviridae* e al genere *Emaravirus*.

I Potyvirus hanno particelle filamentose e flessuose, dimensioni di circa 700 x 12 nm e possiedono un genoma costituito da un singolo filamento di RNA a polarità positiva [(+)ssRNA]. Il genoma codifica per una singola poliproteina successivamente idrolizzata nelle proteine funzionali virali ad opera di una proteasi codificata dallo stesso virus. A questa famiglia appartengono i Tritimovirus *Wheat Streak Mosaic Virus* (WSMV) e *Brome Streak Mosaic Virus* (BrSMV), il Poacevirus *Triticum Mosaic Virus* (TriMV) e i Rymovirus *Ryegrass Mosaic Virus* (RgMV) e *Agropyron Mosaic Virus* (AgMV) che infettano le poacee (STENGER *et al*., 2005; NAVIA *et al*., 2013).

Gli Allexivirus (fam. *Alphaflexiviridae*) sono virus filamentosi, di circa 800 x 12 nm e il loro genoma consiste in un singolo filamento di RNA, a polarità positiva, codificante 6 overlapping reading frames (ORFs) (MARTELLI *et al*., 2007). A questo genere appartengono le specie *Shallot Virus X* (ShVX), *Garlic Mite-borne Filamentous Virus* (GarMbFV) e *Garlic Virus A, B, C, D, E e X* (GVA-X) dell'aglio (MARTELLI *et al*., 2007).

I Trichovirus (fam. *Betaflexiviridae*), le cui particelle virali sono filamentose e flessuose con dimensioni di circa 700 x 12 nm, possiedono un genoma costituito da un singolo filamento di RNA, a polarità positiva, codificante tre-quattro ORFs. Le specie riportate nel genere sono: *Peach Mosaic Virus* (PcMV) e *Cherry Mottle Leaf Virus* (CMLV) che infettano

– Pubblicato marzo 2016

molte specie del genere *Prunus*; *Grapevine berry Inner Necrosis Virus* (GINV) e *Grapevine Pinot Gris Virus* (GPGV) che infettano la vite; *Fig Latent Virus 1* (FLV-1) che infetta il fico (Martelli *et al*., 2007; Gattoni *et al*., 2009; Giampetruzzi *et al*., 2012; Malagnini *et al*., 2015).

Blackcurrant Reversion Virus (BRV) è il solo *Nepovirus* (famiglia Secoviridae) trasmesso da eriofidi. BRV ha particelle virali di forma icosaedrica di circa 27 nm di diametro, contenenti un genoma bipartito costituito da due molecole di RNA a singola elica di polarità positiva (RNA1 e 2), codificanti poliproteine successivamente processate in prodotti funzionali (Seitsonen *et al*., 2008).

Gli Emaravirus, genere di recente istituzione non ancora assegnato a una famiglia, sono presenti nei tessuti infetti nella forma di particelle virus-simili rivestite da una doppia membrana (double membrane-bodies, DMBs, o double membrane-bound particles, DMPs, secondo Kim *et al*., 2001), aventi diametro di 80-200 nm. Il genoma è costituito da 4-6 molecole di RNA, a polarità negativa (Mielke-Ehret e Muehlbach, 2012). Gli Emaravirus sono principalmente localizzati nel parenchima e comprendono le specie: *European Mountain Ash Ringspot-associated Virus* (EMARaV) che infetta il sorbo; *Fig Mosaic Virus* (FMV) che infetta il fico; *Rose Rosette Virus* (RRV) che infetta *Rosa multiflora* Thunb.; *Pigeon Pea Sterility Mosaic Virus* (PPSMV) che infetta *Cajanus cajan* (L.) Millsp.; *Raspberry Leaf Blotch Virus* (RLBV) che infetta il lampone; *Wheat Mosaic Virus* (WMoV) che infetta poacee (Kumar *et al*., 2003; Mielke e Muehlbach, 2007; Elbeaino *et al*., 2012; Ishikawa *et al*., 2012; Laney *et al*., 2012; McGavin *et al*., 2012; Tatineni *et al*., 2014).

Eriophyidae coinvolti nella trasmissione dei virus

Eriofidi dei generi *Acalitus*, *Aceria*, *Eriophyes* (sottofam. Eriophyinae), *Anthocoptes*, *Phyllocoptes* (sottofam. Phyllocoptinae), *Cecidophyopsis* e *Colomerus* (sottofam. Cecidophyinae) sono stati accertati o sospettati di essere vettori di virus delle piante. Secondo la classificazione ecologica basata sulle strategie vitali (Sabelis e Bruin, 1996; Skoracka *et al*., 2010), le specie vettrici sono a vita libera o vaganti sulle superfici vegetali verdi oppure cercatrici di rifugi che la pianta naturalmente fornisce loro (tra germogli e base delle foglie, sotto le perule, tra le scaglie dei bulbi, ecc.) oppure induttori di galle di varia dimensione e forma.

Una specie di eriofide può essere coinvolta nella trasmissione di più specie di virus anche appartenenti a generi diversi e a diversa morfologia, come nel caso di *Aceria tosichella* Keifer, *Aceria tulipae* (Keifer), *Abacarus hystrix* (Nalepa) e *Colomerus vitis* (Pagenstecher) (Jensen *et al*., 1996; Mahmood *et al*., 1998; Kunugi *et al*., 2000; Seifers *et al*., 2002, 2009; Skare *et al*., 2006; Kang *et al*., 2007; Stephan *et al*., 2008; Navia *et al*., 2010, 2013, Malagnini *et al*., 2015). Tuttavia, l'efficienza nella trasmissione di un virus pare condizionata dal genotipo della popolazione dell'eriofide come riportato per *Aceria cajani* Channabasavanna con PPSMV, *A. tosichella* con TriTMV e *A. hystrix* con RgMV (Oldfield e Proeseler, 1996; Kumar *et al*., 2001; Harvey *et al*., 2005; McMechan *et al*., 2014). Un'analoga variabilità riguarda anche la sensibilità delle piante ospiti al virus. In tal caso, genotipi di piante ospiti, spontanee in aree marginali e incolte, scarsamente sensibili al virus, sembrano conservare popolazioni di eriofidi e virus quando la pianta ospite sensibile ed elettiva è temporaneamente indisponibile (Malik *et al*., 2003; Navia *et al*., 2013). Appare, anche, che lo stretto rapporto co-evolutivo tra vettore e virus porti vantaggi anche agli eriofidi in quanto questi costituiscono popolazione più consistenti su piante infette rispetto a quelle sane come accertato per *A. cajani*, *A. tosichella* e *Phyllocoptes fructiphilus* Keifer (Epstein e Hill, 1999; Jones *et al*., 2004; Latha *et al*., 2004; Siriwetwiwat, 2006 in Murugan *et al*., 2011).

Abacarus hystrix è una specie polifaga (Skoracka *et al*., 2010), vagante sulla superficie superiore e inferiore della lamina fogliare delle poacee ospiti (Orlob, 1966). Questo eriofide trasmette l'AgMV alla gramigna e occasionalmente al frumento (Oldfield e Proeseler, 1996), e l'RgMV al loglio comune (*Lolium multiflorum* Lam.) e a numerose altre poacee, ad eccezione del frumento (Salm *et al*., 1994; Webster *et al*., 2005). L'efficienza di trasmissione sembra dipendere dalla specie ospite e dai relativi ecotipi vegetali, anche se *A. hystrix* potrebbe includere più specie criptiche (Gibson, 1974; Skoracka, 2009; Skoracka e Dabert, 2010).

Anche *A. cajani* è specie vagante sulla superficie delle foglie giovani e delle parti verdi in prossimità dei meristemi. Infesta il *C. cajan* (caiano), risorsa proteica principale delle popolazioni dell'Asia meridionale, al quale trasmette il PPSMV. Si conserva anche su *Cajanus scarabaeoides* (L.) Thouras e piante spontanee di caiano (Janarthanan *et al*., 1972; Reddy *et al*., 1989, 1990; Kumar *et al*., 2003; Manjunatha *et al*., 2013).

Aceria ficus occupa la superficie inferiore delle foglie distali del fico (Monfreda e de Lillo, 2007). L'eriofide trasmette il FMV e sembra implicato anche nella trasmissione del FLV-1 (Cağlyan *et al*., 2012, Martelli *et al*., 2013).

Aceria tosichella forma popolazioni dense tra il culmo e la guaina fogliare di numerose poacee (Orlob, 1966). Notevole è stata la confusione tassonomica con *A. tulipae* venendo associata a ospiti di specie molto diverse tra loro (Navia *et al*., 2013; Skoracka *et al*., 2013). L'eriofide causa cali nelle rese del frumento in cui trasmette WSMV, WMoV (in passato noto come WSpMV) e TriMV riducendone ulteriormente le produzioni (Harvey *et al*., 2002; Dumon *et al*., 2013; Navia *et al*., 2013). La specie trasmette anche BrSMV a varie poacee (Navia *et al*., 2013). L'efficacia di trasmissione dei virus è condizionata dalla composizione e origine delle sue popolazioni (Schiffer *et al*., 2009; Navia *et al*., 2013; McMechan *et al*., 2014). Indagini molecolari e biologiche, volte a verificare la reale polifagia, stanno dimostrando l'esistenza di linee geneticamente distinte alcune delle quali sembrano generaliste riguardo la specificità dell'ospite (Carew *et al.*, 2009; Navia *et al.*, 2013; Skoracka *et al*., 2012, 2014b).

Aceria tulipae infesta bulbose delle famiglie Alliaceae e Liliaceae, occupando gli spazi più protetti offerti da queste piante, ed è stato associata a GarMbFV, ShVX e alcuni GarV (Kang *et al*., 2007; Ostoja Strazewski e Mattews, 2009). La possibilità che il nome *A. tulipae* raccolga più specie non ancora distinte tra loro suggerisce la necessità di approfondire la genetica delle popolazioni, di ristudiare la bio-etologia dell'eriofide e le sue interazioni con il virus (Skoracka *et al*., 2014a).

Cecidophyopis ribis (Westwood) è una specie galligena del ribes nero di cui altera le gemme e gli organi derivanti da queste (de Lillo e Duso, 1996) e a cui trasmette il BRV (Lemmetty *et al*., 2004). Ulteriori specie del genere *Cecidophyopsis*, affini a *C. ribis*, sono state identificate su altre specie di *Ribes* infette da BRV (Lemmetty *et al*., 2004).

Colomerus vitis è variamente dannosa alla vite nelle regioni viticole a seconda delle cultivar, condizioni ambientali e densità dell'acaro (Javedi Khederi *et al*., 2014). Tre razze (delle gemme, dell'erinosi e dell'arrotolamento fogliare) sono state discriminate sulla base della risposta della pianta ospite all'infestazione (Duso e de Lillo, 1996). La razza responsabile dell'erinosi è quella più frequente ed è stata separata da quella delle gemme solo sulla base della PCR-RFLP della regione ITS1 (Carew *et al*., 2004). L'eriofide è ritenuto implicato nella trasmissione del GINV (Kunugi *et al*., 2000) e del GPGV (Malagnini *et al*., 2015).

Eriophyes inaequalis Wilson e Oldfield è infeudato a *P. emarginata* su cui causa irregolarità di crescita dei germogli. Questo eriofide trasmette il CMLV a diversi *Prunus* spp. Saggi di laboratorio hanno dimostrato la trasmissione del virus anche su ciliegio dolce e pesco i quali non sono infestati in campo (Oldfield, 1970; James e Mukerji, 1993).

Eriophyes insidiosus Keifer e Wilson risiede nelle gemme di pesco, nettarine e altri *Prunus* selvatici inducendo lo sviluppo irregolare dei germogli (Keifer e Wilson, 1956; Gispert *et al*., 1998). Trasmette il PcMV su *Prunus* selvatici e su quelli destinati a scopi ornamentali e per le produzioni di frutta (Wilson *et al*., 1955; Gispert *et al*., 1998).

Eriophyes pyri (Pagenstecher) è stato associato a numerose pomacee su cui causa la comparsa di bollosità solitamente confinate alla lamina fogliare. È probabile che questo nome accolga più specie a maggiore specificità, ma a simile morfologia ed ecologia, come già dimostrato in pochissimi casi (Shi e Boczek, 2007). La specie rinvenuta su *S. aucuparia* in Norvegia è sospettata di trasmettere l'EMARaV (von Bargen *et al*., 2014).

Phyllocoptes fructiphilus infesta numerose specie coltivate e spontanee del genere *Rosa* (Allington, 1968; Amrine, 2002; Tzanetakis *et al*., 2006). Le popolazioni dell'eriofide si rinvengono su tessuti giovani e in spazi protetti come i pezioli fogliari, le gemme ascellari, sotto le perule e le scaglie delle gemme inducendo lo sviluppo di scopazzi con riduzione della capacità vegetativa e riproduttiva della pianta ospite (Allington *et al*., 1968). L'acaro è vettore di RRV principalmente su rosa multiflora ma anche su altre specie in nord America (Allington, 1968; Tzanetakis *et al*., 2006). Questa associazione è particolarmente efficace nel controllo di rosa multiflora nelle aree dove questa è invasiva (Smith *et al*., 2010).

Phyllocoptes gracilis Nalepa infesta il lampone, il rovo e altri *Rubus* affini anche se l'oligofagia della specie suggerisce l'esistenza di un possibile complesso di specie. Questa specie è ritenuta vettrice di RLBV responsabile di un disordine nella crescita e nella produzione della pianta ospite (McGavin *et al*., 2012).

Criticità nello studio delle interazioni eriofidi-virus

Pur avendo accertato un'elevata specificità tra i virus e gli eriofidi loro vettori, i meccanismi di trasmissione sono ancora da chiarire (Oldfield e Proeseler, 1996; de Lillo e Skoracka, 2010). È evidente come un allevamento sia essenziale per

assicurare la disponibilità di eriofidi virus-esenti da destinare a saggi di trasmissione (GISPERT *et al*., 1997). Le ridottissime dimensioni degli eriofidi complicano i saggi, ma anche l'allevamento è problematico in quanto richiede cellule vegetali sensibili ai secreti salivari degli eriofidi, condizioni micro-ambientali spesso molto specifiche per gli spazi offerti dalla pianta ospite, per l'umidità relativa e la temperatura, nonché l'assenza dei predatori (DE LILLO e SKORACKA, 2010).

Il trasferimento degli eriofidi da piante o parti di piante infette verso piante sane rappresenta un punto delicato dei saggi di trasmissione.

L'apposizione di parti di pianta (solitamente foglie), infestate dall'eriofide e infette dal virus, su piante da saggiare non richiede ulteriori manipolazioni e gli acari possono abbandonare la sorgente infetta per portarsi sulle piante sane in seguito al graduale disseccamento della sorgente. Con le stesse finalità, piante infette e infestate possono essere accostate a piante sane. In entrambi i casi, la procedura determina limitato stress agli acari e ridotta manualità per l'operatore. Tali protocolli, però, impediscono di determinare le modalità di trasmissione quali il periodo minimo di acquisizione (AAP) del virus da parte del vettore, il periodo di latenza, il periodo di alimentazione necessario alla trasmissione del virus alla pianta (IAP) e la minima densità di popolazione responsabile dell'infezione. Questa procedura è stata adoperata per lo studio della trasmissione di FMV, apponendo pezzi di foglia infetti a semenzali di fico in modo da trasferire un numero definito di eriofidi per semenzale (ÇAĞLAYAN *et al*., 2012).

Molto più logorante è il trasferimento di singoli eriofidi da piante infette a piante sane mediante un utensile idoneo allo scopo (spillo o ciglio). La procedura è laboriosa, deve essere eseguita al microscopio, richiede tempo e abilità dell'operatore nella manipolazione degli acari e nella verifica dell'avvenuto trasferimento sulla pianta sana. A fronte di questi svantaggi, consente la valutazione dell'AAP, dell'IAP e della densità di popolazione necessaria per l'inoculazione. Questo metodo è stato seguito da GISPERT *et al*. (1997, 1998) per studiare la relazione tra PcMV ed *E. insidiosus*.

Lo studio di *A. hystrix* nella trasmissione di AgMV (CATHERALL e CHAMBERLAIN, 1975) è stato, invece, realizzato favorendo la dispersione aerea dell'eriofide da piante infette a piante sane in un microambiente confinato. Questa procedura semplifica il lavoro manuale dell'operatore ma richiede una notevole cura nel definire la velocità e la direzione della corrente d'aria, come anche i valori di umidità ambientale, ed espone gli acari a un alto rischio di insuccesso nel giungere sulla pianta ospite.

Ulteriore tecnica utilizzata nello studio della trasmissione è stata quella dell'inoculazione su piante di omogenati ottenuti da acari viruliferi. Questo tipo di inoculazione artificiale è stata realizzata con successo per WSMV mediante omogenati viruliferi di *A. tosichella* (ORLOB, 1966), mentre gli esiti sono stati, ovviamente, negativi nel caso dell'applicazione di omogenati delle specie non vettrici *Aculodes mckenziei* (Keifer) e *A. histryx* allevate su foglie infette da WSMV. Questa procedura non consente di stabilire i tempi di trasmissione e non esclude i falsi positivi dovuti a una mancata disattivazione del virus appena ingerito. Tuttavia, rappresenta una ulteriore prova a sostegno del coinvolgimento dell'eriofide nella trasmissione dei virus.

Gli eriofidi si nutrono delle cellule epidermiche e, talora, anche di quelle del parenchima di organi verdi, teneri e ricchi di protoplasma (DE LILLO, 2011). Solitamente l'attività trofica non causa la morte delle cellule punte, tranne nei casi di ipersensibilità, mentre le sostanze salivari introdotte dall'acaro alterano il funzionamento degli organuli delle cellule punte e inducono effetti sulla fisiologia delle piante che si manifestano con alterazioni morfologiche dei tessuti (solitamente quelli indifferenziati) (DE LILLO e MONFREDA, 2004; MONFREDA e DE LILLO, 2006; PETANOVIĆ e KIELKIEWICZ, 2010). Solitamente, le specie cercatrici di rifugi e ancor più quelle galligene stabiliscono intime e specifiche relazioni con le piante ospiti e sono esigenti nella selezione degli organi sui quali insediarsi. Questa condizione richiede una certa cura nell'individuazione del sito su cui trasferire gli eriofidi durante i saggi di trasmissione come, ad esempio, verificato per *E. insidiosus*, che ha efficacemente trasmesso il PcMV solo quando è stato trasferito sulle gemme (GISPERT *et al*., 1997), oppure per *P. fructiphilus*, efficiente nella trasmissione di RRV quando si alimenta su tessuti in rapida crescita (EPSTEIN e HILL, 1999).

In generale, i virus trasmessi dagli eriofidi si localizzano principalmente nelle cellule epidermiche e del mesofillo della pianta come risultato della limitata lunghezza degli stiletti (OLDFIELD e PROESELER 1996). Conseguentemente, i virus possono essere acquisiti da e trasmessi a tali cellule. Pertanto, questi agenti patogeni potrebbero essere trasmessi secondo un meccanismo di trasmissione di tipo non persistente o semi-persistente (JONES, 2000) (PPSMV e FMV possono essere meccanicamente trasmessi a piante indicatrici (KUMAR *et al*., 2003; SERRANO *et al*., 2004)), anche se altri dati possono suggerire un meccanismo persistente (circolativo) per alcuni virus (TAKAHASHI e ORLOB 1969; JONES, 1999; GRAY e BANERJEE, 1999). A

riguardo, però, nulla è noto sui processi utilizzati da potenziali virus circolativi per attraversare le barriere cellulari durante la loro traslocazione dall'intestino alle ghiandole salivari.

Il passaggio dei virus dalle madri alle uova di eriofidi è stato sperimentalmente escluso mentre è stato accertato quello transtadiale (per *A. ficus* e FMV in Proeseler, 1969, 1972; per *A. cajani* e PPSMV in Kulkarni *et al*., 2002; Latha e Doraiswamy, 2004). A riguardo, il TriMV è stato trasmesso utilizzando le sole forme quiescenti di *A. tosichella* raccolte su piante infette (McMechan *et al*., 2014). I saggi eseguiti con le forme giovanili hanno evidenziato l'ininfluenza delle mute sull'infettività dell'eriofide e ciò indica che il virus non è ritenuto sull'intima cuticolare (del Rosario e Sill, 1965; Orlob, 1966; Oldfield, 1970; Slykhuis, 1980; Gispert *et al*., 1998). Tuttavia, l'efficienza del vettore sembra dipendere dallo stadio di sviluppo e appare maggiore negli adulti piuttosto che nelle forme giovanili (Gispert *et al*., 1998), anche se gli adulti sembrano meno efficienti allorché il virus viene acquisito proprio in quest'ultimo stadio (Slykhuis, 1955; Orlob, 1966).

La verifica della localizzazione dei virus delle piante in specifici territori del corpo del vettore consente la comprensione del percorso di traslocazione del virus nel vettore e il meccanismo di trasmissione, ma tale studio è spesso laborioso e oneroso. La conferma della presenza del virus nel corpo dell'eriofide è agevole con le più comuni biotecnologie. Una trascrizione inversa seguita da una PCR (RT-PCR), o da una real time–PCR e successivo sequenziamento (Mielke-Ehret *et al*., 2010; Çaglayan *et al*., 2012), forniscono elementi di prova anche se l'estrazione dell'RNA virale dall'eriofide potrebbe richiedere la messa a punto del metodo in seguito alle caratteristiche dell'acaro e del virus (Malagnini *et al*., 2015). La risposta positiva al rilievo molecolare indica che il virus è stato assunto durante l'attività trofica ma non ne definisce la localizzazione nel corpo dell'eriofide né tantomeno la sua effettiva capacità di trasmettere il virus (vedi Paliwal, 1980 per WSMV nell'intestino medio di *A. hystrix* e per *Barley stripe mosaic* (BSMV) in *A. tosichella*). A riguardo si rendono necessarie altre evidenze come la persistenza di WSMV nell'intestino di *A. tosichella* per diversi giorni e la sua presenza nell'emocele e nelle ghiandole salivari dell'acaro (Slykhuis, 1955; del Rosario e Sill, 1965; Orlob, 1966; Paliwal e Slykhuis, 1967; Paliwal, 1980). Oltre alle tecniche di microscopia, il rilievo del WSMV nell'emocele è stato eseguito anche mediante anticorpi fluorescenti applicati in omogenati di acari (Sinha e Paliwal, 1976), ma non sempre le tecniche di immunofluorescenza e i saggi dot-immunobinding hanno dato esiti positivi (Mahmood *et al*., 1997).

Tra le altre tecniche, l'analisi di estratti proteici presenti in omogenati di acari mediante immunocattura seguita da osservazioni in microscopia elettronica (ISEM) può evidenziare le reazioni delle proteine del capside virale con l'antisiero specifico (Kang *et al*., 2007). Recentemente, tecniche di immunofluorescenza hanno permesso l'osservazione al microscopio laser confocale su acari interi della proteina P3 di EMARaV. Il rilievo è stato condotto sul corpo di *E. pyri* alimentatosi su piante di *S. aucuparia* infette da EMARaV (Mielke-Ehret *et al*., 2010). Questa procedura, seppure interessante, è stata finora scarsamente applicata e necessita di essere ottimizzata poichè gli organi degli acari possono avere propria fluorescenza e potrebbero non essere discriminati correttamente.

Infine, un campo quasi inesplorato è quello dello studio sull'esistenza di potenziali proteine necessarie alla trasmissione (helper factors), che intervengano nella ritenzione del virus nel corpo del vettore suggerendo il meccanismo di traslocazione e trasmissione (Gray e Banerjee, 1999). Un potenziale helper a funzione ignota è stato identificato finora solo nel genoma del potyvirus WSMV tra i virus trasmessi dagli eriofidi (Stenger *et al*., 2005).

Considerazioni finali

La trasmissione dei virus è specie specifica e la corretta identificazione dell'eriofide è cruciale nella comprensione dell'ecologia dell'acaro e la potenziale diffusione del virus. L'esistenza di specie criptiche rappresenta un evidente ostacolo che causa banalmente una confusione tassonomica, ma che dal punto di vista ecologico può spiegare bene la diversa efficacia di trasmissione di un virus, le interazioni tra virus ed eriofide e le implicazioni di carattere biologico. Questi aspetti vanno, poi, necessariamente inquadrati nella predisposizione e implementazione dei biosaggi per lo studio dei meccanismi di trasmissione.

La diversa suscettibilità dei genotipi delle piante ospiti all'eriofide costituisce un ulteriore elemento di disturbo nello studio delle sue interazioni con il virus. Questo carattere biologico è tuttora poco indagato (vedi Kumar *et al*., 2001; Javedi Khederi *et al*., 2014; Richardson *et al*., 2014) ma la sua conoscenza potrebbe tornare utile nei biosaggi e nello sviluppo di adeguate strategie di controllo dell'eriofide e dei virus.

Appare evidente che esistono limiti metodologici e di conoscenza riguardanti i meccanismi di trasmissione (apparentemente di tipo persistente e

semipersistente), la localizzazione e le eventuali modalità di traslocazione e replicazione dei virus nel corpo dell'acaro. In questa direzione andrebbero sviluppate e applicate tecniche di indagine più fini come l'ibridazione fluorescente in sito (Ghanim *et al*., 2009) o la ricerca di helper factors.

Infine, le nuove tecniche di Next Generation Sequencing potrebbero spiegare l'eziologia di alcune alterazioni finora non ancora ben interpretate ed evidenziare altre potenziali relazioni tra virus ed eriofidi (de Lillo, 2011).

Il quadro conclusivo che emerge dall'esame di quanto noto sulle interazioni tra eriofidi e virus vegetali appare alquanto inorganico e caratterizzato da lacune che richiedono di essere colmate con una stretta collaborazione tra esperti aventi competenze diverse e complementari.

Ringraziamenti

Il presente contributo è stato parzialmente finanziato dalla Fondazione E. Mach, San Michele all'Adige, Trento (Progetto di ricerca per lo studio di una nuova malattia della vite in Trentino) e dal CNR (Conoscenze Integrate per la Sostenibilità e l'Innovazione del made in Italy Agroalimentare", Progetto METAGERM).

RIASSUNTO

Un ridotto numero di malattie delle piante sono causate da virus trasmessi da eriofidi; molte altre hanno una eziologia incerta e l'interazione tra eriofide e virus è fortemente sospettata. Molti eriofidi inducono sintomi che possono essere confusi con malattie virali o celano infezioni virali non ancora identificate. Lo sviluppo di biotecnologie e il loro continuo miglioramento potrebbero consentire una maggiore esplorazione di questi aspetti. Lo scopo di questo contributo è di fornire un quadro conciso delle conoscenze sulle interazioni tra virus e gli eriofidi vettori di questi evidenziando i punti deboli di questa linea di ricerca.

BIBLIOGRAFIA

Allington W.B., Staples R., Viehmeyer G., 1968 – *Transmission of rose rosette virus by the eriophyid mite* Phyllocoptes fructiphilus. - J. Econ. Entomol., 61: 1137-1140.

Amrine J.W. Jr 2002 – Multiflora rose. In: Biological control of invasive plants in the eastern United States. Van Driesche R., Lyon S., Blossey B., Hoddle M., Reardon R., Eds, USDA Forest Service Publication FHTET 2002 04, pp 265-292.

Çağlayan K., Elci E., Ulubas Serce C., Kaya K., Gazel M., Medina V., 2012 – *Detection of Fig Mosaic Virus in Viruliferous Eriophyid Mite* Aceria ficus. - J. Plant. Path., 94: 629-634.

Carew M.E., Goodisman M.A.D., Hoffmann A.A., 2004 – *Species status and population structure of grapevine eriophyoid mites*. - Entomol. Exp. Appl., 111: 87-96.

Carew M., Schiffer M.. Umina P., Weeks A., Hoffmann A., 2009 – *Molecular markers indicate that the wheat curl mite,* Aceria tosichella *Keifer, may represent a species complex in Australia*. - Bull. Entomol. Res., 99: 479-486.

Catherall P.L., Chamberlain J.A., 1975 – *Occurrence of Agropyron Mosaic Virus in Britain*. - Pl. Pathol., 24: 155-157.

de Lillo E., 2011 – *Acarocecidi della flora italiana (Eriofioidei galligeni).* Atti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Rendiconti, 58(2010): 73-83.

de Lillo E., Duso C., 1996 – Currant and berries. In: Eriophyoid mites. Their biology, natural enemies and control. Lindquist E.E., Sabelis M.W. & Bruin J., Eds, Elsevier, Amsterdam, World Crop Pests, 6, pp. 583-592.

de Lillo E., Monfreda R., 2004 – *«Salivary secretions» of eriophyoids (Acari: Eriophyoidea): first results of an experimental model*. - Exp. Appl. Acarol., 34: 291-306.

de Lillo E., Skoracka A., 2010 – *What's "cool" on Eriophyoid Mites?* - Exp. Appl. Acarol., 51: 3-30.

del Rosario M.S., Sill W.H.Jr., 1965 – *Physiological strains of* Aceria tulipae *and their relationships to transmission of wheat streak mosaic virus*. - Phytopathol., 55: 1168-1175.

Dumón A.D., Argüello Caro E.B., Alemandri V., Mattio M.F., Donaire G., Alberione E., Bainotti C.T., Rodríguez S.M., Truol G., 2013 – *Performance of different wheat cultivars to Wheat streak mosaic virus (WSMV) and High Plains virus (HPV) by artificial infection with the vector* Aceria tosichella *Keifer under field conditions*. - Rev. Invest. Agropec., 39: 67-76.

Duso C., de Lillo E., 1996 – Eriophyids of Grape. In: Eriophyoid mites. Their biology, natural enemies and control. Lindquist E.E., Sabelis M.W. & Bruin J., Eds, Elsevier, Amsterdam, World Crop Pests, 6, pp. 571-582.

Elbeaino T., Digiaro M., Martelli G.P., 2012 – *RNA-5 and -6, two additional negative sense RNA segments associated with Fig mosaic virus*. - J. Pl. Pathol., 94, 421-425.

Epstein A.H., Hill J.H., 1999 – *Status of rose rosette disease as a biological control for multiflora rose*. - Plant Dis., 83: 92-101.

Gattoni G., Minafra A., Castellano M.A., De Stradis A., Boscia D., Elbeaino T., Digiaro M., Martelli G.P., 2009 – *Some properties of fig latent virus 1, a new member of the family Flexiviridae.* - J. Plant Path., 91: 555-564.

Ghanim, M., Brumin, M., Popovski, S., 2009 – *A simple, rapid and inexpensive method for localization of Tomato yellow leaf curl virus and Potato leafroll virus in plant and insect vectors*. - J. Virol. Meth., 159: 311-314.

Giampetruzzi A., Roumi V., Roberto R., Malossini U., Yoshikawa N., La Notte P., Terlizzi F., Credi R., Saldarelli P., 2012 – *A new grapevine virus discovered by deep sequencing of virus- and viroid-derived small RNAs in Cv Pinot gris*. - Virus Res., 163: 262-268.

Gibson R.W., 1974 – *Studies on the feeding behaviour of the Eriophyid mite* Abacarus hystrix *a vector of grass viruses (Acari)*. - Ann. Appl. Biol., 78: 213-217.

Gispert C., Perring T.M., Oldfield G.N., 1997 – *Rearing* Eriophyes insidiosus *Keifer and Wilson (Acari: Eriophyoidea), a fastidiosus bud mite*. - Int. J. Acarol., 23: 227-231.

Gispert C., Oldfield G.N., Perring T.M., Creamer R.,

1998 – *Biology of the transmission of peach mosaic virus by* Eriophyes insidiosus *(Acari: Eriophyidae)*. - Plant Dis., 82: 1371-1374.

Gray S.M., Banerjee N., 1999 – *Mechanisms of Arthropod transmission of plant and animal viruses*. - Micr. Mol. Biol. Rev., 63: 128-148.

Harvey T.L., Martin T.J., Seifers D.L., 2002 – *Wheat yield reduction due to wheat curl mite* (Acari: Eriophyidae) infestations. - J. Agric. Urban Entomol., 19: 9-13.

Harvey T.L., Seifers D.L., Martin T.J., Michaud J.P., 2005 – *Effect of resistance to wheat streak mosaic virus on transmission efficiency of wheat curl mites*.- J. Agric. Urban Entomol., 22: 1-6.

Ishikawa K., Maejima K., Komatsu K., Kitazawa Y., Hashimoto M., Takata D., Yamaji Y., Namba S., 2012 – *Identification and characterization of two novel genomic RNA segments of fig mosaic virus, RNA5 and RNA6*. - J. Gen. Virol., 93: 1612-1619.

James D., Mukerji S., 1993 – *Mechanical transmission, identification, and characterization of a virus associated with mottle leaf cherry*. - Plant. Dis., 77: 271-275.

Janarthanan R., Navaneethan R.G., Subramanian K.S., Samuel G.S., 1972 – *Some observations on the transmission of sterility mosaic of pigeon pea*. - Curr. Sci., 41: 646-647.

Javedi Khederi S., de Lillo E., Khanjani M., Gholami M., 2014 – *Resistance of grapevine to the erineum strain of* Colomerus vitis *(Acari: Eriophyidae) in western Iran and its correlation with plant features*. - Exp. Appl. Acarol., 63: 15-35.

Jensen S.G., Lane L.C., Seifers D.L.A., 1996 – *New disease of maize and wheat in the high plains*. - Plant Dis., 80: 1387-1390.

Jones A.T., 1999 – *Eriophyid mite transmitted viruses and virus like agents of plants*. In: Biotic interactions in plant pathogen associations. BSPP Presidential Meeting, British Society for Plant Pathology. Oxford. http://www.bspp.org.uk/archives/bspp1999/session5.php

Jones A.T., 2000 – *Black currant reversion disease-the probable causal agent, eriophyid mite vectors, epidemiology and prospects for control*. - Virus Res., 71: 71-84.

Jones A.T., Kumar P.L., Saxena K.B., Kulkarni N.K., Muniyappa V., Waliyar F., 2004 – *Sterility mosaic disease - the "green plague" of pigeonpea: advances in understanding the etiology, transmission and control of a major virus disease*. - Plant Dis., 88: 436-445.

Kang S.G., Koo B.J., Lee E.T., Chang M.U., 2007 – *Allexivirus transmitted by eriophyid mites in garlic plants*. J. Microbiol. Biotechnol., 17: 1833-1840.

Keifer H.H., Wilson N.S., 1956 – *A new species of eriophyid mite responsible for the vection of peach mosaic virus*. - Bull. Calif. Dep. Agric., 44: 145-146.

Kim K.-S., Ahn K.-K., Gergerich R.C., Kim S.-B., 2001 – Possible etiology of eriophyid mite-borne pathogens associated with Double Membrane-Bound particles. In: Virus-insect-Plant interactions. Harris H.F., Smith O.P., Duffus J.E. Academic Press, pp. 29-50.

Kulkarni N.K., Kumar P.L., Muniyappa V., Jones A.T., Reddy D.V.R., 2002 – *Transmission of pigeonpea sterility mosaic virus by the eriophyid mite,* Aceria cajani *(Acari: Arthropoda)*. - Plant Dis., 86: 1297-1302.

Kumar P.L., Fenton B., Duncan G.H., Jones A.T., Sreenivasulu P., Reddy D.V.R., 2001 – *Assessment of variation in* Aceria cajani *using analysis of rDNA ITS regions and scanning electron microscopy: implications for the variability observed in host plant resistance to pigeonpea sterility mosaic disease*. - Ann. Appl. Biol., 139: 61-73.

Kumar P.L., Jones A.T., Reddy D.V.R., 2003 – *A novel mite transmitted virus with a divided RNA genome closely associated with pigeonpea sterility mosaic disease*. Phytopathol., 93: 71-81.

Kunugi Y., Asari S., Terai Y., Shinkai A., 2000 – *Studies on the grapevine berry inner necrosis virus disease. 2. Transmission of grapevine berry inner necrosis virus by the grape erineum mite* Colomerus vitis *in Yamanashi*. Bull. Yamanashi Fruit Tree Exp. Station, 10: 57-63.

Laney A.G., Keller K.E., Martin R.R., Tzanetakis I.E., 2012 – *A discovery 70 years in the making: characterization of the Rose rosette virus*. - J. Gen. Virol., 92: 1727-1732.

Latha T.K.S., Doraiswamy S., 2004 – *Interaction studies between pigeonpea sterility mosaic virus and mite vector*. Ind. J. Plant Prot., 32: 105-110.

Lemmetty A., Tikkanen M., Tuovinen T., Lehto K., 2004 – *Identification of different* Cecidophyopsis *mites on* Ribes *in Finland*. - Acta-Hort., 656: 115-118.

Mahmood T., Hein G.L., French R.C., 1997 – *Development of serological procedures for rapid and reliable detection of wheat streak mosaic virus in a single wheat curl mite*. - Plant Dis., 81: 250-253.

Mahmood T., Hein G.L., Jensen S.G., 1998 – *Mixed infection of hard red winter wheat with high plains virus and wheat streak mosaic virus from wheat curl mites in Nebraska*. - Plant Dis., 82: 311-315.

Malagnini V., de Lillo E., Saldarelli P., Beber R., Duso C., Raiola A., Zanotelli L., Valenzano D., Giampetruzzi A., Morelli M., Ratti C., Causin R., Gualandri V., 2015 – *Preliminary data on the transmission of Grapevine Pinot Gris virus by* Colomerus vitis. - Proc. XVIII Congr. ICVG, Ankara, Turkey, 7-11 Sept. 2015: 217-218.

Malik R., Brown-Guedira G.L., Smith C.M., Harvey T.L., Gill B.S., 2003 – *Assessment of* Aegilops tauschii *for resistance to biotypes of wheat curl mite (Acari: Eriophyidae).* - J. Econ. Entomol., 96: 1329-1333.

Manjunatha L., Ramappa H.K., Gowda M.B., Rangaswamy K.T., Nagaraju N., 2013 – *Prevalence of sterility mosaic disease in Karnataka and its resistance source*. - Mysore J. Agric. Sci., 47: 314-319.

Martelli G.P., Adams M.J., Kreuze J.F., Dolja V.V., 2007 – *Family Flexiviridae: a case study in virion and genome plasticity*. - Annu. Rev. Phytopathol., 45: 73-100.

Martelli G.P., Elbeaino T., Digiaro M., 2013 – *Il Mosaico del fico*. - Prot. Colture, 2013(1): 20-26.

McGavin W.J., Mitchell C., Cock P.J.A., Wright K.M., MacFarlane S.A., 2012 – *Raspberry leaf blotch virus, a putative new member of the genus Emaravirus, encodes a novel genomic RNA*. - J. Gen. Virol., 93: 430-437.

McMechan A.J., Tatineni S., French R., Hein G.L., 2014 – *Differential Transmission of Triticum mosaic virus by Wheat Curl Mite Populations Collected in the Great Plains*. - Plant Dis., 98: 806-810.

Mielke N., Muehlbach H.P., 2007 – *A novel, multipartite, negative-strand RNA virus is associated with the ringspot disease of European mountain ash (*Sorbus aucuparia *L.).* - J. Gen. Virol. 88: 1337-1346.

Mielke-Ehret N., Thoma J., Schlatermund N., Muehlbach H.P., 2010 – *Detection of European mountain ash ringspot-associated virus-specific RNA and protein P3 in the pear leaf blister mite* Phytoptus pyri *(Eriophyidae).* - Arch. Virol., 155:987-991.

Mielke-Ehret N., Muehlbach H.P., 2012 – *Emaravirus: a novel genus of multipartite, negative-strand RNA plant viruses*. - Viruses Basel, 4(9): 1515-1536.

Monfreda R., de Lillo E., 2006 – *Attuali conoscenze sulle secrezioni salivari negli Acari Eriophyoidea*. - Atti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Rendiconti, 53(2005): 379-388.

Monfreda R., de Lillo E., 2007 – *Biologia di* Aceria ficus *(Cotte) in Puglia: esperienze di un biennio*. - Proc. XXI Congr. Naz. It. Entomol., Campobasso, 11-16 giugno 2007: 187.

Murugan M., Cardona P.S., Duraimurugan P., Whitfield A.E., Schneweis D., Starkey S., Smith C.M., 2011 – *Wheat Curl Mite resistance: interactions of mite feeding with Wheat Streak Mosaic Virus Infection*. - J. Econ. Entomol., 104: 1406-1414.

Navia D., Ochoa R., Welbourn C., Ferragut F., 2010 – *Adventive eriophyoid mites: a global review of their impact, pathways, prevention and challenges*. - Exp. Appl. Acarol., 51: 225-255.

Navia D., de Mendonça R.S., Skoracka A., Szydło W., Knihinicki D., Hein G.L., da Silva Pereira P.R.V., Truol G., Lau D., 2013 – *Wheat curl mite,* Aceria tosichella*, and transmitted viruses: an expanding pest complex affecting cereal crops*. - *Exp. Appl. Acarol*., 59: 95-143.

Oldfield G.N., 1970 – *Mite transmission of plant viruses*. - Ann. Rev. Entomol., 15: 343-380.

Oldfield G.N., Proeseler G., 1996 – Eriophyoid mites as vectors of plant pathogens. In: Eriophyoid mites. Their biology, natural enemies and control. Lindquist E.E., Sabelis M.W. & Bruin J., Eds, Elsevier, Amsterdam, World Crop Pests, 6, pp. 259-273.

Orlob G.B., 1966 – *Feeding and transmission characteristics of* Aceria tulipae *Keifer as vector of wheat streak mosaic virus*. - Phytopathol. Z., 55: 218-238.

Ostoja Strazewski J.C., Mattews L., 2009 – Aceria tulipae *(Keifer) (Acari: Eriophyoidae) on imported onion sets, and present status in Britain*. - Entomol. Month. Mag., 145: 61-68.

Paliwal Y.C., 1980 – *Relationship of wheat streak mosaic and barley stripe mosaic viruses to vector and non-vector eriophyid mites*. - Arch. Virol., 63: 406-414.

Paliwal Y.C., Slykhuis J.T., 1967 – *Localization of wheat streak mosaic virus in the alimentary tract of its vector,* Aceria tulipae *K*. - Virology, 32: 344-353.

Petanović R., Kielkiewicz M., 2010 – *Plant–eriophyoid mite interactions: cellular biochemistry and metabolic responses induced in mite-injured plants. Part I*. - Exp. Appl. Acarol., 51: 61-80.

Proeseler G., 1969 – *Transmission of fig mosaic virus by the gall mite* Aceria ficus *(Cotte).* - Zbl. Bakteriol. Parasitenkede., Intekt.-Krankh. Hyg. Abt. II Naturw., 123: 288-292.

Proeseler G., 1972 – *Relationship between virus, vector, and host plant shown by fig mosaic virus and* Aceria ficus *(Cotte).* - Acta Phytopathol. Acad. Scient. Hungaricae, 7: 179-186.

Reddy M.V., Beniwal S.P.S., Sheila V.K., Sithanantham S., Nene Y.L., 1989 – *Role of an eriophyid mite* Aceria cajani *(Acari: Eriophyidae) in transmission and spread of sterility mosaic of pigeon pea*. In: Progress in Acarology. ChannaBasavanna G.P., Viraktamath C.A., Eds, Oxford & IBH, New Delhi, India, 2, pp. 121-127.

Reddy M.V., Arjunan G., Muniappa V., 1990 – *Survival of pigeon pea sterility mosaic pathogen and its vector during summer in southern India. Intern*. - Pigeonpea Newsletter, 11: 16-17.

Richardson K., Miller A.D., Hoffmann A.A., Larkin P., 2014 – *Potential new sources of wheat curl mite resistance in wheat to prevent the spread of yield-reducing pathogens*. - Exp. Appl. Acarol., 64(1): 1-19.

Sabelis M.W., Bruin J., 1996 – Evolutionary ecology; life history patterns, food plant choice and dispersal. In: Eriophyoid mites. Their biology, natural enemies and control. Lindquist E.E., Sabelis M.W. & Bruin J., Eds, Elsevier, Amsterdam, World Crop Pests, 6, pp. 329-366.

Salm S.N., Rey M.E.C., Wolfson M.M., 1994 – *A South African isolate of ryegrass mosaic virus.* - Plant Pathol., 43: 708-721.

Schiffer M., Umina P., Carew M., Hoffmann A., Rodoni B., Miller A., 2009 – *The distribution of wheat curl mite (*Aceria tosichella*) lineages in Australia and their potential to transmit wheat streak mosaic virus*. - Ann. Appl. Biol., 155: 371-379.

Seifers D.L., Harvey T.L., Louie R., Gordon D.T., Martin T.J., 2002 – *Differential transmission of isolates of the high plains virus by different sources of wheat curl mites*. - Plant Dis., 86: 138-142.

Seifers D.L., Martin T.J., Harvey T.L., Fellers J.P., Michaud J.P., 2009 – *Identification of the wheat curl mite as the vector of Triticum mosaic virus*. - Plant Dis., 93: 25-29.

Seitsonen J.J., Susi P., Lemmetty A., Butcher S.J., 2008 – *Structure of the mite-transmitted Blackcurrant reversion nepovirus using electron cryo-microscopy*. - Virology, 378: 162-168.

Serrano L., Ramon J., Segarra J., Medina V., Achón M.A., López M., 2004 – *New approach in the identification of the causal agent of Fig Mosaic Disease*. - Acta Hort., 657: 559-566.

Shi A.-X., Boczek J., 2007 – *Morphology of two sibling species of eriophyid mites (Acari: Eriophyoidea)* Eriophyes pyri *and* E. mali. In: Acarology XI: Proceedings of the International Congress. Morales-Malacara J.B., Behan-Pelletier V., Ueckermann E., Perez T.M., Estrada-Venegas E.G., Badii M., Eds, Merida, Mexico 2002: 589-594.

Sinha R.C., Paliwal Y.C., 1976 – *Detection of wheat streak mosaic virus antigens in vector mites with fluorescent antibodies*. - Phytopathol., 66: 570-572.

Skare J.M., Wijkamp I., Denham I., Rezende J.A.M., Kitajima E.W., Park J.W., Desvoyes B., Rush C.M., Michels G., Scholthof K.B.G., Scholthof H.B., 2006 – *A new eriophyid mite borne membrane enveloped virus like complex isolated from plants*. - Virology, 347: 343-353.

Skoracka A., 2009 – *Description of* Abacarus lolii *n. sp. (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea), a cryptic species within a grass-feeding* Abacarus *complex*. - Internat. J. Acarol., 35: 405-417.

Skoracka A., Dabert M., 2010 – *The cereal rust mite* Abacarus hystrix *(Acari: Eriophyoidea) is a complex of species: evidence from mitochondrial and nuclear DNA sequences*. - Bull. Entomol. Res., 100: 263-272.

Skoracka A., Smith L., Oldfield G., Cristofaro M., Amrine J.W., 2010 – *Host-plant specificity and specialization in eriophyoid mites and their importance for the use of eriophyoid mites as biocontrol agents of weeds*. - Exp. Appl. Acarol., 51: 93-113.

Skoracka A., Kuczynski L., de Mendonca Santos R., Dabert M., Szydlo W., Knihinicki D., Truol G., Navia D., 2012 – *Cryptic species within the wheat curl mite*

Aceria tosichella *(Keifer) (Acari: Eriophyoidea), revealed by mitochondrial, nuclear and morphometric data*. - Invert. Syst., 26: 417-433.

Skoracka A., Kuczyński L., Szydlo W., Rector B., 2013 – *The wheat curl mite* Aceria tosichella *(Acari: Eriophyoidea) is a complex of cryptic lineages with divergent host ranges: Evidence from molecular and plant bioassay data*. - Biol. J. Linnean Soc., 109: 165-180.

Skoracka A., Kuczyński L., Rector B., Amrine J.W.Jr., 2014a – *Wheat curl mite and dry bulb mite: untangling a taxonomic conundrum through a multidisciplinary approach*. - Biol. J. Linnean Soc., 111: 421-436.

Skoracka A., Rector B., Kuczynski L., Szydlo W., Hein G., French R., 2014b – *Global spread of wheat curl mite by its most polyphagous and pestiferous lineages*. - Ann. Appl. Biol., 165: 222-235

Slykhuis J.T., 1955 – Aceria tulipae *in relation to the spread of wheat streak mosaic*. - Phytopathol., 45: 116-128.

Slykhuis, 1980 – Mites. In: Vectors of plant Pathogens. Harris K.F., Maramorosch K., Eds., Academic Press, Inc. New York, USA, pp. 325-356.

Smith L., de Lillo E., Amrine J.W.Jr., 2010 – *Effectiveness of eriophyid mites for biological control of weedy plants and challenges for future research*. - Exp Appl Acarol, 51: 115-149.

Stenger D.C., Hein G.L., Gildow F.E., Horken K.M., French R., 2005 – *Plant virus HC-Pro is a determinant of eriophyid mite transmission*. - J. Virol., 79: 9054-9061.

Stephan D., Moeller I., Skoracka A., Ehrig F., Maiss E., 2008 – *Eriophyid mite transmission and host range of a brome streak mosaic virus isolate derived from a full length cDNA clone.* - Arch. Virol., 153: 181-185.

Takahashi Y., Orlob G.B., 1969 – *Distribution of wheat streak mosaic virus-like particles in* Aceria tulipae. - Virology, 38(2): 230-240.

Tatineni S., McMechan A.J., Wosula E.N., Wegulo S.N., Graybosch R.A., French R., Hein G.L., 2014 – *An Eriophyid mite-transmitted plant virus contains eight genomic RNA segments with unusual heterogeneity in the nucleocapsid protein*. - J. Virol., 88: 11834-11845.

Tzanetakis I.E., Gergerich R.C., Martin R.R., 2006 – *A new Ilarvirus found in rose*. - Plant Pathol., 55: 568.

Von Bargen S., Büttner T., Mühlbach H.-P., Robel J., Büttner C., 2014 – *First report of European mountain ash ringspot-associated virus in* Sorbus aucuparia *in Norway*. - Plant. Dis., 98(5): 700.

Webster D.E., Beck D.L., Rabenstein F., Forster R.L.S., Guy P.L., 2005 – *An improved polyclonal antiserum for detecting Ryegrass mosaic rymovirus*. - Arch. Virol., 150: 1921-1926.

Wilson N.S., Jones L.S., Cochran L.C., 1955 – *An eriophyid mite vector of the peach mosaic virus*. - Plant Dis. Rept., 39: 887-892.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 123-130

I FITOSEIDI, ACARI PREDATORI: LIFE STYLE TYPES E PROSPETTIVE NEL CONTROLLO DI ACARI FITOFAGI

SAURO SIMONI (*)

(*) *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA-ABP), Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia. Via Lanciola 12/a, 50125, Firenze, Italia;* e-mail: sauro.simoni@crea.gov.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Evoluzione dell'Acarologia nell'ecosistema agrario". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 20 febbraio 2015.

Phytoseiids, predator mites: life style types and perspectives for control of phytophagous mites

The introduction and enhancement of tools for biological control in many agricultural systems is gaining more and more attention. In this context, the utilization of natural enemies, especially the phytoseiid mites, has become a fundamental factor for IPM in crop production in Europe and worldwide. Due to their peculiar biological and ethological traits, various species/strains of phytoseiids are commonly used and marketed in controlling harmful insect and mite species. The use of the phytoseiids, increased over last tens, is highly desired, because it can raise the buffer capacity of the systems subjected to biotic adversities with unquestionable relief and economically benefit.

KEY WORDS: IPM, biological control, phytoseiids adaptability, market perspectives.

INTRODUZIONE

La necessità di aumentare, sia nel periodo che nella quantità, la disponibilità di cibo derivante dall'agricoltura si accoppia, frequentemente con difficoltà, con l'esigenza di controllo di pest che attaccano le colture e con il turn over di queste avversità. Diverse azioni e tecniche mirano ad aumentare in tutto il mondo la produzione di colture e di materie primarie vegetali da destinare all'elaborazione e al commercio. Si persegue sovente l'allungamento della vita della pianta e delle colture a vita stagionale con strategie varie e tese, per lo più, ad aumentare l'omogeneità delle varietà e delle cultivar utilizzate che rappresentano fattori adatti per un commercio che si articoli su più ampia scala temporale (STANCA, 2015). Queste azioni possono facilitare un gran numero di infestazioni parassitarie e da fitofagi, sia come numerosità di specie che come incidenza, alterando ed intensificando le fluttuazioni di tali organismi e la loro importanza (STERN, 1959; HOY, 2011). Considerando che i fitofagi sono persistentemente predisposti alla colonizzazione delle piante, strategie di intervento e/o di prevenzione e la loro calendarizzazione risultano ancor più di critica individuazione in qualsiasi sistema di coltivazione (JARVIS *et al.*, 2006; GERSON & WEINTRAUB, 2007). Qualsiasi perdita di diversità a causa di scelte, sia per quanto riguarda il livello di biodiversità animale o il materiale vegetale genetico utilizzato, risulta frequentemente in una riduzione di fatto della capacità degli operatori di far fronte a stress dovuti a fattori biotici ed abiotici (WANG *et al.*, 2003). Anche la logistica ed i sistemi di coltivazione, più intensivi ed in condizioni climatico-ambientali differenziate per la domanda del mercato, concorrono ad accentuare le problematiche inerenti le strategie di controllo. A ciò si deve riunire l'attesa di una sempre più cospicua porzione della popolazione che pone una pressante domanda per l'ottenimento di prodotti sostenibili, sia dal punto di vista ambientale che del consumatore (GILLESPIE & RAWORTH, 2004). Questo obiettivo è stato perseguito nell'ultimo ventennio abbassando i costi di registrazione associati allo sviluppo e alla disponibilità di biopesticidi che fossero a rischio ridotto per i coltivatori (ESRC, 2008) ed introducendo sostanze organiche in difesa per limitare l'impatto ambientale. Non si possono trascurare alcune criticità riferibili sia alle strategie di difesa convenzionali che biologiche: di fatto l'utilizzo di prodotti garantisce una finestra di copertura comunque destinata ad esaurirsi; in questo contesto, distaccandosi ancor più da regimi "convenzionali", si è accresciuto l'uso di prodotti naturali e relativo controllo nella produzione in agricoltura biologica ma anche in IPM. L'utilizzo di tali strategie, in gran parte basate sull'uso di principi attivi naturali, anche se in scala sicuramente minore può comunque implicare, problematiche analoghe ad alcune già note per pesticidi (residualità, effetti indesiderati su organismi non bersaglio, dossier non sempre esaustivi sul prodotto).

– Pubblicato marzo 2016

L'introduzione, il potenziamento e la salvaguardia del controllo biologico in molti sistemi agricoli, con l'impiego di antagonisti, sta riscuotendo sempre più attenzione perché in grado di elevare la capacità tampone del sistema sottoposto alle avversità biotiche con indiscutibile rilievo e vantaggio dal punto di vista economico.

I Fitoseidi

È ampio lo spettro di interazioni fitofago-antagonista che si possono instaurare nei differenti sistemi colturali e, spesso, tali rapporti si possono intersecare con il potenziamento e rilascio di nemici e antagonisti già presenti su una coltura (Bale *et al.*, 2008). Tra i nemici naturali di acari e artropodi fitofagi, i fitoseidi (Phytoseiidae, Acari, Mesostigmata), sono divenuti, soprattutto negli ultimi anni, uno strumento fondamentale anche nella produzione integrata, oltre che in quella biologica, delle colture in Europa, così come in tutto il mondo (Gerson & Weintraub, 2007; McMurtry *et al.*, 2015)

Fitoseidi e difesa delle colture

I Phytoseiidae sono la famiglia più importante di acari predatori e sono ampiamente usati come agenti di controllo, biologico e non solo, per la gestione di acari e insetti fitofagi delle colture in serra e in pieno campo (McMurtry *et al.*, 2015). L'interesse per la ricerca sui fitoseidi è costantemente aumentato in tutto il mondo nel corso degli ultimi 50 anni, risultando in un gran numero di documenti in merito alla loro tassonomia, la biologia, l'ecologia e l'uso pratico (Fig. 1). Attualmente, ci sono più di 2.700 specie descritte in questa famiglia, organizzate in 91 generi (McMurtry *et al.*, 2015). La presenza di fitoseidi è stata riportata da tutti i continenti, eccetto l'Antartide.

Diverse specie o ceppi diversi della stessa specie appartenenti a questo gruppo di predatori sono comunemente utilizzati e commercializzati per controllare acari ed insetti dannosi; la loro rispondenza ed adattabilità nell'affrontare nuove emergenze conferma e corrobora il loro ruolo come strumento significativo e sostenibile nel controllo biologico ed in IPM.

Nonostante la comune accezione per cui, troppo spesso ed erroneamente, "un predatore vale l'altro", si deve richiamare come per tale gruppo animale si parli di un insieme, amplissimo ed in corso continuo di definizione, di specie. La sistematica della famiglia Phytoseiidae ha una storia tumultuosa, spesso a causa di una notevole mancanza di accordo tra i sistematici sui caratteri diagnostici che delimitano le entità tassonomiche (Chant & McMurtry, 2007). Il numero di specie di fitoseidi validi è aumentato esponenzialmente da poco più di una trentina nel 1950 a più di 2.100 nel 2010 (Moraes *et al.*, 2004; Chant & McMurtry, 2007, Tixier *et al.,* 2012) (Fig. 1). Queste entità tassonomiche sono essenzialmente definite secondo schemi riferentesi a determinati caratteri o dispositivi morfologici, riguardanti ad esempio chetotassia dell'idiosoma e forma della spermateca.

A fronte del notevole incremento nel numero di specie determinate – dal 1960 si valuta la determi-

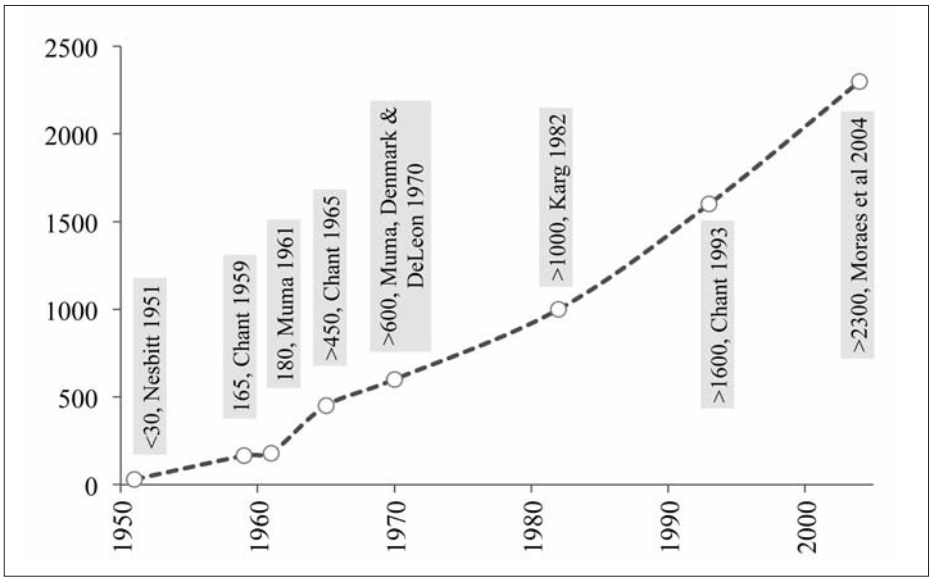


Fig. 1
Numero di specie di fitoseidi determinate ex novo o riattribuite dal 1950 ai primi anni 2000 (desunto da Chant & McMurtry, 2007; Tixier *et al*., 2012).

nazione di circa 500-600 specie/decennio – va considerato come il focus, a partire soprattutto dagli anni '70, non sia stato incentrato puramente solo sull'attribuzione tassonomica ma si sia sempre più condensato anche sulla conoscenza del ruolo funzionale ed applicativo di tali predatori. Storicamente, si è sempre più integrata la conoscenza nominativa con la valutazione di altri connotati biologici e comportamentali di riferimento che potessero inquadrare ancor di più i fitoseidi quali attori di rilevanza nel panorama delle strategie di controllo, anche su larga scala. Da un primo ed in qualche modo riduttivo inquadramento per i fitoseidi, la categorizzazione in 'specialisti' e generalisti' che si riconduceva essenzialmente al potenziale di predazione e allo spettro di prede/cibi utilizzabili, ci si è indirizzati verso un pattern di dati e caratteristiche molto più ampio ed informativo che portasse all'adozione e attribuzione dei fitoseidi a seconda dei loro 'life style types' (McMurtry & Croft, 1997; Croft *et al.*, 2004).

Prerogative dei Fitoseidi nella difesa delle colture

Tra le varie prerogative che hanno indirizzato l'interesse della comunità scientifica e dei produttori di organismi utili nei confronti dei fitoseidi e della loro plasticità biologica e adattabilità, si ritiene che alcuni aspetti, peraltro connessi tra loro, siano da sottolineare: l'elevato potenziale riproduttivo, la capacità di interfacciarsi in modo efficace con contesti in rapida evoluzione, come colture e ambienti agrari, e la possibilità di essere allevati con protocolli a costo relativo in quantità massale.

A sostegno della loro diffusione e di questa ampia versatilità, tra le caratteristiche intrinseche accertate, risulta la proprietà di esprimere un alto tasso intrinseco di incremento (r_m) delle loro popolazioni in condizioni ambientali differenziate e su cibi/prede diversi. L' r_m è la statistica che "condensa adeguatamente quelle che sono le qualità fisiologiche di un animale correlate alla sua capacità d'incremento" (Birch, 1948) compendiando i parametri biologici fondamentali di tempo di sopravvivenza, tempo di sviluppo, sex ratio e riproduzione. L'ampio ventaglio della casistica e delle valutazioni di questo parametro restituisce il quadro di come i fitoseidi siano organismi in grado di mantenere ed incrementare le loro popolazioni con elevati tassi di sviluppo e, quindi, in grado di fronteggiare anche importanti infestazioni di acari o insetti fitofagi (vedi Sabelis & Janssen, 1993; Simoni & Castagnoli, 2005). A titolo indicativo si riportano, in Tabella 1, gli incrementi registrati per *Neoseiulus californicus* McGregor e *Amblyseius cucumeris* (Oudemans); questi due fitoseidi possono essere allevati su tetranichidi fitofagi ma altrettanto su altre fonti di cibo o prede, mantenendo una notevole capacità di incremento delle loro popolazioni. A riguardo in particolare di *N. californicu*s, fitoseide già oggetto di numerosi studi (Castagnoli & Simoni, 2003) e di produzione massale da quasi un ventennio, si può vedere come evidenzi il più alto potenziale riproduttivo sul ragnetto rosso *Tetranychus urticae*. Questo fitoseide può anche nutrirsi a spese di altre specie di acari o di cibi alternativi, ad esempio l'eriofide del pomodoro *Aculops lycopersici* (Tyron) e l'acaro della polvere delle case *Dermatophagoides farinae* Hughes (Castagnoli & Simoni, 2003). Il fitoseide, come tante altre specie, appare in grado di adattarsi a diversi alimenti e condizioni climatiche (Castagnoli & Simoni, 2003; Castagnoli *et al.*, 2004); il suo impiego può essere contemplato anche in presenza o insieme ad altri agenti biologici di controllo, siano essi altri predatori o microrganismi entomopatogeni quali il fungo *Beauveria bassiana* (Simoni *et al.*, 2009).

La strategia riproduttiva dei fitoseidi e la determinazione dei rapporti tra i sessi nella progenie è una delle caratteristiche che hanno reso particolarmente interessanti questi acari. In molti artropodi la strutturazione dei sessi nella popolazione avviene attraverso arrenotochia, cioè con maschi derivati da uova non fecondate e femmine derivate da uova fecondate; controllando il processo di fecondazione, le madri possono regolare il rapporto tra i sessi nella loro prole. Negli acari fitoseidi si deve parlare di pseudo-arrenotochia, in cui le femmine possiedono corredo diploide di cromosomi ed i maschi hanno corredo aploide (Fig. 2, A) (Simoni, 1992) ma i maschi sono derivanti da uova fecondate (Fig. 2, B) (Nagelkerke & Sabelis, 1996). Lo stato aploide è ottenuto attraverso soppressione/deterioramento di un set di cromosomi in una fase estremamente precoce durante lo sviluppo embrionale (Fig. 2, C) (Nelson-Rees *et al.*, 1980). Tale meccanismo è stato validato sia attraverso evidenza citologica (Nelson-Rees *et al.*, 1980) sia attraverso evidenza genetica con trasmissione di caratteri di resistenza a principi chimici nel fitoseide *Metaseiulus occidentalis* (Helle *et al.*, 1978; Hoy & Standow, 1982). Tra i vantaggi che si registrano: i fitoseidi possono così controllare il rapporto tra i sessi nella loro prole, in modo flessibile e come feedback ad input climatico-ambientali; i fitoseidi possono 'sincronizzare' la loro popolazione con quella della preda; anche nel corredo maschile, pur aploide, può rinvenirsi una porzione ricombinata di sequenze geniche (ad esempio, con la trasmissione ad entrambi i sessi della progenie di caratteri utili per una qualche resistenza) (Nagelkerke & Sabelis, 1998).

Tab. 1 – Selezione di valori di tasso intrinseco di incremento, r_m, calcolati per i fitoseidi *Neoseiulus californicus e Amblyseius cucumeris* provenienti da allevamenti diversi come preda/cibo di mantenimento e valutati su prede e cibo diversi (acari tetranichidi *Tetranychus urticae*, acari eriofidi *Aculops lycopersici*, acari della polvere *Dermatophagoides farinae*, polline di *Quercus*, insetti tripidi *Thrips tabaci*).

Fitoseide	preda/cibo	T°C	r_m	rif.
N. californicus	*Tetranychus urticae*	13	0,06	Castagnoli & Simoni, 1991
N. californicus	*T. urticae*	17	0,11	" "
N. californicus	*T. urticae*	21	0,19	" "
N. californicus	*T. urticae*	25	0,26	" "
N. californicus	*T. urticae*	29	0,35	" "
N. californicus	*T. urticae*	33	0,38	" "
N. californicus[(a)]	*Aculops lycopersici*[(c)]	25	0,17	Castagnoli *et al*., 2004
N. californicus[(b)]	*A. lycopersici*[(c)]	25	0,21	" "
N. californicus[(a)]	*A. lycopersici*[(d)]	25	0,17	" "
N. californicus[(b)]	*A. lycopersici*[(d)]	25	0,15	" "
N. californicus[(a)]	*A. lycopersici*[(e)]	25	0,10	" "
N. californicus[(b)]	*A. lycopersici*[(e)]	25	0,08	" "
N. californicus	*Dermatophagoides farinae*	25	0,14	Castagnoli *et al*., 1999
N. californicus	polline di *Quercus* spp	25	0,16	Castagnoli & Liguori, 1994
N. californicus	*T. urticae* + polline di *Quercus* sp.	27,1	0,29	Castagnoli *et al*., 1995
N. californicus	*T. urticae* + polline di *Quercus* sp.	20,4	0,21	" "
A. cucumeris	polline di *Quercus* sp.	25	0,19	Castagnoli & Simoni, 1990
A. cucumeris	*T. urticae*	25	0,17	" "
A. cucumeris	*Thrips tabaci*	25	0,15	" "
A. cucumeris	*T. tabaci*	25	0,16	" "
A. cucumeris	*T. tabaci*	25	0,18	" "
A. cucumeris	*D. farinae*	25	0,20	Castagnoli, 1989

[(a)] : fitoseidi mantenuti su allevamenti con *T. urticae* come cibo; [(b)] : fitoseidi mantenuti su allevamenti con polline di *Quercus* come cibo; [(c)] : prima generazione del predatore sulla preda; [(d)] : seconda generazione del predatore sulla preda; [(e)]: terza generazione del predatore sulla preda.

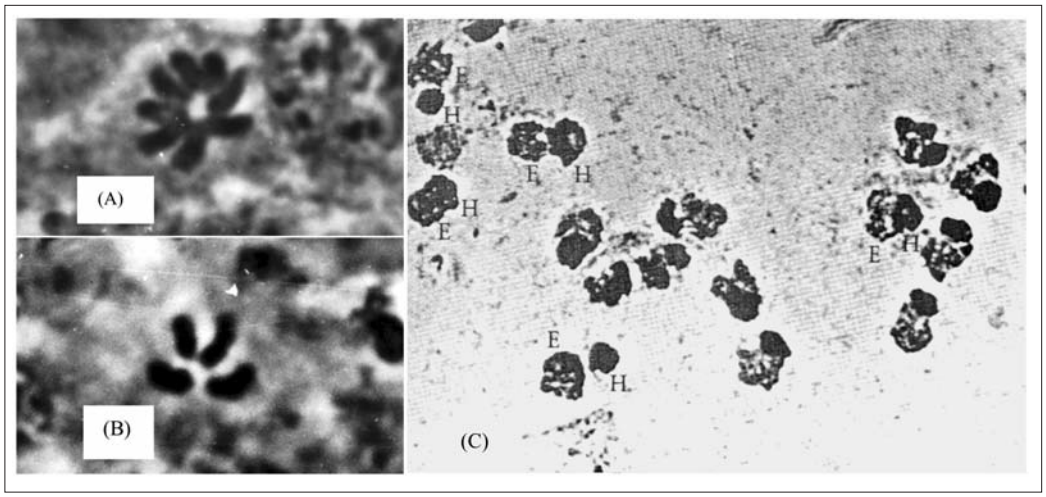


Fig. 2
Cariotipo diploide, piastra metafasica di femmina (A) e cariotipo aploide di maschio di fitoseide *N. californicus* (SIMONI, 1992). (C): Evidenza citologica di nuclei E, eucromatinici e nuclei H eterocromatinici (modificato da NELSON-REES *et al*., 1980)

LIFE-STYLE E CATEGORIZZAZIONE DEI FITOSEIDI

La caratterizzazione e classificazione degli acari fitoseidi è uno strumento utile e significativo (MCMURTRY & CROFT, 1997) nella valutazione delle specie sulla base di importanti aspetti morfologici, riproduttivi e di sviluppo. Inoltre, tratti come le esigenze di alimentazione e la dieta (MCMURTRY & RODRIGUEZ, 1987; SCHAUSBERGER & CROFT, 1999) e l'adattamento di alcuni alimenti (CASTAGNOLI *et al.*, 2003), sono stati considerati per attribuire i predatori alle diverse tipologie o, meglio, life styles (MCMURTRY e CROFT, 1997). Dapprima si è ritenuto che una classificazione in

quattro tipi potesse essere efficace per classificare le diverse specie di fitoseidi anche nel quadro di varie forme di controllo, soprattutto di acari fitofagi, tetranichidi in particolare (Tab. 2).

Tab. 2 – Categorizzazione dei fitoseidi secondo le caratteristiche biologiche e comportamentali (McMurtry & Croft, 1997; Croft *et al.,* 2004).

Tipo	Caratteristiche
I	predatori altamente specializzati su specie di tetranichidi che producono molta tela (*Phytoseiulus)*
II	predatori selettivi spesso associati a tetranichidi che producono poca tela (*Neoseiulus, Galendromus*, poche specie di *Typhlodromus*)
III	predatori generalisti che si nutrono di diverse specie di acari e polline (alcuni *Neoseiulus*, molti *Typhlodromus* e *Amblyseius*)
IV	specie specializzate su pollini che possono nutrirsi anche su varie specie di acari (*Euseius*)

Tale ambito è stato notevolmente approfondito e recenti studi hanno teso ad implementare lo spettro dei parametri e aspetti coinvolti nella categorizzazione dei fitoseidi anche con la finalità di raggiungere classificazioni possibilmente più stabili e standardizzabili (Croft *et al.*, 2004). Tra i fattori introdotti: i) alimentazione: la capacità di predare e di nutrirsi di vari tipi di alimenti e prede ha avuto una maggiore considerazione (McMurtry & Rodriguez 1987; McMurtry, 1992), un criterio primario considerato per la classificazione; ii) ci si è spinti ancor più nell'approfondimento 'stechiometrico' della correlazione tra le dimensioni e l'associazione tra le dimensioni del corpo del corpo e diversi stili di vita (Croft *et al.*, 2004); iii) parametri biologici: la ricerca focalizzata su riproduzione, sviluppo e mortalità è stata più precisamente associata anche alla dipendenza di densità delle prede e tasso con cui questo cambia e al possibile cannibalismo inter- ed intra-specifico. Specie differenti si adattano in modo diverso a vari livelli di preda o alimentari, con diversi tipi di stile di vita: lo specialista mostra una specializzata tendenza verso rapide risposte alle più alte densità di preda, mentre un generalista tende a persistere per un tempo più lungo, a densità di preda limitata o scarsa (Walzer & Schausberger, 2005; Simoni *et al.*, 2005; Castagnoli *et al.*, 2001; Gnanvossou *et al.* 2003; Schausberger & Walzer, 2001).

Si deve considerare la categorizzazione dei fitoseidi non come un dogma ma come supporto dinamico nel concepimento di strategie di controllo di diverse avversità. Per determinare il valore di ogni definizione, una sorta di approccio ancor più comprensivo sarebbe opportuno, considerando più fattori e criteri nei raggruppamento. Sono necessari ulteriori studi per valutare il numero ottimale di tratti e il numero di stili di vita allo stesso tempo. Tali problemi di 'assemblamento' o classificazioni più robuste, richiedono l'uso di elaborazioni della classificazione multi-campione. Da questo punto di vista, prove significative sono state eseguite da Luh & Croft (1999, 2001), con un computer basato su algoritmi genetici, e Blackwood *et al.* (2004), con un modello di analisi discriminante. I risultati ottenuti da tali autori erano tra l'altro in accordo pieno con la classifica di McMurtry e Croft (1997).

Allevamento e prospettive

L'allevamento di ausiliari è un compito complesso e richiede lo sviluppo di tecniche raffinate e molto affidabili. L'elevato costo, insieme alla necessità del supporto di un mercato sicuro, ha talvolta sensibilmente limitato l'uso di nemici naturali. Recentemente, sono state sviluppate sempre più efficaci strategie di controllo biologico, aumentative e classiche. L'utilizzo dei fitoseidi sembra in grado di soddisfare tutte le esigenze della filiera di produzione e commercializzazione dei prodotti (Van Lenteren, 2003). Per molti fitoseidi, l'allevamento può essere condotto su un numero di prede alternative, che ha abbassato notevolmente i costi. Il gran numero di studi sulle caratteristiche biologiche di fitoseidi ha permesso ai produttori di determinare e/o automatizzare le migliori tecniche di allevamento di massa e stabilire il loro potenziale, anche commerciale, per il controllo. Il ruolo di nemici naturali e/o antagonisti in IPM e il grado in cui agenti di controllo biologico (BCA) possono essere sfruttati variano a seconda della coltura e da zona a zona. Alcune domande hanno bisogno di considerazione e risposte precise, prima di decidere sull'efficacia di nemici naturali contro i principali parassiti su un sistema di coltura e definire linee guida per la loro applicazione o di salvaguardia. Una delle questioni più importanti riguarda la presenza di un efficace nemico naturale sul target considerato e se, sotto il profilo economico ed ecologico, è più conveniente introdurre i nemici di massa allevati o facilitare la colonizzazione magari generandola da popolazioni locali, dalle zone circostanti.

Dal punto di vista del marketing, pur con le difficoltà dovute al recupero di statistiche dettagliate nei vari Paesi, si ritiene che, nel 2014, siano stati commercializzati tra i 100 ed i 110 miliardi di fitoseidi a livello mondiale. Si considera secondo fonte Koppert che circa il 15% fossero specialistici (*Phytoseiulus persimilis* e *N. californicus in*

primis) mentre il rimanente 85% generalisti (*A. swirskii*, *A. cucumeris, Amblydromalus limonicus*).

Di notevole interesse risulta il numero di fitoseidi commercializzati in Italia dal 2007 al 2014 secondo dati forniti da produttori e da interviste a operatori IPM italiani (Fig. 3): si deduce un incremento esponenziale nella commercializzazione dei fitoseidi. Per avere un'idea si pensi che, confrontando i listini nazionali ed internazionali, il prezzo per *P. persimilis*, tra i fitoseidi più conosciuti ed utilizzati, è leggermente calato nell'ultimo decennio assestandosi intorno a 14 €/confezione da 2.000 esemplari e che, a seconda dei casi e delle colture vengono lanciati da 5 a 20 *P. persimilis*/ mq.

Il forte incremento della commercializzazione dei fitoseidi è dovuto anche al loro uso più marcato in IPM in serra globale (contro tutti i fitofagi poiché non è pensabile di fare IPM per un solo fitofago e per gli altri no): il costo qui si aggira tra i 1 e 2 euro/mq che, confrontato con quello che è il costo per un trattamento in serra, è in linea con i costi del chimico puro. Se poi inserissimo anche la mancata produzione – per es. ortive a raccolta scalare – per rispetto dei tempi di carenza, diventa ancor più vantaggioso l'uso di questi antagonisti, tanto è vero che, in Olanda e Spagna, l'80% delle serre è ad IPM con marcato utilizzo di fitoseidi.

Considerazioni conclusive

Al di là della valenza ecologica e salutistica nella produzione e nell'utilizzo dei prodotti agricoli va ricordato che, attualmente, non c'è alcun sostegno "pubblico" per l'acquisto di nessuna confezione, né altri incentivi all'utilizzo; quindi tutto il mercato è dettato unicamente dalla convenienza e dalla praticità della difesa. Meno del 10% dei clienti o degli operatori IPM in genere, seguono disciplinari biologici; quasi tutti quindi sono grandi gruppi serricoli interessati a massimizzare la produzione razionalizzando la difesa e contenere al minimo i residui di fitofarmaci nel prodotto finale con l'obbiettivo di rimanere nei remunerativi mercati a filiera controllata della GDO o altri analoghi mercati qualificati.

Dato il numero e la complessità dei fattori coinvolti, nel vasto modello di nemici naturali e antagonisti, gli acari fitoseidi si confermano organismi in grado di interagire in modo significativo negli equilibri e nelle dinamiche dei diversi contesti preda-coltura. La modalità di controllo delle avversità animali può variare da controllo biologico classico all'aumento di specie autoctone. In prospettiva si conferma di particolare interesse la ricerca di appropriate strategie di controllo e tattiche in cui i fitoseidi abbiano, utilizzati da soli o in combinazione con altre strategie, un ruolo considerevole.

BIBILOGRAFIA

Bale J.S., van Lenteren J.C., Bigler F., 2008 - *Biological control and sustainable food production*. - Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biol. sciences, 363: 761-776.

Birch L.C., 1948 - *The intrinsic rate of natural increase of an insect population*. - J. Anim. Ecol., 17: 15-26.

Blackwood J.S., Luh H.K., Croft, B.A., 2004 -. *Evaluation of prey-stage preference as an indicator of life-style type in phytoseiid mites*.- Experimental and Applied Acarology, 33: 261-280.

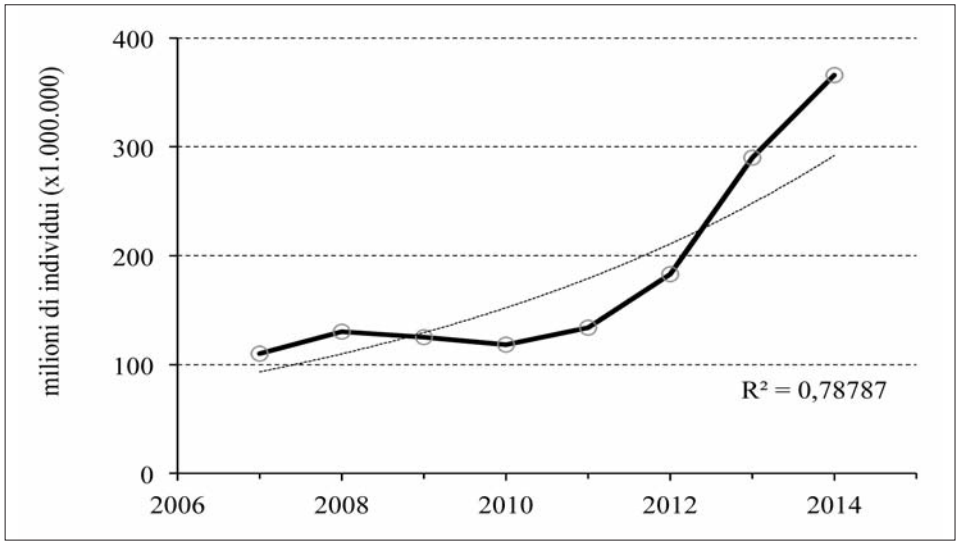


Fig. 3
Numero di fitoseidi commercializzati in Italia dal 2007 al 2014, (dati merceologici desunti da interviste a operatori IPM italiani).

CASTAGNOLI M., 1989 - *Biologia e prospettive di allevamento massale di* Amblyseius cucumeris *(Oud.) (Acarina: Phytoseiidae) usando* Dermatophagoides farinae *Hughes (*Acarina*:* Pyroglyphidae*.) come preda*. - Redia, 72: 389-402.

CASTAGNOLI M., SIMONI, S., 1990 - *Biological observations and life table parameters of* Amblyseius cucumeris *(Oud.) reared on different diets*. - Redia, 73 (2): 569-583.

CASTAGNOLI M., SIMONI S., 1991 - *Influenza della temperatura sull'incremento delle popolazioni di* Amblyseius californicus *(McGregor) (Acari: Phytoseiidae).* - Redia, 74 (2): 621-640.

CASTAGNOLI M., LIGUORI, M., 1994 - *Utilizzazione di polline nell'allevamento massale di* Typhlodromus exhilaratus *Ragusa e* Amblyseius californicus *(McGregor) (Acari: Phytoseiidae).* In: G.Viggiani, MAF, Conv. "Lotta Biologica", Acireale 1991, Ist. Pat. Veg., Roma, pp.139-144.

CASTAGNOLI M., SIMONI S., PINTUCCI, M., 1995 - *Response of a laboratory strain of* Amblyseius californicus *(*McGregor*) (Acarina Phytoseiidae) to seminatural outdoor conditions*. - Redia, 78 (2): 273-282.

CASTAGNOLI M., SIMONI S., BILIOTTI N., 1999 - *Mass-rearing of* Amblyseius californicus *on two alternative food sources.* In: J. Bruin, L.P.S. van der Geest and M.W. Sabelis (eds): Ecology and Evolution of the Acari, Kluwer Acad, Publ., Dordrecht, The Nederlands, pp. 425-431.

CASTAGNOLI M., SIMONI S., NACHMAN G., 2001 - *Short-term changes in consumption and oviposition rates of* Neoseiulus californicus *strains (Acari: Phytoseiidae) after a diet shift.* - Experimental and Applied Acarology, 25(12): 969-83.

CASTAGNOLI M., SIMONI S., LIGUORI M., 2003 - *Evaluation of* Neoseiulus californicus *(McGregor) (Acari: Phytoseiidae) as a candidate for the control of* Aculops lycopersici *(Tyron) (Acari Eriophyoidea): a preliminary study.* - Redia, 86: 97-100.

CASTAGNOLI M., SIMONI S., LIGUORI M., 2004 - *Evaluation of* Neoseiulus californicus *(McGregor) (Acari: Phytoseiidae) as a candidate for the control of* Aculops lycopersici *(Tyron) (Acari Eriophyoidea): a preliminary study.* - Redia, 86: 97-100 (2003).

CASTAGNOLI M, SIMONI S., 2003 - Neoseiulus californicus *(McGregor) (Acari hytoseiidae): Survey of biological and behavioral traits of a versatile predator.* – Redia, 86: 153-164.

CHANT D.A., MCMURTRY J.A., 2007 - *Illustrated keys and diagnoses for the genera and sub-genera of the Phytoseiidae of the World.* - Indira Publishing House, West Bloomfield, Michigan, pp. 220.

CROFT B.A., BLACKWOOD, J.S., MCMURTRY, J.A., 2004 - *Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits.* - Experimental and Applied Acarology, 33: 247-260.

ESRC - *Economic & Social Research Council*. (2008) - Retrieved from http://www.esrc.ac.uk/ESRCInfoCentre/about/CI/accounts/ .

GERSON U., WEINTRAUB P.G., 2007 - *Review Mites for the control of pests in protected cultivation.*- Pest Management Science, 63: 658-676.

GILLESPIE D.R., RAWORTH D.A., 2004 - *Biological control of twospotted spider mites on greenhouse vegetable crops.* In: K. M. Heinz, R. G. van Driesche, & M. P. Parella (Eds.), Biocontrol in Protected Culture (pp. 201-220), Ball Publishing, Batavia, IL.

GNANVOSSOU D., HANNA R., DICKE M., 2003 - *Infochemically-mediated intraguild interactions among three predatory mites.* - Oecologia, 135: 84-90

HELLE W., BOLLAND H.R., VAN ARENDONK R., DE BOER R, SCHULTEN G.G.M., 1978 - *Genetic evidence for biparental males in haplo-diploid predator mites (Acarina: Phytoseiidae)*. - Genetica, 49: 165-171.

HOY M.A., 2011 - *Agricultural Acarology. Introduction to Integrated Mite Management.* - CRC Press 2011. 430 pp. Print ISBN: 978-1-4398-1751-3. eBook ISBN: 978-1-4398-1753-7.

HOY M.A, STANDOW J.A., 1982 - *Inheritance of resistance to sulfur in the spider mite predator* Metaseiulus occidentalis. - Entomologia experimentalis et applicata, 31: 316-23.

JARVIS D., MAR I., SEARS L. (Eds.), 2006 - *Enhancing the Use of Crop Genetic Diversity to Manage Abiotic Stress in Agricultural Production Systems.* - Proceedings of workshop 23-27 May 2005, Budapest, Hungary. Edited by International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

LUH H.K., CROFT B.A., 1999 - *Classification of generalist or specialist life-styles of predaceous phytoseiid mites using a computer genetic algorithm, information theory, and life history traits.* - Environmental Entomology, 28: 915-923.

LUH H.K., CROFT B.A., 2001 - *Quantitative classification of life-style types in predaceous phytoseiid mites.* - Experimental and Applied Acarology, 25: 403-424.

MCMURTRY J.A., 1992 - *Dynamics and potential impact of 'generalist' phytoseiids in agroecosystems and possibilities for establishment of exotic species.* - Experimental and Applied Acarology, 14: 371-382.

MCMURTRY J.A., CROFT B.A., 1997 - *Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control.* - Annual Revue of Entomology, 42: 291-321.

MCMURTRY J.A., RODRIGUEZ, J.G., 1987 - *Nutritional ecology of phytoseiid mites*. In: F. Slansky & J. G. Rodriguez (Eds), Nutritional Ecology of Insects, Mites, Spiders, and Related Invertebrates: 609-644. John Wiley and Sons, New York.

MCMURTRY J.A., SOURASSOU N.F., DEMITE P.R., 2015 - *The Phytoseiidae (Acari: Mesostigmata) as Biological Control Agents*. In: Series Progress in Biological Control - Prospects for Biological Control of Plant Feeding Mites and Other Harmful Organisms. Ed: Carrillo D., de Moraes G. J., Peña J. E., Springer International Publishing, 19: 133-149.

MORAES G.J. DE, MCMURTRY J.A., DENMARK H.A., CAMPOS C.B., 2004 - *A revised catalog of the mite family Phytoseiidae*. - Auckland, Magnolia Press, pp. 494 (Zootaxa 434).

NAGELKERKE C.J., SABELIS M.W., 1996 - *Hierarchical levels of spatial structure and their consequences for the evolution of sex allocation in mites and other arthropods* - American Naturalist, 148: 16-39.

NAGELKERKE C.J., SABELIS M.W., 1998 - *Precise control of sex allocation in pseudo-arrhenotokous phytoseiid mites.* - Journal of Evolutionary Biology, 11(6): 649-684.

NELSON-REES W.A., HOY M.A., ROUSH R.T., 1980 - *Heterochromatinization, chromatin elimination and haploidization in the parahaploid mite* Metaseiulus occidentalis *(Nesbitt) (Acarina: Phytoseiidae)*. - Cromosoma, 77(3): 263-76.

SABELIS M.W., JANSSEN A., 1993 - *Evolution of life-history patterns in the Phytoseiidae.* In: Houck M.A. (ed): Mites: Ecological and evolutionary analyses of life-history patterns. Chapman & Hall, New York, pp. 70-98.

SCHAUSBERGER P., CROFT B.A., 1999 - *Activity, feeding, and development among larvae of specialist and generalist phytoseiid mite species (Acari: Phytoseiidae).* - Environmental Entomology, 28: 322-329.

SCHAUSBERGER P., WALZER A., 2001 - *Combined versus single species release of predaceous mites: predator-predator interactions and pest suppression.* - Biological Control, 20: 269-278.

SIMONI S., CASTAGNOLI M., 2005 - *La varianza del tasso intrinseco d 'incremento: possibile significato ecologico per alcuni acari predatori.* - Rivista Italiana di Agrometeorologia, 3: 14-17.

SIMONI S., CASTAGNOLI M., LIGUORI M., 2005 - *Single and combined release of two phytoseiid species on pepper and eggplant.* - AFPP , II International Conference on Mites in Crops, Montpellier (Francia), N° ISBN: 2-905550-02-3, off line.

SIMONI S., GUIDI S., TARCHI F., 2009 - Neoseiulus californicus *and* Beauveria bassiana*: a proficuous coexistence?* - E. Palevsky, P.G. Weintraub, U. Gerson & S. Simoni (Eds.), IOBC/wprs Bull. 50: 101.

SIMONI S., 1992 - *Determinazione della sex ratio primaria in* Amblyseius californicus *(McGregor)*, Amblyseius cucumeris *(Oud.)* e Typhlodromus exhilaratus *Ragusa (Acari Phytoseiidae)*. - Redia, 75(2): 467-474.

STANCA A.M., 2015 - *La scienza e le biotecnologie vegetali saranno pronte per assicurare alimenti alla popolazione mondiale del 2050?* - In: ENEA per EXPO 'Aumentare laproduzione agricola e ridurre le perdite'. EAI, Energia Ambiente Innovazione, 1-2: 1-15. DOI 10.12910/EAI2015-025

STERN V., SMITH R., VAN DEN BOSCH R., HAGEN K., 1959 - *The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concept.* - Hilgardia, 29(2): 81-101.

TIXIER M.S., KREITER S., DOUIN M., MORAES G.J., 2012 - *Rates of description of Phytoseiidae mite species (Acari: Mesostigmata): space, time and body size variations.* - Biodiversity Conservation, 21: 993-1013.

VAN LENTEREN J.C., 2003 - *Quality Control and Production of Biological Control Agents: Theory and Testing Procedures*. - Wallingford, UK: CAB Int. 327 pp.

WALZER A., SCHAUSBERGER P., 2005 - *Are two better than one? Combined effects of the predatory mites* Phytoseiulus persimilis *and* Neoseiulus californicus *(Acari: Phytoseiidae) on spider mite control.* - Integrated Control in Protected Crops, Temperate Climate, IOBC/wprs, Bulletin, 28(1): 309-312.

WANG W., VINOCUR B., ALTMAN A., 2003 - *Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering.* - Planta, 218: 1-14.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 131-135

CAN ALTERNATIVE FOODS AVAILABILITY INFLUENCE THE IMPACT OF PESTICIDES ON PREDATORY MITES?

CARLO DUSO (*) - ALBERTO POZZEBON (*)

(*) *Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animals and Environment – University of Padova, viale dell'Università, 16 35020 Legnaro (PD), Italy;* e-mail: carlo.duso@unipd.it
Sintesi della lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Evoluzione dell'Acarologia nell'ecosistema agrario". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 20 febbraio 2015.

Can alternative foods availability influence the impact of pesticides on predatory mites?

Generalist predatory mites belonging to the Phytoseiidae are important biocontrol agents in several perennial cropping systems. These predatory mites can persist for long periods on plants without prey, feeding on alternative foods included pollen and fungi. Predatory mite population are often limited by pesticide applications and these effects can be influenced by environmental factors such as the availability of alternative food sources. On grapevine, predatory mite abundance can be influenced by the spread of pathogens (e.g., grape downy mildew). Thus different grape downy mildew infection levels induced by different fungicide strategies can result in significant (indirect) effects on predatory mite populations. These effects can be stronger than those associated to the intrinsic toxicity of pesticides. On apple, the availability of alternative food sources (i.e., pollen) can mitigate the impact of insecticides on predatory mites. The provision of uncontaminated fresh pollen is likely to decrease pesticide exposure, and provides a highly nutritional food source that boosts mites' fecundity, favoring the resilience of phytoseiid populations on treated plants.

KEY WORDS: Phytoseiidae, Alternative foods, Fungicides, Insecticides.

SYNTHESIS - Generalist predatory mites belonging to the Phytoseiidae play a major role in preventing phytophagous mite outbreaks in perennial crop systems (e.g., GIROLAMI, 1981; SOLOMON *et al.*, 2000; DUSO *et al.*, 2012). Most of the research related to predatory mites inhabiting these systems in temperate European climates has been devoted to *Typhlodromus pyri* SCHEUTEN, *Amblyseius andersoni* (CHANT) and *Euseius finlandicus* (OUDEMANS) (HELLE & SABELIS, 1985), while *Kampimodromus aberrans* (OUDEMANS) has been considered in South-european countries (e.g., IVANCICH GAMBARO, 1973; GIROLAMI, 1981; CASTAGNOLI *et al.*, 1989; TSOLAKIS *et al.*, 2000; DUSO *et al.*, 2009). These species represent the key components of the beneficial mite communities in European vineyards and fruit orchards.

Generalist predatory mites are able to persist for long periods on plants without prey, feeding on alternative foods (MCMURTRY & CROFT, 1997). This aspect plays an important role in the control of herbivore mites in several perennial plant systems (WALDE *et al.*, 1992; NYROP *et al.*, 1998). Among alternative prey foods for generalist predatory mites various insect (e.g. thrips, scales and whiteflies) and mite groups (e.g. phytoseiids, eriophyoids, tydeids, and tarsonemids) have been reported (OVERMEER, 1985; MCMURTRY & RODRIGUEZ, 1987; CALIS *et al.*, 1988; BONDE, 1989; DICKE *et al.*, 1990; SCHAUSBERGER, 1998; ENGEL & OHNESORGE, 1994b; SCHAUSBERGER & CROFT, 2000; SCHAUSBERGER, 2003). Generalist phytoseiids can also exploit other non-prey food sources such as honeydew and plant-provided substances (e.g., plant exudates) (VAN RIJN *et al.*, 1999a, b; NOMIKOU *et al.*, 2003; GNANVOSSOU *et al.*, 2005). Among the latter, the importance of pollen has been shown in various laboratory experiments (e.g., OVERMEER, 1985; MCMURTRY & RODRIGUEZ, 1987; MCMURTRY *et al.*, 1991). For some phytoseiids, feeding on pollen can induce a higher fecundity than feeding on prey (e.g., MCMURTRY & JOHNSON, 1965; MCMURTRY *et al.*, 2013; LORENZON *et al.*, 2012, 2015; 2012; AHMAD *et al.*, 2015). The population dynamics of phytoseiids can be correlated with pollen availability (MCMURTRY & JOHNSON, 1965; KENNETT *et al.*, 1979; EICHHORN & HOOS, 1990; WIEDMER & BOLLER, 1990; GROUT & RICHARDS, 1992; OUYANG *et al.*, 1992; ENGEL & OHNESORGE, 1994b; DUSO *et al.*, 1997; ADDISON *et al.*, 2000; DUSO *et al.*, 2004). In addition, it has been shown that plant pathogens can constitute food resources for various generalist phytoseiid species: *Podosphaera leucotricha* (ELL. & EVERH.) on apple

– Pubblicato marzo 2016

(CHANT, 1959; KROPCZYNSKA-LINKIEWICZ, 1971; DAFTARI, 1979); *Oidium manihotis* HENN. on cassava (BAKKER & KLEIN, 1992); *Grapholia* sp. on date palm (ZAHER & SHEHATA, 1971); *Oidium fragariae* HARZ. and *Erysiphe orontii* CAST. on strawberry and tobacco (ZEMEK & PRENEROVA, 1997); *Erysiphe necator* (SCHW.) Burr. and *Plasmopara viticola* (BERK. & CURTIS EX DE BARY) on grapevine (POZZEBON & DUSO, 2008; POZZEBON *et al.*, 2009). A diet based on plant pathogens (i.e. *P. viticola*) can meet the nutritional requirements for the persistence and increase of predatory mite populations (POZZEBON & DUSO, 2008). In field conditions, the population increases of two phytoseiid species, *A. andersoni* and *T. pyri* were associated to the spread of grape downy mildew (GDM) and powdery mildew (GPM) symptoms (DUSO *et al.*, 2003; POZZEBON *et al.*, 2015a).

In several agricultural systems the major limitations for the establishment of natural enemies are constituted by pesticide applications required to control key pests (e.g., DUSO *et al.*, 2014; POZZEBON *et al.*, 2015b). Pesticides can influence life history parameters of predatory mites inducing direct/indirect and lethal/sub-lethal effects (BAKKER & JACAS 1995; CANDOLFI *et al.*, 2000; STARK *et al.*, 2004; DESNEUX *et al.*, 2007), and predatory mites have been considered as bio-indicators for pesticide impact on terrestrial arthropod communities (CANDOLFI *et al.*, 1999; BERNARD *et al.*, 2010; POZZEBON *et al.*, 2002, 2010). Laboratory experiments are necessary for a clear understanding of the effect of a pesticide on predatory mites at individual level, but predictions from laboratory experiments should always be validated in field conditions (STARK *et al.*, 1995; VAN DIJK *et al.*, 2000; POZZEBON *et al.*, 2011; AHMAD *et al.*, 2013; TIRELLO *et al.*, 2013). Contrasting results on the pesticide impact on predatory mites can be obtained in different field assessments depending on environmental factors occurring where the tests are conducted.

Among these factors, the availability of alternative food sources has been considered in recent research. In particular, the population change in treated plots compared with those in an untreated control can be an estimator for the effect of a fungicide. When GDM symptoms spread, the differences among treatments are affected by the toxicological traits of the pesticide (direct effects) but also by the plant pathogen availability (indirect effects). The different GDM symptoms incidence on grapevine, induced by different tested fungicides, can result in indirect effects stronger than direct ones that are determined by the intrinsic toxicity of the products (POZZEBON *et al.*, 2010). The presence of GDM symptoms can determine a misinterpretation of the results, invalidating the evaluation. The inclusion of a non-toxic fungicide reference can help in segregating the indirect from direct effects.

Moreover, the availability of alternative food sources can mitigate the impact of pesticides on predatory mites. This was studied considering pollen as an alternative food source in apple orchards. Its availability is an important factor to sustain predatory mite abundance on apple plants (ADDISON *et al.*, 2000). Groundcover management practices can influence the presence of pollen in fruit orchards with consequences on phytoseiid population dynamics (GIROLAMI *et al.*, 2000; BALDESSARI, 2005). The availability of fresh pollen can have a positive effect on phytoseiid fecundity with clear results at population level (POZZEBON *et al.*, 2014). Pollen is an important source of proteins, lipids, carbohydrates and minerals (LUNDGREEN, 2009), but its nutritional value can degrade over time (VANBILSEN & HOEKSTRA, 1993; LUNDGREEN, 2009). Pollen can also adsorb organic compounds such as some pesticides (VILLA *et al.*, 2000; THIO *et al.*, 2011) and this phenomenon increases with the time of contact with insecticide residues, determining multiple exposures (e.g., residual plus food contamination) to predatory mites with a reduction in fecundity. This can be related to physiological and behavioral effects such as the disruption of foraging, food processing and biochemical mechanisms involved in food conversion into egg biomass (DESNEUX *et al.*, 2007). The provision of uncontaminated fresh pollen is likely to decrease pesticide exposure, and provides a highly nutritional food source that boosts mites' fecundity, favoring the resilience of phytoseiid populations on treated plants. However this is not relevant with highly toxic products.

The reduction of pesticide side-effects on non-target arthropods is a key requisite for the conservation of predatory mites in agro-ecosystems, but management practices aimed at season-long food availability can mitigate the effect of pesticides on natural enemies, with a promotion of their persistence.

REFERENCES

ADDISON J.A., HARDMAN J.M., WALDE S. J., 2000 - *Pollen availability for predaceous mites on apple: spatial and temporal heterogeneity.* - Exp. Appl. Acarol., 24: 1-18

AHMAD S., POZZEBON A., DUSO C., 2013 - *Augmentative releases of the predatory mite* Kampimodromus aberrans *in organic and conventional apple orchards.* - Crop Protection, 52: 47-56.

AHMAD S., POZZEBON A., DUSO C., 2015 - *Predation on*

heterospecific larvae by adult females of Kampimodromus aberrans, Amblyseius andersoni, Typhlodromus pyri and Phytoseius finitimus *(Acari: Phytoseiidae).* - Exp. Appl. Acarol., 67: 1-20.

Bakker F. M., 1998 - *Accuracy and efficiency of sequential pesticide testing protocols for phytoseiid mites.* In: Ecotoxicology: Pesticides and Beneficial Organisms, Haskell P. T. & McEwen P. Ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 148-163.

Bakker F. M., Jacas J. A., 1995 – *Pesticides and phytoseiid mites: strategies for risk assessment.* - Ecotox. Environ. Safe., 32: 58-67.

Bakker F. M., Klein M. E., 1992 - *Transtrophic interactions in cassava.* - Exp. Appl. Acarol., 14: 293-311.

Baldessari M., Angeli G., Girolami, 2005 – *Effects of plant protection products on* Kampimodromus aberrans *(Oudemans): the dietary effect of airborne pollen*. - IOBC/WPRS Bull., 28: 151-155.

Bernard M. B., Cole P., Kobelt A., Horne P. A., Altmann J., Wratten, S. D., Yen A.L., 2010 - *Reducing the impact of pesticides on biological control in Australian vineyards: pesticide mortality and fecundity effects on an indicator species, the predatory mite* Euseius victoriensis *(Acari: Phytoseiidae)*. - J. Econ. Entomol., 97: 2061-2071.

Bonde J., 1989 – *Biological studies including population growth parameters of the predatory mite* Amblyseius barkeri *(acarina: Phytoseiidae) at 25 degrees C in the laboratory.* - Entomophaga, 34: 275-287.

Calis J.N.M., Overmeer W.P.J., van der Geest L.P.S., 1988 – *Tydeids as alternative prey for phytoseiid mites in apple orchards*. - Meded. Fac. Land. Rijksuniv. Gent, 53: 793-798.

Candolfi M., Barrett K., Campbell P., Forster R., Grandy N., Huet M-C., Lewis G., Oomen P., Schmuck R., Vogt H., 2000 – *Guidance document on regulatory testing procedures for pesticides with non-target arthropods ESCORT Workgroup*, Wageningen, The Netherlands, Society of Environmental Toxicology And Chemistry - Europe (SETAC).

Candolfi M. P., Bakker F., Canez V., Miles M., Neumann C., Pilling E., Primiani M., Romijn K., Schmuck R., Storck-Weyhermuller S., Ufer A., Waltersdorfer A., 1999 – *Sensitivity of non-target arthropods to plant protection products: Could* Typhlodromus pyri *and* Aphidius *spp be used as indicator species.* - Chemosphere, 39: 1357-1370.

Castagnoli M., 1989 – *Recent advances in knowledge of the mite fauna in the biocenoses of grapevine in Italy.* In: Influence of environmental factors on the control of grape pests, diseases and weeds, Cavalloro R. Ed., Balkema, Rotterdam, pp. 169-180.

Chant, D.A., 1959 – *Phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae). Part I. Bionomics of seven species in south-eastern England.* - Can. Entomol., 91 Suppl. 12: 5-44.

Daftari, A., 1979 – *Studies on feeding, reproduction and development of* Amblyseius aberrans *(Acarina: Phytoseiidae) on various food substances.* - J Appl. Entomol. - Zeit. Ang. Entomol., 88: 449-453.

Desneux N., Decourtye A., Delpuech J.M., 2007 – *The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods.* - Annu. Rev. Entomol., 52: 81-106.

Dicke M., Sabelis M.W., Dejong M., Alers M.P.T., 1990 – *Do phytoseiid mites select the best prey species in terms of reproductive success.* - Exp. Appl. Acarol., 8: 161–173.

Duso C., Ahmad S., Tirello P., Pozzebon A., Klaric V., Baldessari M., Malagnini V., Angeli G, 2014 – *The impact of insecticides applied in apple orchards on the predatory mite* Kampimodromus aberrans *(Acari Phytoseiidae)*. - Exp. Appl. Acarol., 62: 391-414.

Duso C., Fanti M., Pozzebon A., Angeli G., 2009 – *Is the predatory mite* Kampimodromus aberrans *a candidate for the control of phytophagous mites in European apple orchards?* - BioControl, 54: 369-382.

Duso C., Malagnini V., Paganelli A., 1997 – *Indagini preliminari sul rapporto tra polline e* Kampimodromus aberrans *(Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) su* Vitis vinifera *L.* - Allionia, 35: 229-239.

Duso C., Malagnini V., Paganelli A., Aldegheri L., Bottini M., Otto S., 2004 – *Pollen availability and abundance of predatory phytoseiid mites on natural and secondary hedgerows.* - BioControl, 49: 397-415.

Duso C., Pozzebon A., Capuzzo C., Bisol P.M., Otto S., 2003 – *Grape downy mildew spread and mite seasonal abundance in vineyards: evidence for the predatory mites* Amblyseius andersoni *and* Typhlodromus pyri. - Biol. Control, 27: 229-241.

Duso C., Pozzebon A., Kreiter S., Tixier M. S., Candolfi M., 2012 – *Management of phytophagous mites in European vineyards.* In: Arthropod Management in Vineyards, Bostanian N. J., Vincent C., Isaacs R. Ed., Springer, Dordrecht, 191-217.

Eichhorn K. W., Hoos D., 1990 – *Investigations in population dynamics of* Typhlodromus pyri *in vineyards of Palatina, F.R. Germany*. - IOBC/WPRS Bull., XIII/7: 120-123.

Engel R., Ohnesorge B., 1994 – *Die Rolle von Ersatznahrung und Mikroklima im System* Typhlodromus pyri *Scheuten (Acari, Phytoseidae)* - Panonychus ulmi *Koch (Acari, Tetranychidae) auf Weinreben II. Freilandversuche.* - J. Appl. Entomol.- Zeit. Angew. Entomol., 118; 224-238.

Girolami V., 1981 – *Danni, soglie di intervento, controllo degli acari della vite*. II Incontro sulla difesa della vite, Latina, 3-4 dicembre 1981.

Girolami V., Borella E., Di Bernardo A., Malagnini V., 2000 – *Influenza positiva sui fitoseidi della fioritura del cotico erboso*. - Inf. Agrario, 21: 71-73

Gnanvossou D., Hanna R., Yaninek J. S., Toko M., 2005 – *Comparative life history traits of three neotropical phytoseiid mites maintained on plant-based diets*. - Biol. Control, 35: 32-39.

Grout T.G., Richards R.I., 1992 – *The dietary effect of windbreak pollens on longevity and fecundity of a predacious mite* Euseius addoensis addoensis *(Acari: Phytoseiidae) found in citrus orchards in South Africa.* - Bull. Entomol. Res., 82: 317-320.

Helle W., Sabelis M.W., 1985 – *Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control*. Elsevier, Amsterdam.

Ivancich-Gambaro P., 1973 – *Il ruolo del* Typhlodromus aberrans *Oud. (Acarina Phytoseiidae) nel controllo biologico degli Acari fitofagi del Veronese.* - Boll. Zool. Agr. Bachicol., 11: 151-165.

Kennett C.E., Flaherty D.L., Hoffmann R.W., 1979 – *Effect of wind-borne pollens in the population dynamics of* Amblyseius hibisci *(Acari: Phytoseiidae)*. - Entomophaga, 24: 83-98.

Kropczynska-Linkiewicz D., 1971 – *Studies on the feeding of four species of phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae):* In: Proceedings of the Third International Congress on Acarology Daniel M., Rosicky B., Ed., Czechoslovak Academy of Sciences, Prague, pp. 225-227.

Lorenzon M., Pozzebon A., Duso C. 2012 - *Effects of potential food sources on biological and demographic parameters of the predatory mites* Kampimodromus aberrans*,* Typhlodromus pyri *and* Amblyseius andersoni*.* - Exp. Appl. Acarol., 58: 259-278.

Lorenzon M., Pozzebon A., Duso C. 2015 – *Feeding habits of overwintered predatory mites inhabiting European vineyards.* - BioControl, 60: 605-615.

Lundgren J.G. 2009 - *Relationships of Natural Enemies and Non-Prey Foods*. Springer, Dordrecht.

McMurtry J. A., de Moraes G. J., Johnson H. G., 1991 – *Arrestment responses of some phytoseiid mites to extracts of* Oligonychus punicae*,* Tetranychus urticae *and pollen*. - Israel J. Entomol., 25-26, 29-34.

McMurtry J. A., De Moraes G. J., Sourassou U. F., 2013 – *Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies*. - System. App. Acarol., 18: 297-320.

McMurtry J. A., Johnson H. G. 1965 – *Some factors influencing the abundance of the predaceous mite* Amblyseius hibisci *in southern California (Acarina: Phytoseiidae)*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 58: 49–56.

McMurtry J. A., Rodriquez J., 1987 – *Nutritional ecology of phytoseiid mites*. In: Nutritional Ecology of Insects, Mites and Spiders, Slansky, F., Rodriquez, J. Ed., Wiley & Sons, New York, pp. 1016.

McMurtry J.A., Croft B.A. 1997 – *Life-styles of phytoseiid mites and their role in biological control.* - Annu. Rev. Entomol., 42: 291-321.

Nomikou M., Janssen A., Sabelis M. W., 2003 – *Phytoseiid predators of whiteflies feed and reproduce on non-prey food sources*. - Exp. Appl. Acarol., 31: 15-26.

Nyrop J. P., English-Loeb G., Roda A. L., 1998 – *Conservation biological control of spider mites in perennial cropping systems.* In: Conservation Biological Control, Barbosa P. Ed., Academic Press, New York, pp. 307-333.

Ouyang Y., Grafton Cardwell E. E., Bugg, R. L., 1992 – *Effects of various pollens on development, survivorship, and reproduction of* Euseius tularensis *(Acari: Phytoseiidae).* - Environ. Entomol., 21: 1371-1376.

Overmeer W. P. J., 1985 – *Alternative prey and other food resources*. In: Spider Mites. Their Biology, Natural Enemies and Control, Helle W., Sabelis M.W., Eds., Elsevier, Amsterdam, pp. 131-140.

Pozzebon A., Ahmad S., Tirello P., Lorenzon M., Duso C., 2014 – *Does pollen availability mitigate the impact of pesticides on generalist predatory mites?* - BioControl, 59: 585–59.

Pozzebon A., Borgo M., Duso C., 2010 – *The effects of fungicides on non-target mites can be mediated by plant pathogens.* - Chemosphere, 79: 8-17.

Pozzebon A., Duso C., 2008 – *Grape downy mildew* Plasmopara viticola*, an alternative food for generalist predatory mites occurring in vineyards*. - Biol. Control 45: 441-449.

Pozzebon A., Duso C., Pavanetto E., 2002 – *Side effects of some fungicides on phytoseiid mites (Acari, Phytoseiidae) in north-Italian vineyards*. Anz. Schadlingskd. - J. Pest. Sci. 75: 132-136.

Pozzebon A., Duso C., Tirello P., Ortiz P. B., 2011 – *Toxicity of thiamethoxam to* Tetranychus urticae *Koch and* Phytoseiulus persimilis *Athias-Henriot (Acari Tetranychidae, Phytoseiidae) through different routes of exposure*. - Pest Man. Sci., 67: 352-359.

Pozzebon A., Loeb G. M., Duso C, 2009 – *Grape powdery mildew as a food source for generalist predatory mites occurring in vineyards: effects on life-history traits*. - Ann. Appl. Biol., 155: 81-89.

Pozzebon A., Loeb G. M., Duso C., 2015a – *Role of supplemental foods and habitat structural complexity in persistence and coexistence of generalist predatory mites*. - Sci. Rep., 5: 14997.

Pozzebon A., Tirello P., Moret R., Pederiva M., Duso C., 2015b – *A fundamental step in IPM on grapevine: Evaluating the side effects of pesticides on predatory mites.* - Insects, 6: 847-857.

Schausberger P., 1998 – *Survival, development and fecundity in* Euseius finlandicus*,* Typhlodromus pyri *and* Kampimodromus aberrans *(Acari, Phytoseiidae) feeding on the San José scale* Quadraspidiotus perniciosus *(Coccina, Diaspididae).* - J. Appl. Entomol., 122: 53-56.

Schausberger P., 2003 – *Cannibalism among phytoseiid mites: a review*. - Exp. Appl. Acarol., 29: 173-191.

Schausberger P., Croft B. A., 2000 – *Nutritional benefits of intraguild predation and cannibalism among generalist and specialist phytoseiid mites*. - Ecol. Entomol., 25: 473-480.

Solomon M. G., Cross J. V., Fitzgerald J. D., Campbell C. A. M., Jolly R. L., Olszak R. W., Niemczyk E., Vogt H., 2000 – *Biocontrol of pests of apples and pears in northern and central Europe - 3. Predators*. - Biocontrol Sci. Technol., 10: 91-128.

Stark J. D., Banks J. E., 2003 – *Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods.* - Annu. Rev. Entomol., 48: 505-519.

Stark J. D., Jepson P. C., Mayer D. F., 1995 – *Limitations to use of topical toxicity data for predictions of pesticide side effects in the field.* - J. Econ. Entomol., 88: 1081-1088.

Thio B. J. R., Clark K. K., Keller A. A., 2011 – *Magnetic pollen grains as sorbents for facile removal of organic pollutants in aqueous media.* - J. Hazard. Mater., 194: 53-61.

Tirello P., Pozzebon A., Duso C., 2013 – *The effect of insecticides on the non-target predatory mite* Kampimodromus aberrans*: Laboratory studies*. - Chemosphere, 93:1139-1144.

Tsolakis H., Ragusa E., Ragusa Di Chiara S., 2000 – *Distribution of phytoseiid mites (Parasitiformes, Phytoseiidae) on hazelnut at two different altitudes in Sicily (Italy)*. - Environ. Entomol., 29: 1251-1257.

van Dijk H. F. G., Brussaard L., Stein A., Baerselman F., Heer H.D., Brock T.C.M., Donk E.V., Vet L.E.M., Gaag M. A., van der Gestel C. A. M., van, Hoeven N.v.d., de Jong, F. M. W., van der Linden A. M. A., van Noort P. C. M., Oomen P.A., Vliet P.J.M., 2000 - *Field research for the authorisation of pesticides*. - Ecotoxicology, 9: 377-381.

van Rijn P. C. J., Tanigoshi L. K. 1999a - *The contribution of extrafloral nectar to survival and reproduction of the predatory mite* Iphiseius degenerans *on* Ricinus communis*.* - Exp. Appl. Acarol., 23: 281-296.

van Rijn P. C. J., Tanigoshi L. K. 1999b - *Pollen as food for the predatory mites* Iphiseius degenerans *and* Neoseiulus cucumeris *(Acari : Phytoseiidae): dietary range and life history.* - Exp. Appl. Acarol., 23: 785-802.

Vanbilsen D., Hoekstra F.A., 1993 – *Decreased membrane integrity in aging* Typha latifolia *L pollen - accumulation of lysolipids and free fatty-acids.* - Plant Physiol., 101: 675-682.

Villa S., Vighi M., Finizio A., Serini G. B., 2000 – *Risk assessment for honeybees from pesticide-exposed pollen.* - Ecotoxicology 9: 287-297.

WALDE S. J., NYROP J. P., HARDMAN J. M., 1992 – *Dynamics of* Panonychus ulmi *and* Typhlodromus pyri*: factors contributing to persistence*. - Exp. Appl. Acarol., 14: 261-291.

WIEDMER U., BOLLER E. F., 1990 – *Blühende Rebberge in der Ostschweiz: 1. Zum Pollenangebot auf den Rebenblättern.* - Schweiz Zeit Obst-Weinbau 126: 426-431.

ZAHER M. A., SHEHATA K. K., 1971 – *Biological studies on the predator mite* Typhlodromus pyri *Sch. (Acarina Phytoseiidae) with the effect of prey and non prey substances*. - Zeit. Angew. Entomol., 64: 389-394.

ZEMEK R., PRENEROVA E., 1997 – *Powdery mildew (Ascomycotina: Erysphales): an alternative food for the predatory mite* Typhlodromus pyri *Scheuten (Acari: Phytoseiidae).* - Exp. Appl. Acarol., 21: 405-414.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 137-140

LE SOSTANZE DI ORIGINE VEGETALE NEL CONTROLLO DEGLI ACARI FITOFAGI E GLI EFFETTI COLLATERALI SUI FITOSEIDI

HARALABOS TSOLAKIS (*)

(*) *Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze 90128 Palermo – Italy;* e-mail: haralabos.tsolakis@unipa.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Evoluzione dell'Acarologia nell'ecosistema agrario". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 20 febbraio 2015.

Botanical extracts as miticides and side effects on phytoseiid mites

The secondary compounds of plants with biocide characteristics can represent good candidates for crop protection especially in Organic farming, where the phytophagous mites in particular are still a real problem. In the present review, information on the biological activity of different plants extracts on some tetranychids as well as the side effects on phytoseiid mites, were reported.

KEY WORDS: Botanical extracts, Tetranychidae, Phytoseiidae.

INTRODUZIONE

La conoscenza della presenza di metaboliti secondari nelle piante superiori che risultino tossici nei confronti degli artropodi è assai antica. *Chrysanthemum coccineum* era già in uso in Persia quando nel 19° secolo lo conobbero gli europei, mentre *Azadirachta indica* era usata fin dai tempi antichi nel sub continente indiano. Fino alla fine della II Guerra Mondiale gli estratti di piante rappresentavano il principale mezzo di controllo degli insetti dannosi in agricoltura.

Queste sostanze erano rappresentate principalmente dal piretro, dal rotenone, dalle quassine e dalle nicotine e il loro largo uso in agricoltura era possibile grazie alle estensive coltivazioni di queste piante in diversi paesi del terzo mondo. Con l'avvento dei prodotti chimici di sintesi, l'utilizzo degli insetticidi di origine vegetale iniziò a diminuire fino a raggiungere i minimi storici negli anni '80. A partire da questo decennio, si è registrato un aumento costante della domanda di fitofarmaci di origine vegetale che corrispondeva, grosso modo, all'aumento delle superfici coltivate con il metodo biologico.

L'interesse dei chimici e degli entomologi nei confronti dei fitopesticidi è cresciuto costantemente nella prima metà del 900, per subire successivamente la forte pressione esercitata dai prodotti di sintesi negli anni '50 e '60. A partire dagli anni settanta, invece, probabilmente anche a causa dell'interdizione del DDT negli Stati Uniti d'America, si è registrata un'inversione di tendenza con un costante e significativo aumento dell'interesse scientifico verso le proprietà biocide presenti in diverse essenze vegetali. Questo interesse si è tradotto in un andamento crescente delle pubblicazioni scientifiche aventi come tema la tossicità nei confronti di diverse specie fitofaghe di interesse agrario.

Bisogna, tuttavia, notare che l'interesse maggiore verso queste sostanze è stato mostrato dai ricercatori indiani (67%) e statunitensi (18%), mentre il resto del mondo ha contribuito in maniera del tutto marginale in questo campo di ricerca. Naturalmente, la stragrande maggioranza di queste ricerche riguarda gli insetti di interesse agrario, mentre i lavori aventi come oggetto gli acari fitofagi sono veramente pochi.

ESTRATTI DI PIANTE AD AZIONE ACARICIDA

Il principale obiettivo delle ricerche sugli effetti tossici degli estratti vegetali, è stato fino ad oggi il tetranichide *Tetranychus urticae* Koch, comunemente chiamato ragnetto rosso bimaculato. Specie altamente polifaga, è considerata la più dannosa tra gli acari fitofagi e questo è il principale motivo dell'interesse che riscuote, al quale si aggiunge la sua diffusione oramai mondiale.

D'altra parte, nel mondo vegetale, se esiste una star tra le piante che possiedono proprietà biocide che ha rubato la scena in questo settore negli ultimi trent'anni, questa è certamente *Azadirachta indica* A. Juss. Praticamente atossica per gli organismi a sangue caldo, possiede diverse proprietà negative

– Pubblicato marzo 2016

nei confronti di un altissimo numero di artropodi dannosi. Le varie parti vegetali di *A. indica* sono ricche di limonoidi, di cui le azadirachtine che sono le più rappresentate, possiedono proprietà fagodeterrenti, repellenti, insetticide ed acaricide nei confronti di numerose specie di fitofagi dannosi in agricoltura (SCHMUTTERER e ASCHER, 1984, 1987; MORDUE e BLACKWELL, 1993). I primi studi sugli effetti degli estratti di *A. indica* nei confronti degli acari hanno mostrato una grande variabilità tra le diverse formulazioni dovuta principalmente ai diversi solventi utilizzati. I solventi lipofili ad esempio estraggono molecole più attive nei confronti dei tetranichidi, di quelle ottenute con solventi idrofili (MANSOUR e ASCHER, 1983, 1995). Estratti di semi di *A. indica* in acetone e pentano hanno causato una mortalità nei confronti di *T. urticae* pari all'80 e 100% dopo 48 ore, mentre con gli estratti in etanolo e metanolo la mortalità era attorno al 40% (MANSOUR *et al.*, 1987). Nello stesso tempo gli estratti in acetone e pentano hanno registrato una bassa mortalità nei confronti dell'acaro predatore *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (ca 20%) mentre l'estratto in etanolo è risultato del tutto innocuo nei sui confronti. Le molecole estratte con i diversi solventi interferiscono anche con il tempo d'azione del prodotto. Gli estratti acquosi di semi e foglie di neem hanno causato nei confronti di femmine giovani di *T. urticae* una mortalità che ha raggiunto l'80% dopo 5 giorni (CASTIGLIONI *et al.*, 2002), mentre l'olio di neem titolato a 10.000 ppm in azadirachtina A, causava la stessa mortalità (80%) dopo appena 48 ore e del 100% dopo una settimana (TSOLAKIS *et al.*, 2002). Simili risultati sono stati ottenuti in prove di laboratorio con l'azadirachtina nei confronti di *Polyphagotarsonemus latus* (Banks): dosi crescenti da 50 a 200 ppm di p.a. hanno causato una riduzione della popolazione del tarsonemide variabile dall'80 al 98% (VENZON *et al.*, 2008). Gli estratti di *A. indica*, oltre all'effetto tossico, hanno registrato anche un interessante effetto repellente nei confronti del ragnetto rosso variabile nel tempo e nell'intensità, in base ai solventi utilizzati (MANSOUR *et al.*, 1993; DIMETRY *et al.*, 1993; TSOLAKIS *et al.*, 2002; DABROWSKI e SEREDYNSKA 2007).

Limonoidi simili a quelli presenti in *A. indica* sono comuni anche nei semi di un'altra meliacea, *Melia azedarach* L. Le meliacarpine ad esempio, hanno registrato un'azione insetticida paragonabile a quella dimostrata dai limonoidi presenti nella più nota *A. indica* (BOHNENSTENGEL *et al.*, 1999). Gli estratti acetonici di semi di *Melia* hanno causato una forte mortalità (100%) delle femmine di *T. urticae* dopo appena due giorni dal trattamento, mentre non è stato riportato alcun effetto repellente nei confronti del tetranichide (TSOLAKIS e RAGUSA, 2005). Mortalità più bassa (58-71%), invece, hanno causato gli estratti acquosi di *Melia* nei confronti del suddetto tetranichide (CASTIGLIONI *et al.*, 2002). Estratti acetonici di semi di *Melia* hanno mostrato un discreto effetto ovicida e larvicida nei confronti di *T. urticae*, mentre si sono dimostrati innocui nei confronti degli stessi stadi di sviluppo del fitoseide *Cydnodromus californicus* (McGregor) (RAGUSA *et al.*, 2006).

L'acetone si è anche dimostrato un buon solvente per estrarre sostanze bioattive nei confronti degli acari da *Quassia* spp. In prove di laboratorio gli estratti di *Quassia* hanno mostrato un'azione fortemente tossica nei confronti degli stadi giovanili di *T. urticae* ed in particolare nei confronti delle larve (mortalità pari al 96%), alla quale si aggiungeva un leggero effetto repellente che portava l'effetto negativo del prodotto nei confronti del tetranichide al 100% (RAGUSA *et al.*, 2006). Lo stesso estratto si è, invece, dimostrato innocuo per il fitoseide *C. californicus*, nei confronti del quale però, si è registrato un effetto repellente pari al 48% (RAGUSA *et al.*, 2006). Simili risultati sono stati ottenuti con gli estratti acetonici di *Artemisia* sp. nei confronti degli stadi giovanili del tetranichide con la differenza che gli estratti di *Artemisia* non hanno avuto alcun effetto nei confronti di *C. californicus* (RAGUSA *et al.*, 2006). Bisogna, tuttavia, ricordare che non tutti gli estratti vegetali sono innocui per i nemici naturali degli acari fitofagi. Ad esempio, sia gli estratti acetonici che quelli acquosi di semi di *Annona cherimola* hanno mostrato una forte azione biocida nei confronti dei vari stadi dello sviluppo ontogenetico di *T. urticae*, ma anche nei confronti del fitoseide *C. californicus* (RAGUSA *et al.*, 2006).

D'altra parte, sono certamente più comuni in letteratura le informazioni sugli effetti tossici o repellenti di sostanze di origine vegetale sia nei confronti di acari fitofagi che nei confronti dei loro predatori, probabilmente perché questi ultimi richiedono particolari tecniche di allevamento e di gestione delle prove che ne rendono difficile l'esecuzione.

Il carvacrolo, un terpenoide presente nella cupressacea *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* si è mostrato altamente tossico nei confronti di *T. urticae* ma non si hanno notizie circa la sua azione nei confronti dei predatori fitoseidi (AHN *et al.*, 1998). Simili risultati sono stati ottenuti con gli oli essenziali presenti in una pianta di origine tropicale, *Piper aduncum* L. nei confronti dello stesso fitofago (ARAÙJO *et al.*, 2012). Prove in campo effettuate con estratti di sette piante officinali, *Haplophyllum tuberculatum, Deverra scoparia, Mentha pulegium, Chrysanthemum coronarium, Hertia cheirifolia, Citrus aurantium* e *Santolina*

africana hanno registrato significative riduzioni nelle popolazioni di *T. urticae* su agrumi, comparabili con quelle ottenute con acaricidi sintetici per un periodo superiore alle tre settimane (ATTIA *et al.*, 2011). D'altra parte, alcuni fitopesticidi come l'olio di neem, le quassine, l'assenzio e l'ortica si sono dimostrati innocui sia in laboratorio che in pieno campo nei confronti di diversi predatori appartenenti alla famiglia Phytoseiidae (MANSOUR *et al.*, 1987, 1993; DIMETRY *et al.*, 1994; TSOLAKIS *et al.*, 1997).

Gli oli essenziali utilizzati principalmente in prove di laboratorio, hanno mostrato un vasto spettro d'azione nei confronti sia di insetti che di acari fitofagi. L'azione acaricida nei confronti di *T. urticae* è stata dimostrata per gli oli essenziali estratti da *Lippia sidoides* (CAVALCANTI *et al.*, 2010). Tuttavia, diversi oli essenziali hanno mostrato un'azione altamente tossica anche nei confronti di *P. persimilis* (CHOI *et al.*, 2004).

Effetti tossici e repellenti nei confronti di diverse specie di insetti ed acari fitofagi sono stati riportati anche per gli oli essenziali di cumino (FRANZIOS *et al.*, 1997; KIM *et al.*, 2004; PAVLIDOU *et al.*, 2004). Questi effetti sono stati evidenti nei confronti di *T. urticae* in prove di laboratorio mentre nei confronti di *P. persimilis* l'effetto biocida è stato piuttosto blando, anche se un effetto repellente di breve durata è stato riportato nei confronti del suddetto predatore (TSOLAKIS e RAGUSA, 2008).

Il largo spettro d'azione mostrato da diversi estratti vegetali nei confronti sia di insetti che di acari fitofagi, è principalmente dovuto alla miscela di diverse molecole presente negli estratti piuttosto che alla presenza della molecola dominante dell'estratto (TSOLAKIS *et al.*, 2002). Ciò rappresenta un punto di forza di questi prodotti perché riduce al minimo le probabilità di formazione di ceppi resistenti ma, nello stesso tempo, è il principale limite per la loro commercializzazione, giacché la legislazione esistente rende economicamente insostenibile la registrazione di un prodotto con numerose sostanze attive.

CONSIDERAZIONI

L'aumento della domanda di prodotti agricoli con meno residui chimici spinge oggi la ricerca e la politica agricola nei paesi occidentali verso metodi di gestione ecocompatibili delle colture agrarie. In quest'ottica, l'uso dei fitopesticidi potrebbe rappresentare un mezzo di controllo delle popolazioni dei fitofagi perfettamente integrato con le altre tecniche ecocompatibili definite nell'ambito del controllo integrato.

L'adozione di questi prodotti nella moderna agricoltura aprirebbe, inoltre, nuove prospettive di sviluppo sia per le zone economicamente depresse del mondo occidentale che per i paesi del terzo mondo che potrebbero trovare nella coltivazione di queste piante una valida alternativa alle colture concorrenziali a quelle dei paesi più sviluppati.

Tuttavia, permangono alcuni problemi che ostacolano l'ampia diffusione di questi prodotti. La caratterizzazione chimica degli estratti vegetali e la definizione della miscela bioattiva risulta ancora uno dei principali problemi che può essere risolto solo dalla stretta collaborazione tra chimici ed entomologi, i quali, nella maggior parte dei casi fino ad ora, percorrono binari paralleli.

L'uniformità delle tecniche sperimentali al fine di rendere confrontabili i risultati ottenuti in laboratorio è un altro problema che lascia molti interrogativi sulla reale efficacia di diversi estratti vegetali realmente promettenti.

Un altro problema è legato alla veloce degradazione di queste sostanze in campo. Se da una parte questa caratteristica risulta positiva perché garantisce l'assenza di residui nei prodotti agricoli, dall'altra il breve tempo di permanenza sui tessuti vegetali di questi prodotti non permette un adeguato controllo delle popolazioni dei fitofagi. La ricerca di sostanze coadiuvanti o protettive per le prove in campo, per esempio la tecnica del microincapsulamento, potrebbe risolvere questo problema.

L'azione politica del mondo della ricerca integrata a quella delle organizzazioni di categoria allo scopo di modificare la legislazione attuale sui fitofarmaci, permettendo una registrazione più facile ed economica dei fitopesticidi potrebbe, infine, rappresentare la chiave di svolta verso una strategia di difesa delle colture agrarie realmente ecocompatibile.

RIASSUNTO

I metaboliti secondari con caratteristiche biocide presenti in molte piante, possono rappresentare una buona scelta per il controllo delle popolazioni dei fitofagi nei processi agricoli ecocompatibili. In particolare nelle coltivazioni gestite in regime di agricoltura biologica o biodinamica, il controllo degli acari fitofagi risulta attualmente legato solo a tecniche di controllo biologico o tecniche colturali con risultati non sempre soddisfacenti. Nella presente revisione vengono riportate notizie sull'azione di diversi estratti vegetali nei confronti di acari fitofagi, nonché notizie sugli effetti collaterali di questi estrati nei confronti di alcune specie di acari predatori.

BIBLIOGRAFIA CITATA

AHN Y-J., LEE S-B., LEE H-S., KIM G-H., 1998 – *Insecticidal and acaricidal activity of carvacrol and b-thujaplicine derived from* Thujopsis dolabrata *var.* hondai *sawdust.* - Journal of Chemical Ecology, 24(1): 81-90.

Araujo M.J., Camara C.A.G., Born F.S., Moraes M.M., Badji C.A., 2012 – *Acaricidal activity and repellency of essential oil from* Piper aduncum *and its components against* Tetranychus urticae. - Experimental and Applied Acarology, 57:139-155.

Attia S., Lebdi Grissa K., Lognay G., Bitume E., Hance T., Mailleux A.C., 2013 – *A review of the major biological approaches to control the worldwide pest* Tetranychus urticae *(Acari: Tetranychidae) with special reference to natural pesticides.* - Journal of Pest Science, 86: 361–386.

Bohnenstengel F.I., Wray V., Witte L., Srivastava R.P., Proksch P., 1999 – *Insecticidal meliacarpins (C-seco limonoids) from* Melia azedarach. - Phytochemistry, 50 (6): 977-982.

Castiglioni E., Ventramin J.D., Tamai M.A., 2002 – *Evaluaciòn del efecto tòxico de extractos acuosos derivados de Meliàcee sobra* Tetranychus urticae *(Koch) (Acari, Tetranychidae).* - Agrociencia, 6(2): 75-82.

Cavalcanti S.C.H., dos S. Niculau E., Blank A.F.,. Câmara C.A.G., Araújo I.N., Alves P.B., 2010 – *Composition and acaricidal activity of* Lippia sidoides *essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae *Koch).* - Bioresource Technology, 101: 829-832.

Choi W-I., Lee S-G., Park H-M., Ahn Y-J., 2004 – *Toxicity of plant oils to* Tetrancyhus urticae *(Acari: Tetranychidae) and* Phytoseiulus persimilis *(Acari: Phytoseiidae).* - Horticultural Entomology, 97(2): 553-558.

Dabrowski Z.T., Seredynska U., 2007 – *Characterisation of the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae *Koch, Acari: Tetranychidae) response to aqueous extracts from selected plant species.* - Journal of Plant Protection Research, 47(2): 113-124.

Dimetry N.Z., Amer S.A.A., Reda A.S., 1993 – *Biological activity of two neem seed kernel extracts against the two-spotted spider mite* Tetranychus urticae *Koch.* - Journal of Applied Entomology, 116: 308-312.

Franzios G., Mirotsou M., Hatziapostolou E., Kral J., Scouras Z.G., Mavragani-Tsipidou P., 1997 – *Insecticidal and Genotoxic Activities of Mint Essential Oils.* - Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45: 2690-2694.

Kim S.I., Yi J.H., Tak J.H., Ahn Y.J., 2004 – *Acaricidal activity of plant essential oils against* Dermanyssus gallinae *(Acari: Dermanyssidae).* - Veterinary Parasitology, 120: 297-304.

Mansour E., Ascher K.R.S., 1983 – *Effects of neem (Azadirachta indica) seed kernel extracts from different solvents on the carmine spider mite,* Tetranychus cinnabarinus. - Phytoparasitica, 11(3-4): 177-185.

Mansour F., Ascher K.R.S., Omari N., 1987 – *Effect of neem seed kernel extracts from different solvents on the predacious mite* Phytoseiulus persimilis *and the phytophagous mite* Tetranychus cinnabarinus *as well as on the predatory spider* Chiracanthium mildei. - Proc. 3rd Int. Neem Conf., Nairobi 1986, 577-587.

Mansour E., Ascher K.R.S., 1995 – *Acarina, mites*. In: Schmutterer H. (ed.), The Neem Tree - Source of Unique Natural Products for Integrated Pest Management, Medicine, Industry and Other Purposes. VCH, Weinheim, Germany: 161-164.

Mansour F., Ravid U., Putievsky E., 1986 – *Studies of the effects of essential oils isolated from 14 species of Labiatae on the carmine spider mite,* Tetranychus cinnabarinus. - Phytoparasitica, 14 (2): 137-142.

Mansour F. A., Ascher K. R. S., Abo-Moth F., 1993 – *Effects of Margosan-Om, Azatin@ and RD9-Repelin@ on spiders and on predacious and phytophagous mites*. - Phytoparasitica, 21(3): 205-211.

Mordue (Luntz) A.J. Blackwell A., 1993 – *Azadirachtin: an update*. - Journal of Insect Physiology, 39(11): 903-924.

Pavlidou V., Karpouhtsis I., Franzios G., Zambetaki A., Scouras Z., Mavragani-Tsipidou P., 2004 – *Insecticidal and Genotoxic Effects of Essential Oils of Greek Sage,* Salvia fruticosa*, and Mint,* Mentha pulegium*, on* Drosophila melanogaster *and Bactrocera* oleae *(Diptera: Tephritidae)*. - Journal of Agricultural and Urban Entomology, 21(1): 39-49.

Ragusa Di Chiara S., Tsolakis H., Ragusa E., Alonzo G., Saiano F., 2006 – *Effects of some botanical pesticides on* Tetranychus urticae *Koch (Acariformes, Tetranychidae) and its predator* Cydnodromus californicus *(McGregor) (Parasitiformes, Phytoseiidae) in laboratory trials.* In: Morales-Malacara J.B., Behan-Pelletier V., Ueckermann E., Pérez T.M., Estrada E., Gispert C., Badii M. (Eds.) "Acarology XI: Proceedings of the International Congress" Instituto de Biología, UNAM; Facultad de Ciencias, UNAM; Sociedad Latinoamericana de Acarología. México, 67-74.

Schmutterer H., Ascher K.R.S., 1984 – *Natural pesticides from the neem tree (*Azadirachta indica *A. Juss) and other tropical plants*. - Proceedings of the 2nd International Neem Conference, Rauischholzhausen, Federal Republic of Germany 25-28 May, 1983, pp. 1-587.

Schmutterer H., Ascher K.R.S., 1987 – *Natural pesticides from the neem tree (*Azadirachta indica *A. Juss) and other tropical plants.*- Proceedings: 3rd Int. Neem Conf., Nairobi, Kenya, 10-15 July, 1986, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Dag-Hammarskjold-Weg 1+2, D 6236 Eschborn 1, 1-703.

Tsolakis H., 2006 – *I fitofarmaci di origine vegetale: cenni storici, attualità e prospettive di sviluppo*. In: Ragusa S., Tsolakis H. (eds), "La difesa della vite dagli artropodi dannosi", Marsala 10-11 ottobre 2005, 205-222.

Tsolakis H., Ragusa S., 2005 – *Laboratory evaluation of plant extracts on* Tetranychus urticae *Koch (Acariformes, Tetranychidae)*. - In: "Acarine Biodiversity in the Natural and Human Sphere", G. Weigmann, G. Alberti, A. Wohltmann, S. Ragusa (eds) Phytophaga XVI (2004): 539-548.

Tsolakis H., Ragusa S., 2008 – *Effects of a mixture of vegetable and essential oils and fatty acid potassium salts on* Tetranychus urticae *and* Phytoseiulus persimilis. - Ecotoxicology and Environmental Safety, 70: 276-282.

Tsolakis H., Ragusa E., Ragusa Di Chiara S., 2002 – *Effects of neem oil (*Azadirachta indica *A. Juss) on* Tetranychus urticae *Koch (Acariformes, Tetranychidae) in laboratory tests*. In: "Acarid phylogeny and evolution. Adaptations in mites and ticks" F. Bernini, R. Nannelli, G. Nuzzaci, E. de Lillo (eds), Kluwer Academic Publishers, pp. 351-362.

Tsolakis H., Leto G., Ragusa S., 1997 – *Effects of some plant materials on* Tetranychus urticae *Koch (Acariformes, Tetranychidae) and* Typhlodromus exhilaratus *Ragusa (Parasitiformes, Phytoseiidae)*.- ANPP- Fourth Intenational Conference on Pests in Agriculture, Montpellier 6-8 January: 239-245.

Venzon M., Rosado M.C., Molina-Rugama A.J., Silveira Duarte V., Dias R., Pallini A., 2008 – *Acaricidal efficacy of neem against* Polyphagotarsonemus latus *(Banks) (Acari: Tarsonemidae).* - Crop Protection, 27: 869-872.

Seduta pubblica, Firenze 12 giugno 2015

Tavola Rotonda su:

TECNICHE DI LOTTA ED ERADICAZIONE DI FITOFAGI D'INTERESSE FORESTALE

Coordinatori:
Pietro Luciano, Andrea Battisti,
Pio Federico Roversi, Accademici

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 143-144

TECNICHE DI LOTTA ED ERADICAZIONE DI FITOFAGI D'INTERESSE FORESTALE
INTRODUZIONE

PIETRO LUCIANO (*) - ANDREA BATTISTI (**) - PIO FEDERICO ROVERSI (***)

(*) *Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Sassari, viale Italia 39, Sassari;* pluciano@uniss.it
(**) *Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente (DAFNAE), Università degli Studi di Padova. Viale dell'Università, 16 - 35020 Legnaro (PD).*
(***) *Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia, via di Lanciola 12/a, 50125 - Cascine del Riccio, Firenze.*
Introduzione alla Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 12 giugno 2015.

L'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia dedica periodicamente una delle sue tavole rotonde a tematiche di Entomologia forestale e volgendo lo sguardo al passato più prossimo è possibile constatare che l'ultima riunione in cui si è parlato diffusamente di difesa dei boschi è stata tenuta nel novembre del 2009.

In quella circostanza, in particolare nella lettura tenuta dal Prof. Santi Longo, si è trattato anche di fitofagi esotici e invasioni biologiche negli ecosistemi forestali soffermandosi ad evidenziare la dannosità delle numerose specie allogene insediatesi nel nostro Paese. Sempre nel novembre del 2009, con la lettura del Prof. Andrea Battisti, si sono considerati gli effetti che i cambiamenti climatici hanno sull'espansione dell'areale e la dannosità di diverse specie autoctone. Un'apposita tavola rotonda, coordinata dal Prof. Alberto Alma, è stata dedicata nel novembre del 2010 agli studi di biologia ed etologia nonché alla diffusione e dannosità dell'Imenottero Cinipide *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu comparso nei castagneti italiani nel 2002.

A distanza di qualche anno dalle due tavole rotonde richiamate, si è ritenuto opportuno fare il punto su quanto è stato realizzato in Italia per contenere le popolazioni degli insetti esotici e limitare la diffusione di quelli indigeni. Tuttavia prima di affrontare questi aspetti particolari si è reputato importante dedicare la prima parte della tavola rotonda a tre interventi di carattere generale. Per questo sono stati invitati a portare il loro contributo diversi specialisti. Fra essi il dott. Alain Roques, direttore dell'unità di ricerca di Zoologia forestale dell'INRA con sede a Orléans (Francia), chiamato ad illustrare le vie d'ingresso degli insetti d'importanza forestale in Europa e le possibilità di prevedere i futuri arrivi. Proseguendo nella proficua strada, da qualche tempo intrapresa, d'intensificare gli scambi culturali con i ricercatori di Patologia vegetale, si è considerato utile soffermare l'attenzione anche sulle vie d'ingresso dei patogeni forestali esotici. A tal fine è stato chiesto l'intervento dei ricercatori dell'Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante del C.N.R. di Sesto fiorentino, che è stato curato dal dott. Alberto Santini. L'ultimo contributo di carattere generale è stato apportato dal dott. Gianni Gilioli, dell'Università di Brescia, che ha trattato della valutazione e della gestione del rischio rappresentato dalle specie invasive facendo ricorso a modelli meccanicistici ed evidenziando i vantaggi traibili dal loro impiego.

Fra gli interventi compiuti in Italia per contrastare la diffusione di specie esotiche o per limitarne la dannosità un posto di rilievo occupa la lotta al già citato *Dryocosmus kuriphilus* condotta attraverso liberazioni del parassitoide *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera Torymidae). La dott.ssa Chiara Ferracini, dell'Università di Torino, ha illustrato i positivi risultati ottenuti da un intenso programma di lotta biologica propagativa, finanziato, data l'importanza economica e ambientale che la castanicoltura ha nel nostro Paese, dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MiPAAF).

Fra i fitofagi indigeni che, favoriti dai cambiamenti climatici ed in particolare dall'innalzamento delle temperature, stanno progressivamente ampliando il loro areale di diffusione sul territorio italiano vi è la *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera Notodontidae). Tuttavia, questa specie, almeno in un caso si presume sia stata favorita da un'improvvida attività antropica. Infatti nel 2006 la sua presenza è stata segnalata in Sardegna e si sospetta che sia giunta

– Pubblicato marzo 2016

nell'Isola attraverso il trasferimento di piante in vaso dai vivai toscani, conquistando così al suo areale l'unica regione mediterranea dalla quale era assente. Il prof. Andrea Lentini, dell'Università di Sassari, ha riferito i risultati ottenuti dal piano di lotta integrata messo in atto per giungere all'eradicazione della specie dalla Sardegna.

Anoplophora chinensis (Förster) e *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) (Coleoptera Cerambycidae) rappresentano attualmente due fra le avversità più temute soprattutto per le alberate urbane e ornamentali. Originarie dell'estremo oriente (Cina, Giappone, Corea e di altri stati del sud-est asiatico), entrambe le specie sono caratterizzate da un'elevata polifagia che permette loro d'infestare varie decine di possibili latifoglie ospiti. La loro diffusione nei Paesi europei e nord-americani, favorita principalmente dal commercio di materiali vegetali infestati all'origine, ha suscitato notevole apprensione e richiesto enormi sforzi economici e operativi per eradicarne i focolai. Il dott. Giuseppino Sabbatini Peverieri, del CREA-ABP di Firenze, ha riferito sulla progressione dell'infestazione in Italia e sugli interventi posti in atto per contrastare i due xilofagi, sottolineando comunque la necessità d'intraprendere capillari ed efficaci campagne di divulgazione e informazione che coinvolgano i cittadini nell'individuazione dei nuovi focolai, la cui tempestiva segnalazione permetterebbe di rendere meno onerose le azioni dirette di lotta.

L'Eterottero Coreide *Leptoglossus occidentalis* Heidemann, di origine nord americana, segnalato in nord Italia alla fine degli anni '90, rappresenta tuttora un grave fattore di danno nelle piantagioni di *Pinus pinea* L., nelle quali causa la perdita di gran parte delle pigne di 1-2 anni e il crollo della produzione di pinoli. Il dott. Pio Federico Roversi, del CREA-ABP di Firenze, ha illustrato i risultati di un progetto di lotta biologica classica finalizzato all'introduzione di *Gryon pennsylvanicum* (Ashmead) (Hymenoptera Platygastridae) per contrastare il coreide, soffermandosi in particolare ad esporre le indagini svolte per valutare il rischio che l'ooparassitoide possa rivelarsi dannoso per specie non target.

Altro fitofago esotico la cui comparsa, nel 2013 in provincia di Vicenza, ha suscitato grande allarme è il *Pityophthorus juglandis* Blackman (Coleoptera Curculionidae Scolytinae), anche per la sua capacità di diffondere il fungo *Geosmithia morbida* Kolarik (Ascomycota Hypocreales), un patogeno molto aggressivo a carico di varie specie di noce, noto in Nord America con il nome di 'thousand cankers disease'. Il prof. Massimo Faccoli, dell'Università di Padova, ha riferito sulla progressiva diffusione della specie nel territorio del Veneto e della Lombardia nonché sulle possibili applicazioni di strategie di lotta biologica o chimica.

Dall'insieme delle comunicazioni presentate emerge un quadro particolarmente preoccupante circa la vulnerabilità del sistema fitosanitario all'ingresso di nuove avversità delle piante sul territorio europeo e italiano in particolare. Ciò è certamente dovuto in parte all'incremento esponenziale dei traffici commerciali e all'accresciuto scambio di materiali vegetali fra aree geograficamente molto distanti. Tuttavia risulta difficile non imputare tale condizione di fragilità anche ad un mancato proporzionale incremento dei controlli alle frontiere, ottenibile solamente con un adeguato potenziamento degli organici di personale specializzato operante presso i servizi fitosanitari dei diversi stati europei. D'altro canto non vanno sottaciuti i positivi esiti ottenuti in alcuni casi con i piani di lotta messi in essere per contenere la diffusione e/o limitare la dannosità delle specie esotiche, esempio spesso di sinergie fra diverse Istituzioni pubbliche statali, regionali e di ricerca, come riferito in alcune delle comunicazioni presentate anche in questa sede. Certamente il contesto socio-economico attuale, caratterizzato rispetto al passato anche da migrazioni in massa di uomini, fa ipotizzare tra l'altro un'ulteriore crescita del rischio fitosanitario, che potrà essere limitato solo con maggiori investimenti in uomini e in mezzi da impiegarsi nella prevenzione. Ciò al fine di evitare danni ben più consistenti e che richiederebbero per porvi rimedio esborsi notevoli di capitali, come sta dimostrando il ben noto caso del batterio *Xylella fastidiosa* in Puglia.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 145-150

DRIVERS AND PATHWAYS OF FOREST INSECT INVASIONS IN EUROPE, CAN WE PREDICT THE NEXT ARRIVALS?

ALAIN ROQUES (*)

(*) *INRA, UR 633 Zoologie Forestière, F-45075 Orléans, France;* e-mail: alain.roques@orleans.inra.fr
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Drivers and pathways of forest insect invasions in Europe, can we predict the next arrivals?

A total of 385 alien insect species established on woody plants in Europe since 1800. Along with globalization, the rate of arrival of new species exponentially increased during the second half of the 20th century to reach an average of 6.7 species per year during the period 2000-2012. This trend mirrors the rapid increase in the import of live woody plants. Very large discrepancies were observed between alien establishments and interceptions at borders. An analysis of the temporal changes in colonization of trees species growing in Europe revealed that since 2000 the recruitment of alien herbivores increased more rapidly on deciduous trees and shrubs, especially of tropical/ subtropical origin such as palms and eucalypts, whereas this recruitment has decreased in Gymnosperms and slowered in fruit trees. Identifying appropriate and effective tools for the prior warning and early detection of alien insect arrivals is urgently needed but extremely challenging because most potential invaders do not cause significant damage in their native range, and even could be yet unknown to Science. A novel method consisting in sentinel plantings in other continents to detect potential invaders is discussed from the results of recent experiments carried out in China.

KEY WORDS: Invasions, Insects, Forests, Europe, Pathways.

AN EXPONENTIAL ACCELERATION OF THE ARRIVAL OF EXOTIC INSECT SPECIES IN EUROPE

The globalization of economies, expanding world-wide trade, and climate change are all factors that contribute to the accelerated international movement and establishment of alien organisms, allowing them to overcome geographic barriers. Therefore, the rate at which humans translocate species beyond their native ranges has substantially increased during the last decades. The analysis of the data compiled in two recent databases devoted to alien species established in Europe, the DAISIE database (Delivering Alien Species Inventories in Europe; www.europe-aliens.org) launched in 2008, and the more recent EASIN catalogue (European Alien Species Information Network; Katsanevakis et al. 2015; www.easin.org) updated for insects by late 2014, revealed that the establishment rate of alien insects in Europe has increased from an average of 9.7 species per year for the period 1950-1974 to an estimated 14.9 species per year for 1990-2014. Most alien insect species in Europe were introduced accidentally, with only 14% of introductions being intentional, most of these for biological control (RABITSCH, 2010).This recent influx of alien insects appears to mainly due to the arrival of herbivores rather than to the introduction of parasitic and detritivorous species (ROQUES, 2010a). Thus, phytophagous species represented 69.8 % of the alien insects newly established in Europe since 2000. Moreover, these species were mostly associated with woody plants (76.5% of the total herbivores), those related to agricultural plants and products being a minority (Fig. 1). This is probably related to recent changes in trade practices, especially the increased magnitude in the movement of live woody plants for ornamental purposes (LIEBHOLD *et al.*, 2012; ESCHEN *et al.*, 2015). Along with globalization, the rate of arrival of species associated with woody plants thus exponentially increased from ca. 1.8 new species first observed per year during the first half of the 20th century to 6.7 per year during 2000-2014 (Fig. 1). As a result, a total of 385 alien insect species are at present reported as established on woody plants in Europe (ROQUES, 2010b; ESCHEN *et al.*, 2015). Therefore, identifying their pathway of arrival in order to prevent new introductions presents a significant challenge to researchers as well as to government agencies.

NOT SO EASY TO IDENTIFY A PATHWAY!

International trade in live woody plants, such as nursery stocks or bonsais, is widely recognized as a major pathway of introduction for alien insect pests

– Pubblicato marzo 2016

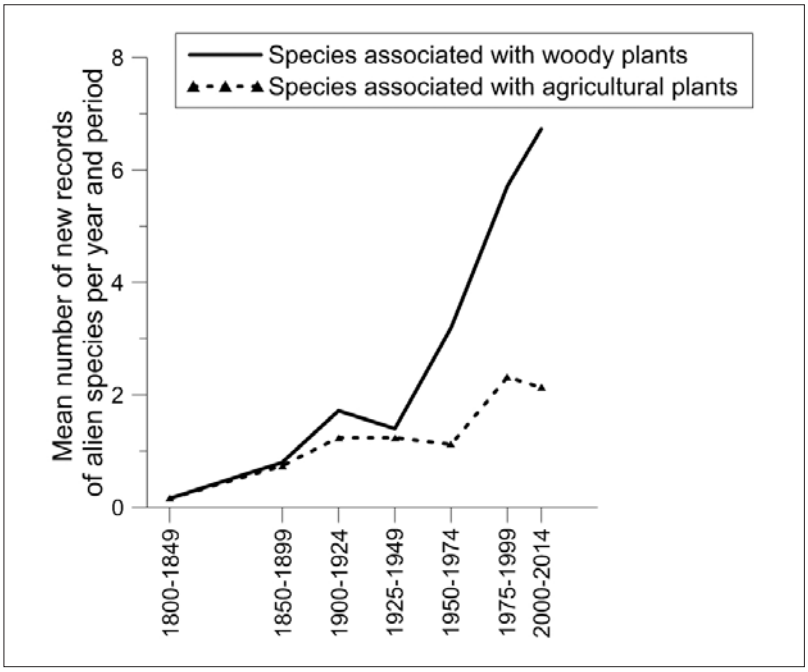


Fig. 1
Temporal changes in the introduction of alien phytophagous insect species in Europe, based on year of first record figured in the DAISIE and EASIN databases.

(Smith *et al.*, 2007; Rabitsch, 2010; Liebhold *et al.*, 2012). Pests arriving via this trade can relatively easily establish because they arrive on their host, which is often planted outside (Eschen *et al.*, 2015). However, a major problem is that the exact pathway responsible for a particular introduction is usually unknown. In most databases, these species are assigned post hoc by the assessor to the most likely introduction pathway or pathways, often more on the basis of assumptions of the assessor or from inference on the basis of a species' ecology than on hard evidence (Kenis *et al.*, 2007; Essl *et al.*, 2015). Practically, the interceptions by phytosanitary services at the borders of European Union could not really help in assessing introduction pathways because huge discrepancies exist between interceptions and establishments of alien insects (Kenis *et al.*, 2007; Bacon *et al.*, 2012). Eschen *et al.* (2015) thus noticed that among the 117 alien species established during the period 1995- 2012, only 7 were intercepted (the Asian long-horned beetles *Anoplophora chinensis A. glabripennis* on plants for planting and bonsais and on wood package material and bonsais, respectively; the box moth *Cydalima perspectalis*, the palm moth *Paysandisia archon*, the midge *Horidiplosis ficifolii,* and the aleyrodid *Singhella citrifolii* on plants for planting*;* and the conifer seed bug *Leptoglossus occidentalis* as a stowaway). Thus, most of the alien species reported in Europe since the late 1990s, and which have spread extremely rapidly, invading most of the continent within a few years, were never detected before their establishment; e.g. the chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* (Hymenoptera: Cynipidae; first detected in 2002 in Italy; Avtzis and Matošević, 2013), the honeylocust gall midge, *Obolodiplosis robiniae* (Diptera: Cecidomyiidae; detected in 2003 in Italy; Skuhravá and Skuhravý 2009), or the elm zig-zag sawfly, *Aproceros leucopoda* (Hymenoptera: Argidae; detected in 2003 in Poland; Blank *et al.*, 2010).

Another way to identify the introduction pathways: looking at the temporal changes in colonization by exotic insects of the tree species growing in Europe

A comparison of the richness in alien insect species recruited by the woody plants growing in Europe revealed that the exotic trees planted in Europe have recruited much more species than the native ones (Fig. 2). The top ten especially includes *Citrus*, palms and eucalypts. It is also worth noticing that about a half (51%) of the alien insect species did not switch onto natives woody hosts yet but stick to their original, exotic host with which they probably arrived.

The temporal changes in the colonization by alien insects of tree species growing in Europe has been hypothesized to reflect the invasive processes

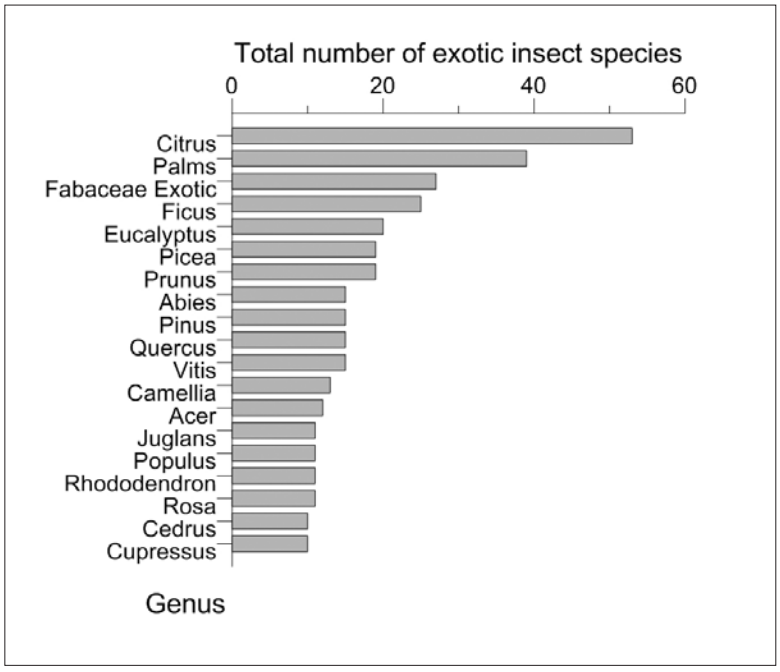


Fig. 2
Tree genera growing in Europe ranked by the total number of associated exotic insect species.

(ESCHEN *et al.*, 2015). During the recent decades, the colonization trends largely differed between large taxonomic host groups such as Angiosperms (then sub-divided into deciduous trees, fruit trees and shrubs), Gymnosperms and palms. During the period 2000-2011, the rate of increase in the number of newly recorded alien insects has thus increased more rapidly on deciduous trees, shrubs and palms whereas it has decreased in Gymnosperms and slowered in fruit trees (Fig. 3). At the family level, it appeared that the recruitment of alien insects had a recent fast increase in Myrtaceae (eucalypts), Fabaceae (exotic legume trees), Rutaceae (*Citrus*), Arecaceae (palms) but a decrease in Pinaceae and Fagaceae (ESCHEN *et al.*, 2015).

More globally, the recent period corresponded to a much faster increase in the recruitment of alien herbivores by trees of tropical/ subtropical origin planted in Europe than by native conifer and broadleaved trees (Fig. 4). This pattern is clearly illustrated by the eucalypts which recruited 7 new species since 2000 (*Ophelimus maskelli*, 2000: *Ctenarytaina spatulata*, 2002*; Leptocybe invasa,* 2003*; Blastopsylla occidentalis,* 2006:*; Ctenarytaina peregrina,* 2006*; Glycaspis brimblecombei,* 2007*; Thaumastocoris peregrinus,* 2011; Hurley et al., 2016) whereas only 2 and 4 species were recruited during 1950-1974 and 1975-1999, respectively. The situation is quite similar for palms (10 new alien insect species since 2000) and exotic Fabaceae (*Acacia, Albizzia* and others; 7 new species since 2000) whereas only 4 new alien species established on *Acer* and *Quercus* during the same period. It probably reflects that the trade of ornamentals, including bonsais, turned to be the major pathway of invasion by forest insects whereas timber trade and wood packaging contributes much less at present. For instance, it is noticeable that the recent introductions of eucalypt pests corresponded to tiny foliage feeders (e.g. the psyllids *Acizzia jamatonica* and *Glycaspis brimblecombei*; MIFSUD *et al.*, 2010; BELLA and RAPISARDA, 2013) and gall-makers (e.g. the eulophids *Ophelimus maskelli* and *Leptocybe invasa;* HURLEY *et al.*, 2016) whereas the previously established species were xylophagous insects (*Phoracantha* long-horned beetles; COCQUEMPOT *et al.*, 2010) and large foliage feeders (*Gonipterus* weevils; SAUVARD *et al.*, 2010). It is hypothesized that the newly arrived species proceeded from the trade of eucalypt seedlings or foliage for ornamental purposes whilst the former ones resulted from the trade of eucalyptus wood.

This kind of analysis may thus help targeting the commodities at risk in the ornamental trade. However, this significant, and very rapid, increase since the beginning of the 21st century in the establishment of new alien insect species related to trees originating from areas with warm climates also suggests a relationship with the current climate warming up in Europe which may help the alien species to establish.

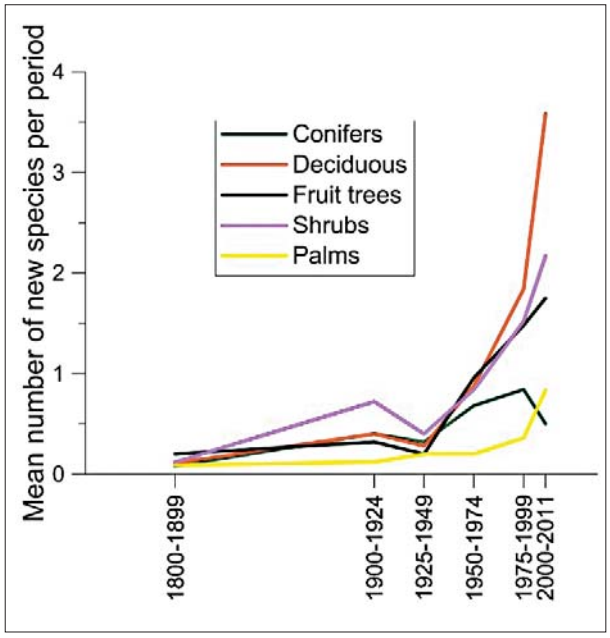


Fig. 3
Temporal changes in the mean number of alien insects recruited by broad taxonomic groups of trees growing in Europe (from ESCHEN *et al*., 2015, modified).

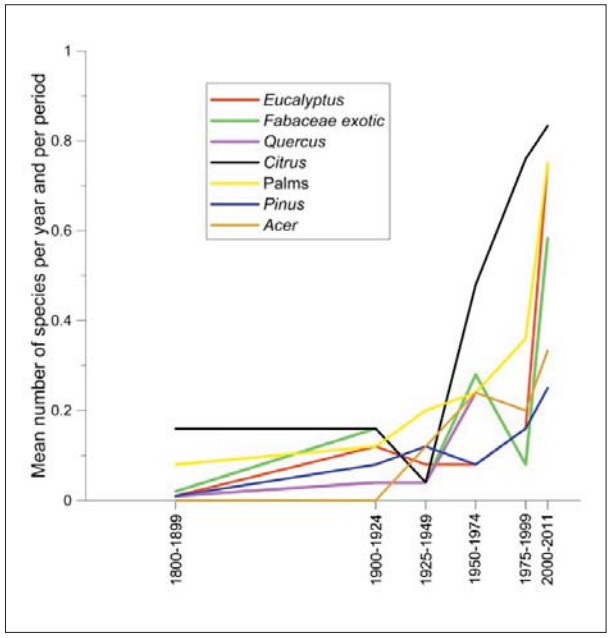


Fig. 4
Temporal changes in the mean number of alien insects recruited by different genera of trees growing in Europe (from ESCHEN *et al.*, 2015, modified).

If the trade of plants for planting tends to constitute a major invasive pathway, it is not precluding the trade of wood and derivates as a pathway. Wood packaging is still an issue as shown by the recent invasion of the long-horned beetle *Aromia bungii* in Germany and Italy (GARONNA *et al.*, 2013) and the new outbreaks of the Asian long-horned beetle *Anoplophora glabripennis* in Italy (FACCOLI *et al.*, 2015), Switzerland (FORSTER and WERMELINGER, 2012) and Corsica (EPPO, 2013). Trade of timber, roundwood and other raw forest products also remain a pathway. Several exotic ambrosia beetles (*Ambrosiodmus rubricollis, Cyrtogenius luteus, Xylosandrus crassiusculus*) were thus trapped in Italian ports importing such material (RASSATI *et al.*, 2014). Finally, the real importance of hitchhiking in containers remains difficult to be assessed but it is probably higher than currently considered (e.g., the probable multiple introductions of the western conifer seed bug, *Leptoglossus occidentalis*; LESIEUR, 2014).

SENTINEL PLANTINGS AS AN EARLY WARNING TOOL TO IDENTIFY POTENTIAL INVADERS

Besides pathway analyses, predicting which of the many potentially invasive species are most likely to establish in a particular region or country is mainly done for plant pests through pest risk analyses (PRAs), which are generally based upon expert opinion and thus can lead to misleading prioritizations. Other methods based on modelling (climate envelope, niche), hierarchical cluster analysis (ESCHEN *et al.*, 2014) or self- organizing maps (SOM; WORNER *et al.*, 2013) all have an intrinsic weakness because they are only considering the species known as plant pests in the countries of origin, or the invasive species that have already established in the countries of introduction. Actually, a large proportion of the recent insect invaders throughout the world were not known to cause significant damage in their country of origin because they coevolved there with their hosts and were under control of natural enemies, both conditions being released in the invaded areas (LIEBHOLD *et al.*, 2012). A notorious example is the emerald ash borer (*Agrilus planipennis*) that is relatively harmless in its native Far-Eastern Asia but is now one of the most important tree pests in North America (BARANCHIKOV *et al.*, 2008).

A novel method to detect potential invasive threats consists in sentinel plantings. Growing plants in continents where they are non-native and studying their subsequent colonization by indigenous insects enables to detect potential invaders, even those that are not known anywhere else as pests, before they are introduced into a new continent. Since Asia is currently considered to be the main supplier of forest insect invaders to

Europe (Roques, 2010b), such an experiment was carried out in China during 2007-2011 using seedling plantations of five broadleaved (*Quercus petraea, Q. suber, Q. ilex*, *Fagus sylvatica*, and *Carpinus betulus*) and two conifer species (*Abies alba* and *Cupressus sempervirens*) native to Europe. The trial resulted in a first list of Asian insects potentially threatening European trees. A total of 104 insect species, mostly defoliators, were observed to be capable of switching onto these new hosts (Roques *et al.*, 2015). Among them, a total of 38 species showed more than five colonization events, mostly infesting *Q. petraea*, and 6 of them presented a high likelihood of introduction to Europe. Most of these species were unknown as tree pests, and a majority of the identified species appeared to have switched from agricultural crops and fruit trees rather than from forest trees. Three years was shown to be an appropriate duration for the experiment, since the rate colonization then tended to plateau. Although these results are promising, the use of seedlings generally prevented the rapid colonization of groups like xylophages. Apart from the logistical problems, the identification to species level of the specimens collected was also a major difficulty but the situation could be improved in the future by the development of molecular databases.

A complementary, and more recent, experiment used sentinel nurseries. After having identified the Chinese trees the most exported to Europe during the recent years, experimental nurseries of these species were settled in China without any pest control measures in order to follow the development of insect damage and identify the corresponding species. Five Chinese tree species were considered, including *Buxus microphylla*. A major result was the observation of heavy damage by the box moth, *Cydalima perspectalis,* in all of the sentinel nurseries (Kenis *et al.*, unpublished observation). It is likely that such an observation obtained 10 years ago would have pointed out the threat constituted by the box moth before its first record in Europe in 2006, and therefore would have suggested to implement measures in order to prevent its introduction and subsequent rapid spread in Europe (Bella, 2013).

Botanical gardens and arboreta may also constitute excellent tools in this objective because they exist all over the world and, by collecting and planting large numbers of introduced and native plant species together, they make it possible to survey for possible shifts of phytophagous species from the natives to the exotics. However, these collections often include only a few specimens of each plant species, with a limited genetic variability, and are thus not suitable for statistical analyses.

REFERENCES

Avtzis D.N., Matošević D., 2013 – *Taking Europe by storm: a first insight in the introduction and expansion of* Dryocosmus kuriphilus *in central Europe by mtDNA*. - Šumarski list, 7-8: 387–394.

Baranchikov Y., Mozolevskaya E., Yurchenko G., Kenis M., 2008 – *Occurrence of the emerald ash borer,* Agrilus planipennis *in Russia and its potential impact on European forestry.* - EPPO Bull., 38: 233-238.

Bacon S.J., Bacher S., Aebi A., 2012 – *Gaps in Border Controls Are Related to Quarantine Alien Insect Invasions in Europe*. - PLoS ONE, 7(10): e47689. doi:10.1371/journal.pone.0047689

Bella S., 2013 – *The box tree moth* Cydalima perspectalis *(Walker, 1859) continues to spread in southern Europe: new records for Italy (Lepidoptera Pyraloidea Crambidae).* - Redia, 96: 51–55.

Bella S., Rapisarda C., 2013 – *First record from Greece of the invasive red gum lerp psyllid* Glycaspis brimblecombei *Moore (Hemiptera Psyllidae) and its associated parasitoid* Psyllaephagus bliteus *Riek (Hymenoptera Encyrtidae).* - Redia, 96: 33-35.

Blank S.M., Hara H., Mikulás J., Csóka G., Ciornei C., Constantineanu R., Constantineau C., Roller L., Altenhofer E., Huflejt T., Vétek G., 2010 – Aproceros leucopoda *(Hymenoptera: Argidae): An East Asian pest of elms* (Ulmus *spp.*) *invading Europe*. - European Journal of Entomology, 107: 357-367.

Cocquempot C., Lindelöw A., 2010 – *Longhorn beetles (Coleoptera, Cerambycidae)*. - BioRisk, 4(1): 193-218.

EPPO, 2013 – Anoplophora glabripennis *found in Corsica (FR)***.** - EPPO Reporting Service 07 – 2013: 2013/139

Eschen R., Holmes T., Smith D., Roques A., Santini A., Kenis M., 2014 – *Likelihood of establishment of tree pests and diseases based on their worldwide occurrence as determined by hierarchical cluster analysis*. - Forest Ecology and Management, 315: 103-111.

Eschen R., Roques A., Santini A, 2015 – *Taxonomic dissimilarity in patterns of interception and establishment of alien arthropods, nematodes and pathogens affecting woody plants in Europe.* - Diversity and Distributions, 21: 36-45.

Essl F., Bacher S., Blackburn T.M. *et al.,* 2015 – *Crossing frontiers in tackling pathways of biological invasions.* - BioScience, 65: 769-782.

Faccoli, M., Favaro R., Smith M.T., Wu J., 2015 – *Life history of the Asian longhorn beetle* Anoplophora glabripennis *(Coleoptera Cerambycidae) in southern Europe.* - Agricultural and Forest Entomology, 17: 188-196.

Forster B., Wermelinger B., 2012 – *First records and reproductions of the Asian longhorned beetle,* Anoplophora glabripennis *(Motschulsky) (Coleoptera: Cerambycidae) in Switzerland.* - Forstschutz Aktuell*,* 85: 267-275.

Garonna A.P., Nugnes F., Epinosa B., Griffo R., Benchi D., 2013 – Aromia bungii*, nuovo tarlo asiatico ritrovato in Campania*. - Informatore Agrario, 69: 60-62.

Hurley B.P., Garnas J., Wingfield M.J., Branco M., Richardson D.M., Slippers B., 2016 – *Increasing numbers and intercontinental spread of invasive insects on eucalypts*. - doi:10.1007/s10530-016-1081-x

Katsanevakis S., Deriu I., D'Amico F., Nunes A.L., Sanchez S.P., Crocetta F., Arianoutsou M., Bazos I., Christopoulou A., Curto G., Delipetrou P., Kokkoris Y., Panov V., Rabitsch W., Roques A., Scalera R.,

Shirley S.M., Tricarino E., Vannini A., Zenetos A., Zervou S., Zikos A., Cardoso A.C., 2015 – *European Alien Species Information Network (EASIN): supporting European policies and scientific research*. - Management of Biological Invasions, 6: 147-157

Kenis M., Rabitsch W., Auger-Rozenberg M.-A., Roques A., 2007 – *How can alien species inventories and interception data help us prevent insect invasions?* - Bulletin of Entomological Research, 97 : 489-502.

Lesieur V., 2014 – *Invasion de la punaise américaine* Leptoglossus occidentalis *en Europe: une contribution à la compréhension des invasions fulgurantes*. - PhD Thesis, Orléans University.

Liebhold A., Brockerhoff E., Garrett L., Parke J., Britton K., 2012 – *Live plant imports: the major pathway for the forest insect and pathogen invasions of the US*. - Frontiers in Ecology and the Environment, 10: 135-143.

Mifsud D., Cocquempot C., Mühlethaler R., Wilson M., Streito J.C., 2010 – *Other Hemiptera Sternorrhyncha (Aleyrodidae, Phylloxeroidea, and Psylloidea) and Hemiptera Auchenorrhyncha*. – BioRisk, 4: 511–552.

Rabitsch W., 2010 – *Pathways and vectors of alien arthropods in Europe*. - BioRisk, 4:27-43.

Rassati D., Petrucco Toffolo E., Roques A., Battisti A., Faccoli M., 2014 – *Trapping wood boring beetles in Italian ports:a pilot study*. - Journal of Pest Science, 87 (1): 61-69.

Roques A., 2010a – *Taxonomy, time and geographic patterns*. - BioRisk, 4: 11-26.

Roques A., 2010b – *Alien forest insects in a warmer world and a globalized economy: Impacts of changes in trade, tourism and climate on forest biosecurity*. - New Zealand Journal of Forestry, 40 (suppl): 77-94.

Roques A., Fan J-T., Courtial B., Zhang Y-Z., Yart A., Auger-Rozenberg M-A., Denux O., Kenis M., Baker R., Sun J-H., 2015 – *Planting Sentinel European Trees in Eastern Asia as a Novel Method to Identify Potential Insect Pest Invaders*. - PLoS ONE, 10(5): e0120864. doi:10.1371/journal. pone.0120864

Sauvard D., Branco M., Lakatos F., Faccoli M., Kirkendall L.R., 2010 – *Weevils and Bark Beetles (Coleoptera, Curculionoidea).* - BioRisk, 4: 219–266.

Skuhravá M., Skuhravý V., 2009 – *Species richness of gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) in Europe (West Palaearctic): biogeography and coevolution with host plants*. - Acta Societatis Zoologicae Bohemicae, 73: 87-156.

Smith R.M., Baker R.H.A., Malumphy C.P., Hockland S., Hammon R.P., Ostojá-Starzewski J.C., Collins D.W., 2007 – *Recent non-native invertebrate plant pest establishments in Great Britain: origins, pathways, and trends.* - Agricultural and Forest Entomology, 9: 307-326.

Worner S.P., Gevrey M., Eschen R., Kenis M., Paini D., Singh S. *et al.,* 2013 – *Self-organising maps and other methodologies for pest prioritisation*. - Neobiota, 18: 83-102.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 151-157

VIE D'INGRESSO DEI PATOGENI FORESTALI ESOTICI

ALBERTO SANTINI (*) - LUISA GHELARDINI (*) - PAOLO CAPRETTI (*) (**)

(*) *Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante - C.N.R. Via Madonna del Piano, 10 50019 Sesto fiorentino (FI)*
(**) *Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente DiSPAA, Università di Firenze, Piazzale delle Cascine 28, 50144 Firenze;* e-mail: alberto.santini@cnr.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Pathways of introduction of exotic forest pathogens

Human-driven species expansion has increased tremendously in the last century, as a consequence of the unprecedented growth of international travel and trade, resulting in huge disturbance to ecosystems and severe socio-economic impact. In plants, emerging infectious diseases (EIDs) are linked to biological invasions. More than half of the world plant EIDs in the last few decades have resulted from the arrival of previously unrecognized pathogens. Many studies confirm that the main pathway of entrance of pathogens was the trade of living plants. In particular, the trade of ornamental woody plants plays a role of primary concern.

These observations should serve to focus attention on the risk inherent in the trade of ornamental plants for planting in soil. This pathway is particularly insidious as invasive harmful organisms are not easily detectable in soil, and they are, in addition, almost unknown and neglected in their native ranges. Global trade has given the opportunity to pathogenic microorganisms that have remained geographically isolated to spread far beyond their natural range and to hybridize with related species. This process brought to the birth of new organisms with different/wider host range of those of the parental species. The global use of forest plantations with exotic tree species, using one or few clones of the same species planted in huge areas and intensively managed, has increased the risk of attacks by insects and pathogens, which are introduced accidentally and/or have adapted to new host trees. Lastly climate change enhances the aggressiveness of some pathogens and, on the other hand, stresses the native flora, making it more prone to attacks by pathogens.

Everyday hundreds of pathogens are at European borders ready to spread; Europe should devote more efforts to research for detecting them more accurately and improve its own legislation in order to prevent the establishment of new alien pests and pathogens.

KEY WORDS: Invasive species, exotic pathogens, climate change.

INTRODUZIONE

In medicina sono considerate malattie "emergenti" quelle che appaiono improvvisamente o che si diffondono rapidamente in nuove aree geografiche. Sebbene queste malattie insorgano in maniera improvvisa e inesplicabile, è stato tuttavia possibile individuarne la causa in tutti i casi che ad oggi sono stati studiati approfonditamente (MORSE, 2004). Negli anni novanta del secolo scorso c'è stato un considerevole dibattito sul fatto che queste nuove malattie fossero frutto dell'evoluzione di agenti causali già presenti o fossero invece dovute al trasporto di patogeni (traffico di microbi) fino ad allora confinati a un'area geografica limitata e poi messi in contatto con una nuova popolazione di ospiti, anche a seguito della globalizzazione, (LEDERBERG *et al*., 1992). Secondo i citati Autori (LEDERBERG *et al*., 1992; MORSE, 2004) la comparsa di molte nuove malattie è dovuta ai cambiamenti ambientali di origine antropica, in particolare alle nuove pratiche adottate nelle produzioni agricole e industriali, da cui derivano le anomalie climatiche note come "riscaldamento globale" o, più in generale, "cambiamento climatico" (climate change) (DEATON, 2004).

Altre cause di minore entità sono le mutazioni demografiche e i cambiamenti nelle abitudini delle popolazioni; la maggiore possibilità di viaggiare e di commerciare a livello globale; l'adattamento dei microorganismi a nuovi ambienti e fattori limitanti e, infine, l'abbassamento generale delle misure della sanità pubblica (MORSE, 2004).

Quanto detto si può facilmente applicare, con poche modifiche, anche alle malattie delle piante. In patologia vegetale l'insorgenza di nuove malattie con effetti letali, è strettamente connessa alle "invasioni biologiche". Queste rappresentano nella maggior parte dei casi un fenomeno strettamente legato alle attività umane e ai loro progressi, al mutamento di comportamenti e abitudini, al commercio sempre più su scala globale e al cambiamento climatico.

Molti macro- e micro-organismi si sono diffusi enormemente al di fuori delle aree geografiche d'o-

– Pubblicato marzo 2016

rigine nel corso degli ultimi decenni, in particolare dagli anni novanta del secolo scorso, in conseguenza di un aumento esponenziale del commercio a livello mondiale (HULME, 2009). Queste specie esotiche hanno causato notevoli problemi sia agli ecosistemi naturali che all'economia dei paesi che hanno subito queste vere e proprie "invasioni". Tutti i patogeni delle piante di origine esotica sono stati introdotti in modo non intenzionale e più della metà di essi non erano ritenuti patogeni o, addirittura, non erano noti alla scienza prima che causassero malattie nell'ambiente d'adozione.

I PATOGENI ALIENI INVASIVI

ANDERSON e collaboratori (2004), analizzando il database di Pro-Med, hanno potuto stabilire che in oltre il 50 % dei casi le nuove malattie vegetali sono state causate dall'introduzione di nuovi agenti patogeni in un ecosistema. Questo non significa solamente l'introduzione di organismi totalmente nuovi, ma anche il movimento di nuovi ceppi più virulenti, o la comparsa di ceppi più aggressivi di un agente patogeno già presente in una determinata area.

L'introduzione di patogeni vegetali esotici (o alieni, secondo la letteratura anglosassone) è dovuta principalmente al commercio di prodotti vegetali, piante o parti di esse, quali talee, marze per innesto, astoni, semi e legname (ANDERSON *et al*., 2004). Molti studi più recenti confermano che la via d'ingresso principale, almeno per i patogeni di ambienti naturali, è il commercio internazionale di piante vive (LIEBHOLD *et al*., 2012; SANTINI *et al*., 2013; XU *et al*., 2006). Soprattutto il commercio di piante ornamentali legnose ha un ruolo piuttosto importante e sebbene l'attenzione sia molto cresciuta ed i mezzi di indagine siano molto più precisi, tuttavia il numero delle introduzioni e naturalizzazioni di nuovi patogeni continua a crescere (AUKEMA *et al*. 2010; ESCHEN *et al*. 2015). Il commercio di prodotti legnosi, in passato tradizionale via di diffusione di microrganismi, svolge invece, al giorno d'oggi, un ruolo marginale nella diffusione di patogeni di interesse forestale (SANTINI *et al*., 2013), forse anche grazie all'applicazione delle normativa emessa dalla FAO nel 2005 (ISPM n. 15, International Standard for Phytosanitary Measures), che ha definito le linee guida per mettere in sicurezza questa via d'accesso.

Alcuni patogeni alieni hanno causato danni ingenti ai loro ospiti e, in alcuni casi, ne hanno quasi estinto delle popolazioni, o hanno contribuito a modificare sostanzialmente l'ecosistema in cui questi vivevano (KENIS *et al*., 2009) con conseguenze per tutti gli altri organismi associati, ivi incluso l'essere umano. L'introduzione e la moltiplicazione di patogeni esotici hanno prodotto effetti disastrosi sugli alberi nelle foreste e negli ambienti urbani d'Europa, America e Asia. Le nuove malattie causate da questi patogeni hanno ridotto drasticamente le popolazioni di alcune delle specie arboree più importanti dal punto di vista ecologico e economico, includendo specie da legno o da frutto e specie per uso ornamentale. Ad esempio, il cancro del castagno dovuto a *Cryphonectria parasitica*, un fungo originario dell'Asia orientale che è stato introdotto dal Giappone in Nord America e da qui in Europa alla fine del XIX secolo, in 50 anni ha praticamente distrutto il castagno americano nel suo areale naturale. Il patogeno non attacca le radici, cosicché la pianta è in grado di ricacciare dei rami epicormici al disotto della zona infetta, ma questi nuovi getti vengono disseccati prima che possano raggiungere la maturità sessuale, impedendo la riproduzione. La conseguenza è una riduzione nella generazione di variabilità genetica e nella capacità di adattamento, e un aumento del rischio di estinzione della specie. In Europa l'epidemia è stata mitigata dalla diffusione naturale, e soprattutto artificiale, di virus endosimbionti che hanno sensibilmente ridotto la patogenicità del fungo, tuttavia, quando il virus non era stato ancora individuato e l'epidemia dilagava, molte popolazioni montane che sopravvivevano grazie ad un'economia legata alla coltivazione del castagno, hanno dovuto emigrare verso le città, incrementando l'urbanizzazione e l'abbandono della montagna (ADUA, 1998).

I pini a cinque aghi sono stati distrutti in Asia e Nord America e la loro coltivazione, segnatamente del pino strobo, si è ridotta in Europa a causa della diffusione della ruggine vescicolosa, una malattia dovuta al basidiomicete *Cronartium ribicola* originario della Siberia che si è diffuso in conseguenza all'uso di conifere esotiche a rapido accrescimento per la produzione di alcuni assortimenti legnosi.

Un altro caso esemplare è quello dell'olmo che durante il secolo scorso ha subito due epidemie di grafiosi, una malattia dovuta ad alcuni funghi del genere *Ophiostoma* (*O. ulmi* e *O. novo-ulmi*), probabilmente originari dell'estremo oriente e veicolati, nelle zone di introduzione, da specie diverse di insetti scolitidi, che, nel migliore dei casi, ha ridotto una pianta maestosa al rango di cespuglio in tutta Europa, Nord America e Asia occidentale (MITTEMPERGHER, 1989). Ugualmente devastante per le popolazioni naturali e per le alberature ornamentali di platano, e in relazione con vettori animali, è l'epidemia di *Ceratocystis platani*, che miete vittime in Europa meridionale (SANTINI & CAPRETTI, 2000; TSOPELAS & SOULIOTI, 2014). Più

recentemente l'introduzione di *Hymenoschyphus fraxineus* dall'Asia orientale ha portato ad una diffusa moria del frassino (*Fraxinus excelsior* L.) in tutto il Nord Europa. In Italia il fungo è rimasto confinato alla fascia subalpina per alcuni anni (OGRIS *et al*., 2010), ma recentemente è stato segnalato sugli Appennini settentrionali (LUCHI *et al.*, 2015), ponendo il rischio concreto di una ulteriore espansione della malattia verso le zone più meridionali dell'areale naturale del frassino maggiore che si estende fino alla Sicilia con la sottospecie *Fraxinus excelsior* subp *siciliensis* Ilardi & Raimondo (GIARDINA *et al*., 2007).

FISHER *et al*. (2012) hanno osservato che negli ultimi anni i funghi hanno assunto un'importanza crescente come patogeni di animali e di piante. In particolare i casi di malattie vegetali causate da funghi sono aumentati di 13 volte negli ultimi 10 anni di osservazione. Questa tendenza è confermata anche dall'incremento esponenziale di naturalizzazioni di patogeni forestali invasivi in Europa nell'ultimo trentennio (SANTINI *et al*., 2013). Tuttavia questa tendenza non si riscontra negli Stati Uniti (Aukema *et al*., 2010), dove non si osservano tendenze di alcun tipo per quanto riguarda i patogeni. Questi risultati contrastanti ottenuti sulle opposte sponde dell'Atlantico possono essere dovuti a fattori storici, culturali e politici che distinguono sostanzialmente gli Stati Uniti dall'Unione Europea nella sua interezza o come singoli Stati. Se fino al diciannovesimo secolo il flusso di esportazioni di materiale vegetale e di prodotti industriali (ma anche di popolazioni umane, MAGLEN, 2012), muoveva dall'Europa verso il nord America, dai dati più recenti sulle naturalizzazioni di nuovi patogeni riportati in Fig. 1 si evince che il maggior numero di patogeni invasivi proviene dal Nord America a partire dal primo dopoguerra, quando l'Europa divenne il mercato principale per la vendita dei prodotti degli Stati Uniti, dove il processo di industrializzazione era molto più avanzato.

Con l'inizio del ventesimo secolo, a dimostrazione di una nuova consapevolezza della necessità di impedire ingressi indesiderati di organismi potenzialmente dannosi con il trasporto delle merci, furono emanate norme come il "Quarantine Act" che negli Stati Uniti vige dal 1912 (WATERWORTH & WHITE, 1982), mentre in Europa tuttora non esiste niente di simile. Un'altra differenza significativa tra le due legislazioni riguarda l'importazione di suolo, che è interdetta negli Stati Uniti in ogni forma (così come in Canada, Australia e Nuova Zelanda), mentre in Europa, se da una parte si proibisce l'importazione di suolo come tale, dall'altra si ammette l'importazione di piante in vaso con il loro pane di terra qualora siano certificate prive di agenti nocivi e non mostrino segni o sintomi di infezione (Annex IV in EU 2000). Tuttavia la presenza di suolo rende difficile diagnosticare infezioni allo stadio iniziale

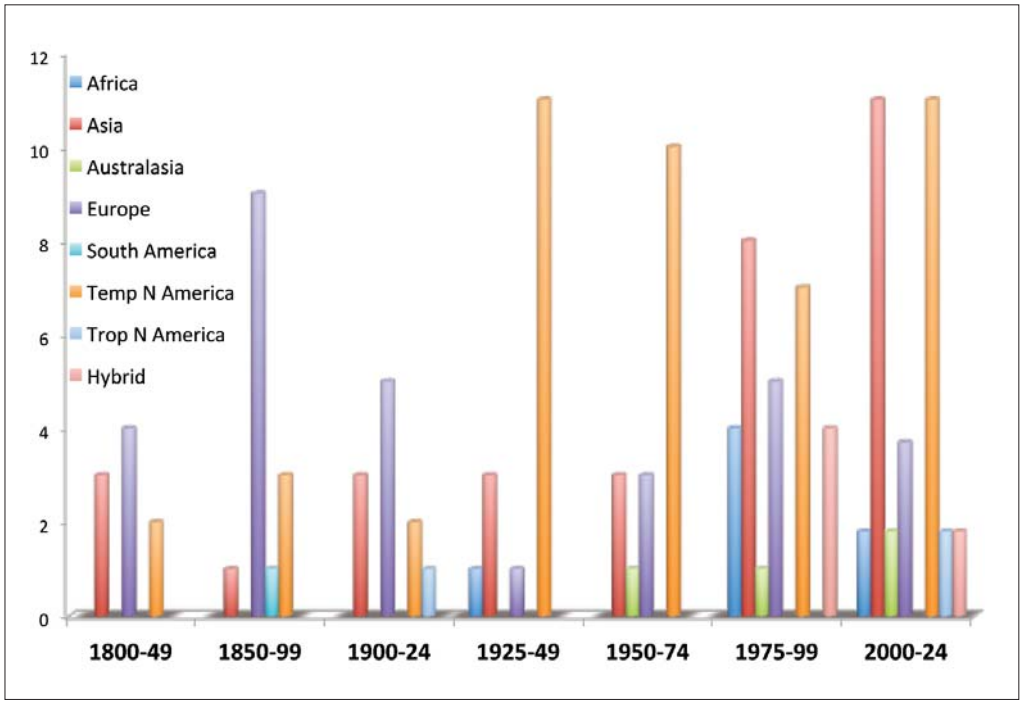


Fig. 1
Cambiamenti temporali nell'origine dei patogeni forestali naturalizzati in Europa (il numero di nuove naturalizzazioni nel periodo 2014-24 è stato calcolato mantenendo il tasso medio annuo di nuove specie registrato dal 2000 al 2014).

e inoltre permette il trasporto di forme di resistenza di microorganismi patogeni latenti nel suolo, che possono svilupparsi e dar luogo ad infezioni una volta che siano arrivati a contatto con un ospite suscettibile. Migliorini *et al.* (2015) hanno dimostrato che molte piante in vaso commerciate diffusamente possono essere infette da numerose specie di *Phytopthora* pur avendo radici e foglie totalmente asintomatiche e, anche quando non siano infette, possono ospitare specie di *Phytopthora* nel suolo. Infatti, uno dei maggiori problemi che si incontrano quando si cerca di impedire l'introduzione di nuovi patogeni fungini è proprio nella loro natura criptica per definizione come nella generalità dei microorganismi. Inoltre la difficoltà di riconoscere le specie vanifica gli sforzi di controllarne la presenza, definirne l'origine e determinarne i possibili ospiti. Il problema si amplifica ulteriormente quando si incontrano patogeni che hanno una lunga fase di latenza, durante la quale le piante infette non mostrano alcun sintomo (Sakalidis *et al.*, 2013). Inoltre, esiste la possibilità che un patogeno possa essere introdotto senza che dia luogo a malattie finché non si verifichi una seconda condizione, che ne promuova l'aggressività o ne faciliti l'invasione, come l'introduzione di un vettore efficiente o l'instaurazione di una nuova associazione con un vettore indigeno. Ad esempio, Battisti e collaboratori (1999) hanno descritto come l'antica associazione tra l'emittero *Orsillus maculatus* e il fungo *Pestalotiopsis funerea*, che consentiva all'insetto un più efficiente sfruttamento dei semi di cipresso, è stata scardinata dall'introduzione del *Seiridium cardinale*, un patogeno di origine nord americana che condivide la stessa nicchia di *P. funerea* ma è molto più aggressivo. Il *S. cardinale* ha soppiantato completamente la specie endemica nell'associazione con l'insetto e si è diffuso in maniera epidemica minacciando la sopravvivenza stessa del cipresso in alcune zone del Mediterraneo. *Bursaphelenchus xylophilus*, il nematode che causa l'avvizzimento del pino (PWN, Pine Wilt Disease) ed è conosciuto in molte parti del mondo, è stato segnalato per la prima volta in Europa nel 1999 (Mota *et al.*, 1999). Molti insetti diversi sono associati a *B. xylophilus* nella sua distribuzione globale. Sousa *et al.* (2001) hanno segnalato una nuova associazione di questo nematode con il cerambice indigeno *Monochamus galloprovincialis* in Portogallo Questa nuova associazione permette una diffusione a livello locale molto maggiore e più efficiente, anche se le possibilità di dispersione dipendono dai fattori che limitano il vettore (Haran *et al.*, 2015). *Dendroctonus valens* è uno scolitide corticicolo originario del nord America, considerato di secondaria importanza nelle zone di origine. Tuttavia, una volta introdotto in Cina negli anni '80 ha prodotto gravi danni e un alto tasso di mortalità nelle pinete, anche grazie alle associazioni che ha instaurato con diversi funghi del genere *Ophiostoma* sia indigeni che introdotti (Lu *et al.*, 2009).

Leptoglossus occidentalis è una cimice dei pini che, introdotta dalle coste occidentali del Nord America in Europa alla fine del XX secolo, ha causato ingenti perdite nella produzione di seme di pino. Recentemente è stata segnalata l'associazione di questa cimice con l'ascomicete *Diplodia sapinea*, un patogeno diffuso a livello mondiale. L'associazione rende la diffusione del patogeno più efficiente ampliando la gamma di ospiti ad altre conifere altrimenti poco attaccate. Inoltre questa associazione permette, insieme al riscaldamento globale, la diffusione di questo patogeno in aree più settentrionali dell'Europa (Luchi *et al.*, 2012).

Piantagioni forestali

Un altro fattore che ha influito notevolmente sulla diffusione di patogeni invasivi e sull'emergenza di patogeni nativi considerati secondari, è stata la piantagione su larga scala di specie forestali per la produzione di legname. Queste piantagioni, costituite soprattutto da pini ed eucalipti, coprono aree piuttosto vaste (attualmente il 7% della superficie forestale mondiale), sono tipicamente monocolture costituite da uno solo o pochi cloni, spesso di specie esotiche, sottoposte a regimi di coltivazione intensiva. Tali piantagioni sono ecosistemi artificiali molto semplificati, paragonabili a colture agrarie, caratterizzati da variabilità genetica ridotta o assente su vaste estensioni e gestiti con una meccanizzazione particolarmente spinta. In queste condizioni l'introduzione di nuovi patogeni o la differenziazione di patogeni esistenti possono produrre danni molto gravi da un punto di vista economico (Wingfield *et al.*, 2015). L'epidemia di Sudden larch death che sta flagellando le piantagioni di larice giapponese (*Larix kaempferi*) nel Regno Unito e in Irlanda è dovuta alla diffusione di *Phytophthora ramorum*, un patogeno di origine sconosciuta noto per aver causato una grave moria di querce sulla costa occidentale degli Stati Uniti (Brasier & Webber, 2010). Le piantagioni di eucalipto sono funestate da molti patogeni, tra i quali *Teratosphaeria nubilosa*, un patogeno di origine australiana di gravità limitata nella regione di indigenato, mostra un'aggressività particolarmente spiccata nelle regioni in cui l'ospite è stato introdotto (Hunter *et al.*, 2009).

Ibridazione

La fine del secolo scorso e gli inizi dell'attuale sono stati caratterizzati dall'identificazione di un numero crescente di patogeni originati per ibridazione. Ancora una volta il commercio globale di piante è il più probabile indiziato per questo fenomeno. Infatti quando un patogeno si naturalizza in una nuova area, entra in contatto con i patogeni endemici, alcuni dei quali possono essere filogeneticamente vicini, soprattutto quando la specie aliena e quella indigena hanno in comune vettori e ospiti. L'ibridazione intraspecifica può avvenire fra specie, generalmente si tratta di una endemica e di una immigrata, che in precedenza erano rimaste geograficamente isolate (Brasier, 2000) e non avevano sviluppato forme di incompatibilità. Numerosi fattori sia genetici che fisici influenzano la possibilità che un evento di ibridazione si verifichi e abbia successo. Fra questi la presenza di barriere genetiche alla fusione di cellule somatiche e/o di gameti, la probabilità di entrare in contatto nell'ambiente, nonché la fitness della progenie ibrida (Brasier, 1995; Brasier, 2000). Qualora queste condizioni siano soddisfatte, si ottiene una progenie ibrida, inizialmente molto variabile e instabile, che può presentare caratteristiche peculiari quali una gamma di ospiti allargata o, addirittura, ospiti completamente diversi rispetto alle specie parentali (Brasier, 2000). Casi di ibridazione sono stati descritti in *Melampsora* (Spiers & Hopcroft, 1994; Newcombe *et al.*, 2000), *Phytophthora* (Éresk *et al.*, 1995; Man in´t Veld *et al.*, 1998; Brasier *et al.*, 1999), *Ophiostoma* (Brasier *et al.*, 1998) and *Heterobasidion* (Garbelotto *et al.*, 1996; Korhonen & Stenlid, 1998; Gonthier *et al.*, 2007).

Cambiamento climatico

Sempre secondo Anderson *et al.* (2004), il cambiamento climatico è la seconda maggiore causa di comparsa di nuove malattie. Chakraborty (2013) avanza l'ipotesi che il cambiamento climatico abbia impatto sul comportamento dei patogeni, come forza evolutiva che impone un adattamento accelerato, o, qualora questo non entri nelle possibilità del microrganismo, alla migrazione verso aree con un clima più adatto. Bebber *et al.* (2013) hanno dimostrato un generale movimento dei patogeni vegetali, e anche di alcune classi di artropodi, verso i poli, confermando l'ipotesi di Chakraborty. Ad esempio l'aumento delle temperature invernali ha permesso a *D. sapinea* di stabilirsi e di causare danni alle foreste di conifere del nord Europa (Hanso & Drenkhan, 2009; Oliva *et al.*, 2013). *Phytophthora cinnamomi*, uno dei patogeni più distruttivi che si conoscano in contesti forestali, è molto sensibile alle gelate (Bergot *et al.*, 2014). Questo microorganismo probabilmente beneficerà dell'aumento delle temperature espandendo il proprio areale da uno a qualche centinaio di chilometri più a nord, andando a colonizzare popolazioni di specie ospite che, finora, erano sfuggite (Bergot *et al.*, 2014).

Il cambiamento climatico, inoltre, è una causa di stress per le piante rendendole maggiormente predisposte agli attacchi dei patogeni. Al contrario i patogeni possono trarne vantaggio, ad esempio Corcobado *et al.* (2014) hanno dimostrato che la siccità, specialmente quando è alternata a periodi di inondazione, aumenta la mortalità dei semenzali di leccio in seguito agli attacchi di *P cinnamomi*.

Conclusioni

Molte attività antropiche favoriscono l'insediamento di nuovi patogeni che danno luogo a malattie prima sconosciute. Tuttavia il commercio internazionale di piante, accompagnato da altri fattori che predispongono gli ecosistemi ad essere maggiormente proni alle infezioni, è la porta di ingresso principale per i patogeni vegetali. E' quindi necessario che l'Unione Europea emani delle normative più stringenti in questo settore, quali, ad esempio, la limitazione del commercio a piante a radice nuda, e finanzi la ricerca di metodi diagnostici che consentano l'individuazione rapida, tempestiva e certa dei patogeni. Queste azioni a protezione delle risorse naturali e della biodiversità negli Stati Membri dell'Unione dovrebbero essere intraprese senza indugio pur tutelando l'interesse dell'industria vivaistica e del commercio. Ogni giorno, infatti, arrivano alle nostre frontiere milioni di piante originarie degli ambienti più diversi, ognuna delle quali è un potenziale vettore di nuovi patogeni che potrebbero trovare in Europa l'ambiente adatto per affermarsi, fino a naturalizzarsi, moltiplicarsi e dar luogo a nuove epidemie con notevoli costi per l'ambiente e per l'economia.

RIASSUNTO

L'introduzione di nuovi patogeni forestali è in continua e costante crescita con conseguenti danni sia a livello ecosistemico, che economico. Questo aumento esponenziale deriva da diversi fattori fra i quali si distingue per importanza il commercio globale di piante vive, soprattutto per scopi ornamentali. Alcuni patogeni introdotti hanno portato, se non all'estinzione di alcune specie, ad una consistente riduzione della loro importanza e, di conseguenza, del loro utilizzo. Ad

esempio, la coltivazione del castagno, su cui era basata l'economia montana dell'Europa meridionale, ha subito una contrazione significativa durante il secondo dopoguerra a causa dell'introduzione di un patogeno fungino asiatico, agente di cancro corticale. Altri fattori possono influire sul successo o meno delle nuove introduzioni, ad esempio la formazione di nuove associazioni con vettori efficienti, oppure il cambio di gestione e di coltivazione dei consorzi forestali, così come un cambio della legislazione nazionale o internazionale inerente il commercio di piante. A quanto detto si aggiunge l'effetto del cambiamento climatico che, variando le condizioni ambientali, può avvantaggiare alcuni patogeni nei confronti di ospiti sempre più proni alle infezioni. L'Unione Europea ha un sistema fitosanitario aperto, questo significa che qualsiasi pianta la cui importazione non sia stata specificatamente disciplinata può essere introdotta. Inoltre è particolarmente carente nella prevenzione e nell'ispezione delle merci, ammettendo, ad esempio, l'importazione di piante in vaso. Vista la crescita costante del problema è necessario che la EU si doti di strumenti legislativi come dell'adozione di nuovi metodi diagnostici che permettano di tutelare gli ecosistemi europei dai danni causati da nuove infezioni e al tempo stesso non danneggino il vivaismo che è una delle principali industrie continentali.

BIBLIOGRAFIA

Adua M., 1998 – *The sweet chestnut throughout history from the miocene to the third millennium*. Proceeding of the Second International Symposium on chestnut Sec. Int. Symp. on Chestnut, Bordeaux (FR). - Acta Hort., 494: 29-36.

Anderson P.K., Cunningham A.A., Patel N.G., Morales F.J., Epstein P.R., Daszak P., 2014 – *Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers*. - Trends in Ecology and Evolution, 19: 535-44. doi: 10.1016/j.tree.2004.07.021.

Aukema J.E., Mccullough D.G., Von Holle B., Liebhold A.M., Britton K., Frankel S.J., 2010 – *Historical Accumulation of Nonindigenous Forest Pests in the Continental United States*. - BioScience, December 60: 886-897.

Battisti A., Roques A., Colombari F., Frigimelica G., Guido M., 1999 – *Efficient Transmission of an Introduced Pathogen Via an Ancient Insect-Fungus Association.* - Naturwissenschaften, 86: 479–483.

Bebber D.P., Ramotowski M.A.T., Gurr S.J., 2013 – *Crop pests and pathogens move polewards in a warming world*. - Nature Climate Change, 3: 985–988.

Bergot M., Cloppet E., Perarnaud V., Deque M., Marcais B., Desprez-Loustau M-L., 2004 – *Simulation of potential range expansion of oak disease caused by* Phytophthora cinnamomi *under climate change*. - Global Change Biology, 10: 1539-52.

Bernardinelli I., Rovato M., Zandigiacomo P., 2006 – *Life history and laboratory rearing of* Leptoglossus occidentalis. In: Forster B, Knizek M, Grodzki WE (eds), Proceedings IUFRO working party 7.03.10 methodology of forest insect and disease survey in central Europe, Gmunden, pp. 225.

Brasier C., Webber J., 2010 – *Sudden larch death*. - Nature, 466: 824-825.

Brasier C M., 1995 – *Episodic selection as a force in fungal microevolution with special reference to clonal speciation and hybrid introgression*. - Canadian Journal of Botany, 73: 1213-1221.

Brasier C.M., Cooke D.E.L., Duncan J.M., 1999 – *Origin of a new* Phytophthora *pathogen through interspecific hybridization.* - Proc. Natl Acad. Sci. USA, 96: 5878-5883

Brasier C.M., Kirk S.A., Pipe N.D., Buck K.W., 1998 – *Rare interspecific hybrids in natural populations of the Dutch elm disease pathogens* Ophiostoma ulmi *and* O. novo-ulmi. - Mycol. Res., 102: 45–57.

Brasier C.M., 2000 – *The rise of hybrid fungi*. - Nature, 405: 134-135.

Chakraborty S., 2013 – *Migrate or evolve options for plant pathogens under climate change.* - Global Change Biology, 19: 1985–2000.

Corcobado T., Cubera E., Juarez E., Moreno G., Solla A., 2014 – *Drought events determine performance of* Quercus ilex *seedlings and increase their susceptibility to* Phytophthora cinnamomi. - Agricultural and Forest Meteorology, 192: 1-8.

Deaton A., 2004 – *Health in an Age of Globalization* (Working paper No. 10669). National Bureau of Economic Research.

Érsek T., English J. T., Schoelz J. E., 1995 – *Creation of species hybrids of* Phytophthora *with modified host ranges by zoospore fusion*. - Phytopathology, 85: 1343-1347.

Eschen R., Roques A., Santini A., 2015 – *Taxonomic dissimilarity in patterns of interception and establishment of alien arthropods, nematodes and pathogens affecting woody plants in Europe.* - Divers Distrib., 21: 36-45.

Fisher M.C., Henk D.A., Briggs C.J., Brownstein J.S., Madoff L.C., Mccraw S.L., Gurr S.J., 2012 – *Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health*. - Nature, 484: 186-194.

Garbelotto M., Ratcliff A., Bruns T. D., Cobb F. W., Otrosina W. J., 1996 – *Use of taxon-specific competitive-priming PCR to study host specificity, hybridization, and intergroup gene flow in intersterility groups of* Heterobasidion annosum. – Phytopathology, 86: 543-551.

Giardina G., Raimondo F.M., Spadaro V., 2007 – *A catalogue of plants growing in Sicily*. - Bocconea, 20: 5-582.

Gonthier P., Nicolotti G., Linzer R., Guglielmo F., Garbelotto M., 2007 – *Invasion of European pine stands by a North American forest pathogen and its hybridization with a native interfertile taxon*. - Molecular Ecology, 16: 1389-1400.

Gross A., Holdenrieder O., Pautasso M., Queloz V., Sieber T.N., 2014 – Hymenoscyphus pseudoalbidus*, the causal agent of European ash dieback*. - Molecular Plant Pathology, 15: 5-21.

Hanso M., Drenkhan R., 2009 – Diplodia pinea *is a new pathogen on Austrian pine (*Pinus nigra*) in Estonia*. - Plant Pathology, 58: 797.

Haran J., Roques A., Bernard A., Robinet C., Roux G., 2015 – *Altitudinal Barrier to the Spread of an Invasive Species: Could the Pyrenean Chain Slow.* - PLoS ONE, 10(7): e0134126. doi:10.1371/journal. pone.0134126.

Hulme P.E., 2009 – *Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization.* - Journal of Applied Ecology, 46: 10-18.

Hunter G.C., Crous P.W., Carnegie A.J., Wingfield M.J., 2009 – Teratosphaeria nubilosa*, a serious leaf disease pathogen of* Eucalyptus *spp. in native and introduced areas*. - Mol. Plant Pathol., 10: 1-14.

Kenis M., Auger-Rozenberg M-A., Roques A., Timms L., Péré C., Cock M.J.W., Settele J., Augustin S., Lopez-Vaamonde C., 2009 – *Ecological effects of invasive alien insects.* - Biol Invasions, 11: 21-45.

Korhonen K. Stenlid J. 1998 – Heterobasidion annosum: *Biology, Ecology, Impact and Control* (eds Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R. & Hüttermann, A.) 43-70 (CAB International, Wallingford).

Lederberg J., *et al.,(*Eds) 1992 – *Emerging Infections: Microbial Threats to Health in the United States.* Institute of Medicine, National Academy Press.

Liebhold A.M., Brockerhoff E. G., Garrett L.J, Parke J.L., Britton K.O, 2012 – *Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of the US*. - Front Ecol. Environ., 10: 135-143.

Lu M., Zou X.D., De Beer, Z.W., Wingfield, M.J., Sun, J.-H., 2009 – *Ophiostomatoid fungi associated with the invasive pine-infesting bark beetle,* Dendroctonus valens, *in China*. - Fungal Diversity, 38: 133-145.

Luchi N., Ghelardini L., Santini A., Migliorini D., Capretti P., 2015 – *First record d of ash dieback caused by* Hymenoscyphus fraxineus *on* Fraxinus excelsior *in the Apennines (Tuscany, Italy).* - Plant Dis., DOI: 10.1094/PDIS-09-15-0975-PDN

Luchi N., Mancini V., Feducci M., Santini A., Capretti P., 2012 – Leptoglossus occidentalis *and* Diplodia pinea: *a new insect-fungus association in Mediterranean forests*. - For. Pathol., 42: 246-251.

Maglen K., 2002 – '*The first line of defence':British quarantine and the port sanitary authorities in the nineteenth century.* - Social history of medicine, 15(3): 413-428.

Man In 'T Veld W.A., Veenbaas-Rijks W.J., Ilieva E., De Cock A.W.A.M., Bonants P.J.M., Pieters R., 1998 – *Natural hybrids of* Phytophthora nicotianae *and* P. cactorum *demonstrated by isozyme analysis and random amplified polymorphic DNA*. - Phytopathology, 88:922-929.

Migliorini D., Ghelardini L., Tondini E., Luchi N., Santini A., 2015 – *The potential of symptomless potted plants for carrying invasive soil-borne plant pathogens*. - Diversity and Distribution, DOI: 10.1111/ddi.12347

Mittempergher L., 1989 – *Il declino dell'olmo: da latifoglia nobile a cespuglio*. - Annali Accademia Italiana Scienze Forestali, 38: 585-609.

Morse S.S., 2004 – *Factors and determinants of disease emergence.* - Rev. sci. tech. Off. int. Epiz., 23: 443-451.

Mota M., Braasch H., Bravo A., Penas A.C., Burgermeister W., Metge K., Sousa E., 1999 – *First report of* Bursaphelenchus xylophilus *in Portugal and in Europe*. - Nematology, 1: 727-734.

Newcombe G., Stirling B., Mcdonald S., Bradshaw H.D. Jr., 2000 – Melampsora × columbiana, *a natural hybrid of* M. medusae and M. occidentalis. - Mycol. Res., 104: 261-274.

Ogris N., Hauptman T.,Jurc D., Floreancig V., Marsich F., Montecchio L., 2010 – *First report of* Chalara fraxinea *on common ash in Italy.* - Plant Dis., 94: 133.

Oliva J., Boberg J., Stenlid J., 2013 – *First report of* Sphaeropsis sapinea *on Scots pine (Pinus sylvestris) and Austrian pine* (Pinus nigra) *in Sweden*. - New disease Reports, 27: 23

Sakalidis M.L., Slippers B., Wingfield B.D., Hardy G.E.St. J., Burgess T.I., 2013 – *The challenge of understanding the origin, pathways and extent of fungal invasions: global populations of* the Neofusicoccum parvum–N. ribis *species complex*. - Diversity and Distributions, 1-11.

Santini A., Ghelardini L., De Pace C., Desprez-Loustau M.L., Capretti P., Chandelier A., Cech T., Chira D., Diamandis S., Gaitniekis T. *et al.,* 2013 – *Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe.* - New Phytologist, 197: 238-250.

Santini A., Capretti P., 2000 – *Analysis of the Italian population of* Ceratocystis fimbriata f. sp. platani *using RAPD and minisatellite markers*. - Plant pathology, 49(4): 461-467.

Sousa E., Bravo M.A., Pires J., Naves P., Penas A.C., Bonifacio L., Mota M.M., 2001 – Bursaphelenchus xylophilus *(Nematoda; Aphelenchoididae) associated with* Monochamus galloprovincialis *(Coleoptera; Cerambycidae) in Portugal*. - Nematology, 3: 89-91.

Spiers A.G., Hopcroft D.H., 1994 – *Comparative studies of the poplar rusts* Melampsora medusae, M. larici-populina *and their interspecific hybrid* M. medusae-populina. - Mycol. Res., 98: 889-903.

Tsopelas P., Soulioti N., 2014 – *Invasion of the fungus* Ceratocystis platani *in Epirus: A potential threat of an environmental disaster in the natural ecosystems of plane trees*. Abstract of a paper presented at the 15th Hellenic Phytopathological Congress (Corfu, GR, 2010-10-05/10). - Phytopathologia Mediterranea, 53: 340-376.

Waterworth H. E., White G. A., 1982 – *Plant introductions and quarantine: the need for both*. - Plant Disease, 66(1): 87-90.

Wingfield M., Brockerhoff E.G., Wingfield, B. D., Slippers B., 2015 – *Planted forest health: The need for a global strategy*. - Science, 349: 832-836.

Xu H., Ding H., Li M., Qiang S, Guo J., Han Z., Huang Z., Sun H., He S., Wu H., Wan F., 2006 – *The distribution and economic losses of alien species invasion to China*. - Biological Invasions, 8: 1495-1500.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 159-165

APPROCCI MECCANICISTICI PER LA VALUTAZIONE E LA GESTIONE DEL RISCHIO DELLE SPECIE INVASIVE

GIANNI GILIOLI (*)

(*) *Dipartimento di Medicina Molecolare e Traslazionale, Università degli Studi di Brescia, Viale Europa, 11 - 25123 Brescia;* e-mail: gianni.gilioli@unibs.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Mechanistic approach for risk assessment and risk management of invasive alien species

In this paper a population-based mechanistic approach to biological invasions is presented. The requirements and the characteristics of this approach are presented in order to show the possible contribution to a full quantitative and scientifically-based risk assessment and risk management for the invasive alien species. Models represent essential components of this population-based mechanistic approach, and the model's characteristics and dynamical properties should be evaluated in relation to the contribution they provided to quantitative risk assessment and management. Two major categories of models, the Ecological Niche Models and the Physiologically-Based Demographic Models, are briefly reviewed and comparatively assessed in their capacity to fulfil these requirements. The characteristics of the Physiologically-Based Demographic Models and the wide spectrum of possibilities that they offer to describe the process of biological invasion and the impact on the cultivated plants and the ecosystems, make these models ideal candidates for the development of decision support systems guiding quantitative and standardized risk assessment and risk management procedures.

KEY WORDS: Ecological Niche Models, Physiologically-Based Demographic Models, quantitative assessment, decision support.

INTRODUZIONE

Le specie invasive sono considerate tra i più importanti fattori strutturali del cambiamento degli ecosistemi (PYŠEK & RICHARDSON, 2010) e possono significativamente alterarne la struttura delle comunità biotiche, la dinamica delle popolazioni, la disponibilità di risorse e le condizioni abiotiche (WHITE & PICKETT, 1985; TURNER, 2010).

Le specie invasive sono anche causa di enormi impatti dal punto di vista economico (PYŠEK *et al*., 2008), sia per il loro effetto come parassiti, ad esempio per il danno che possono produrre alle piante coltivate (OERKE & DEHNE, 2004), sia per gli impatti che possono avere sulla biodiversità e sui servizi degli ecosistemi (EFSA, 2011; GILIOLI *et al*., 2014).

Poiché le invasioni biologiche sono un processo dinamico che avviene, di solito, su larghe scale spaziali e su scale temporali di medio e lungo termine, la disponibilità di strumenti previsionali che consentano di descrivere e prevedere la dinamica spazio-temporale delle invasioni è fondamentale sia nel *risk assessment* (RA) che nel *risk management* (RM) delle specie invasive. Spesso gli approcci quantitativi utilizzati a supporto di questi due ambiti della *risk analysis* di specie invasive, il RA e il RM, hanno seguito obiettivi diversi e sviluppato strumenti metodologici non in grado di far fronte alle necessità di entrambi gli ambiti. Alla luce di questo, gli obiettivi del presente lavoro sono di:

– mostrare in che modo l'ecologia e la dinamica di popolazioni svolgono un ruolo chiave sia nel RA che nel RM e costituiscono una possibile e necessaria cornice teorica unificante per i due ambiti;
– illustrare i vantaggi di una modellistica meccanicistica per la convergenza di approcci quantitativi all'analisi e alla gestione del rischio;
– fornire indicazioni sulle componenti essenziali di una modellistica meccanicistica che supporti, in modo omogeneo e coordinato, tanto il RA quanto il RM.

ECOLOGIA E DINAMICA DI POPOLAZIONI DEL PROCESSO DI INVASIONE BIOLOGICA

Una volta innescato, ogni processo di invasione biologica avviene generalmente in modo continuo nel tempo e interessa una popolazione (insieme di individui conspecifici) in grado di invadere una

– Pubblicato marzo 2016

nuova area a partire dall'area di distribuzione originaria. Le popolazioni responsabili delle invasioni biologiche sono interessate da una sequenza di eventi e processi che ne modificano l'abbondanza, la distribuzione spaziale e le caratteristiche (tratti ecologici) (Fig.1). In tal senso il processo di invasione è un processo di dinamica spazio-temporale di popolazione con implicazioni anche in termini di genetica di popolazioni, data la relativa omogeneità e il ridotto numero di individui che spesso caratterizza la popolazione dei propaguli. Secondo quest'ottica popolazionistica, l'invasione biologica consiste quindi nel seguire nello spazio e nel tempo il destino di una popolazione, tale destino può essere per comodità e per convenzione considerato come una sequenza di fasi discrete così riassumibili (Fig. 1):

– nel primo stadio vi è la popolazione di origine o sorgente, presente nell'area di distribuzione di partenza della specie;
– tramite una serie di processi si ha il distacco dalla popolazione sorgente e il movimento di un individuo o di un gruppo di individui (detti propaguli) che arriva fino all'area di nuova colonizzazione;
– tramite i processi di crescita di popolazione, i propaguli insediatisi nella nuova area possono dare origine a popolazioni stabili, cioè persistenti nel tempo;
– dopo avere creato i primi nuclei stabili, tramite processi di dispersione la popolazione inizia a diffondersi e a espandersi nella nuova area colonizzata in zone dove trova condizioni che permettono di dare origine a popolazioni stabili;
– tramite le interazioni biotiche con gli elementi delle comunità in cui le popolazioni invasive si insediano si determinano le condizioni per un impatto, che può essere sia su organismi coltivati o allevati che sull'ambiente.

Ovviamente questi processi di popolazione sono influenzati, in ogni istante e in ogni luogo, dalle condizioni ambientali abiotiche e dalla presenza di risorse. Questa dinamica spazio-temporale è inoltre regolata anche dalle interazioni biotiche che la popolazione della specie invasiva intrattiene con altre popolazioni, interazioni che globalmente originano le risposte di tipo resistente o resiliente dei sistemi ecologici che sono invasi. Infine, anche le risposte di gestione del rischio poste in essere dall'uomo concorrono a influenzare la dinamica dell'invasione.

Tale approccio popolazionistico e meccanicistico alle invasioni biologiche consente di descriverne la dinamica tramite la dinamica delle popolazioni coinvolte, sulla base del fatto che l'abbondanza e la

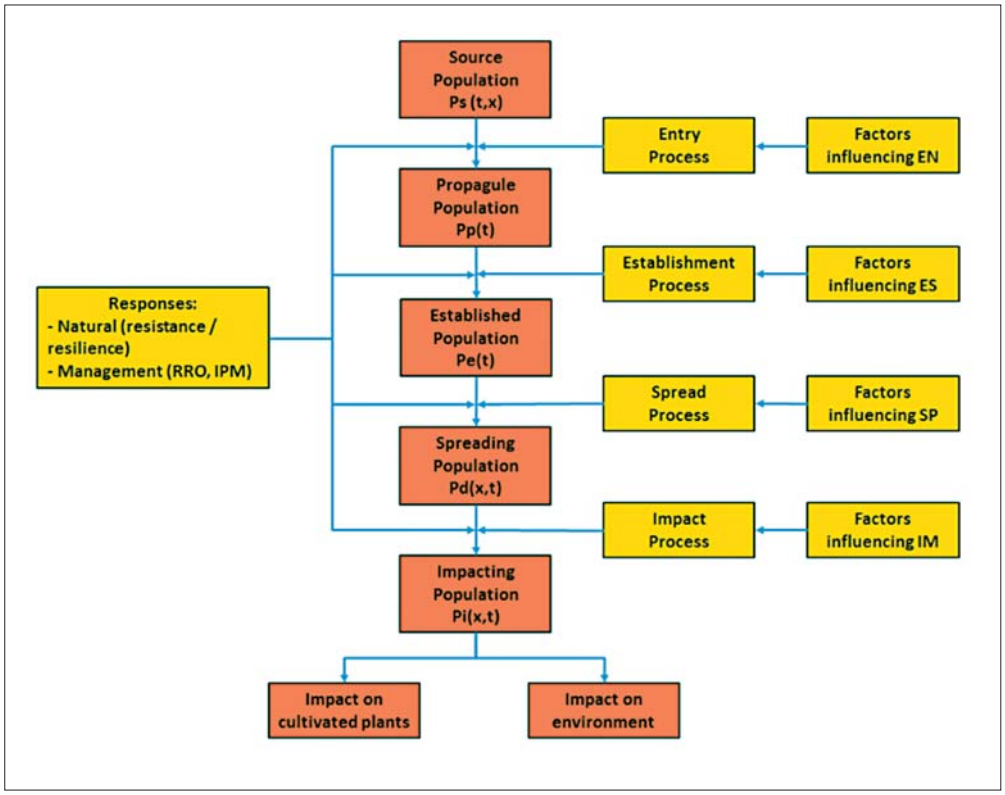


Fig. 1
Diagramma di flusso che rappresenta il processo delle invasioni biologiche in una prospettiva meccanicistica (*process-based*) basata sulla dinamica di popolazioni (EN=*entry*, ES=*establishment*, SP=*spread*, IM=*impact*).

distribuzione di popolazione in un dato step (*i*), tra quelli elencati in precedenza o eventuali partizioni ancora più dettagliate, è derivato dallo stato della popolazione nello step precedente (*i*-1) e dai processi che intervengono nella transizione tra uno step e il successivo (da *i*-1 → *i*). Se l'invasione biologica consiste in un cambiamento nello spazio e nel tempo di una popolazione, essa può essere convenientemente rappresentata da strumenti di modellistica in grado di prevedere lo stato futuro di una popolazione a partire dallo stato presente e da informazioni sulla dinamica spazio-temporale delle condizioni, delle risorse e delle altre popolazioni che si trovano nell'ambiente in cui ha luogo la dinamica invasiva.

L'impatto di una specie invasiva su organismi allevati e sull'ambiente dipende da una serie di caratteristiche di popolazione, in primo luogo la sua abbondanza e quindi l'intensità dell'attacco in termini di attività trofica (nel caso, ad esempio, di fitofagi) o del grado di virulenza nell'espressione dei sintomi a carico dell'ospite (nel caso, ad esempio, di una fitopatia). Questi aspetti e in primo luogo l'abbondanza di popolazione sono i veri e propri driver della pressione che le specie invasive pongono sugli organismi e i sistemi con cui vengono ad impattare. Pertanto, la possibilità di descrivere gli stati futuri di una popolazione di una specie invasiva nei termini dei principali drivers dell'impatto costituisce l'elemento di base per descrivere le possibili conseguenze di una invasione. Se oltre a definire l'impatto di una specie invasiva i modelli usati per la proiezione degli stati futuri consento anche di stimare la probabilità associata agli scenari futuri, tali modelli possono costituire strumenti particolarmente utili e necessari per lo sviluppo di una valutazione del rischio (RA) associato alle invasioni biologiche.

Sin qui si è descritto come approcci popolazionisti e meccanicistici possono consentire di costruire scenari futuri d'invasione a supporto del RA. Si vuole ora mostrare come gli elementi di questo approccio siano fondamentali anche per la gestione del rischio. Il RM, in questo contesto, è un'attività coordinata e finalizzata all'applicazione di misure che hanno lo scopo di minimizzare, monitorare e controllare la probabilità e/o l'impatto delle specie invasive. Approcci tradizionali di gestione del rischio hanno sempre fatto riferimento alla tecnica o al metodo di controllo (*Risk Reducing Options*) e alla loro efficacia, in termini di riduzione di probabilità o impatto di evento/processi dannosi prodotti da specie invasive. Quest'ottica incentrata esclusivamente sulla tecnica o intervento di controllo risulta oggi sempre meno efficace senza la necessaria considerazione degli aspetti dinamici dei sistema su cui si va a operare. In altri termini è sempre più chiaro che la gestione delle specie invasive implica il considerare sistemi complessi, dinamici e non-lineari quali sono i processi dinamici dei sistemi ecologici (Fig. 2). Quindi la valutazione degli interventi di controllo deve basarsi sulla conoscenza della dinamica dell'abbondanza della specie invasiva, tipicamente determinata, in modo non lineare, delle interazioni che la specie intrattiene con componenti abiotiche (risposte fisiologiche) e biotiche (trofiche e competitive) dei sistemi ecologici. Anche gli aspetti spaziali giocano un ruolo fondamentale nelle strategie di controllo (GILIOLI *et al*., 2013a; GILIOLI *et al*., 2013b).

Pertanto il disegno e l'implementazione di schemi di gestione razionale deve considerare interazioni biotiche e abiotiche della popolazione in oggetto così come la spazialità e gli strumenti previsionali (i modelli) sono un elemento chiave per comprendere l'efficacia e valutare in modo comparativo strategie e scenari di controllo (GLIOLI *et al*., 2013a). Come indicato in Fig. 2, i componenti fondamentali dei *decision support system*, che integrano l'analisi di scenari prodotta dai modelli dinamici, sono gli strumenti per la *cost/benefit analysis* e gli algoritmi per il *decision making* (GLIOLI *et al.*, 2013a).

Quindi, per riassumere, anche nel RA, come per il RM, giocano un ruolo fondamentale:

– la catena causale che lega la dinamica di popolazione della specie invasiva, da un lato, alla dinamica ecosistemica e, dall'altro, all'impatto;
– l'uso di strumenti di modellistica in grado di interpretare e descrivere questi nessi causali e di sviluppare scenari futuri basati su conoscenze ecologiche e opportune ipotesi sulle azioni di controllo.

APPROCCI DI MODELLISTICA PER LE SPECIE INVASIVE

Relativamente alle necessità della RA e del RM diversi strumenti di modellistica possono essere considerati. Il panorama dell'offerta è ampio, da modelli statistici basati sulla correlazione tra drivers ambientali della dinamica di popolazioni in territori in cui la specie è presente e aree che possono essere potenzialmente occupate, a modelli dinamici che considerano processi di popolazione guidati dai driver ambientali fino a modelli complessi che considerano anche aspetti della diffusione, oltre a quelli della crescita di popolazione. Due di tali approcci sono qui discussi e comparati allo scopo di valutarli in relazione agli obiettivi del RA e del RM e dei requisiti che la *risk analysis* delle specie invasive deve soddisfare.

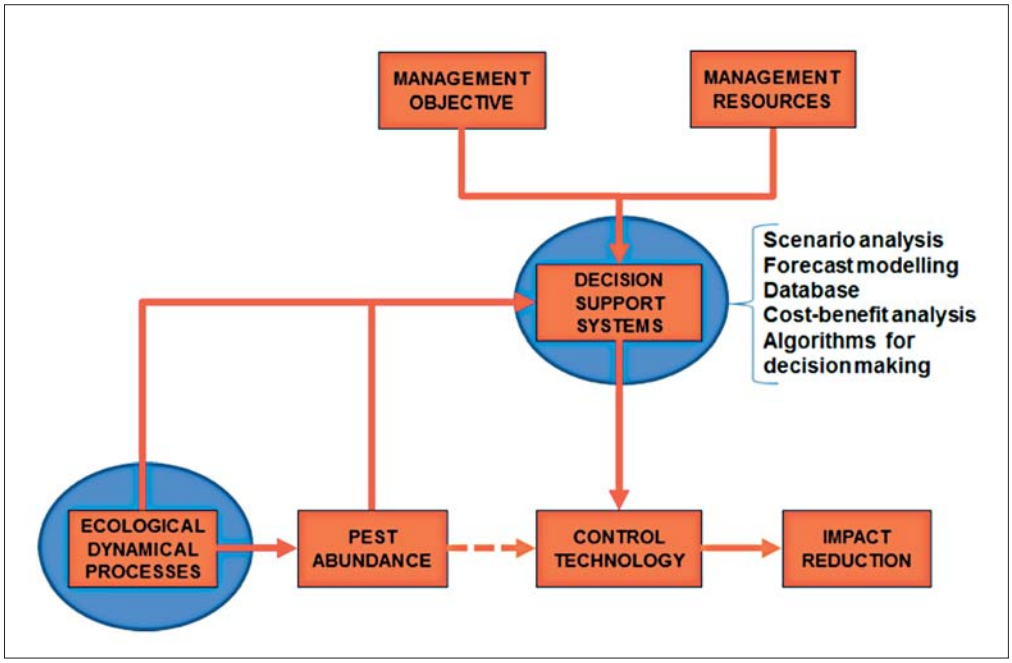


Fig. 2
Diagramma di flusso che rappresenta i principi metodologici alla base del management razionale delle specie invasive basato sulla considerazione dell'importanza dell'abbondanza delle popolazioni e dei fattori che la condizionano per determinare l'impatto e la valutazione comparativa e la scelta di opzioni di management.

Ecological niche models (ENM)

Nonostante la gamma ampia di modelli disponibili, la maggior parte degli approcci di modellistica nell'analisi della specie invasive si riferisce a quelli che sono definiti gli *ecological niche models* (ENM) (GUTIERREZ *et al*., 2010). Questi modelli hanno la finalità d'interpretare la distribuzione di una specie in termini di dimensioni climatiche della nicchia ecologica (WARREN, 2012). L'ipotesi di base è che la distribuzione realizzata o attuale di una specie è il miglior predittore dello stato di equilibro che essa ha con l'ambiente e in particolare con il clima che lo caratterizza. Potendo descrivere le caratteristiche del clima associate alla distribuzione di una specie, è possibile predire la sua distribuzione potenziale sulla base di alcuni indici derivati da variabili di tipo climatologico (SUTHERST *et al*., 2007; PHILLIPS & DUDIK, 2008; GUTIERREZ *et al*., 2010). Si tratta, di fatto, di modelli statistici che descrivono il grado di correlazione tra clima di luoghi diversi più o meno arricchiti di informazioni legati alle risposte fisiologiche della specie (ESTRADA-PEÑA, 2008). Nonostante l'ampia diffusione e impiego, questi modelli correlativi, per loro natura, manifestano una serie d'importanti limitazioni che qui brevemente sono di seguito riassunte e raggruppate in tre categorie fondamentali.

Problemi legati alla generalità ed estrapolabilità. I modelli correlativi si basano su una visione semplificata della biologia di un organismo basata, in pratica, solo sull'ipotesi che la specie sia in equilibrio con alcune dimensioni della nicchia ecologica, quelle abiotiche e climatologiche in particolare. Si ritiene, infatti, che queste siano necessarie e sufficienti (generalità) per spiegare la distribuzione spaziale di una specie sia attuale che potenziale (estrapolabilità). La generalità ed estrapolabilità dell'ipotesi dell'equilibrio con il clima non tengono però conto di possibili variazioni nello spazio e nel tempo delle risposte fisiologiche al clima delle popolazioni. Negli ENM non si tiene nemmeno conto del fatto che le funzioni che descrivono le risposte dei tratti fisiologici, comportamentali e bio-demografici di una specie alle condizioni climatiche hanno una dinamica non lineare e possibili interazioni complesse tra di loro (LAWLER *et al*., 2006 LOZIER *et al*., 2009; SOBERÓN & NAKAMURA, 2009). Esistono poi possibili *bias* nell'interpretazione della distribuzione attuale di una specie, sia per il fatto che questa può essere presente ma non segnalata in alcune aree o essere presente in altre ma solo in modo transitorio e non in modo permanente (SOBERÓN & PETERSON, 2011; GUTIERREZ *et al*., 2014). Tutto questo considerato pone forti vincoli alla generalità e all'estrapolabilità dei risultati ottenuti dagli ENM in termini di distribuzione e abbondanza delle specie invasive ottenute a partire dalle risposte ai dati climatici aggregati.

Problemi legati alla natura statica dei modelli. Un altro aspetto importante è che i modelli correla-

tivi sono modelli statici, descrivono un possibile stato futuro della popolazione (es. la distribuzione potenziale) a partire dalla correlazione tra le condizioni climatiche di luoghi diversi (quello di origine e quello potenzialmente colonizzabile). Questi modelli non considerano i processi che legano la popolazione sorgente con quella responsabile dell'impatto nell'area di nuova colonizzazione (Figura 1). Essi non sono perciò adatti a fare alcun tipo di proiezione sul corso degli eventi futuri della dinamica di popolazione come richiesto nell'approccio popolazionistico alla base del RA e del RM. La variabile di stato che caratterizza questi modelli non è mai un'abbondanza o una prevalenza descritta come il risultato delle interazioni, dipendenti dal tempo e dallo spazio, tra la biologia e fisiologia della specie e l'ambiente (Bradley, 2013). Poiché, come visto, la variazione spazio-temporale dell'abbondanza di popolazione è il principale driver che spiega l'impatto di una specie invasiva, i modelli correlativi non possono essere utilizzati per determinare la variazione spaziale e temporale del rischio associato a tale specie. Ma ancora di più non possono guidare in modo specifico e razionale interventi di RM, poiché la comparazione di scenari necessita di una simulazione della dinamica dei sistemi e dei possibile effetti su questa degli interventi di controllo.

Problemi legati alle interazioni biotiche. I modelli correlativi scontano anche grosse difficoltà in quanto non tengono conto delle interazioni biotiche e del modo in cui queste possono condizionare lo stabilirsi e la diffusione di una specie in un dato territorio, questi modelli non sono infatti in grado di considerare le interazioni trofiche e competitive (van der Putten et al., 2010). L'incapacità di considerare i determinanti biotici nei fenomeni d'invasione pone forti vincoli anche per comprendere meglio quello che può essere il reale impatto di una popolazione tramite il controllo *top-down* o *bottom-up* che può avere su una comunità biotica (inclusa la pianta ospite nel caso si tratti di un parassita delle piante) sia per il controllo che la comunità può esercitare sulla specie invasiva (risposte resistenti e resilienti della comunità che viene invasa). Queste interazioni hanno, in definitiva, anch'esse un'influenza sull'abbondanza della popolazione della specie invasiva e perciò sull'intensità del suo impatto, con implicazioni sia per il RA che per il RM.

Approcci meccanicistici (PBDM)

A fronte delle limitazioni offerte dagli ENM, esistono approcci di modellistica che possono soddisfare le necessità e gli obiettivi che la risk analysis delle specie invasive richiede. Tali approcci fanno riferimento a modelli meccanicistici o basati sui processi (*process-based*) (Holling, 1992; Gilioli & Mariani, 2011). Approcci meccanicistici sono stati considerati come fondamentali per contribuire alla comprensione dei processi che sono coinvolti nella dinamica delle specie invasive e quindi per spiegare i pattern delle invasioni e i trend futuri (Gutierrez *et al*., 2011; Hulme & Barrett, 2013). Tra i modelli meccanicistici quelli demografici basati sulle risposte fisiologiche degli individui alle condizioni e ai fattori ambientali (*Physiologically-Based Demographic Models*, PBDM) offrono, in particolare, una serie d'importanti vantaggi qui brevemente riassunti:

(*i*) sono in grado di selezionare, utilizzare e sintetizzare le conoscenze disponibili relative ai processi fisiologici e biodemografici descritti a livello individuale che sono rilevanti per derivare la dinamica di popolazione (sono quindi approcci pienamente meccanicistici o *process-based* e *bottom-up*) (Gilioli & Mariani, 2011);

(*ii*) tengono conto della dipendenza non-lineare dei tratti comportamentali, fisiologici e biodemografici dalle variabili forzanti ambientali (in primo luogo la temperatura), permettendo quindi di descrivere la dinamica di popolazione in termini realistici e dipendenti, in modo continuo, dal tempo e dallo spazio;

(*iii*) possono considerare gli effetti della variabilità biologica ed ecologica sulla dinamica di popolazione, così come tener conto dell'incertezza che caratterizza in particolare sistemi ecologici complessi a scale spaziali e temporali che sono proprie e necessarie per il RA e il RM di specie invasive (Gutierrez *et al*., 2012);

(*iv*) sono in grado di considerare, utilizzando lo stesso tipo di struttura concettuale e lo stesso tipo di formalismo matematico, i processi a diversi livelli trofici (piante, fitofagi, predatori, parassitoidi) e le conseguenze delle loro interazioni in sistemi trofici e/o epidemiologici (Gutierrez & Baumgaertner, 1984);

(*v*) consentono di ottenere proiezioni molto dettagliate della fenologia e della dinamica a differenti scale spaziali usando come variabile di stato varie misure di abbondanza, come la densità espressa in numero di individui o biomassa per unità di superficie. Questa definizione della variabile di stato è la più ricca di significato per la previsione dell'impatto di una specie e quindi del rischio a questa associato, ma è anche la più utile per il *decision support* alla scelta delle *risk reducing options*

nel RM di specie invasive (PASQUALI et al., 2015) cosi come nell'IPM dei parassiti della piante (GUTIERREZ & PONTI, 2013);

(*vi*) consentono l'esplorazione di scenari complessi in cui non è possibile derivare conclusioni semplici (lineari) sulla base della considerazioni di variabili o parametri guida come fanno invece gli ENM. Quali esempi si possono considerare la valutazione comparativa di scenari di management basata sulla applicazione di tattiche e strategie a diverse scale spaziali e la valutazione dell'impatto su larga scala dei driver del cambiamento degli ecosistemi come il cambiamento climatico (GILIOLI & MARIANI, 2011; GILIOLI *et al*., 2014b; GUTIERREZ & PONTI, 2013);

(*vii*) possono integrare nella stessa struttura concettuale anche aspetti della dinamica spaziale, associando alla crescita di popolazione anche la diffusione locale continua e la dispersione a lunga distanza sia di origine naturale che assistita dall'uomo (dispersione stratificata). La questione è stata esplorata, per esempio, da GILIOLI *et al*. (2013b) in riferimento alla dinamica d'invasione dell'Europa del cinipide galligeno del castagno.

CONCLUSIONI

Il danno causato dalle specie invasive è legato a una serie di condizioni che sono, almeno parzialmente, prevedibili (Leung *et al*., 2012). Proprio questa prevedibilità è, di fatto, alla base della possibilità di sviluppare analisi quantitative che supportino le procedure di RA e RM. In particolare la conoscenza della distribuzione potenziale dell'abbondanza delle specie invasive, così come la sua variazione nel tempo e nello spazio, sono le principali informazioni che sono necessarie nelle due procedure (GUTIERREZ *et al*., 2011).

La capacità degli approcci meccanicistici in generale e dei PBDM in particolare di fare sintesi e organizzare le conoscenze sulla biologia di una specie e sulla sua ecologia (le interazioni) sono fondamentali per generare conoscenza sugli stati futuri di un sistema e quindi per descrivere le modalità e le probabilità d'insediamento e della diffusione di una specie invasiva. Questi approcci alla modellistica, per quanto apparentemente più complessi e costosi nello sviluppo degli ENM, sono in grado di produrre un'economia importante nelle attività di supporto alla valutazione del rischio e alla presa delle decisioni. Questo per la possibilità che i PBDM hanno di guidare l'acquisizione di dati, la loro organizzazione e la generazione di conoscenza necessarie per il RA e il RM, tra cui l'analisi d'ingresso, insediamento e diffusione delle specie invasive, la valutazione comparativa delle opzioni e delle strategie di controllo, l'analisi dell'impatto sulle piante coltivate e sull'ambiente.

I PBDM possono quindi essere considerati come un paradigma unitario per la modellistica delle specie invasive particolarmente utile per la definizione di una procedura basata scientificamente per il RA e RM quantitativi. Le caratteristiche dei PBDM e l'ampio spettro di possibilità che questi offrono rendono tali modelli i candidati ideali per lo sviluppo di sistemi a supporto delle decisioni nel RA e nel RM basati su procedure sempre più standardizzate e quantitative.

RIASSUNTO

In questo lavoro è presentato un approccio meccanicistico basato sulla dinamica di popolazioni per l'analisi delle invasioni biologiche. I requisiti e le caratteristiche di questo approccio sono discussi al fine di mostrare il contributo che esso può dare alla valutazione quantitativa e scientificamente fondata del rischio posto dalle specie invasive. La valutazione è condotta anche nei confronti della gestione di tale rischio. I modelli rappresentano componenti essenziali di questo approccio. Le caratteristiche dei modelli e le loro proprietà dinamiche devono essere valutati in relazione al contributo che i modelli possono fornire alla valutazione quantitativa del rischio e alla sua gestione. Due ampie categorie di modelli, i modelli di nicchia ecologica e i modelli demografici basati sulle risposte fisiologiche degli individui, sono brevemente esaminati e valutati comparativamente nella loro capacità di soddisfare questi requisiti. Le caratteristiche dei modelli demografici basati sulla fisiologia e l'ampio spettro di possibilità che essi offrono per descrivere il processo d'invasione biologica e l'impatto sulle piante coltivate e gli ecosistemi, rendono questi modelli i candidati ideali per lo sviluppo di sistemi di supporto alle decisioni che guidino la standardizzazione di procedure quantitative di valutazione e gestione del rischio.

BIBLIOGRAFIA

BRADLEY B., 2013 - *Distribution models of invasive plants over-estimate potential impact*. - Biol. Invas., 15(7): 1417-1429.

EFSA PANEL ON PLANT HEALTH (PLH), 2011 - *Guidance on the environmental risk assessment of plant pests*. EFSA Journal 2011; 9(12): 2460. [121 pp.] Available online: http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/2460.pdf

ESTRADA-PEÑA A., 2008 - *Climate, niche, ticks, and models: what they are and how we should interpret them*. – Parasitol. Res., 103: 87-95.

GILIOLI G., MARIANI L., 2011 - *Sensitivity of* Anopheles gambiae *population dynamics to meteo-hydrological variability: a mechanistic approach*. - Malaria J., 10:294.

GILIOLI G., BODINI A., BAUMGÄRTNER J., 2013a - *Metapopulation modelling and management strategies evaluation. An application to the Pine processionary moth*. – Ecol. Modell. 260: 1-10.

Gilioli G., Pasquali S., Riolo F., Tramontini S. 2013b - *Modelling local and long-distance dispersal of invasive chestnut gall wasp in Europe*. - Ecol. Modell., 263: 281–290.

Gilioli G., Schrader G., Baker R.H.A., Ceglarska E., Kertész V.K., Lövei G.L., Navajas M., Rossi V., Tramontini S., van Lenteren J.C., 2014a - *Ecosystem services approach for the environmental risk assessment of invasive alien species*. – Sci. Total Environ., 468-469 (2014): 478–486.

Gilioli G., Pasquali S., Parisi S., Winter S., 2014b - *Modelling the potential distribution of* Bemisia tabaci *in Europe in light of the climate change scenario*. - Pest Manag. Sci., 70: 1611-1623.

Gutierrez A.P., Baumgaertner J.U., 1984 - *Multitrophic models of predator-prey energetics: II. A realistic model of plant-herbivore-parasitoid-predator interactions*. - Can. Entomol., 116(7): 933-949.

Gutierrez A.P., Ponti L., Gilioli G., 2010 - *Climate Change Effects on Plant-Pest-Natural Enemy Interactions*. In: Hillel D., Rosenzweig C. (Eds), Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation. World Scientific Publishing, Singapore, pp. 209-237.

Gutierrez A.P., Ponti L., Cooper M.L., Gilioli G., Baumgärtner J., Duso, C., 2012 - *Prospective analysis of the invasive potential of the European grapevine moth* Lobesia botrana *(De. & Schiff.) in California*. - Agr. Forest Entomol., 14: 225-238.

Gutierrez A.P., Ponti L., 2013 - *Deconstructing the control of the spotted alfalfa aphid* Therioaphis maculata. - Agr. Forest Entomol., 15(3): 272-284.

Gutierrez A.P., Ponti L., Gilioli G., 2014 - *Comments on the concept of ultra-low, cryptic tropical fruit fly populations*. – P. Roy. Soc. B-Biol Sci. 281 (1782): 20132825.

Holling C.S., 1992 - *Cross-Scale Morphology, Geometry, and Dynamics of Ecosystems*. – Ecol. Monogr., 62: 447-502.

Hulme P.E., Barrett S.C H., 2013 - *Integrating trait- and niche-based approaches to assess contemporary evolution in alien plant species*. – J. Ecol., 101 (1): 68-77.

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.

Leung B., Roura-Pascual N., Bacher S. et al., 2012 - *TEASIng apart alien species risk assessments: a framework for best practices*. – Ecol. Lett., 15(12): 1475-1493.

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 (9): 1623-1627.

Oerke E.C., Dehne H.W., 2004 - *Safeguarding production—losses in major crops and the role of crop protection*. - Crop Prot., 23 (4): 275-285.

Phillips S. J., Dudik M., 2008 - *Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation*. – Ecography, 31 (2): 161-175.

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 (5): 237-244.

Pyšek P., Richardson D.M., 2010 - *Invasive species, environmental change and management, and health*. – Annu. Rev. Env. Resour., 35: 25-55.

Soberón J., Nakamura M., 2009 - *Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions*. P. Natl. Acad. Sci. USA,106 (Supplement 2): 19644-19650.

Soberón J., Peterson A.T., 2011 - *Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note*. – Rev. Mex. Biodivers., 82 (4): 1384-1355.

Warren D.L., 2012 - *In defense of 'niche modeling'*. - Trends Ecol. Evol., 27 (9): 497-500.

White P.S., Pickett S.T.A., 1985 - The ecology of natural disturbance and patch dynamics, ed. Pickett S.T.A. and White P,S. Orlando, FL: Academic Press.

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. - P. Roy. Soc. B-Biol Sci., 365 (1549): 2025-2034.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 167-175

RISULTATI DEGLI INTERVENTI DI ERADICAZIONE DI *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* IN SARDEGNA

ANDREA LENTINI (*) - ROBERTO MANNU (*) - PIETRO LUCIANO (*)

(*) *Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Sassari, viale Italia n. 39, 07100 Sassari, Italia;* e-mail: lentini@uniss.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Results of the eradication program against Thaumetopoea pityocampa *in Sardinia*

In 2011, an eradication program was initiated in Sardinia in order to prevent the spread of the pine processionary moth, *Thaumetopoea pityocampa*, which was first recorded in the island in spring 2006. The main components of the program were: 1) accurate definition/estimation of the pest spread by a network of pheromone traps; 2) detection and mapping of pine trees and pine forests within the infested area; 3) detection of infested trees through visual inspection; 4) ground insecticides application and physical nest removal on isolated trees; 5) aerial application of *Bacillus thuringiensis kurstaki* on pine forests; 6) technical and scientific support to develop the program and to evaluate progress towards successful eradication. The control strategies used were effective and it is reasonable to assume that the pine processionary moth will be eradicated within a few years.

KEY WORDS: Pine processionary moth, *Bacillus thuringiensis*, aerial spray.

INTRODUZIONE

La processionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera, Notodontidae) è solo una delle oramai innumerevoli specie alloctone che negli ultimi decenni hanno invaso la Sardegna complicando notevolmente la gestione fitosanitaria delle colture agrarie e dei popolamenti forestali (PANTALEONI *et al*., 2012). L'areale di diffusione di *T. pityocampa* comprendeva tutto il Bacino del Mediterraneo con l'esclusione della Sardegna, dove l'estrema localizzazione delle pinete non aveva mai permesso uno stabile insediamento della specie. Infatti, le pinete ritenute autoctone sono presenti nel sud della Sardegna, lungo le coste del Sulcis Iglesiente con pino d'Aleppo e nelle aree dunali di Portixeddu col pino domestico, e nel nord Sardegna, a Monte Pino presso Olbia, col pino marittimo (CAMARDA e VALSECCHI, 2008; AA.VV., 2006). Solo a partire dagli inizi degli anni '30 del 1900 sono state impiantate pinete litoranee a *Pinus pinea*, con lo scopo di consolidare le dune costiere e di difendere le colture agrarie dai venti marini, mentre nelle aree interne dell'Isola dagli anni '70 in poi sono stati realizzati impianti per la produzione di cellulosa impiegando specie alloctone a rapido accrescimento, prevalentemente *P. radiata* e *P. nigra*. Attualmente si stima che le fustaie di pino in monocoltura occupino 38.565 ha mentre i boschi misti di conifere e latifoglie si estendano per 44.268 ha (AA.VV., 2006).

La presenza di nidi di processionaria del pino è stata segnalata per la prima volta in Sardegna solo nel marzo del 2006 in tre piccole pinete periurbane ubicate in agro di Sanluri (provincia del Medio Campidano). Si è però ipotizzato, vista l'intensità degli attacchi, che l'introduzione della specie sia avvenuta almeno 1-2 anni prima della segnalazione (LUCIANO *et al*., 2007). Analisi molecolari sul DNA mitocondriale di adulti catturati a trappole a feromoni hanno dimostrato come la popolazione sarda di processionaria sia caratterizzata da un aplotipo presente in Toscana. Ciò ha fatto ipotizzare che l'insetto possa essere pervenuto in Sardegna con l'importazione di piante in vaso dai vivai toscani (KERDELHUÈ *et al*., 2014). La comparsa di questa specie ha destato forti preoccupazioni soprattutto per i problemi di ordine igienico-sanitario determinati dalla presenza delle sue larve munite di peli urticanti. Infatti, la segnalazione del primo focolaio è avvenuta in seguito al ricovero ospedaliero di alcune persone che manifestavano gravi problemi respiratori dopo essersi incautamente appropinquate alle larve in processione di ninfosi.

L'amministrazione Provinciale del Medio Campidano ha chiesto da subito la collaborazione dell'Università di Sassari per valutare il grado di diffusione della specie e acquisire elementi utili sul ciclo biologico di questo insetto nel nuovo ambiente d'introduzione nonché ad intraprendere tutte le misure di lotta più utili a preservare la sanità dei cittadini. Nel periodo 2006-2010 gli interventi

– Pubblicato marzo 2016

sono stati sostanzialmente limitati a contenere la popolazione del lepidottero con l'individuazione e l'asportazione dei nidi larvali e con trattamenti insetticidi sui pini isolati. Solo alla fine del 2010 l'Amministrazione regionale ha finanziato con 445 mila euro un piano di eradicazione della processionaria dalla Sardegna. In realtà, grazie al coinvolgimento nelle singole linee d'intervento di personale strutturato in diversi enti pubblici (Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale (CFVA), Ente Foreste della Regione Sardegna, Province del Medio Campidano e di Olbia-Tempio), è stato possibile portare avanti il piano per 5 anni senza ulteriori finanziamenti.

Il piano di eradicazione

Il "Programma triennale di eradicazione della Processionaria del pino dalla Regione Sardegna" è stato approvato dalla Giunta Regionale con delibera n. 47/49 del 30.12.2010 e ha individuato nella Provincia del Medio Campidano il soggetto delegato alla sua attuazione.

Le linee d'intervento previste dal programma sono state:

1. attività di ricerca e consulenza tecnico-scientifica;
2. formazione del personale con compiti di monitoraggio e di lotta;
3. informazione dei cittadini residenti nell'area infestata circa la pericolosità della specie e loro coinvolgimento nella segnalazione della presenza di nidi;
4. delimitazione dell'area di diffusione con una rete di trappole a feromoni per la cattura degli adulti;
5. mappatura della distribuzione dei pini nell'area di potenziale espansione della processionaria;
6. individuazione dei focolai d'infestazione larvale;
7. interventi da terra di lotta meccanica e chimica su pini isolati;
8. interventi di lotta microbiologica e biotecnica sulle pinete.

Attività di ricerca e consulenza tecnico scientifica

Per l'attuazione del piano di eradicazione della processionaria è stato previsto che l'Amministrazione Provinciale del Medio Campidano si avvalesse dell'attività di ricerca e della consulenza tecnico-scientifica del Dipartimento di Agraria dell'Università di Sassari.

La ricerca è stata indirizzata prevalentemente allo studio della biologia e della dinamica di popolazione dell'insetto nella sua nuova area di diffusione ma ha riguardato anche la valutazione dell'efficacia dei mezzi di lotta impiegati nella campagna di eradicazione.

Formazione del personale coinvolto nel piano di monitoraggio e di lotta

Docenti e personale qualificato del Dipartimento di Agraria hanno realizzato incontri formativi destinati a tutti i soggetti coinvolti nel programma di eradicazione. In tali incontri sono state fornite le informazioni sull'insetto bersaglio e sugli strumenti da impiegarsi nel piano di eradicazione. In particolare le lezioni teoriche hanno riguardato la bioetologia della processionaria e i mezzi di lotta più efficaci nel contenimento delle infestazioni. È stato illustrato il piano di eradicazione con una descrizione dettagliata delle azioni attribuite al personale coinvolto nel progetto. Sono state inoltre effettuate escursioni di campo finalizzate al riconoscimento degli stadi di sviluppo dell'insetto e all'individuazione dei nidi larvali nonché alla corretta georeferenziazione dei focolai d'infestazione.

Informazione dei cittadini

Nella consapevolezza che una completa eradicazione della processionaria potesse essere ottenuta solo con il coinvolgimento delle popolazioni residenti nei Comuni interessati dall'infestazione, i cittadini sono stati informati sui rischi per la salute pubblica e invitati a collaborare all'individuazione dei focolai d'infestazione. Quest'azione è stata sviluppata dal personale della Provincia col supporto tecnico scientifico dell'Università di Sassari ed è consistita nella preparazione e distribuzione di manifesti e dépliant in cui sono state riportate le informazioni più utili sulla processionaria del pino e gli indirizzi da contattare in caso di rinvenimento di focolai d'infestazione. Nelle scuole ricadenti nell'area a rischio di diffusione del lepidottero sono state tenute lezioni divulgative sul piano di eradicazione e sull'importanza della collaborazione soprattutto dei più giovani.

Delimitazione dell'area di diffusione con una rete di trappole a feromoni

La delimitazione dell'area a rischio d'infestazione è stata curata dall'Università di Sassari con la realizzazione di una rete di trappole a capannina innescate col feromone sessuale. Dal 2006 al 2010 la rete è stata costituita da 60 stazioni di cattura ma a partire dal 2011 essa è stata infitta posizionando le trappole a distanza di circa 1 km l'una dall'altra. La copertura della rete stradale e la distribuzione spaziale dei pini del Medio Campidano ha permesso di stendere una rete di 387 trappole, sufficiente agli scopi prefissati nel piano di eradicazione. Le trappole sono state esposte in campo a partire da fine luglio e le catture sono state conteggiate nella prima metà di settembre.

Mappatura della distribuzione dei pini nell'area di diffusione della processionaria

L'individuazione e la localizzazione di tutte le piante di pino presenti nel territorio a rischio di diffusione del fitofago è stata curata principalmente dal personale del CFVA ed è stata implementata dal personale della Provincia del Medio Campidano durante le fasi di monitoraggio delle infestazioni larvali. Per la mappatura il CFVA ha impiegato 10 squadre di due persone per turno che hanno individuato oltre 1500 siti nei quali vegetano pini, in numero variabile da 1 a 30 unità, e 200 pinete per una superficie complessiva di circa 400 ettari. Questa attività è terminata nella prima metà di marzo 2011 e il suo esito è stato trasferito agli altri Enti interessati su supporto elettronico contenente i dati in formato shapefiles con sistema di riferimento WGS84. Nella figura 1 si riporta, a titolo di esempio, una porzione del territorio di Sanluri e di Furtei con l'indicazione dei pini e delle pinete presenti.

Individuazione dei focolai d'infestazione larvale

Con l'ausilio delle carte di distribuzione, si è proceduto, con l'osservazione diretta da terra, a rilevare l'eventuale presenza di nidi larvali su tutti i pini mappati. Per questa operazione, particolarmente dispendiosa in termini di tempo, sono stati impiegati numerosi rilevatori, dipendenti di diversi Enti regionali, quali il CFVA e l'Ente Foreste, e personale appositamente istruito e contrattualizzato. Infatti, la finestra temporale utile per compiere tale monitoraggio e consentire anche lo svolgimento degli interventi di lotta era piuttosto ristretta e pari a poco più di 2 mesi; infatti, nelle condizioni climatiche del Medio Campidano, i nidi definitivi sono risultati presenti a partire da dicembre e le processioni di ninfosi si sono verificate a gennaio-febbraio. Pertanto, escluse le giornate festive e quelle in cui non è possibile lavorare per eventuali eventi meteorici, i giorni utili per il monitoraggio larvale e le applicazioni di lotta sono risultati in genere non molto numerosi.

Interventi di lotta meccanica e chimica da terra su pini isolati

Il piano di eradicazione ha previsto l'integrazione di diverse tecniche di lotta. Nel periodo autun-

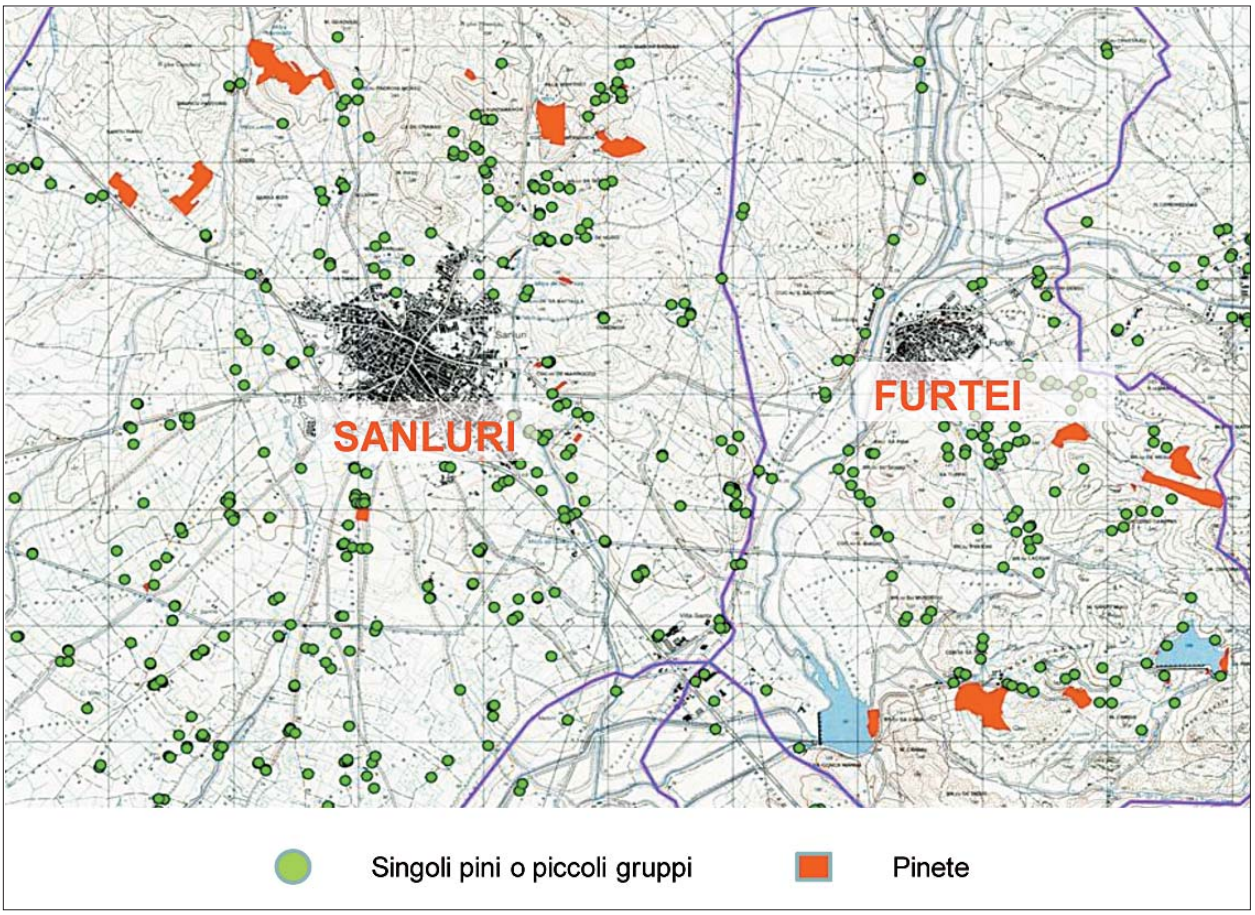


Fig. 1
Porzione del territorio comunale di Sanluri e Furtei con la distribuzione dei pini e delle pinete georeferenziate dal Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Sardegna.

nale e invernale è stata condotta la lotta meccanica con l'asportazione dei nidi larvali, eseguita con l'ausilio di appositi svettatoi impiegati da terra e di macchine fornite di cestelli elevatori per portare l'operatore all'altezza della chioma. I nidi rimossi sono stati poi bruciati sul posto da disinfestatori della Provincia forniti di appositi dispositivi di protezione individuale. I pini particolarmente alti e con nidi non raggiungibili con svettatoi o cestelli elevatori sono stati trattati con piretroidi impiegando adeguate macchine irroratrici.

Interventi di lotta microbiologica e biotecnica sulle pinete

In tutte le pinete prossime ai siti di cattura di adulti si è fatto ricorso, durante il periodo estivo, a un intervento di lotta biotecnica con l'esposizione di 6-8 trappole a feromoni per ettaro per la cattura massale dei maschi. Inoltre, durante il periodo autunnale, nelle aree pinetate, ricadenti in un raggio di 3 km dalle trappole a feromoni che nell'estate precedente avevano catturato almeno un maschio, si sono effettuati trattamenti aerei con l'impiego di prodotti microbiologici a base di *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk). Nel 2011 sono stati così delimitati 400 ettari di pinete; tuttavia a scopo preventivo si è ritenuto utile trattare anche una fascia di altri 100 ettari di una grande pineta prospiciente l'area precedentemente circoscritta. Nel 2012, seguendo lo stesso criterio, sono stati trattati col mezzo aereo solo 250 ettari di pinete. In tutti i casi sono stati effettuati due trattamenti a distanza di circa 2 settimane (24 ottobre e 10 novembre 2011, 7 e 19 dicembre 2012). Il prodotto utilizzato è stato il Foray 48B della Sumitomo; il formulato è stato irrorato tal quale ad ultra basso volume alla dose di 4 litri per ettaro nel 2011 mentre nel 2012, quando si è intervenuti su larve di maggiore età, la dose è stata raddoppiata.

Risultati

Efficacia del piano di eradicazione

Gli interventi di lotta praticati hanno determinato una riduzione progressiva sia del numero di nidi larvali rinvenuti durante i rilievi diretti di campo sia del numero complessivo di maschi catturati dalla rete di trappole. Il numero di nidi larvali è passato da 674 dell'anno d'inizio del programma a 0 nidi nell'autunno-inverno del 2014-15 (Fig. 2). Anche se si ritiene che tale ultimo dato non sia completamente affidabile, l'efficacia degli interventi eseguiti è stata confermata, certamente in modo più obiettivo, dalla notevole contrazione delle catture di maschi alle trappole della rete di monitoraggio, passate da 361 del 2011 a sole 20 nel 2014 (Fig. 3).

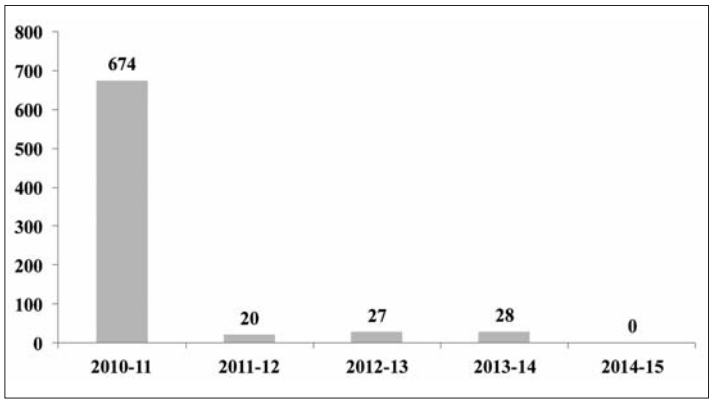


Fig. 2
Numero totale di nidi rilevati nel periodo dicembre-marzo durante il monitoraggio dei focolai larvali nel territorio del Medio Campidano.

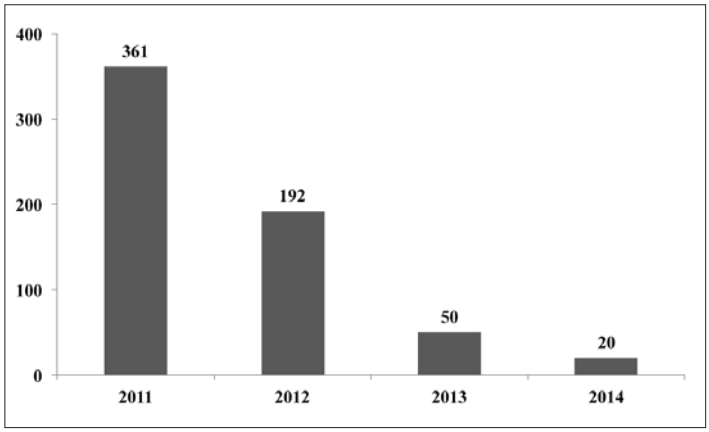


Fig. 3
Numero totale di maschi catturati nella rete di trappole impiegate per il monitoraggio del volo degli adulti nel territorio del Medio Campidano.

Particolarmente efficaci sono risultati anche i trattamenti microbiologici praticati sulle pinete. Come già detto, essi sono stati effettuati solo nel 2011 e 2012 poiché l'impiego massale delle trappole a feromoni all'interno delle pinete sottoposte a intervento insetticida ha dimostrato una progressiva riduzione della presenza di adulti fino all'azzeramento delle catture nel 2013 (Fig. 4), facendo quindi ritenere non necessario in quest'anno ricorrere all'intervento aereo.

I risultati complessivi del piano di lotta si possono compiutamente apprezzare attraverso le carte di diffusione della specie, ottenute con l'interpolazione spaziale (metodo IDW in ambito GIS) dei dati di cattura dei maschi (Fig. 5). Infatti, a partire da un'area di diffusione estesa nel 2010 circa 400 km^2, si è assistito alla progressiva scomparsa della processionaria da interi territori. Nel 2013 le catture hanno interessato solamente una ristretta area dove è stato individuato un limitato nucleo di pini infestati all'interno di una pineta sfuggita alla mappatura iniziale e pertanto non disinfestata negli anni precedenti. Nel 2014, le catture di 20 adulti sono risultate concentrate in prossimità della stessa pineta, che tuttavia all'inizio dell'anno era stata abbondantemente disinfestata con l'irrorazione da terra d'insetticidi chimici. Le catture residue sono state pertanto attribuite a individui sfarfallati dopo una diapausa pluriennale.

La completa eradicazione del temuto fillofago dalla Sardegna è stata tuttavia notevolmente dilazionata a causa del ritrovamento, nella primavera del 2013, di nidi larvali in una località costiera prossima all'abitato di Cannigione (comune di Arzachena). Tale rinvenimento ha reso necessario effettuare una rimodulazione del programma di lotta, prevedendo come prima linea d'intervento la predisposizione di una rete di monitoraggio distribuita su tutta la Sardegna per verificare la reale diffusione dell'insetto e di conseguenza valutare l'opportunità di proseguire con il piano di eradicazione. A tale scopo, con l'ausilio del CFVA sono state esposte 1000 trappole posizionate ai vertici di un reticolo a maglie quadrate di 5 km di lato (1 trappola ogni 25 km^2).

I dati di cattura hanno confermato che i focolai

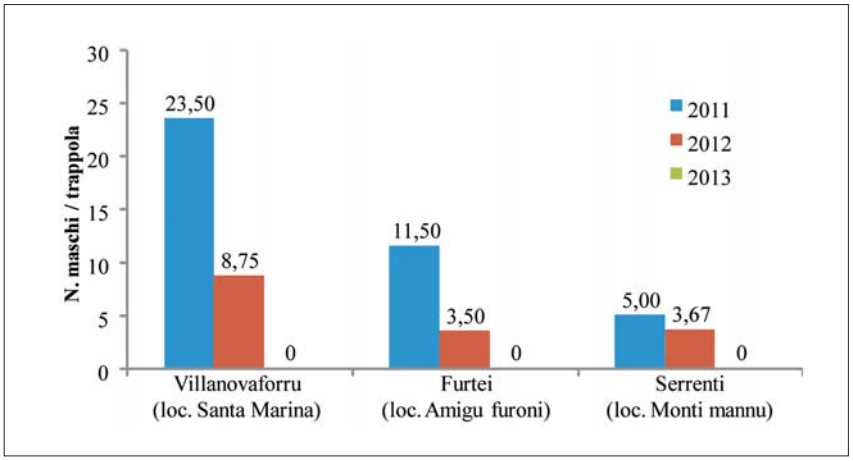


Fig. 4
Numero medio di maschi catturati a trappole a feromone posizionate nelle principali pinete del Medio Campidano trattate con *Bacillus thuringiensis* nel 2011 e nel 2012.

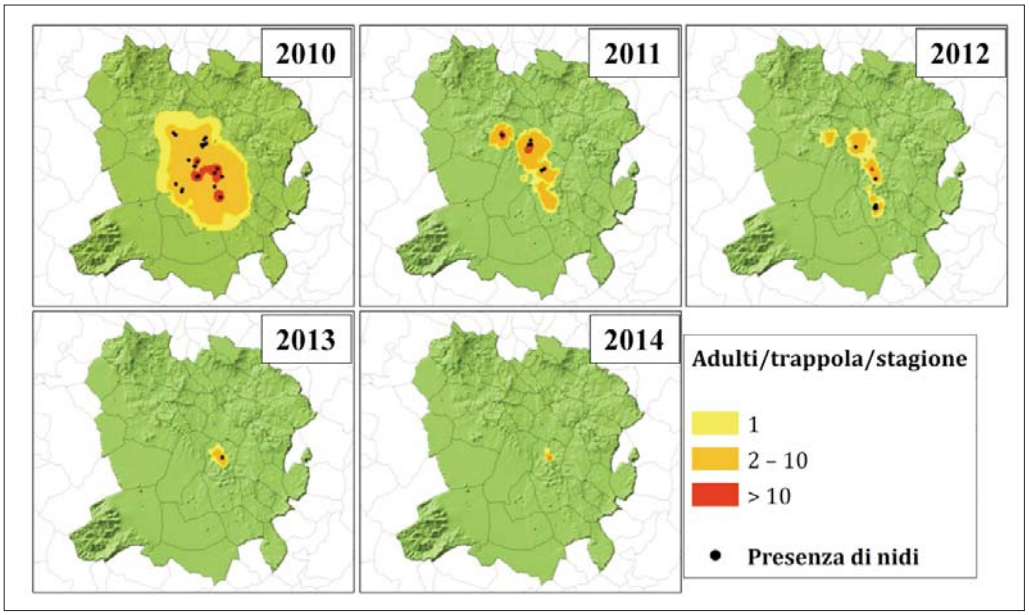


Fig. 5
Variazione temporale dell'area di diffusione della processionaria del pino in Medio Campidano stimata con l'interpolazione spaziale, con il metodo IDW, dei dati di cattura di maschi a trappole a feromoni.

d'infestazione sono risultati localizzati solo nel Medio Campidano e in un'area limitata del territorio di Arzachena (Fig. 6). Tuttavia sia nel 2013 che nel 2014 si è avuta la cattura di un solo maschio anche in trappole distanti fino a 56 km dal focolaio di Cannigione. Tali sporadiche catture non sono comunque state ritenute indice d'insediamento della specie, poiché le osservazioni pluriennali condotte nel Medio Campidano hanno dimostrato che la cattura di un solo maschio non è mai stata associata alla presenza di un focolaio d'infestazione larvale. Questi dati confermano peraltro le grandi capacità di volo dei maschi, che in prove di laboratorio hanno percorso fino a 60 km, e come la velocità di diffusione della specie sia per fortuna limitata dalla più bassa attività di volo delle femmine, che mediamente percorrono 1,9 km con punte di 10,5 km (Battisti *et al*., 2014).

La presenza di ulteriori focolai è stata comunque esclusa negli anni successivi dall'assenza di catture ad una rete di trappole, a maglia più stretta, posta intorno ad ogni sito in cui era stato catturato anche un solo individuo. L'accertata presenza della processionaria anche nel Nord Sardegna ha comunque reso necessario effettuare una rimodulazione del piano di eradicazione, riproponendo anche per questo territorio le diverse linee d'intervento già positivamente applicate nel Medio Campidano.

Nell'autunno del 2014 si è provveduto al trattamento aereo di tutte le pinete che ricadono nell'area di diffusione della processionaria e, nel gennaio–febbraio del 2015, sono stati complessivamente rilevati e bruciati 80 nidi larvali. Si sono inoltre trattati con piretroidi tutti i 1.195 pini vegetanti nel raggio di un km dalle trappole che avevano catturato almeno un maschio.

Rilievi sulla biologia e la mortalità del fitofago

L'attività di ricerca condotta dall'Università di Sassari ha permesso di definire il ciclo biologico della processionaria nel nuovo ambiente d'insediamento. Nei diversi anni di osservazione, i voli dei maschi hanno avuto una dinamica molto simile. I primi adulti sono stati rilevati all'inizio di agosto, il picco di catture è sempre stato raggiunto intorno alla seconda decade dello stesso mese, ai primi di settembre si è registrata la quasi totale scomparsa dei maschi e nel mese di ottobre si sono avute solo

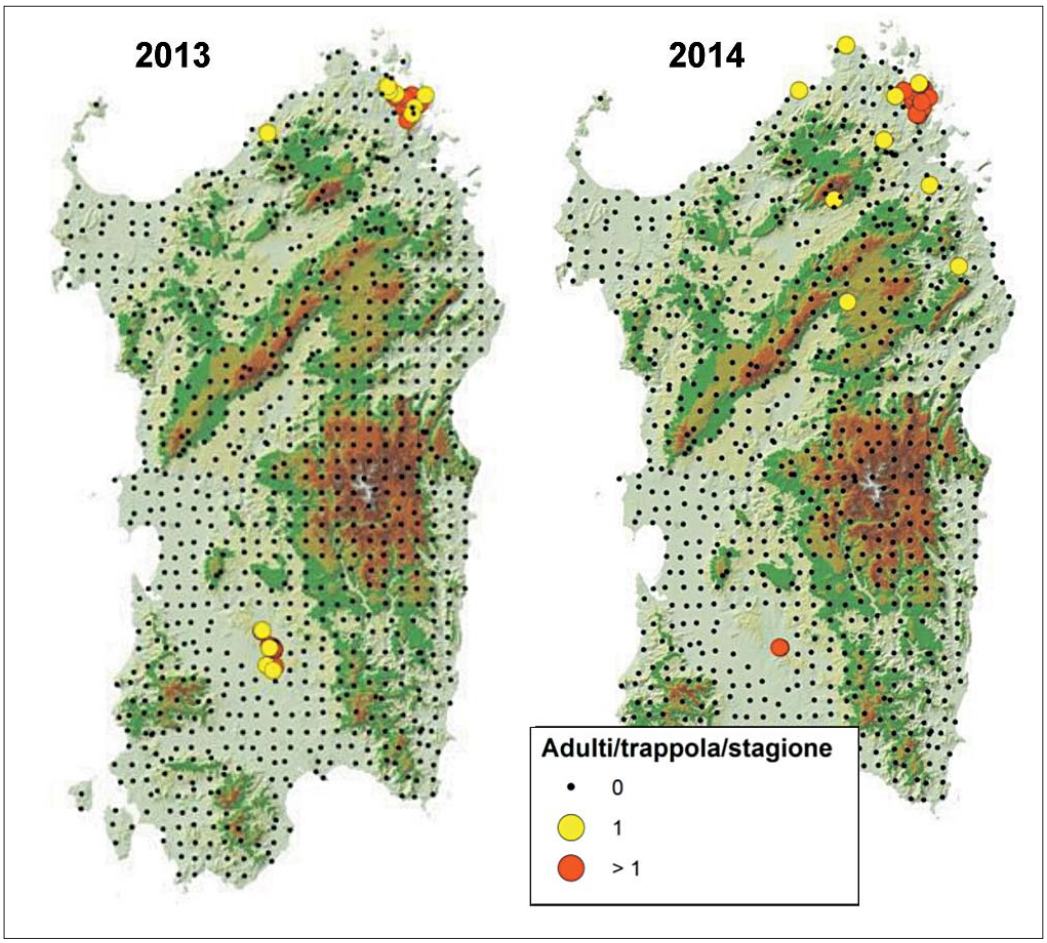


Fig. 6
Distribuzione della rete di trappole a feromoni impiegate per definire l'area di diffusione della processionaria del pino in Sardegna e abbondanza delle catture.

sporadiche catture (Fig. 7). Tale andamento è stato confermato anche dai rilievi effettuati a Cannigione, dove nel 2013 si è avuto un picco di presenza il 16 agosto, una sensibile quantità di farfalle nella prima decade di settembre e la cattura di 2 adulti anche alla fine del mese di ottobre (Fig. 8).

Nelle aree in cui le catture alle trappole hanno evidenziato elevate densità di popolazione, a partire da settembre sono state condotte osservazioni settimanali per individuare la presenza di ovature o dei sintomi di attacco delle larve neonate. I rilievi compiuti hanno indicato che: 1) la schiusura delle uova si verifica con maggiore intensità a metà settembre, 2) le larve di seconda età sono presenti durante la seconda decade di ottobre, 3) la terza età larvale viene raggiunta a novembre, 4) nel mese di dicembre è rinvenibile una popolazione con una struttura per età non omogenea e variabile in funzione dell'andamento stagionale, 5) data la notevole scalarità nella schiusura delle uova, nella prima metà di marzo è possibile rinvenire nidi oramai abbandonati dalle larve giunte a maturità e nidi in cui sono ancora presenti larve di III-V età; 6) la dimensione e la struttura dei nidi dipende dal grado d'infestazione delle piante e dalle particolari condizioni climatiche della Sardegna (generalmente i

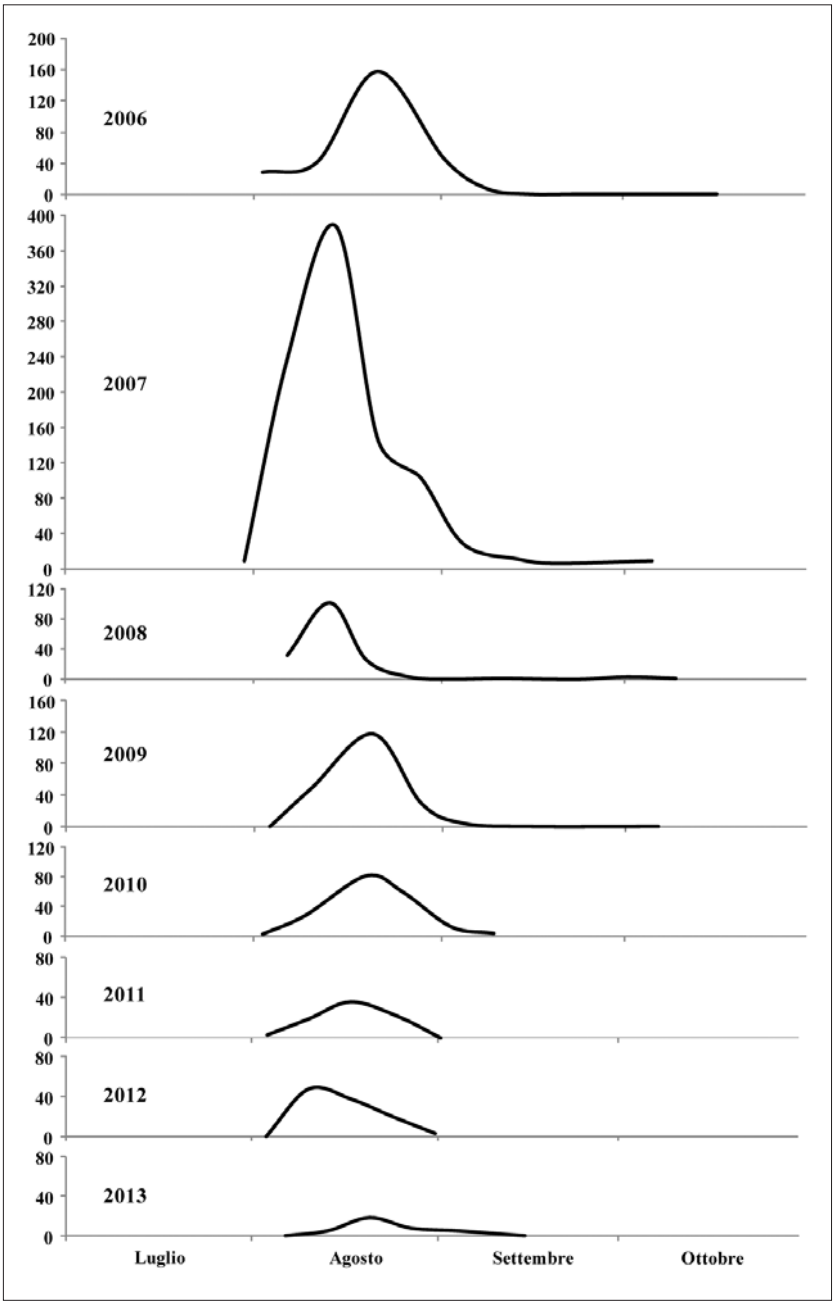


Fig. 7
Andamento dei voli della processionaria del pino espressi come numero di maschi catturati alle trappola per settimana (Medio Campidano, 2006-2013).

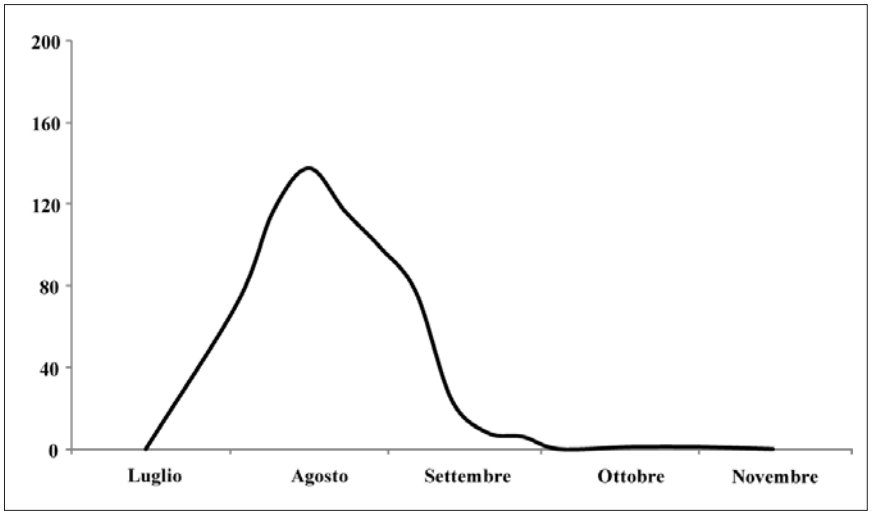


Fig. 8
Andamento dei voli della processionaria del pino espressi come numero di maschi catturati alle trappole per settimana (CANNIGIONE, 2013).

nidi sono piuttosto piccoli e costituiti da una tela di fili sericei piuttosto lassa).

Negli anni di maggiore infestazione, una parte delle ovature e delle larve sono state prelevate dal campo e mantenute in laboratorio per valutare l'azione dei fattori biotici e abiotici di mortalità. L'indagine ha consentito di rilevare una cospicua sterilità delle uova, imputabile, con elevata probabilità, alle alte temperature estive. L'esame delle ovature raccolte in campo in prossimità dei prenidi larvali ha evidenziato inoltre una bassa fecondità delle femmine, che hanno mediamente deposto 215 uova, e una percentuale media di schiusura del 57%. Questi parametri hanno indicato la presenza di una popolazione poco vigorosa, con un potenziale biotico limitato e caratteristico delle fasi di retrogradazione, benché in Sardegna la specie non abbia mai raggiunto densità tali da far instaurare i fenomeni biotici che, nell'originale areale di diffusione della specie, ne determinano il declino dell'abbondanza. Tuttavia anche altri parametri, quali il rapporto fra i sessi spostato a favore dei maschi (61%), confermano uno stato di sofferenza della popolazione, le cui cause non possono essere imputate ai fattori di regolazione densità dipendenti, ma piuttosto ad un limitato adattamento all'ambiente sardo del ceppo di processionaria accidentalmente introdotto. Non è peraltro da escludere un fenomeno di deriva genetica, dovuta al probabile basso numero di individui pervenuti, che ha ridotto notevolmente il potenziale biotico della popolazione (ROVERSI *et al*. 1987). Il solo parassitoide oofago rilevato è stato l'Imenottero Encyrtidae *Ooencyrtus pityocampae* Merc. la cui azione ha interessato solo il 10% delle uova campionate. Questo limitato livello di parassitizzazione è comunque simile a quelli osservati nelle aree continentali infestate dalla processionaria (TIBERI, 1990). Infatti, nonostante l'oofago sia considerato il principale fattore biotico di mortalità, esso incide comunque limitatamente, presumibilmente a causa della sua elevata polifagia. Nell'Isola invece non è mai stata riscontrata la presenza di parassitoidi specifici di *T. pityocampa* quali ad esempio l'oofago *Baryscapus servadeii* (Dom.) (Hymenoptera Eulophidae). L'incidenza dei parassitoidi larvali è stata pressoché nulla mentre non è stato possibile valutare il parassitismo pupale poiché il piano di lotta prevedeva l'eliminazione totale della popolazione allo stadio di larva.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le misure di lotta applicate nel piano di eradicazione della processionaria del pino sono risultate efficaci anche per la concomitanza di alcuni fattori favorevoli. In Sardegna, infatti, la popolazione del fitofago ha dimostrato bassi tassi riproduttivi, come rivelato dall'esame delle ovature ritrovate in campo in prossimità dei prenidi larvali, che ha evidenziato una bassa fecondità delle femmine e un'alta sterilità delle uova. Anche il rapporto fra i sessi, spostato a favore dei maschi, ha confermato uno stato di sofferenza della popolazione. Altri elementi che hanno favorito il successo del programma di lotta sono stati la facile individuazione dei nidi larvali e la possibilità d'impiegare un grande numero di trappole a feromoni, che ha consentito di rivelare la presenza dell'insetto anche a basse densità di popolazione. Anche l'oligofagia della specie, che ne vincola lo sviluppo solo a un limitato

numero di piante ospiti, peraltro facilmente identificabili anche da personale non particolarmente esperto, ha permesso la delimitazione del suo potenziale areale di diffusione. Infine, la disponibilità di numerosi mezzi di lotta, caratterizzati tra l'altro da un basso impatto verso le specie non target, ha consentito d'intervenire con elevate tempestività ed efficacia.

In base all'esperienza condotta nel Medio Campidano e prestando maggiore attenzione alla operazione di mappatura dei pini e delle pinete, si ha la ragionevole certezza che anche nel nord della Sardegna nell'arco di qualche anno la processionaria del pino verrà eradicata. Risulta tuttavia necessario sottolineare che l'ingente impiego di risorse umane e finanziarie compiuto dalla Regione Sardegna potrebbe essere vanificato da nuove reintroduzioni e che un argine in tal senso andrebbe rapidamente posto. Ciò potrà realizzarsi non solo con l'incremento del numero degli addetti ai servizi fitosanitari ma soprattutto con la disponibilità di nuovi strumenti legislativi, che consentano di porre gli opportuni vincoli di movimentazione di materiali vegetali anche fra regioni del medesimo stato europeo, superando quindi i limiti di una normativa comunitaria che in campo fitosanitario si sta in parte rivelando non completamente idonea a salvaguardare le peculiarità faunistiche di alcuni territori, come quello sardo.

BIBLIOGRAFIA

Autori Vari, 2006 – *Piano Forestale Ambientale Regionale.* Regione Autonoma della Sardegna, Cagliari.

Battisti A., Avci M., Avtzis D.N., Ben Jamaa M.L., Berardi L., Berretima W., Branco M., Chakali G., ElAlaoui El Fels M.A., Freròt B., Hòdar J.A., Ionescu-Mâlâncus I., Pekdal K., Larsson S., Manole T., Mendel Z., Meurisse N., Mirchev P., Nemer N., Paiva M.R., Pino J., Protasov A., Rahim N., Rousselet J., Santos H., Sauvard D., Schopf A., Simonato M., Yart A., Zamoum M., 2014 – *Natural History of the Processionary Moths (*Thaumetopoea *spp.): New Insights in Relation to Climate Change*. In: A. Roques (Ed.), Processionary moths and climate change: An update. pp 15-79.

Camarda I., Valsecchi F., 2008 – *Alberi e arbusti spontanei della Sardegna*. Carlo Delfino Editore, Sassari: 524 pp.

Kerdelhué C., Battisti A., Burban C., Branco M., Cassel-Lundhagen A., Ipekdal K., Larsson S., Lopez-Vaamonde C., Magnoux E., Mateus E., Mendel Z., Negrisolo E., Paiva M.R., Pivotto I., Rocha S., Ronnås C., Roques A., Rossi J.P., Rousselet J., Salvato P., Santos H., Simonato M., Zane L., 2014 – *Genetic diversity and structure at different spatial scales in the processionary moths*. In: A. Roques (Ed.), Processionary moths and climate change: An update. Dordrecht: Springer.

Luciano P., Lentini A., Battisti A., 2007 – *Prima segnalazione di* Traumatocampa pityocampa *per la Sardegna*. - Proocedings XXI Congr. Naz. It. Entomol., Campobasso 11-16 Giugno 2007, pag. 273.

Pantaleoni R.A., Cesaroni C., Cossu C.S., Deliperi S., Fadda L., Fois X., Lentini A., Loi A., Loru L., Molinu A., Nuvoli M.T., Ramassini W., Sassu A., Serra G., Verdinelli M., 2012 – *Impact of alien insect pests on Sardinian landscape and culture*. - Biodiversity Journal, 3 (4): 297-310.

Roversi P.F., 1987 – *Osservazioni preliminari su casi di sterilità, arresti di sviluppo embrionale e mortalità larvale in uova di* Thaumetopoea pityocampa *(Den.* et *Schiff.) (Lepidoptera Thaumetopoeidae)*. - Redia, LXX: 93-103.

Tiberi R., 1990 – *Egg Parasitoids of the Pine Processionary Caterpillar in Italy: distribution and activity in different areas*. - Journal of Applied Entomology, 110: 14-18.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 177-182

LA LOTTA BIOLOGICA PER IL CONTROLLO DI *DRYOCOSMUS KURIPHILUS* IN ITALIA

CHIARA FERRACINI (*) - ALBERTO ALMA (*)

(*) *Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Largo Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco (To);* e-mail: chiara.ferracini@unito.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Biological control of the Asian chestnut gall wasp in Italy

Torymus sinensis Kamijo is a biological control agent of the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu. It is reported in the literature as univoltine, but in NW Italy it exhibits a prolonged diapause extended for 12 months mainly as late instar larva. After the report of the exotic gall wasp in 2002 in Piedmont (NW Italy) and due to the importance of chestnut throughout the country for fruit and wood production, this parasitoid has been released throughout Italy within projects funded by Piedmont region and by the Ministry of Agricultural, Food and Forestry Policies (MiPAAF), proving to settle successfully in the chestnut-growing areas, significantly reducing the gall wasp outbreaks after 10 years from its first release with parasitization rates up to 95%, and therefore representing one of the typical successful cases of classical biological control.

In response to concern about non-target impacts associated with the introduction of this exotic biological control agent, a survey was also performed to assess *T. sinensis*'s host range, and three *T. sinensis* adults emerging from oak galls of the non-target host *Biorhiza pallida* Olivier were found. Considering the effectiveness of *T. sinensis* as biological control agent against *D. kuriphilus* and its establishment in different Italian areas, further research is needed to evaluate its possible host shift to non target galls.

KEY WORDS: *Torymus sinensis*, chestnut gall wasp, biological control, prolonged diapause, host range

INTRODUZIONE

L'avvento di *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) è solamente una delle ultime grandi emergenze fitosanitarie che hanno colpito il castagno, comportando gravi ripercussioni nel sistema economico del settore castanicolo.

D. kuriphilus, comunemente conosciuto come cinipide galligeno del castagno, rappresenta uno dei più recenti esempi di specie esotiche invasive introdotte negli ecosistemi forestali europei (AEBI *et al*., 2006). Dal Paese di origine, la Cina, è stato accidentalmente introdotto in Giappone (1941), Corea (1958), USA (1974), Nepal (1999) e Canada (2012) (Fig. 1) (ALMA *et al.*, 2014). La sua presenza in Europa fu segnalata per la prima volta nel 2002 in Piemonte, in provincia di Cuneo e successivamente il galligeno si è rapidamente diffuso in tutta Italia fino a raggiungere molti Paesi Europei: Austria (2013), Croazia (2010), Francia (2005), Germania (2013), Paesi Bassi (2010), Portogallo (2014), Regno Unito (2015), Repubblica Ceca e Slovacchia (2012), Slovenia (2005), Spagna (2012), Svizzera (2009), Turchia (2014) e Ungheria (2013) (BRUSSINO *et al.*, 2002; EFSA, 2010; EPPO, 2005; 2013; 2015).

D. kuriphilus ha come unico ospite il castagno (*Castanea* spp.), compie una generazione l'anno e si riproduce per partenogenesi telitoca (MORIYA *et al.*, 1989). Le femmine ovidepongono nelle gemme in estate, causando nella primavera dell'anno successivo, la formazione di galle sui germogli e sulle foglie con conseguenti riduzioni sia nella crescita sia nella fruttificazione delle piante colpite. Le perdite di produzione possono variare dal 30 al 60% raggiungendo anche picchi dell'85% in annate siccitose. Malgrado finora non risultino segnalate morie causate dal cinipide, il forte peggioramento dello stato vegetativo delle piante a seguito di attacchi ripetuti, ha reso i castagni più sensibili alle patologie fungine, evidenziando in particolar modo una forte recrudescenza del cancro corticale (BOSIO *et al.*, 2013; BATTISTI *et al.*, 2014; FERRACINI *et al.*, 2014).

Il castagno riveste una considerevole importanza in Italia sia a livello economico sia ambientale. I castagneti sono parte della tradizione agricola di molte regioni italiane, inoltre l'ampia diffusione del castagno, coltivato o naturalizzato, è cruciale per il mantenimento della biodiversità locale. L'elevata dannosità del fitofago in relazione all'impatto ambientale e alle perdite economiche ha suscitato la necessità di sviluppare velocemente

– Pubblicato marzo 2016

Fig. 1
Distribuzione mondiale del cinipide galligeno del castagno, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (situazione aggiornata al 2015).

delle efficaci azioni di controllo per limitare il danno. Diversi tentativi di controllo sono stati sperimentati sia mediante l'utilizzo di varietà resistenti sia con l'impiego di prodotti chimici, ma con scarsi risultati come già evidenziato in letteratura (MORIYA *et al*., 2003).

Data la necessità di intervenire tempestivamente, il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MiPAAF) con decreto del 23 febbraio 2006 ha stabilito le "Misure per la lotta obbligatoria contro il cinipide del castagno *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu". Oltre alle azioni atte a limitare la diffusione del cinipide si tracciavano le misure di contenimento, preferendo la lotta biologica classica mediante l'impiego del parassitoide *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera: Torymidae). Il successivo decreto del 30 ottobre 2007 "Misure d'emergenza provvisorie per impedire la diffusione del cinipide del castagno, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, nel territorio della Repubblica italiana", in recepimento della decisione della Commissione europea 2006/464/CE abroga il precedente decreto.

In Italia a partire dal 2003 il DISAFA ha avviato un progetto di lotta biologica, finanziato dalla Regione Piemonte, che ha previsto l'introduzione e la diffusione del parassitoide *T. sinensis*, mediante il metodo propagativo, nelle aree del cuneese infestate dal cinipide (QUACCHIA *et al*., 2008).

I primi positivi risultati riguardanti la parassitizzazione del cinipide e l'esperienza maturata hanno permesso di redigere un dettagliato protocollo d'attuazione della lotta biologica, parte integrante del "Documento di sintesi" del Piano del Settore Castanicolo 2010-2013 del MiPAAF, con lo scopo di fornire tutte le indicazioni utili per l'allevamento e la diffusione del parassitoide, dalla raccolta delle galle alla fase di rilascio in pieno campo (QUACCHIA *et al*., 2010).

Successivamente, nel 2012 il MiPAAF ha finanziato un progetto nazionale di lotta biologica (Lobiocin) che ha previsto la realizzazione di aree di moltiplicazione e il rilascio diretto del parassitoide in numerosi siti di pieno campo, sulla base delle linee guida riportate nel protocollo sopracitato. Il numero di lanci di *T. sinensis* è stato assegnato ad ogni regione dal tavolo tecnico castanicolo di coordinamento nazionale su proposta delle Associazioni Castagno A.T.S. (Città del Castagno, Castanea e Centro Studio sul Castagno), principalmente sulla base dei seguenti parametri: superficie investita a castagno (ha), valore delle produzioni castanicole medie 1999-2007 regionali (€) e presenza di varietà IGP/DOP.

Oltre ai rilasci di *T. sinensis*, sono stati previsti anche tre workshops formativi interregionali, con la collaborazione dei Servizi Fitosanitari Regionali di competenza, per la realizzazione e gestione delle aree di moltiplicazione e di tutti i processi connessi all'allevamento del parassitoide, nonché la realizzazione di una carta nazionale riportante i siti di rilascio e le aree di moltiplicazione.

Nel 2013 è stato quindi attivato il progetto biennale Bioinfocast sempre finanziato dal MiPAAF, per potenziare l'allevamento del parassitoide presso i laboratori del DISAFA e aumentare il numero

di lanci nelle aree castanicole italiane. Il progetto ha visto il coinvolgimento anche del CRA di Firenze (ora CREA ABP), delle Associazioni Castagno A.T.S. che hanno curato il trasporto del parassitoide e dei Servizi Fitosanitari Regionali per l'individuazione dei siti di rilascio.

Nel 2012 sono state realizzate 11 aree di moltiplicazione in 9 regioni italiane. L'attività di rilascio del parassitoide, nell'ambito dei progetti ministeriali, ha raggiunto nel complesso 1.669 siti di lancio su scala nazionale, per un totale di 295.220 esemplari, distribuiti nelle 17 regioni italiane interessate dal comparto castanicolo (Alma *et al.*, 2014) (Fig. 2).

In Piemonte, a distanza di dieci anni dalle prime introduzioni in provincia di Cuneo, *T. sinensis* risulta essere ben insediato sul territorio con valori di parassitizzazione compresi tra 80% e 95%, che hanno portato nella primavera 2015 ad un drastico calo della presenza di galle e ad una buona ripresa vegetativa dei castagni e produzione di frutti, già in aumento dall'autunno 2013.

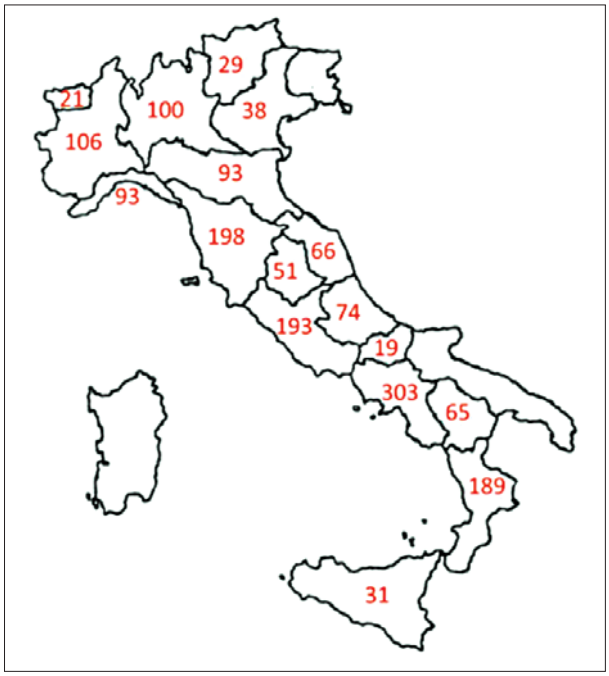


Fig. 2
Numero di lanci di *Torymus sinensis* Kamijo effettuati in Italia dal 2012 al 2014 nell'ambito dei progetti ministeriali Lobiocin e Bioinfocast (fonte Alma *et al.*, 2014).

Ciclo biologico di *Torymus sinensis*

T. sinensis viene descritto in letteratura come una specie univoltina, caratterizzata da un ciclo biologico perfettamente sincronizzato con quello del suo ospite. Si riproduce sessualmente ma in caso di mancato accoppiamento si riproduce per partenogenesi arrenotoca. La femmina depone le uova nelle galle fresche direttamente all'interno della cella larvale, successivamente la larva ectoparassita si nutre della larva del cinipide e si impupa durante l'inverno. L'adulto sfarfalla in primavera dalle galle secche dell'anno precedente, si nutre di sostanze zuccherine e ha una vita media di circa 30 giorni (Piao e Moriya, 1999) (Fig. 3).

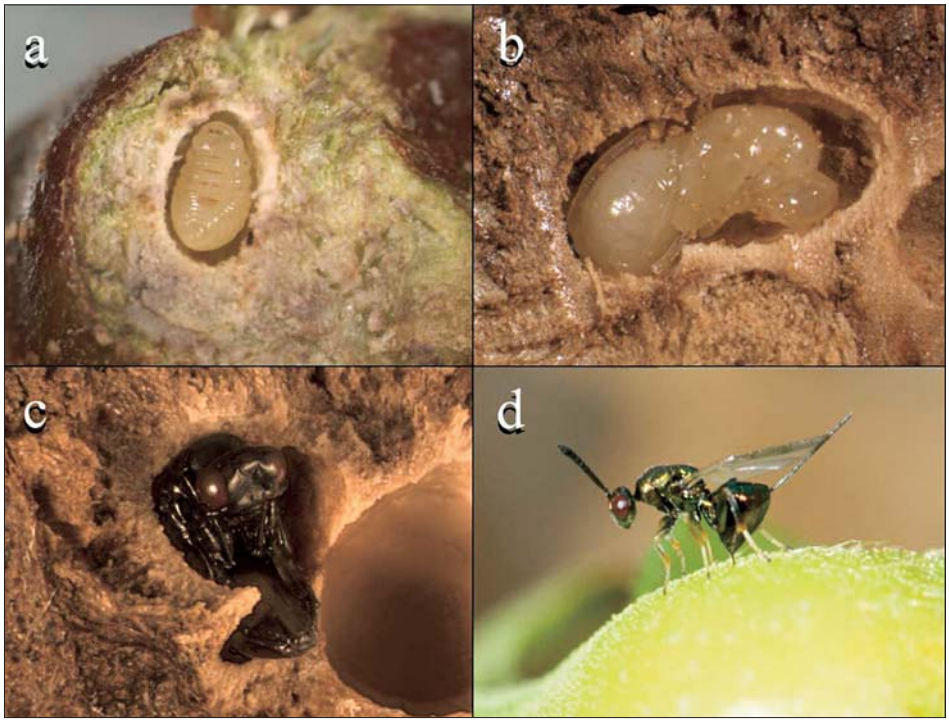


Fig. 3
Torymus sinensis Kamijo: larva matura (a), pupa (b, c), adulto in attività di ovideposizione (d) (fonte Alma *et al.*, 2014).

La dissezione di galle di castagno invernali condotta in estate, a sfarfallamento avvenuto degli adulti del parassitoide, ha messo in evidenza la presenza di larve mature e in minor misura di pupe, risultate appartenenti in seguito ad analisi morfologica e molecolare alla specie *T. sinensis*. Indagini preliminari sono state quindi condotte nell'inverno 2013 raccogliendo galle in diverse aree castanicole in provincia di Cuneo. In tutti i siti monitorati è stata riscontrata una diapausa prolungata di un anno, con sfarfallamento degli adulti durante il mese di aprile, contemporaneamente alla generazione univoltina (Fig. 4). La percentuale di individui sfarfallati nel 2014 si è comunque attestata su valori bassi, pari a circa 0,4 (FERRACINI *et al.*, 2015a).

Gli individui diapausanti di entrambi i sessi sono risultati essere di dimensioni inferiori rispetto a quelli della generazione annuale considerando come caratteri morfologici di confronto la larghezza dello scutello e la lunghezza della tibia del terzo paio di zampe e dell'ovopositore (Fig. 5). In prove condotte in ambiente controllato è stato osservato il regolare accoppiamento, inoltre le femmine diapausanti sono state in grado di ovideporre in presenza di galle fresche di castagno, manifestando un comportamento analogo alla popolazione univoltina.

In seguito ai rilasci dell'antagonista naturale *T. sinensis* in pieno campo a partire dal 2005, la popolazione del cinipide galligeno è andata incontro ad un rapida riduzione. Il fenomeno della diapausa prolungata può quindi essere dovuto, oltre che a fattori abiotici, ad una improvvisa mancanza nella disponibilità dell'ospite da parte del parassitoide (FERRACINI *et al.*, 2015a).

Nonostante l'incidenza di tale strategia comportamentale sia stata osservata a basse percentuali, la presenza di individui diapausanti all'interno delle galle secche nel periodo successivo al normale sfarfallamento della generazione univoltina rappresenta un elemento importante nella gestione del castagneto. È consigliabile infatti non eliminare il materiale di risulta delle potature, bensì accatastarlo all'interno del castagneto almeno per due anni, per permettere lo sfarfallamento della popolazione diapausante.

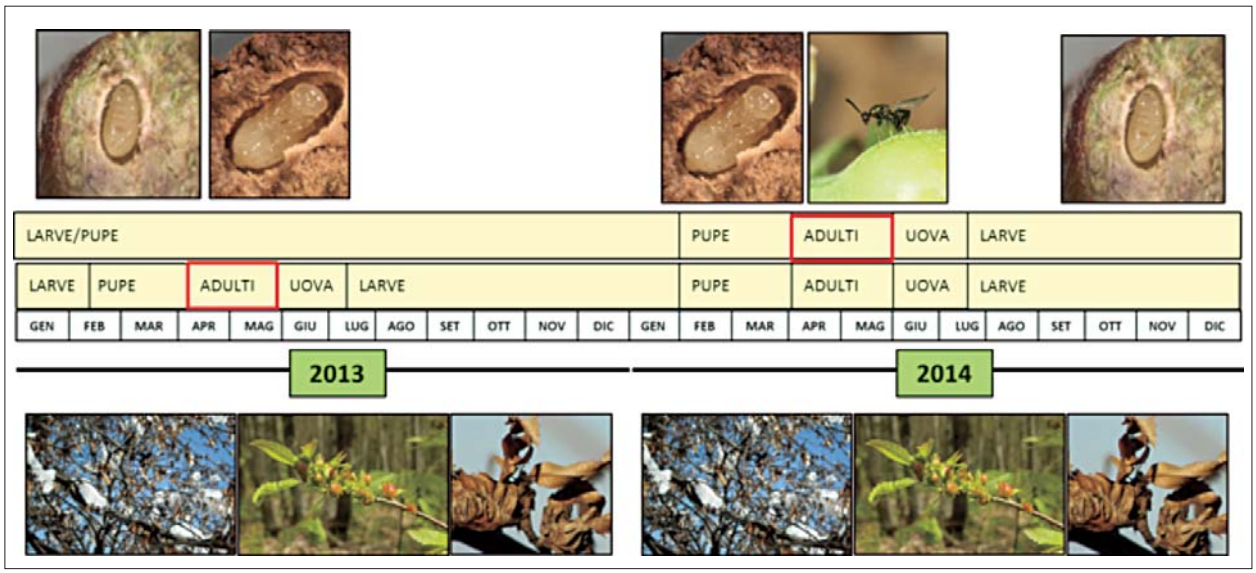


Fig. 4
Rappresentazione grafica del ciclo biologico di *Torymus sinensis* Kamijo. Adulti della generazione univoltina (con sfarfallamento nella primavera 2013) e di quella diapausante (con sfarfallamento posticipato di un anno).

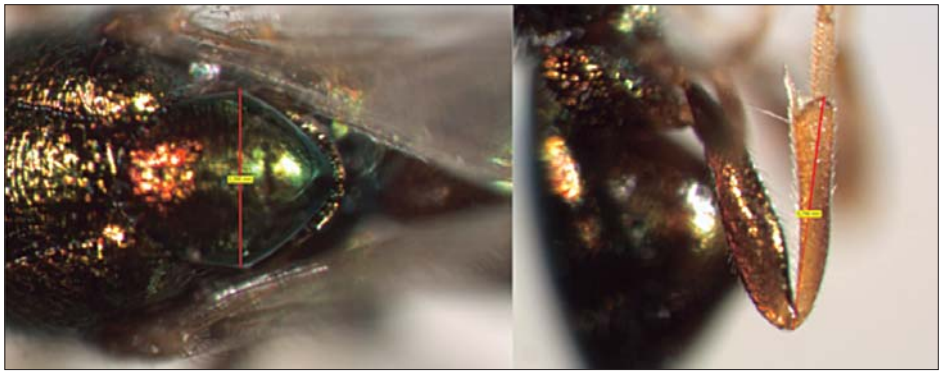


Fig. 5
Caratteri morfologici (larghezza dello scutello e lunghezza della tibia del terzo paio di zampe) utilizzati per confrontare gli adulti di *Torymus sinensis* Kamijo della generazione univoltina e di quella diapausante.

Parassitoidi autoctoni infeudati al Cinipide galligeno

A carico del cinipide galligeno del castagno nel corso degli anni è stato possibile accertare anche la presenza di numerosi parassitoidi indigeni normalmente legati ad altri galligeni, in particolare infeudati alle querce. Ricerche relative ai limitatori indigeni sono state condotte in diversi Paesi asiatici ed europei, proprio con la finalità di chiarire il loro ruolo nel contenimento di *D. kuriphilus*.

In Italia dal 2002 al 2014 sono state infatti segnalate 38 diverse specie di imenotteri calcidoidei appartenenti a 6 famiglie (Eulophidae, Eupelmidae, Eurytomidae, Ormyridae, Pteromalidae, Torymidae) (Quacchia *et al.*, 2013; Alma *et al.*, 2014). Fatta eccezione per *T. flavipes* (Walker) per la cui specie sono stati evidenziati valori di parassitizzazione più elevati (fino al 32%) in Emilia Romagna (Santi e Maini, 2011), la percentuale di parassitizzazione di *D. kuriphilus* risulta tutt'ora estremamente bassa, evidenziando come a distanza di oltre 10 anni dall'introduzione del cinipide il ruolo svolto dai parassitoidi indigeni per il contenimento sia ancora quasi nullo (Alma *et al.*, 2014).

Host range di *Torymus sinensis*

Malgrado gli ottimi risultati conseguiti nel controllo del cinipide, indagini sono tutt'ora in corso per valutare quali siano i reali rischi di alterazione degli equilibri consolidati nelle biocenosi degli altri cinipidi derivanti dall'introduzione di una specie esotica. La possibile parassitizzazione di organismi non target, con particolare riguardo ai cinipidi galligeni infeudati a piante dei generi *Quercus* e *Rosa*, è stata recentemente oggetto di indagine con particolare interesse per le specie di galligeni indicati dall'EFSA European Food Safety Authority (EFSA, 2010; Ferracini *et al.*, 2015b). Nel biennio 2013-2014 le indagini sono state condotte al fine di verificare l'eventuale fenomeno di *host-shift* di *T. sinensis* dal suo ospite primario ai galligeni della quercia, con particolare riguardo per i generi *Andricus*, *Biorhiza*, *Diplolepis*, e *Neuroterus*. Tra i parassitoidi torimidi le specie riscontrate con maggiore frequenza sono risultate: *Megastigmus dorsalis* (Fabricius), *T. affinis* (Fonscolombe), *T. auratus* (Muller), *T. flavipes* e *T. geranii* Walker. Inoltre, oltre alle specie autoctone, nel 2013 tre esemplari di *T. sinensis* sono sfarfallati da galle appartenenti alla specie *Biorhiza pallida* Olivier raccolte in Piemonte, evidenziando la non specificità del parassitoide contrariamente ai dati presenti in letteratura (Ferracini *et al.*, 2015b).

Malgrado nel 2014 non si sia verificata alcuna parassitizzazione di organismi non-target, ulteriori indagini su un arco temporale maggiore e con specie di galle differenti da quelle utilizzate in questo studio sono in corso al fine di completare gli studi inerenti la bio-etologia di *T. sinensis*.

Ringraziamenti

Si ringraziano E. Ferrari, E. Gonella, L. Picciau, M. Pontini, M.A. Saladini per il supporto fornito nelle attività di campo e laboratorio.

Questo lavoro è stato in parte supportato da progetti di lotta biologica propagativa finanziati dalla Regione Piemonte e dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

RIASSUNTO

Torymus sinensis Kamijo è considerato l'antagonista principale del cinipide del castagno *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu. E' una specie univoltina, anche se recenti studi hanno evidenziato l'esistenza di una diapausa prolungata di un anno, prevalentemente allo stadio di larva matura.

Dopo il rinvenimento del galligeno in Piemonte nel 2002, zona di prima segnalazione per l'Europa, è stato avviato a partire dal 2003 un programma di lotta biologica propagativa mediante l'utilizzo di questo antagonista. Successivamente nel triennio 2012-2014 il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MiPAAF) ha finanziato i progetti Lobiocin e Bioinfocast per favorire la diffusione del parassitoide sul territorio nazionale.

In Piemonte, a distanza di dieci anni dalle prime introduzioni in provincia di Cuneo, *T. sinensis* risulta essere ben insediato sul territorio con valori di parassitizzazione compresi tra 80% e 95%, che hanno portato nella primavera 2015 ad un drastico calo della presenza di galle, analogamente a diverse altre regioni italiane.

Malgrado gli ottimi risultati conseguiti nel controllo del cinipide, è tuttavia necessario continuare a indagare gli eventuali rischi di alterazione degli equilibri delle biocenosi indigene derivanti dall'introduzione di una specie esotica; recenti studi hanno infatti evidenziato in Piemonte la parassitizzazione da parte di *T. sinensis* di galle non target appartenenti alla specie *Biorhiza pallida* Olivier. Ulteriori indagini verranno quindi rivolte allo studio della possibile parassitizzazione di organismi non target, con particolare riguardo ai cinipidi galligeni infeudati a piante dei generi *Quercus* e *Rosa*.

BIBLIOGRAFIA

Aebi A., Schönrogge K., Melika G., Alma A., Bosio G., Quacchia A., Picciau L., Abe Y., Moriya S., Yara K., Seljak G., Stone G.N., 2006 – *Parasitoid recruitment to the globally invasive chestnut gall wasp* Dryocosmus kuriphilus. In: Ecology and Evolution of Galling Arthropods and their Associates, Ozaki K., Yukava J., Ohgshi T., Price P.W. Ed., Springer-Verlag, Tokio, Japan, pp. 103-121.

Alma A., Ferracini C., Sartor C., Ferrari E., Botta R., 2014 – *Il cinipide orientale del castagno: lotta biologica e sensibilità varietale*. - Italus Hortus 21(3): 15-29.

Battisti A., Benvegnù I., Colombari F., Haack R.A. 2014 – *Invasion by the chestnut gall wasp in Italy causes significant yield loss in* Castanea sativa *nut production.* - Agric. Forest. Entomol., 16(1): 75-79.

Bosio G., Armando M., Moriya S., 2013 – *Verso il controllo biologico del cinipide del castagno.* - Inftore Agrario, 4(14): 60-64.

Brussino G., Bosio G., Baudino M., Giordano R., Ramello F., Melika G., 2002 – *Pericoloso insetto esotico per il castagno europeo*. - Inftore Agrario, 58(37): 59-61.

EFSA Panel on Plant Health (PLH), 2010 – *Risk assessment of the oriental chestnut gall wasp,* Dryocosmus kuriphilus *for the EU territory, on request from the European Commission*. - EFSA J., 8: 1619.

EPPO, 2005 – *Data sheets on quarantine pests-* Dryocosmus kuriphilus. - EPPO Bull., 35: 422-424.

EPPO, 2013 – *First report of* Dryocosmus kuriphilus *in Austria (2013/140), First report of* Dryocosmus kuriphilus *in Germany (2013/141),* Dryocosmus kuriphilus *found in Hungary (2013/142)*. - Eppo Reporting Service, No. 7, pp. 3-4.

EPPO, 2015 - *First report of* Dryocosmus kuriphilus *in the United Kingdom (2015/108).* - EPPO Reporting Service, No. 6, p. 2.

Ferracini C., Ferrari E., Saladini M. A., Alma A., 2014 – *Il cinipide del castagno.* Corylus&Co., Castanea 2014, VI Convegno Nazionale sul Castagno, 22-25 settembre 2014, Viterbo, p. 63.

Ferracini C., Gonella E., Ferrari E., Saladini M.A., Picciau L., Tota F., Pontini M., Alma A., 2015a – *Novel insight in the life cycle of* Torymus sinensis*, biocontrol agent of the chestnut gall wasp*. - BioControl, 60: 169-177.

Ferracini C., Ferrari E., Saladini M.A., Pontini M., Corradetti M., Alma A., 2015b – *Non-target host risk assessment for the parasitoid* Torymus sinensis *in Italy*. - BioControl, 60: 583-594.

Moriya S., Inoue K., Ôtake A., Shiga M., Mabuchi M., 1989 – *Decline of the chestnut gall wasp population,* Dryocosmus kuriphilus *Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) after the establishment of* Torymus sinensis *Kamijo (Hymenoptera: Torymidae)*. – Appl. Entomol. Zool., 24: 231-233.

Moriya S., Shiga M., Adachi I., 2003 – *Classical biological control of the chestnut gall wasp in Japan*. In: Proceedings of the 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods, Van Driesche R.G. Ed., USDA Forest Service, Washington, pp. 407-415.

Piao C., Moriya S., 1999 – *Oviposition of* Torymus sinensis *Kamijo (Hymenoptera: Torymidae) under natural conditions*. - Entomol. Sci., 2: 329-334.

Quacchia A., Moriya S., Bosio G., Scapin G., Alma A., 2008 – *Rearing, release and settlement prospect in Italy of* Torymus sinensis*, the biological control agent of the chestnut gall wasp* Dryocosmus kuriphilus. - BioControl, 53: 829-839.

Quacchia A., Ferracini C., Alma A., 2010 – *Origine, diffusione e misure adottate per il contenimento in Europa del cinipide del castagno.* - Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Anno LVIII, 2010: 87-95.

Quacchia A., Ferracini C., Nicholls J.A., Piazza E., Saladini M.A., Tota F., Melika G., Alma A., 2013 – *Chalcid parasitoid community associated with the invading pest* Dryocosmus kuriphilus *in north-western Italy*. - Insect Conserv. Diver., 6: 114-123.

Santi F., Maini S., 2011 – *New association between* Dryocosmus kuriphilus *and* Torymus flavipes *in chestnut trees in the Bologna area (Italy): first results*. – Bull. Insectol., 64(2): 275-278.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 183-187

I PROGRAMMI DI ERADICAZIONE DI *ANOPLOPHORA CHINENSIS* E *A. GLABRIPENNIS* IN ITALIA

GIUSEPPINO SABBATINI PEVERIERI (*) - MASSIMO FACCOLI (**) - COSTANZA JUCKER (***)
MARIO COLOMBO (***) - PIO FEDERICO ROVERSI (*)

(*) *CREA-ABP Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia, Via di Lanciola 12a, 50125 Firenze;* e-mail: giuseppino.sabbatini@crea.gov.it
(**) *Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente (DAFNAE), Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16 ,35020 Legnaro (PD).*
(***) *Dipartimento di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente (DeFENS), Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano.*
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Eradication protocols of Anoplophora chinensis *and* A. glabripennis *in Italy*

Anoplophora chinensis and *Anoplophora glabripennis* are two longhorn beetles native of the Far East (mainly from China and Japan) and invasive to Europe and North America. They develop in a number of broadleaf plants extremely different in age and size: from potted plants and bonsais to old and monumental plants of forest, urban, fruit and ornamental trees and shrubs. The wood-boring larvae feed in phloem and xylem of infested plants, causing disruption of vascular tissues and structural weakness, and leading to plant death. Both species are considered worldwide as serious pests and they were accidentally introduced in many North American and European countries, including Italy. Severe phytosanitary regulations were disposed to prevent further introductions and insect spread, and eradication protocols were carried out to remove the invading populations. Recent infestations of both species were found in north and central Italy. Chipping or burning infested plants, also including roots in the case of *A. chinensis*, are set up for the pest eradication. Eradication programs also include a specific survey, phytosanitary restrictions for movements of host-plants from the quarantine areas, and a citizen science program based on citizen's information and public awareness.

KEY WORDS: quarantine pests, Citrus longhorned beetle, Asian longhorned beetle, invasive alien insects, plant damages, CLB, ALB.

Anoplophora chinensis (Förster) e *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) sono due coleotteri cerambicidi (Coleoptera: Cerambycidae) originari dell'Estremo Oriente: *A. chinensis* risulta diffusa principalmente in Cina, Giappone, Corea e in secondo luogo in Malesia, Vietnam, Taiwan, Indonesia e Filippine; più ristretta è invece l'area nativa di *A. glabripennis*, in quanto originariamente reperibile nella sola Cina sebbene segnalata anche in Giappone e Corea (LINGAFELTER e HOEBEKE, 2002). Si tratta di cerambicidi i cui adulti sono agevolmente distinguibili dalle specie autoctone del territorio italiano per dimensioni e colorazione (MASPERO e JUCKER, 2009; HAACK *et al.*, 2010). Il corpo è generalmente nero, con sfumature dal blu scuro al celeste, fino al bianco, su zampe, addome e antenne. Tipica è la colorazione delle elitre, con vistose macchie bianco-crema su tutta la porzione (solo in *A. chinensis* nella sottospecie "*malasiaca*" si possono osservare due macchie biancastre-azzurre sul pronoto) (SABBATINI PEVERIERI *et al.*, 2009, 2010a; SABBATINI PEVERIERI e ROVERSI, 2013). A distinguere gli adulti delle due specie concorre la presenza di una diffusa "granulosità" nella parte anteriore delle elitre in *A. chinensis*, assente in *A. glabripennis*. Molto meno evidenti sono invece le differenze morfologiche tra le larve di *Anoplophora* e quelle di cerambicidi autoctoni, sebbene siano recentemente disponibili specifiche chiavi dicotomiche per la loro identificazione (PENNACCHIO *et al.*, 2012). Le due specie condividono vari aspetti del ciclo vitale, ma presentano differenze etologiche marcate con conseguenti ricadute nella gestione delle infestazioni (SABBATINI PEVERIERI e CAVAGNA, 2011). Tra gli aspetti comuni si ricorda la spinta polifagia, che annovera varie decine di possibili latifoglie ospiti, anche appartenenti a famiglie diverse. Aceri, ippocastani, salici, faggi, carpini, platani, pioppi, olmi, betulle, rose, noccioli sono segnalate tra le piante più colpite, sebbene con evidenti preferenze per alcune specie (FACCOLI e FAVARO, 2016) e per alcuni tipi di ambienti (FACCOLI *et al.*, 2015a). Si evidenzia inoltre che possono essere attaccate sia piante adulte e di grandi dimensioni, sia piante giovani e molto piccole, in particolare nel caso di *A.*

– Pubblicato marzo 2016

chinensis, in grado di svilupparsi anche su arbusti (es. rose, nocciolo) e bonsai (Van der Gaag *et al.*, 2010). Comune a entrambe le specie è la caratteristica di colonizzare e svilupparsi su piante sane, che solo dopo ripetuti attacchi vengono portate a morte nel giro di qualche anno. Nuove infestazioni di questi xilofagi risultano quindi non facilmente rilevabili con tempestività in quanto le colonizzazioni inziali non sono accompagnate da un rapido declino del vigore delle piante ospiti. Per più generazioni la sintomatologia può infatti limitarsi alla presenza di soli fori circolari di sfarfallamento e/o cumuli di rosura espulsa in seguito all'attività di scavo delle larve. Solo successivamente compaiono i primi sintomi generici e aspecifici, quali ridotto vigore e disseccamenti parziali della chioma.

Le larve scavano dapprima gallerie sottocorticali che poi penetrano in profondità nel legno fino alla formazione della cella pupale, da cui sfarfalleranno gli adulti dopo aver eroso un sottile strato di corteccia che li separa dall'ambiente esterno. Le larve, che in Italia generalmente rappresentano lo stadio svernante (Faccoli *et al.*, 2015b), sono attive principalmente durante la stagione vegetativa, anche se nei nostri ambienti a clima mite l'attività di scavo può essere osservata anche in inverno. Il ciclo biologico ha una durata generalmente di uno o due anni, in funzione delle condizioni climatiche e del periodo di ovideposizione. Gli adulti, che si rinvengono da inizio estate fino a settembre inoltrato, si accoppiano dopo un breve periodo di alimentazione a spese di giovani cortecce di piante sane e vigorose. Le femmine depongono sulle piante ospiti, nel floema per *A. glabripennis* e nella corteccia per *A. chinensis*, uova destinate a schiudersi in 10-15 giorni (Sabbatini *et al.*, 2011a; Sabbatini e Roversi, 2010; Eyre *et al.*, 2013; Faccoli *et al.*, 2015b).

A. chinensis e *A. glabripennis* rappresentano due fitofagi molto temuti sia nell'areale nativo (in Cina *A. glabripennis* è nota con il nome comune di "incendio della foresta senza fumo"), sia negli ambienti di nuova introduzione come testimoniato dagli enormi sforzi economici compiuti da vari Paesi europei e nord-americani per eradicare i focolai (Herard *et al.*, 2005; Haack *et al.*, 2010; Van der Gaag *et al.*, 2010; Faccoli e Gatto, 2016). L'intensificarsi degli scambi commerciali internazionali, la diversità dei materiali trasportati (sia materiale vivo come piante in vaso o a radice nuda per *A. chinensis*, sia imballaggi o altri manufatti lignei per *A. glabripennis*) e le difficoltà di operare una capillare intercettazione del materiale infestato, hanno amplificato enormemente i rischi di nuove introduzioni accidentali (Haack *et al.*, 2010).

In Italia sono stati individuati focolai di entrambe le specie, tutti in fase di eradicazione o già eradicati con sforzi operativi ed economici non indifferenti (Sabbatini Peverieri *et al.*, 2010b; Cavagna *et al.*, 2013a; Faccoli e Gatto, 2016).

Per quanto riguarda *A. chinensis*, il primo focolaio italiano (ed europeo) è stato rinvenuto in Lombardia nel 2000 a Parabiago, provincia di Milano (Colombo e Limonta, 2001; Jucker *et al.*, 2008). L'attività di monitoraggio è arrivata a ricoprire un'area pari a circa 48.000 ettari nelle provincie di Milano, Varese e Como. Sempre in Lombardia, altri focolai sono stati individuati nel 2007 e 2008 in provincia di Brescia, rispettivamente a Montichiari e Gussago. In Lombardia tra il 2008 e il 2014 sono risultate colpite oltre 20.000 piante appartenenti in primo luogo a noccioli, aceri e betulle (Cavagna *et al.*, 2013a; ERSAF, 2016). Gli abbattimenti seguiti a tali segnalazioni, hanno portato a una notevole riduzione dell'infestazione (ERSAF, 2016).

Diverso andamento è stato registrato per il focolaio di *A. chinensis* del Lazio, situato nel centro storico di Roma, tra le terme di Caracalla e Porta San Sebastiano (Sabbatini Peverieri *et al.*, 2010b, 2011b). In questo secondo focolaio la segnalazione è stata fatta nell'estate del 2008 e le misure di eradicazione hanno portato all'immediato abbattimento di oltre 50 piante adulte principalmente di acero americano e platano, oltre che di alcuni arbusti di noccioli, rose e un filare a portamento arbustivo di melocotogno. A seguito della tempestiva individuazione del focolaio e alle conseguenti azioni intraprese, l'area interessata dall'infestazione nella Città di Roma ha riguardato solo una modesta superficie e la pronta eradicazione della specie. (Sinatra *et al.*, 2011; Roselli *et al.*, 2013). Con particolare riguardo agli aspetti storici e monumentali che in taluni casi possono interessare il patrimonio arboreo urbano, è stata sviluppata una metodica diagnostica non invasiva per individuare piante infestate da *A. chinensis* basata su analisi biomolecolari degli escrementi espulsi dalle larve frammisti a prodotti derivati dall'attività di scavo nel legno (Strangi *et al.*, 2012, 2013). La rapida individuazione di nuovi focolai e la disponibilità di veloci e affidabili metodiche diagnostiche costituiscono infatti una premessa indispensabile per attuare tempestive misure di controllo.

Il terzo focolaio italiano di *A. chinensis* è stato individuato in Toscana nel 2014, nel comune di Prato, in due siti distanti tra loro circa 250 metri: il primo caratterizzato dalla presenza di due aceri negundo fortemente colonizzati posti in un parcheggio di un'area residenziale; il secondo costi-

tuito da un vivaio con alcune centinaia di piante di acero giapponese, di cui circa 20 con segni di infestazioni in atto o pregresse (Sabbatini Peverieri *et al.*, 2014). I rilievi hanno evidenziato che i primi attacchi sulle due piante adulte erano antecedenti di almeno 5 anni. Le indagini e i monitoraggi hanno permesso anche in questo caso – come nel focolaio di Roma – di rilevare che l'infestazione di *A. chinensis* non si era ancora estesa eccessivamente sul territorio, rimanendo invece concentrata in una area ristretta, dove il cerambicide aveva colonizzato ripetutamente sempre le stesse piante nel corso degli anni. Le azioni di eradicazione attuate nel focolaio toscano si sono dimostrate efficaci in quanto nei controlli effettuati sino ad oggi non sono state reperite nuove infestazioni né sono stati catturati adulti nelle oltre 100 trappole allestite nell'area e nei territori circostanti.

Per quanto concerne *A. glabripennis*, in Italia sono attualmente presenti due focolai, uno in Veneto e uno nelle Marche. La segnalazione del Veneto si riferisce al focolaio di Cornuda, provincia di Treviso, rinvenuto nel 2009, cui sono seguiti ulteriori ritrovamenti nel vicino comune di Maser nel 2010 (Faccoli *et al.*, 2011; Zampini *et al.*, 2012). Ad oggi, nel Veneto sono state rimosse circa 1150 piante colpite da *A. glabripennis*, comprendenti per lo più aceri, salici, olmi e betulle, distribuite su una superficie totale di circa 7000 ettari. Benché il focolaio sia stato rinvenuto solo nel 2009, studi dendrocronologici compiuti sulle piante colpite hanno dimostrato che l'infestazione risale almeno al 2005 (Favaro *et al.*, 2013). Il focolaio è rimasto tuttavia molto circoscritto a seguito della scarsa capacità di diffusione attiva di *A. glabripennis* (Favaro *et al.*, 2015). Sebbene a fronte di notevoli spese (Faccoli e Gatto, 2016), gli interventi di eradicazione finora attuati stanno fornendo incoraggianti risultati con una progressiva riduzione del numero di piante infestate (67 nel 2012, 8 nel 2013, 4 nel 2014 e nessuna nel 2015).

Nelle Marche il focolaio è stato individuato in provincia di Fermo nel 2013 (al confine tra vari comuni, tra cui Grottazzolina), ed è risultato molto esteso interessando circa 7500 ettari con oltre 3300 piante infestate, in prevalenza aceri, olmi e pioppi (ASSAM, 2014). Questo focolaio di *A. glabripennis* è tuttora in fase di eradicazione.

Le attività di eradicazione di *A. chinensis* e *A. glabripennis* risultano di norma estremamente onerose come conseguenza delle azioni dirette di abbattimento e manipolazione del materiale infestato, del monitoraggio estensivo su un territorio vasto che interessa non solo il verde pubblico ma anche quello privato. Spesso l'eradicazione interessa anche ambienti di elevata complessità e difficile percorribilità come zone ripariali lungo torrenti e fiumi, o aree urbane fortemente antropizzate o in prossimità di strutture storiche. I costi tuttavia sono anche di tipo sociale, in relazione al conseguente depauperamento del patrimonio arboreo urbano, sia pubblico che privato, spesso di grande valore ornamentale ed ambientale (Faccoli e Gatto, 2016). La diversa ecologia riproduttiva delle due specie impone di indirizzare il monitoraggio di *A. chinensis* prevalentemente alla base delle piante e delle radici affioranti, mentre per *A. glabripennis* le ricerche si concentrano verso la parte medio-alta dei fusti e delle branche principali, spesso con l'impiego di tree-climbers. I segni da ricercare sono la presenza di caratteristici fori circolari di sfarfallamento e la rosura espulsa dalle larve in attività trofica. Una volta individuate, le piante colpite vanno distrutte mediante cippatura o bruciatura; nel caso di *A. chinensis* è richiesta anche la distruzione delle ceppaie e delle radici superficiali fino a 1 cm di diametro. I programmi di eradicazione devono inoltre essere accompagnati da misure fitosanitarie che impongono limitazioni ad alcune attività commerciali - in primo luogo del settore vivaistico - presenti nelle aree di quarantena, con restrizioni nella commercializzazione delle specie vegetali sensibili agli attacchi dei due xilofagi.

I programmi di eradicazione prevedono anche indagini relative all'individuazione delle principali possibili vie d'ingresso, nonché di datazione dei focolai al fine di ottenere informazioni utili per prevenire nuove introduzioni (Sabbatini *et al.*, 2012, 2013).

Aspetto da non trascurare è anche la messa in atto di capillari ed efficaci campagne di divulgazione e informazione al pubblico e agli operatori del settore agro-forestale e ambientale, per illustrare gli effetti, a volte devastanti, delle invasioni biologiche e per aumentare le possibilità di individuazione di nuovi focolai con azioni di coinvolgimento della cittadinanza capaci di moltiplicare il numero di "osservatori fitosanitari" coinvolgendoli in attività di "citizen science" (Cavagna *et al.*, 2013b) .

Ringraziamenti

Si ringraziano i Servizi Fitosanitari delle Regioni Marche, Lazio, Lombardia, Veneto.

Il lavoro è stato redatto nell'ambito delle attività incluse nei progetti: STRATECO, ASPROPI, ERAN, EMERAN.

BIBLIOGRAFIA

ASSAM, 2014 – *Tarlo asiatico del fusto,* Anoplophora glabripennis. Disponibile su http://www.tarloasiatico.marche.it/it/divulgazione/materiale-divulgativo.html, ultimo accesso 17/2/2016.

Cavagna B., Ciampitti M., Bianchi A., Rossi S., Luchelli M., 2013a - *Lombardy Region experience to support the prediction and detection strategies.* - Journal of Entomological and Acarological Research, 45(s1): 1-6.

Cavagna B., Ciampitti M., Materdomini R., Menguzzo S., D'Angelo G., Maspero M., 2013b – *Public awareness: a crucial point for a successful eradication campaign against the longhorned beetles* Anoplophora chinensis *and* A. glabripennis. - Journal of Entomological and Acarological Research, 45(s1), p. 37.

Colombo M, Limonta L., 2001 – Anoplophora malasiaca *Thomson (Coleoptera Cerambycidae Lamiinae Lamiini) in Europe*. - Boll. Zool. Agrar. Bachic., 33:65-68.

Eyre D., Simoni S., Northing P., Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., 2013 – *Model assist deepens* Anoplophora *spp. biology and spreading under relevant climatic conditions*. - Journal of Entomological and Acarological Research, 45(s1), p. 34.

ERSAF, 2016 – www.ersaf.lombardia.it (Accesso: 24.02.2016).

Faccoli M., Favaro R., Concheri G., Squartini A., Battisti A., 2015a – *Tree colonisation by the Asian Longhorn Beetle,* Anoplophora glabripennis *(Motschulsky) (Coleoptera Cerambycidae): effect of habitat and tree suitability*. - Insect Science, DOI: 10.1111/1744-7917.12192

Faccoli M., Favaro R., Smith M.T., Wu J., 2015b – *Life history of the Asian longhorn beetle* Anoplophora glabripennis *(Coleoptera Cerambycidae) in southern Europe*. - Agricultural and Forest Entomology, 17: 188-196.

Faccoli, M., Vettorazzo, M., Zampini, M., Zanini, G., Coppe, M., Battisti, A., 2011 – *An outbreak of* Anoplophora glabripennis *(Coleoptera: Cerambycidae) in NE Italy: first results of pest management and eradication attempt*. - Proceedings of the IUFRO Working Party 7.03.05 'Ecology and Management of Bark and Wood Boring Insects' Meeting: 'Novel Risks with Bark and Wood Boring Insects in Broadleaved and Conifer Forests', p. 15, 7-9 September 2011. Sopron, Hungary.

Faccoli M., Favaro R., 2016 – *Host preference and host colonisation of the Asian longhorned beetle,* Anoplophora glabripennis *(Coleoptera Cerambycidae), in Southern Europe.* - Bulletin of Entomological Research, doi:10.1017/S0007485315001157.

Faccoli M., Gatto P., 2016 – *Analysis of costs and benefits of Asian longhorn beetle eradication in Italy.* - Forestry: An International Journal of Forest Research. doi:10.1093/forestry/cpv041.

Favaro R., Battisti A., Faccoli M., 2013 – *Dating* Anoplophora glabripennis *introduction in North-East Italy by growth-ring analysis*. - Journal of Entomological and Acarological Research, 45 (suppl. 1): 35.

Favaro R., Wichmann L., Ravn H.P., Faccoli M., 2015 – *Spatial spread and infestation risk assessment in the Asian Longhorned Beetle* Anoplophora glabripennis *(Coleoptera Cerambycidae)*. - Entomologia Experimentalis et Applicata, 155: 95-101.

Haack R.A., Hérard F., Sun J., Turgeon J.J., 2010 – *Managing invasive population of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle: a worldwide perspective*. - Annu. Rev. Entomol., 55: 521-546.

Hérard F., Krehan H., Benker U., Boegel C., Schrage R., Chauvat E., Ciampitti M., Maspero M., Bialooki P., 2005 – Anoplophora *in Europe: infestations and management responses.* - Proceedings, 16th U.S. Department of Agriculture interagency research forum on gypsy moth and other invasive species 2005 GTR-NE-337, 35-40.

Jucker C., Maspero M., Cavagna B., Ciampitti M., Colombo M., 2008 – *Biologia e gestione di* Anoplophora chinensis *(Forster) in Lombardia. Le specie alloctone in Italia: censimenti, invasività e piani di azione*. - Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano, 36(1): 35-36.

Lingafelter S.W., Hoebeke E.R., 2002 – *Revision of* Anoplophora *(Coleoptera: Cerambycidae)*. - The Entomological Society of Washington, Washington, D.C., USA: 236 pp.

Maspero M., Jucker C., 2009 – Anoplophora chinensis, *tarlo asiatico*. In: Insetti esotici e tutela ambientale. Eds. C. Jucker, S. Barbagallo, P.F. Roversi, M. Colombo. Arti Grafiche Maspero Fontana: 158-161.

Pennacchio F., Sabbatini Peverieri G., Jucker C., Allegro G., Roversi P.F., 2012 – *A key for the identification of larvae of* Anoplophora chinensis*,* Anoplophora glabripennis *and* Psacothea hilaris *(Coleoptera Cerambycidae Lamiinae) in Europe*. - Redia, XCV: 57-65.

Roselli M., Bianchi A., Nuccitelli L., Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., 2013 – *Control strategies of* Anoplophora chinensis *in an area of considerable artistic and archaeological value in Rome*. - Journal of Entomological and Acarological Research, 45(s1): 27-29.

Sabbatini Peverieri G., Cavagna B., 2011 – *Il Tarlo asiatico "*Anoplophora chinensis*" (Forster), informazioni a carattere generale per una nuova emergenza fitosanitaria*. Disponibile su: http://strateco.it/index.php?option=com_content&view=article&id=22%3Aanoplophora-chinensis-e-glabripennis&catid=3&Itemid=4

Sabbatini Peverieri G., Bertini G., Cortini G., Serino G., Furlan P., Roversi P.F., 2013 – *Dating exit holes of* Anoplophora chinensis *in the outbreak site in Rome (Italy).* - Journal of Entomological and Acarological Research, 45(s1), p. 38.

Sabbatini Peverieri G., Bertini G., Furlan P., Cortini G., Roversi P.F., 2012 – Anoplophora chinensis *(Forster) (Coleoptera Cerambycidae) in the outbreak site in Rome (Italy): experiences in dating exit holes.* - Redia, XCV: 89-92.

Sabbatini Peverieri G., Biasci M., Guidotti A., Vetralla G., Marianelli L., Marziali L., Squarcini M., Vinci A., Roversi P.F., 2009 – *Il Tarlo Asiatico* Anoplophora chinensis *(Forster).* - Nota tecnica ARSIA, Regione Toscana. Disponibile su: http://www.regione.toscana.it/documents/10180/70110/fe53a15b4f037811f703231b51e131c4_tarloasiaticoanoplophorachinensis.pdf

Sabbatini Peverieri G., Furlan P., Roversi P.F., 2010a – *Il Tarlo Asiatico* Anoplophora chinensis. - Il Vivaista, 8, p. 26.

Sabbatini Peverieri G., Marianelli L., Marziali L., Squarcini M., Benassai D., Roversi P.F., Guidotti A., 2014 – *Il tarlo asiatico* Anoplophora chinensis

(Forster). Regione Toscana, Servizio Fitosanitario Regionale, Direzione generale della Presidenza Giunta Regione Toscana. Disponibile su http://www.regione.toscana.it/documents/10180/11270546/Tarlo+asiatico+web+corretto.pdf/0c49fdfa-a1d0-43be-a405-e124d0f5632c

Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., 2013 – Anoplophora chinensis, *tarlo asiatico che preoccupa l'Europa.* Web Magazine AboutPlants.EU, 19-05-2013. Accesso su http://www.aboutplants.eu/portal/cms/content-fitopatologia/177-anoplophora-chinensis-tarlo-asiatico-che-preoccupa-leuropa.html

Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., 2010 – *Feeding and oviposition of* Anoplophora chinensis *on ornamental and forest trees*. - Phytoparasitica, 38: 421-428.

Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., Serino G., 2011a – *Attività di alimentazione e ovideposizione di* Anoplophora chinensis *su specie arboree di interesse agro-forestale ed urbano*. - Atti XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova, 13-16/6/0211, p. 329.

Sabbatini Peverieri G., Sinatra G., Bianchi A., Roselli M., Nuccitelli L., Calì S., Serino G., Roversi P.F, 2011b – *Modalità di diffusione di* Anoplophora chinensis *nella fase iniziale dell'attacco: distribuzione dell'infestazione nel focolaio di Roma*. - Atti XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova, 13-16/6/2011, p. 330.

Sabbatini Peverieri G., Sinatra G., Serino G., Jucker C., Colombo M., Roversi P.F., 2010b - Anoplophora chinensis *minaccia il verde urbano della città di Roma*. - Informatore Fitopatologico, supplemento a Terra e Vita, 27: 18-20.

Sinatra G., Bianchi A., Roselli M., Nuccitelli L., Calì S., Sabbatini Peverieri G., Serino G., Roversi P.F., 2011 – *Attività di eradicazione di un focolaio di* Anoplophora chinensis *in Italia centrale*. - Atti XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova, 13-16/6/0211, p. 314.

Strangi A., Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., 2013a – *A new perspective for* Anoplophora chinensis *(Forster) (Coleoptera Cerambycidae) infested plant diagnosis by molecular analysis of larval frass*. - Journal of Entomological and Acarological Research, 45(s1): 18-19.

Strangi A., Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., 2013b - *Managing outbreaks of the citrus long-horned beetle* Anoplophora chinensis *(Forster) in Europe*. *Molecular diagnosis of plant infestation*. - Pest Management Science, 69(5): 627-634.

Van der Gaag D.J., Sinatra G., Roversi P.F., Loomans A., Hérard F., Vukadin A., 2010 – *Evaluation of eradication measures against* Anoplophora chinensis *in early stage infestations in Europe*. - EPPO bulletin, 40: 176-187.

Zampini M., Vettorazzo M., Faccoli M., Favaro R., Dal Cin I., Coppe M., 2012 – Anoplophora glabripennis *outbreak management in Veneto Region, Italy*. - Journal of Entomological and Acarological Research, 45(s1): 30.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 189-194

CONTROLLO BIOLOGICO DELLA CIMICE AMERICANA DELLE CONIFERE, *LEPTOGLOSSUS OCCIDENTALIS* HEIDEMANN (HETEROPTERA COREIDAE)

GIUSEPPINO SABBATINI PEVERIERI (*) - LEONARDO MARIANELLI (*) - AGOSTINO STRANGI (*)
FRANCESCO BINAZZI (*) - FRANCESCO PAOLI (*) - PIO FEDERICO ROVERSI (*)

(*) *CREA-ABP Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia, Via di Lanciola 12a, 50125 Firenze;* e-mail: piofederico.roversi@crea.gov.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Biological control of Western Seed Bug, Leptoglossus occidentalis *Heidemann (Heteroptera Coreidae)*

Leptoglossus occidentalis Heidemann is a North American seed-feeding pest in conifer stands. This pest, initially recorded in Italy at the end of the '90s, rapidly spread across Europe. Some regions in the Mediterranean basin were particularly affected and damages to *Pinus pinea* L. stands were often recorded with dramatic loss of 1-2 years-old cones and consequent decrease of pine nut production. This biological invasion led to the creation of a pest management program based on the introduction of the egg parasitoid *Gryon pennsylvanicum* (Ashmead) (Hymenoptera, Platygastridae). After the introduction to Italy, under quarantine conditions, its potential as biological control agent was tested by the investigation of its biological parameters. The risk that females could parasitize non-target species was thoroughly evaluated too. Results showed that *G. pennsylvanicum*, due to its high parasitization rate and capacity to exploit host eggs throughout their development is a valid candidate for biological control programs against this new pest.

KEY WORDS: *Pinus pinea* L., Western Conifer Seed Bug, Classical Biological Control, Egg parasitoid, host range.

CONTESTO AMBIENTALE

Secondo il rapporto FAO "Non-wood products from conifers" 29 specie del Genere *Pinus* presenti in Asia, Europa, Nord e Centro America producono semi eduli con elevate caratteristiche nutrizionali, utilizzati nell'alimentazione umana. Di queste almeno 4 specie sostengono importanti flussi di commercio nazionale e internazionale e due consentono la raccolta di semi impiegati a livello industriale per la produzione di olii per cottura.

In Europa, se si esclude il limitato apporto in alta montagna di *Pinus cembra* L., la produzione di pinoli è ascrivibile alla sola specie *Pinus pinea* L., le cui piantagioni risultano ampiamente diffuse nella regione mediterranea (BERNETTI, 1987).

A fronte di richieste in costante crescita, con positivi aspetti oltre che commerciali anche ambientali in quanto le formazioni di pino domestico si connotano in gran parte come elemento di tutela ed oculata gestione del territorio (spesso collocandosi all'interno di aree protette a legislazione speciale) la produzione nazionale di pinoli ha fatto registrare un trend costantemente negativo, non riconducibile alle normali variazioni cui questi ecosistemi forestali vanno soggetti da un anno all'altro per quanto attiene la produzione di seme.

Nell'ambito delle cause di questo crollo, senza trascurare l'influenza di problematiche selvicolturali (BIANCHI *et al*., 2011) e dei cambiamenti climatici in atto (MUTKE *et al*., 2005), un ruolo primario è svolto da agenti biotici di danno.

LEPTOGLOSSUS OCCIDENTALIS HEIDEMANN

Con riferimento agli organismi in grado di danneggiare la produzione di pinoli, gli insetti indigeni comprendono varie specie (INNOCENTI e TIBERI, 2003), cui si è aggiunto un coreide di origine nord americana, *Leptoglossus occidentalis* Heidemann (STRONG *et al*., 2001; BATES *et al*., 2000; 2002), segnalato per la prima volta in Italia nel 1999 (VILLA *et al*., 2001; BERARDINELLI e ZANDIGIACOMO, 2002; META, 2004; SANTINI, 2010).

L. occidentalis è da tempo considerato un temibile fitofago in Nord America dove si alimenta su varie conifere causando danni a strobili e semi (KOERBER, 1963; BATES *et al*., 2000, 2002; STRONG, 2006). In Europa la specie è ormai presente dal Portogallo alla Turchia e a nord ha raggiunto la Norvegia (JUCKER *et al*., 2009; EPPO, 2010). Nell'area mediterranea, oltre che nei Paesi europei e in Turchia (FENT e KMENT, 2011), è stato segnalato anche in Nord Africa (BEN JAMAA *et al*., 2013).

– Pubblicato marzo 2016

In Italia il fitofago causa perdite importanti nella produzione di pinoli delle formazioni di *P. pinea* (Roversi, 2009; Santini, 2010; Bracalini *et al*., 2013).

L'attività trofica di *L. occidentalis* può interessare i semi all'inizio del processo di formazione o in un fase avanzata di sviluppo: ne risulta comunque una parziale o totale necrosi dei tessuti interessati dalle punture. Particolarmente pesante è risultato, in ambienti mediterranei, l'esito dell'attività trofica del coreide sui giovani coni di pino domestico, la cui maturazione come noto richiede tre anni. Già nel 2005 il primo studio sulle perdite di raccolto in pinete mature di *P. pinea* ha evidenziato, mediante l'esame di 1539 pigne di tutte le età, che oltre il 50% delle giovani pigne dell'anno risultavano ormai irrimediabilmente compromesse; valore che saliva al 65% nel caso delle pigne di due anni per le quali considerando tutte le cause di danno, si registrava una percentuale di pigne sane inferiore al 12% (Roversi, dati non pubblicati raccolti nell'ambito del Progetto META-Monitoraggio dello Stato Fitosanitario delle Foreste della Toscana).

Il Coreide è capace di sviluppare nel corso dell'anno una generazione nei territori più a nord del suo areale e tre in Messico: per l'Italia settentrionale i dati disponibili indicano due generazioni seguite talora da una terza parziale. Complicano non poco gli studi su questi aspetti del ciclo biologico lo svernamento affidato agli adulti e la capacità di quest'ultimi di sopravvivere per lunghi periodi portando ad un accavallamento delle generazioni.

Antagonisti naturali

Dato che in Italia la coltivazione del pino domestico per la produzione di pinoli è localizzata principalmente in riserve naturali, parchi e altre aree inserite in territori classificati come aree naturali protette, qualsiasi programma di controllo della cimice basato sull'impiego di biocidi di sintesi è stato escluso e le attenzioni dei ricercatori si sono concentrate sulle possibilità di ricorso a strategie di lotta biologica.

In alcune regioni italiane sono stati ottenuti dalle uova di *L. occidentalis* ooparassitoidi inclusi tra i calcidoidei eupelmidi, encirtidi ed eulofidi, ma i livelli di parassitizzazione sono risultati estremamente bassi (Campoganara *et al*., 2003; Niccoli *et al*., 2009; Roversi *et al*., 2011; Maltese *et al*., 2011), anche se prove di laboratorio hanno permesso di osservare come l'oofago indigeno *Ooencyrtus pityocampae* Mercet sia in grado di parassitizzare e svilupparsi anche a spese di uova del coreide neartico contenenti ninfe pronte a schiudere (Binazzi *et al*., 2013). Gli stadi mobili della cimice sono risultati anch'essi interessati in modo sporadico dall'azione di antagonisti naturali autoctoni, come rilevato da Berardinelli e Zandigiacomo (2002) e in modo più esteso da Santini (2010).

L'invasione delle specie aliena ha indotto il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali ad attivare uno specifico progetto per sviluppare strategie di controllo a basso impatto ambientale (PINITALY).

Il progetto è stato avviato nel 2009 con un programma di collaborazione tra CREA-ABP, le Università di Firenze, Palermo e Pisa, il CNR e il Kalamalka Forestry Center. Il principale obiettivo del progetto è stato quello di individuare antagonisti naturali nei territori di origine del coreide e curarne l'introduzione in Europa in ambiente controllato per testarne le potenzialità ed effettuare un "pre-release risk assesment" per valutarne l'eventuale impatto su specie indigene di eterotteri.

Sulla base della letteratura disponibile è stata individuata la specie *G. pennsylvanicum*, un ooparassitoide solitario di varie specie di *Leptoglossus* e di un altro coreide *Anasa tristis* (De Geer), e che manifesta una partenogenesi facoltativa arrenotoca (Mitchell and Mitchell, 1983; Nechols *et al*., 1989; Yasuda, 1990; Bates and Borden, 2004).

Lotta Biologica Classica

Nel 2010 sono state immesse in natura in British Columbia (Canada) uova sentinella del coreide che hanno consentito di ottenere adulti di *G. pennsylvanicum*. Previa acquisizione delle autorizzazione dei Servizi Fitosanitari l'oofago è stato trasferito nel "Laboratorio per il controllo biologico delle specie nocive ai sistemi agroforestali del CREA di Firenze" dove è stato avviato in camera climatizzata un allevamento controllato (Roversi *et al*., 2011). Il ceppo dell'ooparassitoide è stato caratterizzato e la sequenza depositata in Genbank (code JX968492).

In laboratorio sono stati valutati i parametri demografici dell'ooparassitoide. Gli studi condotti hanno mostrato che *G. pennsylvanicum* è una specie capace di parassitizzare l'ospite già a partire dal primo giorno di sfarfallamento e di deporre una media di circa 144,55 uova/femmina nel corso della durata della vita (longevità delle femmine circa 40 giorni) (Sabbatini *et al*., 2012). *G. pennsylvanicum* allevato su uova di *L. occidentalis* ha consentito di

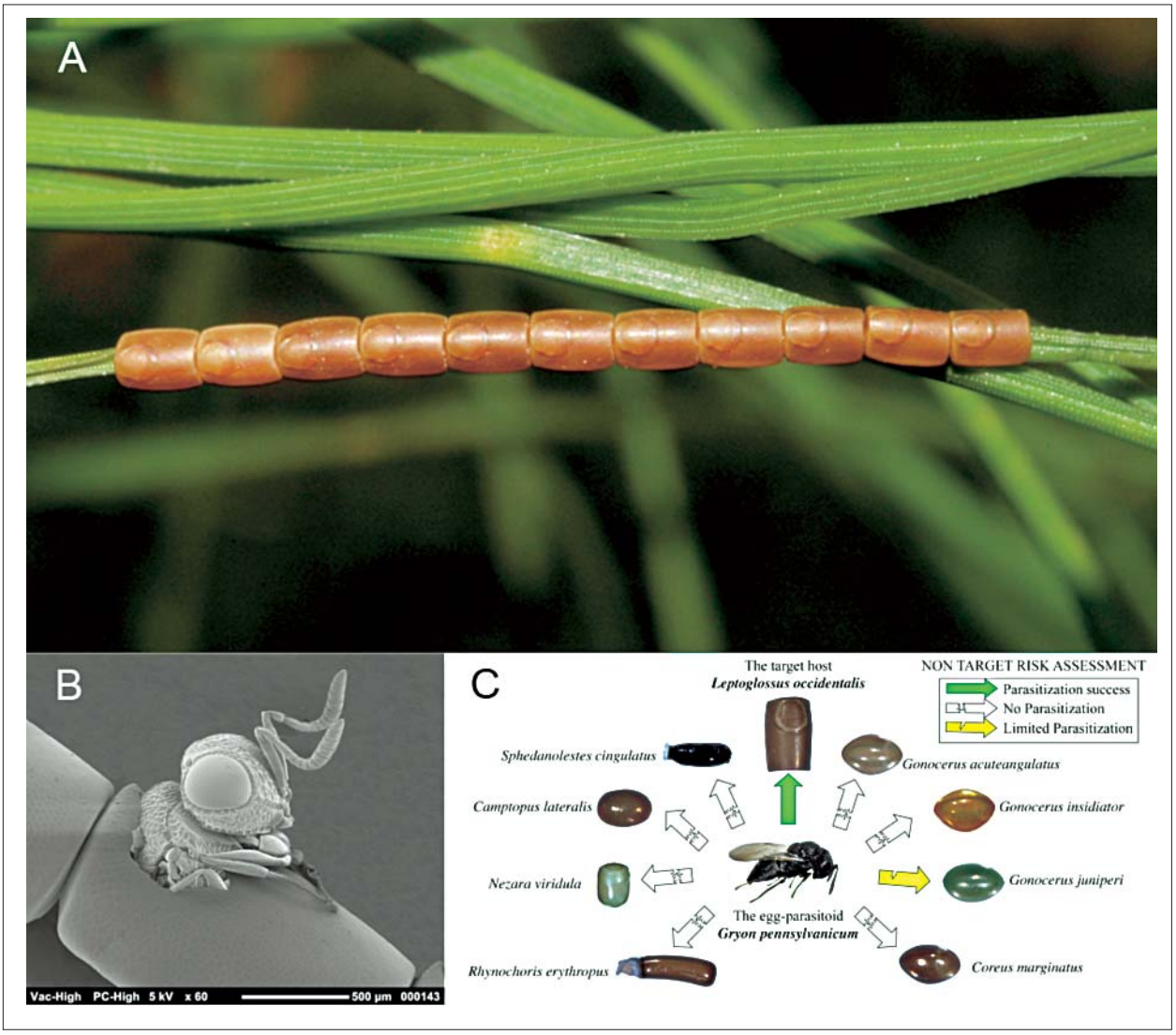


Fig. 1
A. - Ovatura di *Leptoglossus occidentalis*. B. - *Gryon pennsylvanicum* che sfarfalla da un uovo parassitizzato di *Leptoglossus occidentalis*. C. - Risultati dello studio sulla capacità di *Gryon pennsylvanicum* di ovideporre su ospiti diversi.

ottenere il 75% in più di progenie rispetto ai dati noti per l'allevamento su *A. tristis* (NECHOLS *et al*., 1989), con una sex-ratio nettamente spostata a favore delle femmine (72%) e un tasso intrinseco di accrescimento (r_m) pari a circa 0,2 ($days^{-1}$) (SABBATINI *et al*., 2012).

I dati ottenuti hanno permesso di evidenziare come le femmine di *G. pennsylvanicum* conservano la capacità di parassitizzare le uova di *L. occidentalis* anche dopo lunghi periodi di assenza dell'ospite (SABBATINI *et al*., 2012). Ulteriori indagini hanno riguardato anche la capacità dell'antagonista di svilupparsi in uova contenenti embrioni a diverso stadio di sviluppo evidenziando la capacità di *G. pennsylvanicum* di utilizzare anche uova contenenti neanidi di *Leptoglossus* prossime alla schiusa (SABBATINI *et al*., 2013), nonchè di parassitizzare uova del coreide stoccate a temperature basse e ultrabasse anche per più di un anno (SABBATINI *et al*., 2015). In parallelo alle indagini sui parametri demografici sono state condotte osservazioni con l'ausilio della microscopia elettronica a trasmissione sull'ultrastruttura dell'apparato riproduttore di questo oofago, che hanno permesso di classificare *G. pennsylvanicum* come "prospermatogenic species" (PAOLI *et al*., 2013, 2014).

A motivo dei risultati ottenuti, *G. pennsylvanicum* è stato considerato un interessante candidato per le successive fasi di un programma di "Lotta Biologica Classica" ed è stata avviata una specifica ricerca per valutarne l'impatto sugli ecosistemi italiani.

"Host range" e valutazione dell'impatto ambientale

Con riferimento all'introduzione di antagonisti naturali in nuove aree, da alcuni anni è cresciuta l'attenzione sulle possibili ricadute negative sulle entomofaune autoctone (Stiling e Simberloff, 2000; van Lenteren *et al*., 2003).

Dato che ipoteticamente la lista di specie non-target può essere molto estesa, in particolare per specie oligofaghe o polifaghe, di norma gli studi in tale settore utilizzano elenchi selezionati di possibili specie bersaglio presenti nei territori nei quali si intende liberare l'agente di controllo biologico al fine di rendere praticabili le indagini e contemporaneamente conservare il massimo livello di sicurezza possibile (van Lenteren *et al*., 2003; Kuhlmann *et al*., 2006; Bigler *et al*., 2010). Le specie che si intende introdurre possono peraltro disperdersi ed evolversi limitando la predittività dei test di laboratorio, per questo motivo di norma si tende ad adottare un atteggiamento il più conservativo possibile (Messing e Wright, 2006).

G. pennsylvanicum appartiene al gruppo *floridanum,* le cui specie sono distribuite nelle Regioni Neartica e Neotropicale oltre che in Giappone ed è considerato una specie polifaga a spese di eterotteri della sottofamiglia Coreinae inclusi in tre tribù: Anisoscelini, Hypselonotini e Chelinideini (Masner, 1961, 1983; Mitchell e Mitchell, 1983; Mineo e Caleca, 1987; Yasuda, 1990), tutti gruppi non rappresentati nell'eterotterofauna europea, con la sola eccezione di *L. gonagra* (Fabricius) presente nelle Isole Canarie (Moulet, 1995; Fauna Europea, 2012).

Per la scelta delle specie della fauna italiana da utilizzare nei test di accettazione di ospiti "non-target", ci si è basati in primo luogo sulle affinità ecologiche e filogenetiche con le specie ospiti dell'ooparassitoide nella sua area di indigenato, sulle caratteristiche morfologiche delle uova e sulle modalità di ovideposizione. Delle varie specie raccolte in ambienti di pineta sono state utilizzate per i test solo quelle per le quali è stato possibile realizzare allevamenti di laboratorio utili ad ottenere un sufficiente numero di uova.

Come noto la famiglia Coreidae comprende in Italia 17 specie appartenenti alla sottofamiglia Coreinae, ma tenuto conto del fatto che tutte le specie ospiti note di *G. pennsylvanicum* hanno uova che presentano uno pseudopercolo, la lista è stata ridotta eliminando le entità appartenenti alle tribù Prionotylini e Phyllomorphini, nonchè le specie del genere *Syromastus* (tribù Coreini) (Beard, 1940; Koerber, 1963; Brailovski *et al*., 1994; Moulet, 1995). Dalle 13 specie rimaste, sono state escluse quelle del genere *Spathocera*, in quanto troppo piccole, riducendo il numero a 9.

In un biennio di indagini di campo su alberi, arbusti ed erbe in pinete di pino domestico dell'Italia centrale e in ambienti limitrofi sono state raccolti adulti di 5 specie incluse nell'elenco dei potenziali "non-target hosts": *Gonocerus acuteangulatus* (goeze), *G. juniperi* Herrich-Schaeffer, *G. insidiator* (Fabricius), *Coreus marginatus* (Linnaeus) and *Centrocoris spiniger* (Fabricius). Per tutte queste specie ad eccezione di *C. spiniger* il numero di adulti raccolti ha permesso di costituire colonie in ambiente controllato. Oltre i coreidi sopracitati sono stati raccolti e utilizzati per realizzare allevamenti anche altri eterotteri: *Camptopus lateralis* (Germar) (Fam. Alydidae), *Nezara viridula* (Linnaeus) (Fam. Pentatomidae) e *Rhynocoris erythropus* (Linnaeus) (Fam. Reduvidae). A queste entità è stata aggiunta *Sphedanolestes cingulatus* (Fieber) (Fam. Reduvidae) considerata una specie endemica per il territorio italiano.

La valutazione del rischio prima del rilascio dell'antagonista naturale per il controllo della cimice aliena (pre-release risk assesment) è stata condotta in condizioni di quarantena mediante prove del tipo "no-choice test" utilizzando sia femmine recentemente sfarfallate che non erano state messe in precedenza in contatto con uova di *L. occidentalis*, che femmine le quali avevano già parassitizzato uova del coreide alieno, esponendo in entrambi i casi le uova per 1, 4 e 48 h (Roversi *et al*., 2013).

I risultati ottenuti hanno evidenziato che *G. pennsylvanicum* non ha utilizzato le uova delle specie non-target testate in tutti i test nei quali le uova sono state esposte alle femmine dell'ooparassitoide per 1 o 4 h. Nei test di esposizione per 48 h sono stati registrati solo tre casi in cui le uova sono state accettate per la parassitizzazione e un solo caso di sfarfallamento del platigastride da un uovo di *G. juniperi* (Roversi *et al*., 2013). Negli altri due casi di parassitizzazione rilevati per *C. marginatus* e *C. lateralis*, il parassitoide è morto all'interno dell'uovo della vittima prima dell'emergenza.

L'assenza di eventi di parassitizzazione nelle uova esposte per 1 e 4 h e il tasso di parassitismo veramente molto basso rilevato nei test di 48 h, condotti in condizioni obbligate per le femmine di *Gryon* (no-choice test) evidenziano come, nonostante l'approccio cautelativo utilizzato, i rischi per le specie non-target si collocano ai livelli più bassi della scala di rischio proposta da Bigler *et al*. (2010). Considerando l'ampia diffusione di *L. occidentalis* in contesti ambientali profondamente differenti tra loro per condizioni climatiche e composizione floristica e faunistica, si evidenzia tuttavia la necessità di ulteriori studi in questo ambito in altre aree del Mediterraneo ove le piantagioni di *P. pinea* sono presenti.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano per la collaborazione alle diverse fasi degli studi in Italia e in Canada W.B. Strong, V. Caleca, M. Maltese, R. Frosinini, D. Benassai, T. Fabbricatore, P. Furlan e S. Caradonna. Le ricerche sono state svolte nell'ambito del Progetto Finalizzato Nazionale MIPAAF "PINITALY - Rilancio della produzione italiana di pinoli attraverso la messa a punto di nuove strategie di difesa fitosanitaria (DM 256/7303/2007).

RIASSUNTO

L'eterottero coreide *Leptoglossus occidentalis* Heidemann rappresenta un fattore di danno negli arboreti da seme del Nord America. Segnalato in Nord Italia alla fine degli anni '90, si è rapidamente diffuso in gran parte d'Europa e nel bacino del Mediterraneo, causando danni nelle piantagioni di *Pinus pinea* L. con perdite di gran parte delle pigne di 1-2 anni e crollo della produzione di pinoli. L'invasione biologica del coreide neartico ha portato allo sviluppo di un progetto di lotta biologica classica, con introduzione dai territori di origine della cimice di un oopa-rassitoide, *Gryon pennsylvanicum* (Ashmead) (Hymenoptera, Platygastridae). Dopo l'introduzione in Italia di *G. pennsylvanicum* in condizioni di quarantena, le potenzialità dell'antagonista naturale sono state testate mediante lo studio dei parametri demografici e con indagini relative alla valutazione del rischio con riferimento alla possibilità delle femmine dell'oofago di parassitizzare specie non target. I risultati ottenuti hanno permesso di evidenziare come *G. pennsylvanicum*, caratterizzato da una elevata prolificità e capacità di utilizzare l'ospite durante tutto il periodo di sviluppo all'interno dell'uovo, possa costituire un valido candidato per l'impiego in programmi di controllo biologico del nuovo "pest".

BIBLIOGRAFIA

BATES S.L., BORDEN J.H., KERMODE A.R., BENNET R.G., 2000 – *Impact of* Leptoglossus occidentalis *(Hemiptera: Coreidae) on Douglas-fir seed production.* - J. Econ. Entomol., 93(5): 1444-1451.

BATES S.L., STRONG W.B., BORDEN J.H., 2002 – *Abortion and seed set in lodgepole and western white pine conelets following feeding by* Leptoglossus occidentalis *(Heteroptera: Coreidae)*. - Environ. Entomol., 31(6): 1023-1029.

BATES S.L., BORDEN J.H., 2004 – Parasitoid of Leptoglossus occidentalis *Heidemann (Heteroptera: Coreidae) in British Colombia* - Journal of the Entomological Society of British Columbia, 101: 143-144.

Beard R.L., 1940 - *The biology of* Anasa tristis *DeGeer with particular reference to the tachinid parasite* Trichopoda pennipes *Fabr.* - Bull. Conn.Agr. Exp. Stat., 440: 597-679.

BEN JAMAA M.L., MEJRI M., NAVES P., SOUSA E., 2013 – *Detection of* Leptoglossus occidentalis *Heidemann, 1910 (Heteroptera: Coreidae) in Tunisia.* - African Entomology 21(1):165-167. doi: http://dx.doi.org/10.4001/003.021.0105.

BERARDINELLI I., ZANDIGIACOMO P., 2002 – *First record of conifer seed bug (*Leptoglossus occidentalis*) in Friuli Venezia Giulia.* - Notiziario ERSA, 15(5): 44-46.

BERNETTI G., 1987 – *I boschi della Toscana*. Quaderni di Monti e Boschi n.4. Edagricole, pp. X+ 177.

BIANCHI L., FARAONI L., GIOVANNINI G., PACI M., 2011 – *Rinnovazione naturale del pino domestico. Indagini nella Riserva di San Rossore (PI).* – Sherwood, n.171: 21-26.

BIGLER F., BABENDREIER D., VAN LENTEREN J.C., 2010 – *Risk assesment and non-target effects of egg parasitoids in biological control.* In: Egg parasitoids in agroecosystems with emphasis on *Trichogramma*. Ed. by Consoli F.L., Parra J.R.P., Zucchi R.A. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York: 413-439.

BINAZZI F., BENASSAI D., SABBATINI PEVERIERI G., ROVERSI P.F., 2013 – *Effects of* Leptoglossus occidentalis *Heidemann (Heteroptera Coreidae) egg age on the indigenous parasitoid* Ooencyrtus pityocampae *Mercet (Hymenoptera Encyrtidae)*. - Redia, XCVI, 2013: 79-84.

BRACALINI M., BENEDETTELLI S., CROCI F., TERRENI P., TIBERI R., PANZAVOLTA T., 2013 - *Cone and Seed Pests of Pinus pinea: Assesment and Characterization of Damage*. - J. Econ. Entomol., 106(1): 229-234.

BRAILOVSKI H., BARRERA E., MAYORGA C., LÉON ORTEGA G., 1994 – *Estadios ninfale de los coreidos del valle de Tehuacán, Puebla (Hemiptera, Heteroptera), I* Chelinidea staffilasi*,* C. tabulata *and* N. femorata. - Ann. Inst. Biol. Univ. Nac. Auton. Mex. Ser. Zool., 65: 241-264.

CAMPOGANARA O., FESTI M., BATTISTI A., 2003 – *La cimice dei semi americana: un ospite indesiderato delle conifere.* - Vita in Campagna, 7-8: 49.

EPPO, 2010 – Leptoglossus occidentalis*: an invasive alien species spreading in Europe*. - Eppo Reporting Service, 1:8-12.

FAUNA EUROPEA, 2012 – *Fauna Europea version 2.4.* http://www.faunaeur.org.

FENT M., KMENT P., 2011 – *First record of the invasive western conifer seed bug* Leptoglossus occidentalis *(Heteroptera: Coreidae) in Turkey*. - North-Western Journal of Zoology, 7(1): 72-80.

INNOCENTI M., TIBERI R., 2002 – *Cone and seed pests of* Pinus pinea *L. in Central Italy*. - Redia, vol. LXXXV: 21-28.

JUCKER C., NICCOLI A., ROVERSI P.F., 2009 – Leptoglossus occidentalis *Heidemann Cimice americana delle conifere*. In: "Insetti esotici e tutela ambientale. Morfologia, biologia, controllo e gestione. Milano: 52-55.

KOERBER T.W., 1963 – Leptoglossus occidentalis *(Hemiptera: Coreidae), a newly discovered pest of coniferous seed*. - Annals of the Entomological Society of America, 56: 229-234.

KUHLMANN U., SCHAFFNER U., MASON P.G., 2006 – *Selection of non-target species for host specificity testing. In: Environmental impact of invertebrates for biological control of arthropods: methods and risk assessment*. Ed. by Bigler F., Babendreier D., Kuhlmann U. CABI Publishing, wallingford: 15-37.

VAN LENTEREN J.C., BABENDREIER D., BIGLER F., BURGIO G., HOKKANEN H.M.T., KUSKE S., LOOMANS A.J.M. MANZLER-HOKKANEN I., VAN RJIN P.C.J., THOMAS M.B., TOMMASINI M.G., ZENG Q.Q., 2003 – *Environmental risk assesment of exotic natural enemies used in inundative biological control.* - Biocontrol, 48: 3-38.

MALTESE M., CALECA V., STRONG W.B., GUERRIERI E., ROVERSI P.F., 2011 – *I parassitoidi di* Leptoglossus occidentalis *in Sicilia e nel suo areale di origine nordameri-*

cano. Proceedings XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova 13-16 giugno 2011: 350.

MASNER L., 1961 – *The Genera* Gryon *Hal.,* Idris *Foerst. and* Hemisius *Westw. (Hym., Scelionidae).* - Cas. Csl. Spol. Entomol. 58: 157-168.

MASNER L., 1983 – *A revision of* Gryon *Haliday in North America (Hymenoptera: Proctotrupoidea: Scelionidae).* - Canadian Entomologist, 115: 123-174.

META-PHYTOSANITARY MONITORING PROGRAM OF FORESTS IN TUSCANY, 2004 – *Arrivato in Toscana un nuovo insetto dannoso ai semi delle conifere*. http://meta.arsia.toscana.it/.

MESSIN R.W., WRIGHT M.G., 2006 – *Biological control of invasive species: solution or pollution?* - Front. Ecol. Environ., 4: 132-140.

MINEO G., CALECA V., 1987 – *Remarks on the species of* Gryon *Haliday of the* floridanum-*group with description of a new species (Hym. Proctotrupoidea: Scelionidae)*. - Phytophaga, 2: 31-40.

MITCHELL P.L., MITCHELL F.L., 1983 – *Range extension of* Leptoglossus fulvicornis *with observations on egg parasitism*. - Southwest Entomol., 8: 150-153.

MOULET P., 1995 – *Faune de france. Hemiptères Coreoidea (Coreidae, Rhopalidae, Alydidae), Pyrrhocoridae, Stenocephalidae Euro-Méditerranéens*. Federation Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris.

MUTKE S., GORDO J., GIL L., 2005 – *Variability of Mediterranean Stone pine cone production: Yield loss as response to climate change.* - Agricultural and Forest Meteorology 132 (2005) 263–272.

NICCOLI A., BENASSAI D., CROCI F., ROVERSI P.F., 2009 – Anastatus bifasciatus *ooparassitoide di* Leptoglossus occidentalis*.* Proceedings XXII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia: 337.

NECHOLS J.R., TRACY J.L., VOGT E.A., 1989 – *Comparative ecological studies of indigenous egg parasitoids (Hymenoptera: Scelionidae; Encyrtidae) of the squash bug, Anasa tristis (Hemiptera: Coreidae)*. - Journal of the Kansas Entomological Society, 62(2): 177-188.

PAOLI F., GOTTARDO M., DALLAI R., ROVERSI P.F., 2013 – *Morphology of the male reproductive system and sperm ultrastructure of the egg parasitoid* Gryon pennsylvanicum *(Ashmead) (Hymenoptera, Platygastridae).* - Arthropod Structure & Development, 42: 297-308.

PAOLI F., GOTTARDO M., MARCHINI D., DALLAI R., ROVERSI P.F., 2014 – *Ultrastructure of the female reproductive apparatus of the egg parasitoid* Gryon pennsylvanicum *(Ashmead) (Hymenoptera, Platygastridae).* - Micron, 61: 28-39.

ROVERSI P.F., 2009 – Leptoglossus occidentalis *Heidemann. Adattamento di specie neo-introdotte*. In: "Insetti esotici e tutela ambientale. Morfologia, biologia, controllo e gestione". Milano: 224-229.

ROVERSI P.F., SANTINI L., ROSSI E., LONI A., 2011 – *Ooparassitoidi di* Leptoglossus occidentalis *Heidemann in Toscana.* Proceedings XXIII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Genova 13-16 giugno 2011: 139.

ROVERSI P.F., SABBATINI PEVERIERI G., MALTESE M., FURLAN P., STRONG W.B., CALECA V., 2013 – *Pre-release risk assessment of the egg-parasitoid* Gryon pennsylvanicum *for classical biological control of* Leptoglossus occidentalis*.* - Journal of Applied Entomology, 138: 27-35. doi: 10.1111/jen.12062.

SABBATINI PEVERIERI G., FURLAN P., BENASSAI D., CARADONNA S., STRONG W.B., ROVERSI P.F., 2013 – *Host Egg Age of* Leptoglossus occidentalis *(Heteroptera, Coreidae) and Parasitism by* Gryon pennsylvanicum *(Hymenoptera, Platygastridae)*. - J. Econ. Entomol. 106(2): 633-640.

SABBATINI PEVERIERI G., FURLAN P., BENASSAI D., STRONG W.B., ROVERSI P.F., 2015 – *Long-term storage of eggs of* Leptoglossus occidentalis *for the mass-rearing of its parasitoid* Gryon pennsylvanicum*.* – Biocontrol, 60: 293-306. DOI 10.1007/s10256-014-9644-1.

SABBATINI PEVERIERI G., FURLAN P., SIMONI S., STRONG W.B., ROVERSI P.F., 2012 – *Laboratory evaluation of* Gryon pennsylvanicum *(Ashmead) (Hymenoptera, Platygastridae) as a biological control agent of* Leptoglossus occidentalis *Heidemann (Heteroptera, Coreidae).* - Biological Control, 61: 104–111.

SANTINI L., 2010 – *La Cimice Americana delle conifere (*Leptoglossus occidentalis *Heidemann) (Heteroptera, Coreidae) e fruttificazione del Pino domestico*. In: Insetti di Recente Introduzione Dannosi alle Pinete. Supplemento a "I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili", Anno 2009 - Serie VIII - Vol. & (185° dall'inizio): 15-36.

STILING P., SIMBERLOFF D., 2000 – *The frequency and strenght of non target effects of invertebrate biological control agents of plant pests and weeds.* In: Non-target effects of biological control. Ed. by Follett P.A., Duan J.J. Kluwer Academic Publisher, Norwell: 31-43.

STRONG, W.B., 2006 – *Seasonal changes in seed reduction in lodgepole pine cones caused by feeding of* Leptoglossus occidentalis *(Hemiptera: Coreidae).* - Canadian Entomologist, 138: 888-896.

STRONG W.B., BATES S.L., STOEHR M., 2001 – *Feeding by* Leptoglossus occidentalis *(Hemiptera: Coreidae) reduce seed set in lodgepole pine (Pinaceae).* - Canadian Entomologist, 133: 857-865.

VILLA M., TESCARI G., TAYLOR S.J., 2001 – *Nuovi dati sulla presenza in Italia di* Leptoglossus occidentalis *(Heteroptera: Coreidae).* - Bollettino della Società Entomologica Italiana, 133(2): 101-112.

YASUDA K., 1990 – *Ecology of the leaf footed plant bug,* Leptoglossus australis *Fabricius (Hetroptera: Coreidae), in the sub-tropical region of Japan.* - Tropical Agriculture Research Series, 23: 229-238.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 195-202

BIOECOLOGIA E DISTRIBUZIONE DI *PITYOPHTHORUS JUGLANDIS* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE, SCOLYTINAE) IN ITALIA

MASSIMO FACCOLI (*) - LUCIO MONTECCHIO (**)

(*) *Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente (DAFNAE), Università degli Studi di Padova. Viale dell'Università, 16 – 35020 Legnaro (PD);* e-mail: massimo.faccoli@unipd.it
(**) *Dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali (TESAF), Università degli Studi di Padova. Viale dell'Università, 16 – 35020 Legnaro (PD)*
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Tecniche di lotta ed eradicazione di fitofagi d'interesse forestale". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze - 12 giugno 2015.

Life-history and geographical distribution of the Walnut Twig Beetle, Pityophthorus juglandis *(Coleoptera: Curculionidea, Scolytinae), in Southern Europe*

In September 2013, the Walnut Twig Beetle (WTB) *Pityophthorus juglandis* Blackman, a species native to Mexico and South-Western USA, was recorded for the first time in Europe in Northern Italy (Province of Vicenza). The collected adults were found to be vector of the fungus *Geosmithia morbida* Kolařik (Ascomycota: Hypocreales), an extremely aggressive pathogen inducing the Thousand Cankers Disease (TCD) on walnut species (*Juglans* spp.). In order to determine the geographical distribution of the species and the main aspects of its biology, phenology and voltinism, an intensive survey of the main walnut plantations occurring near to the first finding site was carried out in 2014. The beetles began to fly with a mean air temperature of about 18° C (middle May) and continued until late October. Two partially overlapping generations occurred, with the second one tooking place in late September. WTB was found in the half (14) of the 28 monitored walnut plantations. The infested sites were spread over 4 different non-contiguous administrative provinces (Vicenza, Padova, Treviso and Mantova) belonging to two regions (Veneto and Lombardy) of North Italy. The most distant infested plantations were about 130 km apart along a west-east gradient, and about 70 km along a north-south gradient. In this respect, the distribution area of WTB in North Italy may be estimated prudentially in about 4,200 km^2. All the monitored sites occurring within a radius of about 30 km around the first infestation were found positive to WTB and TCD. Molecular analysis of the trapped specimens showed no genetic variability in *P. juglandis* populations, suggesting that few individuals of WTB might be arrived in Italy through a single introduction event. Given the quick mortality of infested walnuts and the wide distribution area, eradication strategies appear unrealistic. Further strategies of biological control or local chemical treatments must be investigated.

Key Words: Alien species, Bark beetles, Biological invasions, Thousand Cankers Disease

Introduzione

I coleotteri scolitidi (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) sono tra i parassiti forestali più temuti nelle foreste temperate (Brockerhoff *et al*., 2006a). Poiché velocemente e facilmente trasportabili all'interno di materiali lignei d'imballaggio (McCullough *et al*., 2006; Zahid *et al*., 2008; Kenis *et al.*, 2009; Rassati *et al*., 2015a), legname fresco (Piel *et al*., 2008), trucioli di legno (Flø *et al*., 2014) e piante legnose (Liebhold *et al*., 2012; Eschen *et al*., 2015) – dove possono facilmente eludere i controlli fitosanitari (Brockerhoff *et al*., 2006b) – questi insetti sono riconosciuti come uno dei gruppi di specie invasive di maggior successo (Haack, 2006; McCullough *et al*., 2006). Nuovi scolitidi esotici vengono infatti intercettati ogni anno in Europa (Kirkendall & Faccoli 2010), con un trend in aumento e correlato alla crescita del commercio internazionale (Marini *et al.*, 2011; Rassati *et al*., 2015b).

Nel settembre 2013 lo scolitide del noce *Pityophthorus juglandis* Blackman, una specie originaria del Messico e degli Stati Uniti sud-occidentali (California, Arizona e New Mexico), è stato ritrovato per la prima volta in Europa, nell'Italia settentrionale in provincia di Vicenza (Montecchio & Faccoli, 2014). Nelle zone indigene questa specie è associata al fungo *Geosmithia morbida* Kolarik (Ascomycota: Hypocreales), un patogeno molto aggressivo responsabile della malattia nota come Thousand Cankers Disease (TCD) che si sviluppa a carico di varie specie di noce (*Juglans* spp.) (Kolarik *et al*., 2011; Tisserat *et al*., 2009; 2011; Seybold *et al*., 2013). Allo stesso modo, gli individui di *P. juglandis* raccolti in Italia sono risultati essere vettori di *G. morbida* (Montecchio & Faccoli, 2014). Anche se le prime infestazioni europee di *P. juglandis* sono state trovate in piantagioni di noce nero (*J. nigra*) coltivato intensivamente per la produzione di legname (Montecchio

– Pubblicato marzo 2016

& Faccoli 2014), una successiva indagine ha permesso di trovare sia l'insetto sia il fungo anche su alberi di noce comune (*J. regia*) (Montecchio *et al.*, 2014).

P. juglandis è un piccolo scolitide (1,5-1,9 mm) in grado di riprodursi nel floema di molte specie di noce (Wood, 1982). In primavera gli adulti colonizzano la corteccia alla base di ramoscelli e piccole branche, ma in caso di elevata densità di popolazione possono infestare anche grossi rami e la parte medio-alta del tronco (Newton & Fowler, 2009). I maschi scavano piccole camere nuziali sottocorticali, dove a breve sono raggiunti da 3-8 femmine, di solito 4-5 (Faccoli, 2015). Dopo l'accoppiamento ciascuna femmina scava nel floema brevi gallerie materne ai lati delle quali sono deposte le uova (Faccoli, 2015). Partendo dalla camera nuziale le gallerie materne di solito si sviluppano trasversalmente alle fibre del legno, mentre le gallerie larvali – scavate indipendentemente da ciascuna larva – hanno uno sviluppo longitudinale (Faccoli, 2015). Negli Stati Uniti meridionali lo sviluppo larvale solitamente richiede 6-8 settimane che generalmente portano al completamento di due generazioni l'anno parzialmente sovrapposte (Newton & Fowler, 2009). Gli adulti possono essere osservati in volo da metà aprile a fine ottobre, mentre l'inverno è solitamente speso come adulto sotto la corteccia degli alberi ospiti colonizzati nel corso della tarda estate (Newton & Fowler, 2009).

L'associazione *P. juglandis*-*G. morbida* è particolarmente efficiente. Gli adulti dell'insetto hanno le elitre imbrattate di conidi del fungo (Seybold *et al.*, 2013) che viene così introdotto nell'albero ospite durante la colonizzazione delle cortecce e lo scavo delle gallerie materne (Tisserat *et al.*, 2009). I sintomi principali dell'infestazione sono ingiallimento delle chiome, avvizzimento di foglie e ramoscelli, e un elevato numero di piccoli cancri corticali, da cui il nome della malattia (Tisserat *et al.*, 2009). Nelle fasi iniziali, *G. morbida* produce infatti piccoli cancri circolari che si sviluppano attorno ai fori d'ingresso dell'insetto, e di solito non sono visibili se non rimuovendo un sottile strato di corteccia esterna (Tisserat *et al.*, 2009; Grant *et al.*, 2011). Con il tempo i cancri si espandono e si fondono fra loro; sezioni longitudinali dei rametti colpiti rivelano macchie grigio-marrone sia del floema sia della parte esterna dell'alburno (Montecchio & Faccoli, 2014). In pochi mesi gli alberi colpiti presentano avanzati stadi di declino e a breve muoiono a seguito sia dell'infestazione degli insetti sia dell'infezione fungina a carico del floema (Tisserat *et al.*, 2009; Grant *et al.*, 2011).

Dalla fine degli anni 1990, *P. juglandis* e *G. morbida* sono responsabili della diffusa moria di molte specie di noce negli Stati Uniti (Randolph *et al.*, 2013), a seguito della diffusione di parassita e patogeno da sud-ovest – area di origine di entrambi (Cranshaw, 2011) – ai paesi del nord-est e a tutta la costa orientale tramite il commercio interno di legname infestato (Newton & Fowler 2009; Jacobi *et al.*, 2012; Seybold *et al.*, 2013). L'arrivo di *P. juglandis* e *G. morbida* in Europa è considerato una grave minaccia per il noce comune, specie ritenuta sensibile alla malattia (Utley *et al.*, 2013; Montecchio *et al.*, 2014). Nel corso degli ultimi 90 anni, infatti, diverse aree dell'Europa meridionale sono state coltivate con varie specie arboree destinate alla produzione di legno, e sia il noce nero sia il noce comune sono spesso presenti in grandi quantità (Eichhorn *et al.*, 2006). A oggi il noce comune è una pianta di grande valore economico e culturale, coltivato per i frutti, il legname, e come albero tipico del paesaggio rurale. Per questi motivi la sua suscettibilità a *P. juglandis* e *G. morbida* può avere gravi impatti sul paesaggio e l'economia locale di molte aree agricole e forestali europee.

Anche se nessuna informazione precisa è ancora disponibile, l'importazione di legno infestato (con corteccia) dagli Stati Uniti è la più probabile via d'introduzione di *P. juglandis* in Europa. Un monitoraggio intensivo della presenza di *P. juglandis* si è quindi resa necessaria sia per valutare l'effettiva distribuzione dell'insetto sul territorio nazionale, e sia per meglio comprendere i principali parametri bio-ecologici di questa specie nelle aree di neo-introduzione. Il primo obiettivo di questo studio è stato quello di condurre un monitoraggio sistematico delle principali piantagioni di noce presenti in prossimità del luogo del primo ritrovamento, al fine di determinare l'estensione della zona d'infestazione. Il secondo obiettivo è stato invece quello di indagare gli aspetti principali di biologia, fenologia e voltinismo delle popolazioni italiane di *P. juglandis* utilizzando sia campioni di tronchetti infestati e posti in allevamento sia trappole per la cattura degli adulti in volo.

Materiali e Metodi

Distribuzione di P. juglandis

Nel settembre 2013, un'estesa infestazione di *P. juglandis* è stata trovata in Italia nord orientale (Bressanvido, Vicenza, 45° 39' N, 11° 38' E) su alberi di noce nero cresciuti in una piantagione da legno (Montecchio & Faccoli, 2014). Un'indagine preliminare svolta nei mesi successivi ha permesso di scoprire nella stessa area altre quattro piantagioni infestate

(Montecchio *et al*., 2014). Per verificare la reale distribuzione di *P. juglandis* in Italia settentrionale, uno specifico monitoraggio è stato condotto nel corso della primavera-estate 2014 nelle principali piantagioni di noce nero presenti sia nella regione del primo ritrovamento (Veneto), che in quelle confinanti (Friuli Venezia Giulia e Lombardia). Al riguardo, 28 piantagioni di noce sono state individuate al fine di avere una distribuzione geografica più possibile omogenea. La presenza di *P. juglandis* è stata accertata utilizzando una trappola a imbuto da 12 elementi (Econex, Murcia, Spagna) installata in ciascuna delle piantagioni selezionate (Seybold *et al*., 2012a). Le trappole sono state collocate l'ultima settimana di luglio appendendole a un albero a circa 2 m dal suolo, nella zona centrale della piantagione. Ogni trappola è stata poi attivata con un feromone di aggregazione specifico per *P. juglandis* (Contech Enterprises, Victoria, BC, Canada), e lasciata in campo fino all'ultima settimana di ottobre, poi ritirata e svuotata. Tutti gli scolitidi catturati sono stati infine identificati morfologicamente (Wood, 1982).

Fenologia e voltinismo

Fenologia e voltinismo di *P. juglandis* sono stati studiati in primavera ed estate 2014 sia attraverso il campionamento di alberi infestati sia tramite trappole a feromoni. In ognuna delle 5 piantagioni di noce nero dove *P. juglandis* è stato originariamente trovato, tre alberi infestati da larve mature, pupe e giovani adulti sono stati abbattuti nel mese di febbraio. Da questi, 5 rami infestati per albero – di circa 35-40 cm di lunghezza e 3-4 cm di diametro – sono stati prelevati e collocati singolarmente in tubi di vetro trasparenti (lunghezza 50 cm, diametro 10 cm) chiusi con reti metalliche e conservati a temperatura ambiente in attesa dello sfarfallamento degli adulti. Prima di essere inseriti nei tubi, le superfici di taglio dei tronchetti sono state ricoperte con paraffina per ridurre la disidratazione dei tessuti legnosi. I tubi sono stati controllati e svuotati settimanalmente fino alla conclusione dei voli degli adulti, e gli insetti determinati, separati per sesso e contati (Wood, 1982).

Durante la seconda metà del mese di maggio 2014, una trappola a imbuto da 12 elementi (Econex, Murcia, Spagna) innescata con specifico feromone di aggregazione è stata allestita negli stessi 5 impianti di noce, dove è stato condotto il campionamento degli alberi infestati. Le trappole sono state controllate ogni settimana fino alla fine di ottobre dello stesso anno, e tutti gli insetti catturati identificati morfologicamente.

La temperatura dell'aria è stata registrata a cadenza oraria tramite data logger (HOBO Temp) collocati nelle piantagioni di noce monitorate.

Risultati

Distribuzione di P. juglandis

Un totale di 4.473 individui di *P. juglandis* sono stati catturati con le trappole, di cui il 66% femmine. *P. juglandis* è stato trovato nella metà (14) delle 28 piantagioni di noce monitorate. I siti infestati erano presenti in 4 diverse province fra loro solo parzialmente confinanti (Vicenza, Treviso, Padova, Mantova) e appartenenti a due diverse regioni (Veneto e Lombardia) (Fig. 1). Le piantagioni infestate più distanti si trovavano a circa 130 km le une dalle altre secondo un gradiente est-ovest, e a circa 70 km lungo un gradiente sud-nord (Fig. 1). A questo proposito, l'area di distribuzione di *P. juglandis* nell'Italia settentrionale può essere stimata prudenzialmente in circa 4.200 km^2. Tutti i siti monitorati entro un raggio di circa 30 km intorno alla prima piantagione infestata sono risultati essere positivi alla presenza *P. juglandis* (provincia di Vicenza e parzialmente di Treviso, Fig. 1). La piantagione infestata più occidentale fra quelle monitorate (Marmirolo, Mantova) è risultata essere isolata da tutte le altre. Durante alcune indagini preliminari condotte in primavera 2015, *P. juglandis* è stato ritrovato in tutti i siti in cui era stato segnalato l'anno precedente.

Fenologia e voltinismo

Nella primavera del 2014 i primi adulti di *P. juglandis* hanno cominciato a volare con una temperatura media dell'aria di circa 18° C (seconda metà di maggio), quando i primi insetti sono stati trovati sia nelle trappole sia nei tubi di allevamento dei tronchetti raccolti durante l'inverno precedente (Fig. 2). Un secondo e più consistente picco di sfarfallamenti è stato registrato circa 4-5 settimane dopo, all'inizio di luglio (Fig. 2). Adulti di *P. juglandis* sono stati poi catturati nelle trappole durante tutta l'estate fino a ottobre inoltrato. In particolare, due nuovi ma numericamente più contenuti picchi di cattura si sono osservati dopo circa tre mesi dal primo e dal secondo, rispettivamente a inizio settembre e inizio ottobre (Fig. 2). Il tempo trascorso tra i picchi di fine maggio e inizio luglio (circa un mese) è stato troppo breve per consentire il pieno sviluppo di una nuova generazione, suggerendo quindi che nel 2014 si sono avute due generazioni parzialmente sovrapposte – una da maggio a settembre e l'altra da luglio a ottobre – ciascuna della durata di circa 12 settimane (Fig. 2).

Discussione

I principali risultati che emergono da questo studio suggeriscono che *P. juglandis* e *G. morbida*

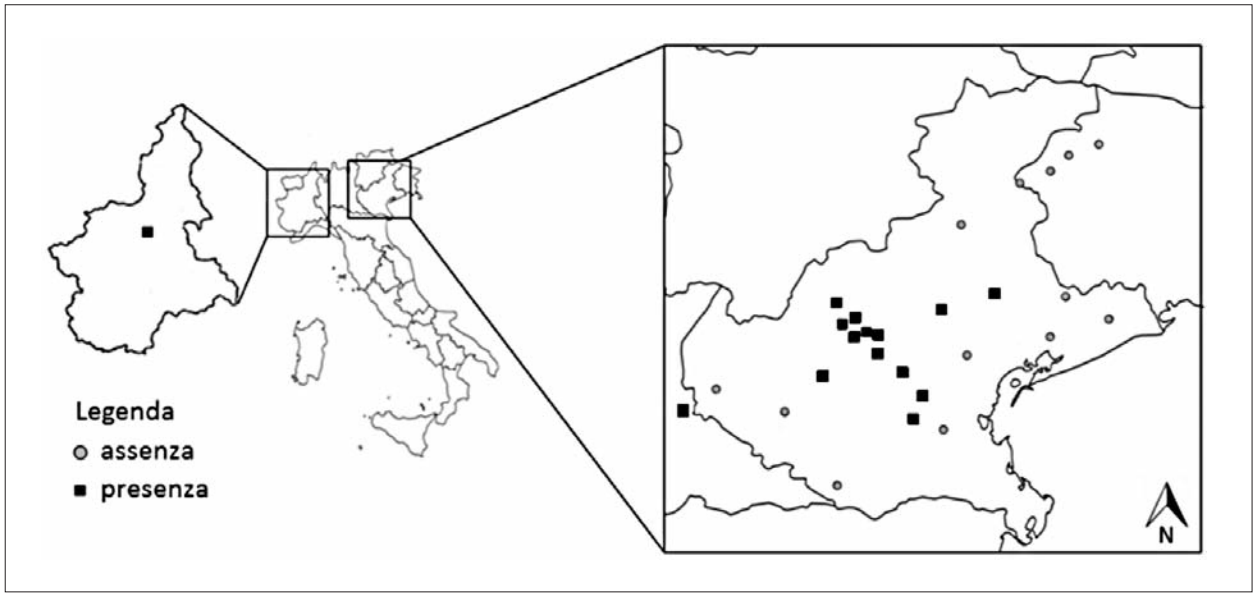


Fig. 1
Mappa di distribuzione delle piantagioni di noce monitorate nel corso della primavera-estate 2014 e 2015 in Veneto, Friuli Venezia Giulia, Lombardia e Piemonte. Cerchi grigi indicano assenza di *Pityophthorus juglandis*, mentre quadrati neri indicano presenza. Tutti i siti monitorati entro un raggio di circa 30 km intorno alla prima piantagione trovata infestata sono risultati positivi all'insetto.

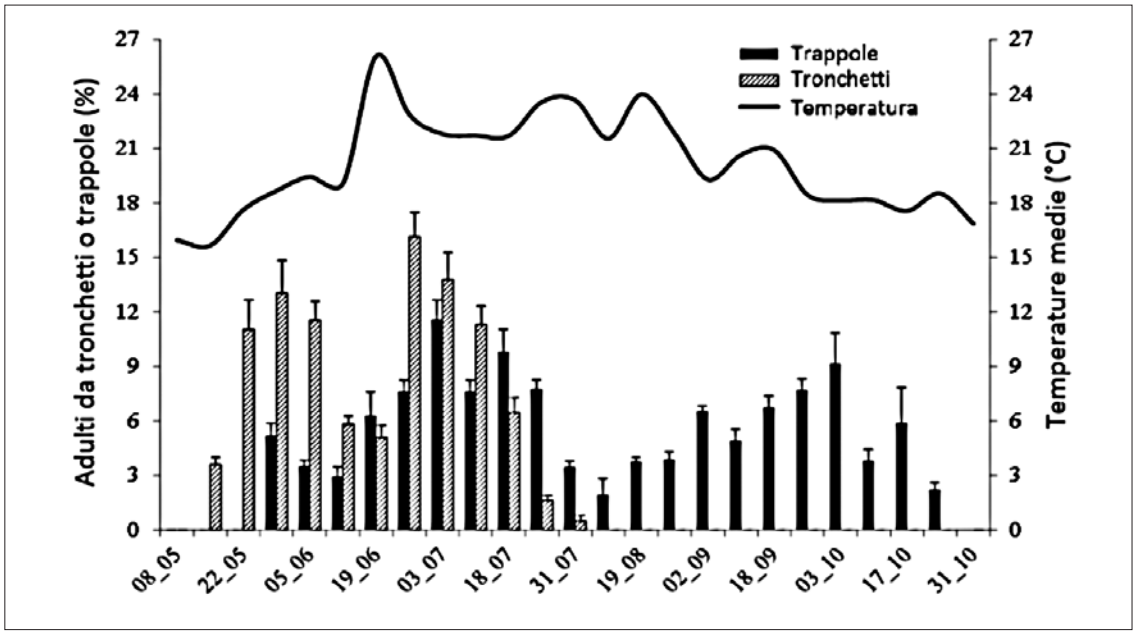


Fig. 2
Fenologia e voltinismo delle popolazioni di *Pityophthorus juglandis* monitorate in Italia settentrionale nella primavera-estate 2014 in relazione alla temperatura media giornaliera. Il numero medio di adulti (+ SEM) è stato calcolato considerando sia gli adulti sfarfallati dai tronchetti di noce infestati (barre grigie) sia quelli catturati utilizzando trappole a feromoni installate nelle piantagioni infestate (barre nere).

sono entrambi acclimatati in Europa meridionale. Per almeno tre anni consecutivi (2013-2015) popolazioni stabili di *P. juglandis* sono state osservate in diverse regioni del nord Italia, dove la specie può produrre fino a due generazioni l'anno e riesce a sopravvivere al relativamente freddo inverno come larve mature, pupe e giovani adulti sotto la corteccia degli alberi infestati a fine estate. Infine, il monitoraggio effettuato con trappole a feromoni ha permesso di rivelare la presenza dell'insetto in molte piantagioni di noce originariamente non considerate infestate perché ancora asintomatiche.

P. juglandis è stato storicamente ritenuto come un parassita minore dei noci, e considerato di importanza trascurabile sulle specie di *Juglans* native degli Stati Uniti sud-orientali e del Messico

(Bright, 1981; Graves *et al*., 2009; Leslie *et al*., 2010; Seybold *et al*., 2012b). Per queste ragioni, la bio-ecologia di questa specie è stata in passato poco studiata. I nostri risultati relativi a fenologia e voltinismo di *P. juglandis* nell'Italia settentrionale dimostrano che gli adulti cominciano a volare in primavera con una temperatura media dell'aria di circa 18° C e continuano fino a fine ottobre. Il numero di picchi di sfarfallamento osservati nel 2014 – sia dalle trappole sia dai tronchetti infestati – così come la loro distribuzione temporale in primavera ed estate, suggeriscono che in Italia settentrionale *P. juglandis* possa compiere due generazioni l'anno fra loro parzialmente sovrapposte: una da maggio a settembre e l'altra da luglio a ottobre. Questa conclusione è corroborata dalla presenza di due coorti di adulti sfarfallanti in primavera in due momenti diversi. Il primo gruppo di insetti, che vola verso fine maggio, è composto da scolitidi svernanti come adulti e pronti a sfarfallare non appena la temperatura raggiunge almeno i 18° C. Questo primo contingente avvia la prima generazione che entro inizio settembre produrrà nuovi adulti in grado di avviare una seconda generazione svernante come larve o pupe, e che nella primavera successiva richiederà ancora qualche settimana per completare lo sviluppo e sfarfallare. La seconda coorte di adulti appare invece più tardi (fine giugno) ed è composta di individui svernanti come larve di vari stadi che richiedono un ulteriore sviluppo prima di sfarfallare. Il volo di questi insetti avviene quindi dopo, avviando una generazione che si concluderà a fine estate (ottobre) producendo adulti svernanti.

I nostri dati sono in linea con osservazioni recentemente condotte negli Stati Uniti (Cranshaw & Tisserat, 2012; Nix, 2013; Audley, 2015). Per esempio, in Colorado sia larve sia adulti possono essere osservati sotto corteccia durante tutto l'inverno, suggerendo un'attività riproduttiva continua in primavera e in estate con produzione di generazioni sovrapposte. Negli USA, la comparsa primaverile di individui adulti svernanti è stata registrata a partire da fine aprile (Cranshaw & Tisserat, 2012), leggermente prima di quello osservato nel presente studio. Tuttavia – come osservato in Italia settentrionale – un secondo picco di volo è presente da metà luglio e si conclude entro inizio autunno. Ciò significa che in Colorado sono normalmente prodotte due-tre generazioni largamente sovrapposte (Cranshaw & Tisserat, 2012). Fenologia e voltinismo di *P. juglandis* sono invece notevolmente diversi in climi più caldi. Ad esempio, nella parte orientale del Tennessee e in Virginia l'attività di volo è stata registrata rispettivamente fino ai primi di dicembre e gennaio, con larve, pupe e adulti presenti durante tutto l'inverno (Nix, 2013). Studi simili condotti in California hanno dimostrato che il principale stadio svernante è rappresentato da larve in varie fasi di sviluppo e il volo primaverile degli adulti può iniziare già da marzo (Cranshaw & Tisserat, 2012). Seybold *et al*. (2012a) riportano che il volo di *P. juglandis* presenta massima attività con temperature di 23-24º C e si arresta a temperature inferiori a 17-18º C. Quindi, in California l'unico mese in cui *P. juglandis* non trova temperature idonee al volo è dicembre (Seybold *et al*., 2012b). Negli Stati Uniti meridionali, anche lo sviluppo larvale è in media più breve richiedendo solo 6-8 settimane (Cranshaw & Tisserat, 2012).

In estate 2015, a seguito di un'indagine preliminare, sia *P. juglandis* che *G. morbida* sono stati trovati anche in una piantagione di noce nero del Piemonte (Rondissone, provincia di Torino), a più di 320 km a occidente dal primo sito registrato (dati non pubblicati). Quest'ultima piantagione colpita è molto lontana e isolata dalle altre, e specifiche analisi molecolari sono ancora in corso per studiare la possibile affinità di questa popolazione con quelle campionate nell'Italia nord-orientale. Fino ad oggi, sia *P. juglandis* che *G. morbida* sono quindi distribuiti in luoghi isolati presenti in tre regioni contigue dell'Italia settentrionale (Piemonte, Lombardia e Veneto) lungo un gradiente est-ovest di circa 400 km. Come osservato anche negli Stati Uniti (Seybold *et al*., 2012c), la distribuzione non continua di *P. juglandis* nel nord Italia è probabilmente influenzata dalla presenza puntiforme e non continua di alberi e piantagioni di noce sul territorio nazionale e dalla movimentazione e dal commercio interno di tronchi di noce e prodotti legnosi non scortecciati. Tuttavia, come e quando *P. juglandis* e *G. morbida* hanno raggiunto l'Italia è ancora una questione aperta. Secondo i meccanismi di diffusione osservati in America settentrionale (Seybold *et al*., 2012c), la più probabile via di introduzione di *P. juglandis* in Europa è rappresentata dall'importazione di materiale infestato dagli Stati Uniti. In realtà, non è noto se *P. juglandis* e *G. morbida* hanno raggiunto l'Italia direttamente dagli USA o passando prima attraverso altri paesi europei. Tuttavia, la mancanza di segnalazioni da altre regioni europee suggerisce che *P. juglandis* e *G. morbida* siano arrivati in Italia direttamente dall'America settentrionale. Utilizzando un sequenziamento molecolare di nuova generazione, Hadziabdic *et al.* (2014) hanno recentemente caratterizzato loci specifici per *P. juglandis*, che saranno utili per studiare la diversità genetica e la struttura delle popolazioni presenti in America settentrionale e in Europa, e permette-

ranno di chiarire le vie di introduzione di questo parassita attraverso stati e continenti. Un'analisi preliminare della struttura molecolare delle popolazioni di *P. juglandis* campionate in Italia non ha evidenziato differenze significative, suggerendo che tutte le popolazioni analizzate probabilmente derivano da un unico singolo evento di introduzione con pochi individui.

Molte specie di noce e relativi ibridi sono suscettibili a *P. juglandis* (Wood & Bright, 1992; Seybold *et al*., 2012d; Serdani *et al*., 2013; Utley *et al*., 2013). Essi possono essere presenti negli ambienti rurali italiani, coltivati sia per i frutti o il legno, o come alberi ornamentali. Mentre *P. juglandis* non è una specie particolarmente aggressiva e la suscettibilità a questo parassita è simile nelle diverse specie di noce, la suscettibilità nei confronti di *G. morbida* è invece notevolmente variabile fra specie – fra cui *J. nigra* risulta essere la più suscettibile – ma anche fra alberi della stessa specie (Tisserat *et al*., 2011; Freeland *et al*., 2012; Utley *et al.*, 2013). Sia insetto che malattia sono stati segnalati per la prima volta in Europa nel 2013 sia su noce nero che noce comune (Montecchio & Faccoli, 2014; Montecchio *et al.*, 2014), e prontamente aggiunti alla Alert List della EPPO (European Plant Protection Organisation). Nel 2014 la Regione Veneto ha emesso un "Decreto di controllo obbligatorio" (aggiornato nel 2015), comprendente sia l'individuazione di un'area di quarantena (periodicamente aggiornata in relazione ai nuovi ritrovamenti) sia la realizzazione di specifiche misure di controllo. Nello stesso anno la EPPO ha avviato la procedura di Pest Risk Analysis, che è ancora in corso.

Ogni anno un numero crescente di nuovi insetti alieni vengono segnalati come acclimatati sia in Europa che in nord America (Work *et al*., 2005; Kirkendall & Faccoli, 2010; Rassati *et al*., 2015a, b). Il numero e la frequenza di nuovi arrivi è previsto crescere nei prossimi anni in relazione al veloce aumento del commercio internazionale di beni di vario genere (Levine & D'Antonio, 2003; Hulme, 2009; Kenis *et al*., 2009; Marini *et al*., 2011). A seguito della sua diffusione capillare sul territorio dell'Italia settentrionale e alla bassa variabilità genetica riscontrata fra le popolazioni, si ritiene che *P. juglandis* sia arrivato in Italia ormai da diversi anni grazie ad un singolo evento di introduzione, anche se i maggiori danni sono stati registrati solo a partire dall'estate 2013 (Montecchio & Faccoli, 2014; Montecchio *et al*., 2014). Considerando la presenza diffusa e la sua rapida riproduzione e diffusione, *P. juglandis* potrebbe aumentare rapidamente la sua abbondanza e distribuzione in Italia e in altri paesi dell'Europa meridionale. Il danno causato da questo nuovo parassita probabilmente aumenterà nel prossimo futuro, portando a una graduale progressiva riduzione del numero di piantagioni di noce nero, in passato ampiamente realizzate grazie a incentivi pubblici. Sulla base dell'elevata moria registrata in campo e del notevole numero di piantagioni infestate rinvenute in varie regioni dell'Italia settentrionale l'applicazione di protocolli di eradicazione non sembra ormai essere una soluzione realistica. Possibili strategie di controllo biologico o eventuali trattamenti chimici localizzati dovranno essere valutati con attenzione.

RIASSUNTO

Nel settembre 2013 il coleottero scolitide *Pityophthorus juglandis* Blackman, una specie originaria del Messico e degli Stati Uniti sud-occidentali, è stato rinvenuto per la prima volta in Europa in nord Italia, in provincia di Vicenza. Gli esemplari raccolti sono stati inoltre trovati essere vettori del fungo *Geosmithia morbida* Kolarik (Ascomycota: Hypocreales), un patogeno molto aggressivo a carico di varie specie di noce e in grado di causare la malattia nota come Thousand Cankers Disease. Al fine di determinare la distribuzione geografica della specie e gli aspetti principali della sua biologia, fenologia e voltinismo, nella primavera-estate 2014 è stato condotto un monitoraggio intensivo delle principali piantagioni di noce presenti in prossimità del primo sito di rinvenimento. Gli insetti hanno cominciato a volare con un temperatura media dell'aria di circa 18° C (da metà maggio) e hanno continuato fino alla fine di ottobre, compiendo almeno due generazioni parzialmente sovrapposte. La specie è stata trovata in metà (14) delle 28 piantagioni di noce monitorate, distribuite in 4 diverse province non contigue (Vicenza, Padova, Treviso e Mantova) appartenenti a due regioni del nord Italia (Veneto e Lombardia). Le piantagioni infestate più distanti erano localizzate a circa 130 km le une dalle altre secondo un gradiente est-ovest, e circa a 70 km lungo un gradiente nord-sud. A questo proposito, l'area di distribuzione di *P. juglandis* nel nord Italia può essere stimata prudenzialmente in circa 4.200 km^2. Tutti i siti monitorati entro un raggio di circa 30 km intorno al primo nucleo di infestazione sono stati trovati positivi sia per l'insetto che per il patogeno ad esso associato. L'analisi molecolare dei campioni raccolti nei vari siti non ha mostrato alcuna variabilità genetica fra popolazioni, suggerendo che pochi individui di *P. juglandis* potrebbero essere arrivati in Italia attraverso un singolo evento di introduzione. Data la rapidità di diffusione dell'insetto e la sua già ampia area di distribuzione in nord Italia, strategie di eradicazione appaiono di difficile applicazione e di incerta efficacia. La possibile applicazione di strategie di controllo biologico o chimico deve essere attentamente valutata.

BIBLIOGRAFIA

Audley J., 2015 – *Assessment of* Pityophthorus juglandis *colonization characteristics and implications for further spread of thousand cankers disease*. Master's Thesis, University of Tennessee, 2015. URL: http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/3344.

Bright D.E., 1981 – *Taxonomic monograph of the genus* Pityophthorus *Eichhoff in North and Central America*. - Mem. Entomol. Soc. Can., 113: 1-378.

Brockerhoff E.G., Jones D.C., Kimberley M.O., Suckling D.M., Donaldson T., 2006a – *Nationwide survey for invasive wood-boring and bark beetles (Coleoptera) using traps with pheromones and kairomones*. - Forest Ecol. Manag., 228: 234-240.

Brockerhoff E.G., Bain J., Kimberley M.O., Knížek M., 2006b – *Interception frequency of exotic bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Scolytinae) and relationship with establishment in New Zealand and worldwide*. - Can. J. Forest Res., 36: 289-298.

Cranshaw W., 2011 – *Recently recognized range extensions of the Walnut Twig Beetle,* Pityophthorus juglandis *Blackman (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), in the Western United States*. - Coleopts. Bull., 65: 48-49.

Cranshaw W., Tisserat N., 2012 – *Questions and answers about Thousand Cankers Disease of walnut*. Department of Bioagricultural Sciences and Pest Management, Colorado State University, 13 pp. URL: http://bspm.agsci.colostate.edu/files/2013/03/Questions-and-Answers-Revision-April-2012.pdf.

Eichhorn M.P., Paris P., Herzog F., Incoll L.D., Liagre F., Mantzanas K., Mayus M., Moreno G., Papanastasis V.P., Pilbeam D.J., Pisanelli A., Dupraz C., 2006 – *Silvoarable systems in Europe – past, present and future prospects*. - Agroforest Syst., 67: 29-50.

Eschen R., Rigaux L., Sukovata L., Vettraino A.M., Marzano M., Grégoire J.-C., 2015 – *Phytosanitary inspection of woody plants for planting at European Union entry points: a practical enquiry*. - Biol. Invasions, 17: 2403-2413.

Faccoli M., 2015 – *European bark and ambrosia beetles: types, characteristics and identification of mating systems*. WBA Handbooks 5, Verona, 156 pp.

Flø D., Krokene P., Økland B., 2014 – *Importing deciduous wood chips from North America to northern Europe - the risk of introducing bark-and wood-boring insects*. - Scand. J. Forest. Res., 29: 77-89.

Freeland E., Cranshaw W., Tisserat N., 2012 – *Effect of* Geosmithia morbida *isolate and temperature on canker development in black walnut*. Plant Health Progress. DOI: 10.1094/PHP-2012-0618-01-RS.

Grant J.F., Windham M.T., Haun W.G., Wiggins G.J., Lambdin P.L., 2011 - *Initial assessment of thousand cankers disease on black walnut,* Juglans nigra*, in eastern Tennessee*. - Forests, 2: 741-748.

Graves A.D., Coleman T.W., Flint M.L., Seybold S.J., 2009 – *Walnut twig beetle and thousand cankers disease: Field identification guide*. UC-IPM Website Publication, 2 pp. URL: http://www.ipm.ucdavis.edu/PDF/MISC/thousand_cankers_field_guide.pdf.

Haack R.A., 2006 – *Exotic bark- and wood-boring Coleoptera in the United States: recent establishments and interceptions*. - Can. J. Forest. Res., 36: 269-288.

Hadziabdic D., Wadl P.A., Staton M.E., Klingeman W.E., Moulton J.K., Pscheidt J.W., Wiggins G.J., Grant J.F., Lambdin P.L., Windham M.T., Faccoli M., Merten P.R., Trigiano R.N., 2015 – *Development of microsatellite loci in* Pityophthorus juglandis*, a vector of thousand cankers disease in* Juglans *spp*. - Conserv. Genet. Resour., 7: 431-433.

Hulme P.E., 2009 – *Trade, transport and trouble: managing invasive species in an era of globalization*. - J. Appl. Ecol., 46: 10-18.

Jacobi W.R., Hardin J.G., Goodrich B.A., Cleaver C.M., 2012 - *Retail firewood can transport live tree pests*. - J. Econ. Entomol., 105: 1645-1658.

Kenis M., Auger-Rozenberg M., Roques A., Timms L., Péré C., Cock M.J.W., Settele J., Augustin S., Lopez-Vaamonde C., 2009 – *Ecological effects of invasive alien insects*. - Biol. Invasions, 11: 21-45.

Kirkendall L.R., Faccoli M., 2010 – *Bark beetles and pinhole borers (Curculionidae, Scolytinae, Platy–podinae) alien to Europe*. - ZooKeys, 56: 227-251.

Kolarík M., Freeland E., Utley C., Tisserat N., 2011 – Geosmithia morbida sp. nov., *a new phytopathogenic species living in symbiosis with the walnut twig beetle* (Pityophthorus juglandis) *on* Juglans *in USA*. - Mycologia, 103: 325-332.

Leslie C.A., Seybold S.J., Graves A.D., Cranshaw W., Tisserat N., 2010 – *Potential impacts of thousand cankers disease on commercial walnut production and walnut germoplasm conservation*. - Acta Hort., 861: 431-434.

Levine J.M., D'Antonio C.M., 2003 – *Forecasting biological invasions with increasing international trade*. - Conserv. Biol., 17: 322-326.

Liebhold A.M., Brockerhoff E.G., Garrett L.J., Parke J.L., Britton K.O., 2012 – *Live plant imports: the major pathways for forest insect and pathogen invasions of the US*. - Front. Ecol. Environ., 10: 135-143.

Marini L., Haack R.A., Rabaglia R.J., Petrucco Toffolo E., Battisti A., Faccoli M., 2011 – *Exploring associations between international trade and environmental factors with establishment patterns of alien Scolytinae*. - Biol. Invasions, 13: 2275-2288.

McCullough D.G., Work T.T., Cavey J.F., Liebhold A.M., Marshall D., 2006 – *Interceptions of nonindigenous plant pests at US ports of entry and border crossings over a 17-year period*. - Biol. Invasions, 8: 611-630.

Montecchio L., Faccoli M., 2014 – *First record of Thousand Cankers Disease* Geosmithia morbida *and walnut twig beetle* Pityophthorus juglandis *on* Juglans nigra in Europe. - Plant Dis., 98: 696.

Montecchio L., Fanchin G., Simonato M., Faccoli M., 2014 – *First record of Thousand Cankers Disease fungal pathogen* Geosmithia morbida *and Walnut Twig Beetle* Pityophthorus juglandis *on* Juglans regia *in Europe*. - Plant Dis., 98: 1445.

Newton L., Fowler G., 2009 – *Pathway assessment:* Geosmithia *sp. and* Pityophthorus juglandis *Blackman movement from the western into the eastern United States*. U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Washington, D.C.

Nix K.A., 2013 – *The life history and control of* Pityophthorus juglandis *Blackman on* Juglans nigra *L. in eastern Tennessee*. Master's Thesis, University of Tennessee, 2013. URL: http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/1656/.

Piel F., Gilbert M., De Cannière C., Grègoire J.-C., 2008 - *Coniferous round wood imports from Russia and Baltic countries to Belgium. A pathway analysis for assessing risks of exotic pest insect introductions*. - Divers Distrib., 14: 318-328.

Randolph K.C., Rose A.K., Oswalt C.M., Brown M.J., 2013 – *Status of black walnut (*Juglans nigra *L.) in the eastern United States in light of the discovery of thousand cankers disease*. - Castanea, 78: 2-14.

Rassati D., Faccoli M., Marini L., Haack R.A., Battisti A., Petrucco Toffolo E., 2015a – *Exploring the role of wood waste landfills in early detection of non-native wood-boring beetles.* J. Pest. Sci., 88: 563-572.

Rassati D., Faccoli M., Petrucco Toffolo E., Battisti A., Marini L., 2015b – *Improving the early detection of alien wood-boring beetles in ports and surrounding forests.* - J. Appl. Ecol., 52: 50-58.

Serdani M., Vlach J.J., Wallis K.L., Zerillo M.M., McCleary T., Tisserat N.A., 2013 – *First report of* Geosmithia morbida *and* Pityophthorus juglandis *causing thousand cankers disease in butternut*. Plant Health Progress. DOI:10.1094/PHP-2013-1018-01-BR.

Seybold S.J., Dallara P.L., Hishinuma S.M., Flint M.L., 2012a – *Detecting and identifying the walnut twig beetle: Monitoring guidelines for the invasive vector of thousand cankers disease of walnut*. University of California Agriculture and Natural Resources, Statewide Integrated Pest Management Program, 11 pp. URL: http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/menu.thousandcankers.html.

Seybold S.J., Dallara P.L., Nelson L.J., Graves A.D., Hishinuma S.M., Gries R., 2012b – *Methods of monitoring and controlling the walnut twig beetle,* Pityophthorus juglandis. Patent application filed with the U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Dept. of Commerce, 13 July, 2012, U.S. Patent Application No. 13/548.319.

Seybold S.J., Coleman T.W., Dallara P.L., Dart N.L., Graves A.D., Pederson L.A., Spichiger S.E., 2012c – *Recent collecting reveals new state records and geographic extremes in the distribution of the walnut twig beetle,* Pityophthorus juglandis *Blackman (Coleoptera: Scolytidae), in the United States*. - Pan-Pac. Entomol., 88: 277-280.

Seybold S.J., King J.A., Harris D.R., Nelson L.J., Hamud S.M., Chen Y., 2012d – *Diurnal flight response of the walnut twig beetle,* Pityophthorus juglandis *Blackman (Coleoptera: Scolytidae), to pheromone-baited traps in two northern California walnut habitats*. - Pan-Pac. Entomol., 88: 231-247.

Seybold S.J., Haugen D., Graves A., 2013 – *Pest alert. Thousand cankers disease.* United States Department of Agriculture, Forest Service, North-eastern Area State and Private Forestry, NA–PR–02–10. URL: www.na.fs.fed.us.

Tisserat N., Cranshaw W., Leatherman D., Utley C., Alexander K., 2009 – *Black walnut mortality in Colorado caused by the walnut twig beetle and thousand cankers disease*. Plant Health Progress. DOI: 10.1094/PHP-2009-0811-01-RS.

Tisserat N., Cranshaw W., Putnam M., Pscheidt J., Leslie C.A., Murray M., Hoffman J., Barkely Y., Alexander K., Seybold S.J., 2011 – *Thousand cankers disease is widespread on black walnut,* Juglans nigra*, in the western United States*. Plant Health Progress. DOI: 10.1094/PHP-2011-0630-01-BR.

Utley C., Nguyen T., Roubtsova T., Coggeshall M., Ford T.M., Grauke L.J., Graves A.D., Leslie C.A., McKenna J., Woeste K., Yaghmour M.A., Cranshaw W., Seybold S.J., Bostock R.M., Tisserat N., 2013 – *Susceptibility of walnut and hickory species to* Geosmithia morbida. - Plant. Dis., 97: 601-607.

Wood S.L., 1982 – *The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph.* - Great Basin. Na.t Mem., 6: 1-1359.

Wood S.L., Bright D.E., 1992 – *A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2: taxonomic index, volume A and B*. - Great. Basin Nat. Mem., 13: 1-1553.

Work T.T., McCullough D.G., Cavey J.F., Komsa R., 2005 – *Arrival rate of nonindigenous insect species into the United States through foreign trade*. - Biol. Invasions, 7: 323-332.

Zahid M.I., Grgurinovic C.A., Walsh D.J., 2008 – *Quarantine risks associated with solid wood packaging materials receiving ISPM 15 treatments*. - Austral. For., 71: 287-293.

Seduta pubblica, Firenze 13 novembre 2015

Tavola Rotonda su:

LA STATISTICA NELLA RICERCA ENTOMOLOGICA: DALL'ANALISI INFERENZIALE AI MODELLI PREVISIONALI

Coordinatore:
Maurizio Biondi, Accademico

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 205-210

LA STATISTICA NELLA RICERCA ENTOMOLOGICA: DALL'ANALISI INFERENZIALE AI MODELLI PREVISIONALI

INTRODUZIONE

MAURIZIO BIONDI (*)

(*) *Dipartimento di Medicina clinica, Sanità pubblica, Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università dell'Aquila.*
e-mail: maurizio.biondi@univaq.it
Introduzione alla Tavola Rotonda "La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 13 novembre 2015.

Statistics in the entomology research: from the inferential analysis to the predictive models. An introduction.

In this contribution, a short history and some general aspects of the statistical analyses applied to the entomology are reported. In addition, some considerations on the different datasets and the recent expansion of the Bayesian approach in entomology are supplied.

Breve storia della statistica

Lo scopo di questa Tavola Rotonda è quello di presentare lo stato dell'arte dell'approccio statistico nei vari ambiti di interesse dell'entomologia generale e applicata, mettendone in evidenza i principali aspetti teorici e pratici.

Tracciando in modo molto sommario alcune delle più importanti tappe nella storia della statistica, possiamo iniziare col dire che il termine "statistica" deriva dal latino *statisticum collegium*, che nel '700 indicava il "consiglio di stato". La statistica, quindi, nella sua accezione iniziale rappresentava lo studio scientifico degli affari di stato e riguardava molte delle sue questioni sociali, militari e sanitarie.

Tracce di "statistica" nei tempi antichi sono rappresentate esclusivamente dalle aggregazioni di dati frutto dei censimenti effettuati sulla popolazione umana, soprattutto in periodi di guerra e di carestia per valutare la consistenza della forza militare, in termini di uomini arruolabili, o la disponibilità di risorse alimentari. Durante l'Impero Romano, inoltre, i censimenti vennero anche estesi alle province conquistate, in modo da avere una conoscenza reale delle risorse umane ed economiche di cui si era entrati in possesso. Tuttavia, queste raccolte di dati restavano esclusivamente un riferimento descrittivo ed informativo della situazione vigente al momento, senza alcun utilizzo per finalità interpretative e/o previsionali.

Sulla base delle attuali conoscenze, il primo esempio di trattazione statistica in termini di calcolo delle probabilità, lo riscontriamo nel poemetto *De Vetula*, opera apparentemente scritta in forma autobiografica dal poeta latino Publio Ovidio Naso e per questo a lui erroneamente attribuita per lungo tempo. Si tratta invece di un testo medievale quasi sicuramente da ascrivere a Richard de Fournival (1201-1260), dotato umanista del Medio Evo e Cancelliere della cattedrale di Amiens, famoso soprattutto come autore del *Bestiaire d'Amour* (ca. 1252), opera ispirata all'ordinamento biblico degli animali che utilizza la similitudine zoologica come riferimento della fenomenologia amorosa dell'uomo. Richard de Fournival scrisse *De Vetula* circa nel 1250 inserendo all'interno della narrazione principale un lungo passaggio che tratta di passatempi e di giochi, ed in particolare del gioco dei dadi, per il quale viene riportato il calcolo di tutte le combinazioni (incluse le permutazioni) e la loro probabilità, ottenibili con il lancio di tre dadi.

Un'ulteriore importante figura del Medioevo che vale la pena ricordare è quella di Nicola d'Oresme (1323-1382) vescovo di Lisieux, ma soprattutto matematico, fisico, astronomo, economista, filosofo, psicologo e musicologo francese. Nicola d'Oresme fu uno dei più famosi ed influenti pensatori del tardo Medioevo ed è considerato uno dei principali fondatori delle scienze moderne. Nel suo *Tractatus de latitudinibus formarum* (ca. 1350), d'Oresme affronta lo studio della trasformazione delle forme nel tempo e nello spazio, ed è proprio in questa opera che vengono riportati quelli che oggi sono considerati i primi istogrammi conosciuti.

Arriviamo quindi al Rinascimento, con l'avvento

– Pubblicato marzo 2016

del quale insieme al fiorire delle varie forme d'arte si assiste anche ad un forte impulso delle varie discipline scientifiche, comprese quelle che in qualche modo sono riconducibili al moderno calcolo delle probabilità. A questo proposito, va senz'altro menzionato Girolamo Cardano (1501-1576), figura poliedrica con interessi nella matematica, medicina, astrologia e filosofia, oggi riconosciuto come uno dei principali fondatori della statistica delle probabilità, oltre che inventore e co-inventore della serratura, della sospensione e del giunto, cosiddetti cardanici. Nel suo *Liber de ludo aleae* (1560), Cardano prende in considerazione i "giochi di probabilità", comprendenti principalmente i dadi, gli astragali e i giochi di carte, e per ciascuno di essi elenca e discute una serie di possibilità combinatorie. In particolare per le carte, Cardano mette in evidenza l'importanza dell'atteggiamento psicologico del giocatore e delle condizioni ambientali, quali fattori che possono alterare in modo significativo il principio di uguaglianza delle probabilità iniziali, seguendo un approccio che potremmo definire in un certo senso "proto-bayesiano".

Tuttavia è nel XVII secolo che possiamo collocare il manifesto della statistica moderna con *Observations on the Bills of Mortality* (1665) del britannico John Graunt (1620-1674). All'interno di quest'opera vengono riportati in modo sistematico i dati anagrafici dei registri parrocchiali riferiti alla mortalità, natalità e distinzione dei sessi della popolazione londinese. Tali dati vengono quindi elaborati con l'obiettivo di stimare la popolazione vivente all'epoca nella città di Londra. John Graunt, per questo contributo, viene oggi considerato uno dei più importanti precursori della statistica moderna e fondatore della demografia.

Un ulteriore aspetto non secondario nello sviluppo della statistica moderna è quello che riguarda la rappresentazione grafica dei dati e dei risultati. Il primo esempio noto di visualizzazione in tal senso viene attribuito a Michael van Langren (1598-1675), astronomo e cartografo olandese, che riporta in forma grafica la misura dei possibili errori nella stima della distanza tra Toledo e Roma basata sul calcolo della longitudine. Tuttavia, è alla fine del 700 ed inizio dell'800 che si osserva un vero e proprio sviluppo nella rappresentazione dei dati statistici. Johann Heinrich Lambert (1728-1777), filosofo, matematico, fisico e astronomo svizzero, pioniere della geometria non euclidea, nel 1779 pubblica quello che viene oggi considerato il primo esempio che combina dati in forma tabulare e in forma grafica, riportando i risultati ottenuti da un'analisi delle variazioni periodiche della temperatura del suolo. Tuttavia, come padre della rappresentazione grafica viene oggi universalmente riconosciuto William Playfair (1759-1823), statistico scozzese, che nella sua opera del 1786 *The Commercial and Political Atlas* propone il primo grafico lineare e il primo diagramma a barre affiancate, mentre nella terza edizione del 1801 introduce il primo diagramma a torta.

Per quanto riguarda lo sviluppo della statistica in Italia alla fine del '700, va senz'altro ricordata la figura di Melchiorre Gioja (1767-1829), economista, politico e intellettuale, nominato nel 1807 alla direzione del nascente Ufficio di Statistica. In questa veste, Gioja fu molto attivo producendo attenti studi corredati da tabelle, quadri sinottici e raffronti demografici. Tuttavia, per l'intensa attività svolta e probabilmente per la "troppa" solerzia dimostrata e non da tutti gradita, Gioja venne rimosso dopo accese polemiche dall'incarico. Di lui ricordiamo i suoi apprezzati volumi sulla *Filosofia della Statistica* (1806), ma anche l'interessante dissertazione sull' *Esercizio logico sugli errori d'Ideologia e Zoologia ossia Arte di trar profitto dai cattivi libri* pubblicata nel 1804, con varie osservazioni su luoghi comuni, inesattezze e falsi miti del mondo animale.

Saltiamo quindi virtualmente sino alla seconda metà dell'800, quando i principali ambiti della statistica moderna sono oramai delineati. In Europa si possono infatti riconoscere principalmente tre scuole: quella tedesca, con una decisa tradizione indirizzata alla politica economica; la scuola inglese, orientata soprattutto allo studio degli aspetti matematici della statistica; la scuola francese, improntata in particolare verso il calcolo delle probabilità. Nel contempo, si assiste anche alla nascita di vari settori della statistica applicata, compreso quello di più diretto interesse alla biologia.

A cavallo tra l'800 ed il 900, infatti, abbiamo diverse figure di scienziati che svolgono un ruolo di grande rilevanza nello sviluppo della statistica applicata alla biologia sperimentale, tra loro si ricordano:

– Francis Galton (1822-1911), cugino di Charles Darwin, che nel suo *Hereditary Genius* (1869) introduce per la prima volta il termine "correlazione" contribuendo in modo fondamentale allo studio delle interazioni tra variabili. Il concetto di correlazione fu perfezionato successivamente da Karl Pearson, di cui Galton fu mentore. Galton ha inoltre contribuito a definire il concetto di "regressione" in ambito antropologico;
– Karl Pearson (1857-1936), che ha contribuito agli studi statistici con l'introduzione del noto "coefficiente di correlazione r" e delle sue generalizzazioni basandosi, come sopra riportato, sui lavori di Galton; con la "distanza del Chi-qua-

dro", precursore della distanza di Mahalanobis; con il calcolo del "P-value", valore che misura il livello di probabilità di ottenere un risultato pari o più estremo di quello osservato; inoltre ha fornito un importante contributo alla "analisi delle componenti principali", che verrà qualche anno dopo (1933) sviluppata e perfezionata da Harold Hotelling;

– Ronald Aylmer Fisher (1880-1962), che nel 1935 rivoluziona la statistica moderna applicata alle scienze sperimentali con il suo *The Design of Experiments* dove fornisce un contributo fondamentale per stabilire il livello di significatività dei risultati sperimentali nelle indagini scientifiche. Egli ha introdotto, tra gli altri, i concetti di "campionamento casuale" e di "programmazione dell'esperimento"; ha coniato i termini di "ipotesi nulla (H0)" e "ipotesi sperimentale (H1)", con l'importante affermazione che "in ambito scientifico nessuna ricerca permette di dimostrare l'ipotesi sperimentale (H1) ma soltanto se si può accettare o respingere l'ipotesi nulla (H0)"; ha perfezionato il metodo proposto da William Sealy Gosset (alias Student) per confrontare due medie, ideando il noto test "*t* di Student"; ha introdotto il concetto di "grado di libertà" e la "analisi della varianza", perfezionata poi dal suo allievo George W. Snedecor il quale definì la "variabile casuale *F*" proprio in onore del suo maestro, variabile oggi nota come "*F* di Fisher-Snedecor": ha introdotto, infine, nel famoso lavoro sugli *Iris* del 1936, la "analisi discriminante lineare".

Per quanto riguarda l'uso dell'analisi statistica in entomologia, non possiamo non ricordare una figura di grande importanza come quella di Francis Marion Wadley (1892 - ?), entomologo e consulente per vari dipartimenti di stato americani e soprattutto autore del primo trattato di statistica dedicato all'entomologia dal titolo *Experimental Statistics in Entomology*, un piccolo volume di 133 pagine pubblicato nel 1967. L'opera di Wadley contiene una serie di analisi univariate e bivariate, tra le quali anche l'analisi della varianza, l'analisi della covarianza e l'analisi discriminante, con esempi riferiti esclusivamente all'ambito dell'entomologia generale ed applicata.

Riassumendo quindi questo breve *excursus* storico, possiamo elencare a grandi linee i più importanti recenti eventi nello sviluppo della data-analysis in statistica, con le seguenti tappe principali:

– 1850-1900: Forme più evolute di rappresentazione grafica dei risultati con descrizione di andamenti, intervalli di variazione ecc.;
– 1900-1930: Sviluppo e diffusione delle analisi della correlazione, della regressione e della varianza, svolte ancora con un supporto di calcolo manuale ma coadiuvate da tabelle con valori critici di riferimento (P-value, *t* di Student, Chi-quadro ecc.);
– 1930-1960: Introduzione dei metodi non-parametrici e metodi non-lineari per set di dati che non rispettano la proprietà della "normalità" e/o della "linearità";
– 1960-1980: Maggior diffusione delle analisi di regressione multipla e di tecniche di analisi multivariata, con contestuale sviluppo del calcolo matriciale grazie all'ausilio dei primi elaboratori elettronici;
– 1980-2000: Particolare attenzione verso i metodi finalizzati a valutare la robustezza delle ipotesi, quali il *bootstrap*, lo *jackknife* e l'analisi delle permutazioni, il cui utilizzo su più ampia scala è stato possibile grazie alla disponibilità di computer sempre più potenti.

A questo riguardo, va evidenziato come un contributo fondamentale al sempre più ampio utilizzo delle analisi statistiche nelle diverse discipline scientifiche avutosi negli ultimi tre decenni, anche in ambiti non prettamente matematici, sia dovuto alla sempre più ampia diffusione dei personal computer. Riguardo al software dedicato alle analisi statistiche, i primi programmi implementati su personal computer derivavano direttamente dagli applicativi utilizzati sui mainframe nel decennio 1960-1970, tra i quali ricordiamo soprattutto SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), SAS (Statistical Analysis System) e BMDP (BioMeDical Package). Questi software, disponibili ancora oggi, hanno costi piuttosto elevati ed un'interfaccia nelle prime versioni poco *friendly*, in quanto operavano in un "linguaggio simbolico" che richiedeva da parte dell'operatore una profonda conoscenza sia del programma sia delle varie fasi delle analisi durante l'esecuzione.

Molto recentemente il mercato del software statistico si è molto variegato e specializzato, con programmi che permettono applicazioni anche in ambiti molto specifici. Un punto di convergenza, tuttavia, riguarda il grande miglioramento della qualità, varietà e risoluzione nella rappresentazione e restituzione grafica dei risultati. In questo ultimo decennio si è inoltre assistito ad una sempre maggiore diffusione di software *public domain*, nell'ambito del quale una posizione di preminenza è sicuramente occupata da *R*, un linguaggio di programmazione e un ambiente di sviluppo specifico per l'analisi statistica dei dati. Questo linguaggio, scritto inizialmente da Robert Gentleman e Ross Ihaka, è attualmente disponibile per diversi sistemi operativi come Microsoft Windows, Linux, GNU-Linux e Mac OS X.

Principali fasi per un'analisi statistica dei dati

Per impostare una corretta analisi statistica, essa dovrebbe essere pianificata già nella fase di programmazione della ricerca. Ciò allo scopo di stabilire nel miglior modo i criteri da adottare per programmare adeguatamente la fase di campionamento e per avere un maggiore controllo sulle variabili in gioco. Troppo spesso, infatti, si inizia a riflettere su possibili analisi dei dati solo successivamente alla loro raccolta, tenendo in questo modo in scarso conto eventuali sorgenti di errore o di disomogeneità nella fase di campionamento. Importante è invece conoscere, sin dalle fasi iniziali dell'indagine, quali risposte ci si attendono dalle analisi statistiche per applicarle poi nel modo più corretto possibile.

Ulteriori fasi, spesso sottovalutate o poco praticate nelle applicazioni entomologiche, sono quelle della "pulizia" (*cleaning*), standardizzazione ed estrazione (*mining*) dei dati. Queste procedure sono indicate per aumentare da una parte la loro omogeneità e dall'altra la loro significatività, rendendoli il più possibile "informativi" in base all'uso che se ne vuole fare. Ovviamente, queste fasi devono essere affrontate con la massima "onestà" e "serietà" evitando di "orientare" le analisi verso risultati più "graditi".

Ottenuta quindi la matrice finale dei dati, la fase successiva riguarda il cosiddetto *fitting*, ovvero l'individuazione del modello statistico che meglio descrive i nostri dati, tenendo sempre in alta considerazione il modo di comunicare i risultati e il fatto di fornire tutte le informazioni necessarie affinché l'analisi possa essere da altri riproducibile e confrontabile in contesti sperimentali analoghi.

Ci sono tuttavia altre problematiche dell'analisi dei dati che riguardano in particolare alcune questioni fondamentali come:

– la "normalità", proprietà fortemente auspicabile nella data-analysis in quanto importante come *step* nel controllo delle ipotesi, la quale richiede generalmente ampi set di dati e quindi presenta problemi in caso di piccoli campioni;
– la "linearità", il rispetto della quale rende più agevoli le diverse fasi della data-analysis e del controllo delle ipotesi;
– la "indipendenza", proprietà che non crea né vantaggi né svantaggi nella data analysis ma può influenzare sensibilmente il controllo delle ipotesi.

La mancanza delle proprietà di normalità e/o di linearità può essere tuttavia superata con una adeguata "trasformazione" dei dati oppure adottando metodi di analisi non-parametrici e/o non-lineari.

Ulteriori importanti questioni nella data-analysis riguardano inoltre: la rappresentatività inferenziale del campione rispetto alla popolazione totale; i valori mancanti, che rappresentano un problema soprattutto nelle analisi che utilizzano dati biogeografici, ecologici e filogenetici (cfr. Wallacean e Linnean shortfalls); i valori anomali, che impongono una scelta iniziale precisa sul fatto di come considerarli o eventualmente rimuoverli dall'analisi.

Tuttavia, il comportamento che più spesso inficia un'analisi effettuata con "leggerezza", riguarda il fatto di forzare i dati in procedure statistiche troppo familiari non tenendo nel giusto conto la natura delle variabili, oppure quella di limitare la scelta delle analisi da effettuare a quelle "offerte" dal software più facilmente reperibile.

Tipologie di dati

Diverse sono le tipologie di dati che generalmente vengono sottoposte ad analisi statistica nel campo dell'entomologia, le quali vengono presentate e descritte nell'ambito delle cinque relazioni presentate in questa tavola rotonda. In particolare ricordiamo:

– dati morfometrici, quali misure morfologiche e rapporti dimensionali, utilizzati per descrivere intervalli di variazione, andamenti di accrescimento, allometrie ecc. Tra le tecniche di analisi più utilizzate per l'elaborazione di questi dati ricordiamo in particolare l'analisi discriminante e la *landmark analysis*, con finalità anche tassonomiche e filogenetiche;
– dati ecologici, con distribuzioni e variazioni numeriche nelle comunità biotiche, correlazioni con fattori ambientali biotici ed abiotici, modelli previsionali ecc. In questo ambito si collocano anche gli studi sulle dinamiche di popolazione finalizzati alla gestione, conservazione, controllo biologico e attività di monitoraggio. Queste analisi trovano ampio supporto attraverso l'utilizzo della cosiddetta "geostatistica", che comprende un insieme di procedure che nell'ambito della ricerca ambientale vengono utilizzate per individuare, analizzare e modellare le relazioni spaziali in natura. La geostatistica permette di assegnare a fenomeni ecologici una posizione nello spazio in modo da produrre mappe di interpolazione grafica altamente informative (*kriging interpolation*). Principio fondamentale di questo approccio è la" autocorrelazione spaziale", ossia che valori campionati in luoghi tra loro prossimi, tendono ad avere comportamenti simili, mentre valori di una stessa variabile misurati in campioni raccolti in luoghi tra loro distanti presentano comportamenti differenti, o almeno tendono a

differire dai valori medi che si riscontrano nei due luoghi stessi. In tal senso, la correlazione fra i valori della variabile tende a diminuire con l'aumentare della distanza;
– dati genetici, fondamentali per studi di filogenesi e filogeografia. In questo ambito possiamo far rientrare anche tutte le procedure statistiche di supporto alla filogenesi, come ad esempio il "bootstrap" o il "jackknife", per il supporto interno, o la "decay analysis" ("Goodman-Bremer support") per i metodi basati sulla parsimonia;
– dati biogeografici, con informazioni soprattutto relative alla presenza-assenza di taxa in un set di aree geografiche analizzate statisticamente attraverso l'utilizzo di "indici di associazione" e metodi di *cluster analysis*, svolti sia in *Q-mode*, con associazioni di aree geografiche, sia in *R-mode,* con associazioni di distribuzione di taxa.

L'inferenza "bayesiana"

Concludo questa mia introduzione facendo un breve accenno ad uno degli aspetti che attualmente sta maggiormente caratterizzando l'approccio statistico nelle scienze sperimentali, ovvero la cosiddetta "inferenza bayesiana". Questo approccio al calcolo delle probabilità sta infatti acquisendo un ruolo sempre più importante nell'analisi dei dati ed è in continuo aumento il numero di applicazioni dove si fa un utilizzo più o meno esplicito della statistica bayesiana.

Il tutto prende origine dal reverendo Thomas Bayes, nato a Londra circa nel 1701 e ordinato pastore nella cappella presbiteriana di Tunbridge Wells nel 1733, dove visse fino alla morte avvenuta nel 1761. Il reverendo Bayes era talmente abile come matematico, da essere accettato nell'esclusiva cerchia della Royal Society. Nella sua vita non pubblicò nulla degno di attenzione, ma alla sua morte lasciò all'amico Richard Price i suoi manoscritti. Tra questi anche uno studio dal titolo *Essay toward solving a problem in the doctrine of chance* pubblicato postumo nel 1764, che conteneva alcune idee nuove e un teorema destinato a rivoluzionare il metodo probabilistico in statistica.

Il "Teorema di Bayes", infatti, anche detto "Teorema della probabilità delle cause", rivoluziona il ragionamento classico in quanto permette di stimare la probabilità che un dato evento sia all'origine di una determinata causa sulla base delle frequenze osservate. Permette inoltre di "aggiustare" la probabilità cosiddetta "a priori", ossia la componente di informazione soggettiva e/o pregressa, per fornire una più significativa "probabilità a posteriori", ossia una stima più attendibile della combinazione tra i dati di partenza e l'informazione "a priori". Quindi, tramite l'approccio bayesiano, viene considerata una stima del grado di credibilità di una data ipotesi prima ancora dell'osservazione dei dati, ciò allo scopo di associare un valore numerico al grado di credibilità di quella stessa ipotesi a seguito poi dell'osservazione dei dati. Mentre nella statistica classica o "frequentista", infatti, si determina quante volte l'osservazione cade in un certo intervallo, in quella bayesiana si attribuisce direttamente una probabilità di verità all'intervallo stesso. Secondo il paradigma bayesiano, non c'è quindi distinzione tra incertezza "statistica", dovuta ad esempio alla precisione finita di uno strumento di misura, e incertezza "sistematica", legata invece a effetti deterministici solo parzialmente noti, come ad esempio la calibrazione dello strumento di misura. In effetti, entrambi gli approcci sono legati alla mancanza di informazione e il carattere "casuale" dell'incertezza statistica è semplicemente dovuto alla non-conoscenza delle esatte condizioni in cui si trova il sistema. D'altra parte da un punto di vista frequentista si considerano gli esperimenti come casuali, ma stabilire la casualità dell'esperimento (per sistemi deterministici) porta a una certa circolarità nella definizione del concetto di probabilità. Un ulteriore modo di vedere il confronto tra le due "scuole di pensiero", è anche quello che la statistica bayesiana considera solo i dati veramente osservati, mentre nell'approccio frequentista bisogna stabilire assunzioni preliminari sulla distribuzione di possibili dati non osservati.

Applicazioni di inferenza bayesiana in entomologia, che dal 1990 hanno avuto una vera e propria impennata in termini di pubblicazioni prodotte, si riscontrano soprattutto nelle analisi filogenetiche con dati molecolari ma anche, ad esempio, nella messa a punto di sistemi esperti probabilistici attraverso l'utilizzo delle cosiddette "reti bayesiane", che rappresentano un'importante classe di modelli che trova applicazione in diversi ambiti, in particolare in quelli dell'intelligenza artificiale.

Ringraziamenti

Colgo qui l'occasione per ringraziare in primis il Presidente dell'Accademia Italiana di Entomologia Prof. Romano Dallai e l'Assemblea tutta, per avermi dato la possibilità di organizzare questa Tavola Rotonda su un tema, come quello dell'uso della statistica in entomologia, per alcuni versi eccentrico rispetto agli interessi scientifici e culturali dell'Accademia e per questo con il rischio reale di

non suscitare quel minimo di interesse che ne giustificasse l'organizzazione. Grazie invece alla grande disponibilità e professionalità dei cinque conferenzieri che hanno contribuito fattivamente alla riuscita di questa giornata di studio, l'iniziativa ha riscontrato un successo ed un interesse che sono andati oltre le mie aspettative, coinvolgendo anche molti partecipanti, in particolare giovani, provenienti da altre realtà locali e nazionali. Non trovo quindi modo migliore di concludere questo mio intervento, se non quello di rivolgere un caloroso ringraziamento agli amici e colleghi che hanno reso possibile con la loro preziosa collaborazione questo incontro: Giovanni Burgio, Pierfilippo Cerretti, Simone Fattorini, Ruggero Petacchi e Daniele Salvi.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 211-215

DALLE MATRICI NUMERICHE AGLI ALBERI FILOGENETICI: METODI E CONCETTI DI BASE

PIERFILIPPO CERRETTI (*)

(*) *DAFNAE - Entomologia, Università degli Studi di Padova, Padova, Italy;* email: pierfilippocerretti@yahoo.it
Lettura tenuta nell'ambito della Tavola Rotonda "La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 13 novembre 2015.

From datasets to phylogenetic hypotheses: introducing basic methods and concepts

The role of statistics in systematics and phylogenetics is briefly discussed by introducing basic methods and concepts. Phylogenies are patterns of shared history among species, genes or any biological replicator. The aim of phylogenetic inference is to propose well-corroborated hypotheses of these shared histories. Phylogenies are useful in many branches of both pure and applied sciences, such as evolutionary biology, biogeography, systematics, anthropology, forensic medicine, epidemiology, etc. Phylogenies are commonly represented as trees. Hence, the goal is to find the best tree, among all possible trees resulting the collected data. Phylogeny reconstruction methods are either distance-based or character-based. Distance matrix methods are commonly used to explore larger datasets, such as molecular ones. A distance between each pair of taxa or genes is calculated and the resulting matrix is used for tree search (by using for instance the least squares or minimum evolution methods) or tree reconstruction via cluster algorithms (neighbor-joining). Character-based methods include maximum parsimony, maximum likelihood and Bayesian inference. These methods compare all taxa in the dataset and consider a character at a time to calculate a score for each tree.

Key Words: Phylogeny, least squares, minimun evolution, neighbor-joining, parsimony.

Introduzione

Lo scopo di questo intervento introduttivo è quello di presentare brevemente il ruolo della statistica in ambito sistematico biologico e filogenetico, introducendo alcuni metodi e concetti di base. Le matrici numeriche (morfologiche o molecolari) sono di seguito contemplate come strumento per ricostruire le relazioni filogenetiche tra "oggetti" in grado di replicarsi (geni, specie, ecc.) e che hanno una storia condivisa. L'idea di fondo è che l'inferenza filogenetica si prefigga di formulare una solida ipotesi di questa storia condivisa, e che questa sia in un certo senso inseparabile dal pattern dei cambiamenti evolutivi dei caratteri, siano essi morfologici o molecolari.

Le filogenesi rappresentano dei modelli generali della storia di entità biologiche in grado di replicarsi, come specie o geni. Lo scopo è quindi quello di proporre un'ipotesi, auspicabilmente ben corroborata, di questa storia. Le filogenesi sono utili in molti contesti differenti delle scienze pure ed applicate, dalla biologia evoluzionistica, alla biogeografia, alla sistematica, all'antropologia culturale, alla medicina forense, all'epidemiologia, ed altro ancora. L'inferenza filogenetica presenta una moltitudine di sfide per la grande complessità matematica e di calcolo, ma anche, e per taluni soprattutto, per più profonde ragioni filosofiche. Se è vero infatti che esiste una grande quantità di validi strumenti di calcolo come software e applicazioni concepiti *ad hoc* per analisi filogenetiche, spesso non si conoscono a fondo gli strumenti matematici implementati in tali strumenti. Da questo deriva che molti utenti spesso non hanno un'adeguata comprensione concettuale del trattamento dei dati stessi da parte dei software utilizzati.

Che forma hanno le filogenesi… e come si ricostruiscono?

Le relazioni filogenetiche tra gruppi di specie o geni, sono in genere raffigurate in forma di alberi. Gli alberi consistono di nodi collegati da rami. I rami terminali collegano un nodo interno dell'albero alla specie o al gene, ovvero all'oggetto di cui si intende ricostruire la storia. Il numero di rami collegato ad un nodo interno non è mai inferiore a tre, e con tre rami il nodo è definito risolto. Esso collega idealmente un antenato a due entità da questo derivate. Con quattro o più rami il nodo in questione si definisce politomico, ovvero non risolto. In generale un albero i cui nodi interni siano tutti col-

– Pubblicato marzo 2016

legati a tre rami è detto completamente risolto. Un albero di questo tipo in filogenesi è quello più informativo possibile in merito alla storia dei taxa o geni in questione.

Rappresentando la filogenesi come un albero, il problema dell'inferenza filogenetica è chiaro. L'obiettivo è quello di selezionare l'albero che, tra *tutti i possibili*, sia il migliore secondo i dati che abbiamo raccolto. Sinteticamente si procede come segue: i) si prepara un dataset di caratteri discreti indicativamente omologhi per i taxa o i geni che vogliamo studiare (matrici numeriche morfologiche, sequenze allineate di basi nucleotidiche, sequenze allineate amminoacidiche, ecc.); ii) a seconda delle esigenze si possono operare alcune trasformazioni dei dati (i.e., **metodi basati su matrici di distanza** o di similarità), ovvero selezionare un criterio di ottimalità in modo da usare direttamente la **matrice di caratteri discreti** raccolti; iii) cercare l'albero migliore secondo il criterio selezionato; ed infine (iv) valutare la **credibilità delle ipotesi formulate**.

Metodi basati su matrici di distanza

I metodi basati su matrici di distanza (*distance matrix-based*) furono sviluppati e applicati originariamente a dati morfologici dai padri della scuola fenetica a cavallo degli anni '50 e '70. Il fine dei fenetisti era quello di classificare gli organismi attraverso *overall similarity* (SOKAL & MICHENER 1958; SNEATH & SOKAL 1973), indipendentemente dalle relazioni filogenetiche intercorrenti tra essi. Oggi i metodi *distance matrix-based* vengono usati quasi escusivamente per analizzare dataset molecolari. Come accennato appena sopra, tali metodi prevedono che si operi una qualche trasformazione dei dati originari. In particolare, si stima la distanza genetica per tutte le coppie di sequenze della matrice applicando, nel caso di dati nucleoditici, una correzione (ovvero un modello evolutivo) per le sostituzioni multiple. La distanza genetica, quindi, riflette il numero previsto di cambiamenti per sito che si sono verificati da quando le due sequenze che si stanno confrontando si sono separate dal loro antenato comune. Date tali trasformazioni, come possiamo interpretare al meglio i risultati che si ottengono? Secondo FELSETEIN (1982, 1984) il modo migliore di pensare i metodi basati su matrici di distanza è probabilmente quello di considerare i singoli valori di *pair-wise distance* come una stima della lunghezza del ramo che separa quella coppia di specie in un albero. Ogni distanza in una matrice di *n* specie implica quindi un albero per quella data coppia di specie. Abbiamo quindi un gran numero di "alberi", non radicati, a due specie per ciascun valore di distanza della matrice. Il nostro obiettivo è trovare l'albero a *n* specie che abbia quei precisi valori tra ciascuna coppia. C'è però un'insidia in questa ricerca, ovvero che i valori di distanza della matrice, calcolati dalla matrice dei caratteri discreti, non corrispondono esattamente alle lunghezze rappresentate nell'albero completo con tutte le *n* specie. I valori di distanza a coppie presenti nella matrice rappresentano quindi un punto di partenza per cercare l'albero completo che approssimi al meglio tutti i singoli valori degli "alberi" non radicati a due specie. Ci sono molti metodi per elaborare filogenesi usando matrici di distanza, almeno tre dei quali sono ancora molto usati. Due usano un criterio esplicito: *minimi quadrati* e *minima evoluzione*; mentre il terzo usa un algoritmo di *clustering*: *neighbor-joining*.

Minimi quadrati (MQ): L'idea di fondo è che se dal dataset di partenza si ricava prima una matrice di distanze osservate (D_{ij}), da ogni specifico albero con rami di lunghezza diversa da zero che raffiguri la filogenesi dei taxa in questione, si può poi ricavare un set di distanze "previste" (d_{ij}). Come si calcola d_{ij}? Semplicemente sommando la lunghezza dei rami che divide ciascuna coppia di taxa. Su questa base è quindi possibile calcolare la discrepanza (Q) tra le distanze calcolate e quelle previste. L'obiettivo è quello di trovare l'albero (topologia e lunghezza dei rami) che minimizzi Q, e si misura come segue:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} (D_{ij} - d_{ij})^2$$

Minima evoluzione (ME): Il metodo della ME utilizza la lunghezza dell'albero (ovvero la somma delle lunghezze dei rami) come criterio per selezionare la topologia, anche se le lunghezze dei rami possono essere ancora stimate utilizzando il criterio dei MQ. In questo caso l'idea di fondo è che gli alberi più brevi hanno più probabilità di essere "corretti" rispetto ad alberi più lunghi. Questo metodo in effetti utilizza due criteri contemporaneamente, uno per scegliere le lunghezze dei rami (MQ), un altro per la scelta della topologia dell'albero.

Il criterio della ME è simile al criterio di *massima parsimonia*, cui accennerò in seguito, in quanto l'albero più corto in termini di cambiamenti evolutivi si definisce ottimale. La differenza tra questi due criteri di ottimalità è che nel primo caso l'evoluzione minima è calcolata a partire da una matrice di distanza mentre nel secondo, la massima parsimonia viene calcolata direttamente utilizzando la matrice di caratteri discreti. In entrambi i casi la ricerca dell'albero migliore avviene nel "tree

space", ovvero cercando il migliore, l'ottimale secondo il criterio di base, tra tutti i possibili o il maggior numero possibile di essi, attraverso una ricerca euristica.

I due metodi appena menzionati ottimizzano un criterio come la somma dei quadrati, ricercando tra tutti i possibili alberi quello con il valore migliore. Altri metodi basati su matrici di distanza, ma che non fanno uso di un criterio esplicito di ottimalità, applicano un algoritmo di clustering alla matrice al fine di ottenere un albero in modo più diretto. Questi metodi sono molto più veloci ma hanno lo svantaggio di non garantire che le informazioni sulle distanze della nostra matrice siano utilizzate in modo completo.

Neighbor joining (NJ): questo è senza dubbio il metodo basato su matrici di distanza ad oggi più utilizzato. Si tratta di un algoritmo di clustering e opera partendo da un albero a stella in cui tutti i taxa sono collegati a un solo nodo. L'algoritmo procede unendo due taxa e sostituendo questi nella matrice con il nodo che li unisce (ovvero l'antenato da cui discendono). In questo modo il numero di taxa collegato al vertice della stella diminuisce di una unità ad ogni ciclo. Il processo si ripete fino ad ottenere un albero completamente risolto. La coppia di taxa da unire a ciascun ciclo è scelta in modo da minimizzare la stima di lunghezza dell'albero. Il NJ è molto veloce e spesso produce un albero che è molto simile a quello che si otterrebbe utilizzando la minima evoluzione.

Pro e contro dei metodi basati su matrici di distanza: un riconosciuto vantaggio dei metodi di distanza e in particolare degli algoritmi di clustering come il NJ è la loro efficienza computazionale. Nel caso del NJ il vantaggio computazionale deriva dal fatto di non dover mettere a confronto il maggior numero di alberi possibile sotto un criterio di ottimalità. Per questo motivo il NJ viene spesso usato per analizzare grandi dataset le cui sequenze non siano molto divergenti. Ricordo anche che per il calcolo delle distanze in questi metodi si fa sempre uso di modelli statistici di sostituzione nucleotidica. Infatti, le sequenze nucleotidiche divergono in modo più o meno lineare con il tempo solo poco dopo un evento di divergenza (speciazione). La causa della deviazione dalla linearità va ricercata nelle sostituzioni multiple che interessano lo stesso sito col passare del tempo. Ed è attraverso l'utilizzo di modelli espliciti che in filogenesi si tiene conto delle sostituzioni multiple nella stima del numero reale di sostituzioni che si sono verificate dal momento in cui due sequenze si sono separate da un antenato comune. In genere, tuttavia, è importante utilizzare un modello di sostituzione realistico per calcolare le distanze per ciascuna coppia di sequenze. Malgrado la velocità rappresenti un indubbio vantaggio, questi metodi possono essere addirittura fuorvianti nei casi in cui il dataset presenti sequenze molto divergenti. Bisogna tener presente che la trasformazione dei dati originali in una matrice di distanze a coppie determina una forte riduzione dell'informazione complessiva, tanto che in questi metodi i nodi interni dell'albero non rappresentano stati ancestrali.

Metodi basati su matrici di caratteri discreti

I metodi basati su matrici di caratteri discreti includono la massima parsimonia (MP), la massima verosimiglianza (*maximum likelyhood*, ML) e i metodi di inferenza bayesiana (BY). Questi approcci non prevedono alcuna trasformazione dei dati ma confrontano simultaneamente tutte le sequenze, carattere per carattere. Per i dati molecolari, ciascun sito della sequenza allineata rappresenta un carattere, ed ognuno di essi è valutato singolarmente per il calcolo del *punteggio* di ogni albero. Il termine *punteggio* assume diversi significati a seconda del criterio che intendo usare. Per la MP il *punteggio* è semplicemente il numero minimo di cambiamenti, *steps* (i.e., l'abero più corto), per il ML è il valore di *log-likelyhood* (grosso modo l'albero più probabile), mentre per l'inferenza BY è la probabilità a posteriori dell'albero. In teoria, l'albero con il miglior punteggio dovrebbe essere identificato confrontando tutti gli alberi possibili (ricerca esaustiva). Tuttavia, a causa del grande numero di alberi possibili da valutare, una ricerca esaustiva non è spesso possibile se non per piccoli *datasets*. Il numero di alberi possibili cresce molto rapidamente al crescere del numero di taxa nella matrice (FELSESTEIN, 1978). Per fare solo qualche esempio, con appena 10 taxa il numero di possibili alberi non radicati da valutare secondo un dato criterio di ottimalità è 2.027.025 (sono 34.459.425 quelli radicati!), con 21 taxa il numero di alberi è più grande della costante di Avogadro. In questi casi, quindi, ci si affida ad una ricerca euristica. Questa, pur non garantendo un risultato ottimale, consente di generare un albero che non sia troppo "lontano" dal migliore. In generale, gli algoritmi di ricerca euristica generano, in modo piuttosto rapido, un albero iniziale sul quale poi eseguono tutta una serie di riarrangiamenti locali (spostando e scambiando ad esempio rami e sottoalberi) al fine di migliorare il punteggio complessivo dell'albero. Queste operazioni consentono di analizzare anche grandi dataset. Diversamente dai metodi su matrici di distanza, non tutti i meto-

di basati su matrici di caratteri discreti fanno uso di un modello esplicito di sostituzione. ML e BY ne fanno uso, la parsimonia no. Di seguito discuterò brevemente solo la parsimonia. ML e BY verranno descritti da Daniele Salvi in questo stesso volume (pp. 243-249).

Massima parsimonia (MP): Dagli anni 70 del secolo scorso ad oggi questo criterio è stato molto usato nell'inferenza filogenetica per analizzare dataset sia morfologici, sia molecolari. Il principio è semplice: cercare l'albero, o un gruppo di alberi, che minimizzi il numero di cambiamenti evolutivi. Ovvero, l'albero che minimizzi le trasformazioni di un dato stato di carattere in un altro. La *parsimonia* è un principio fondamentale per la scienza e il suo fondamento filosofico si può riassumere come segue: tra due o più ipotesi che forniscono spiegazioni equamente valide per un dato fenomeno, si dovrebbe scegliere quella più *semplice*. SWOFFORD e SULLIVAN (2009) sostengono che per utilizzare la *semplicità* si dovrebbe dimostrare che esiste un collegamento diretto tra il numero di cambi di stato di un dato carattere (*steps*) richiesti da una topologia e la complessità dell'ipotesi corrispondente. Tale collegamento viene in genere fatto affermando che ogni omoplasia (ovvero quegli stati di carattere condivisi da due o più taxa che non possono essere spiegati come ereditati da un comune antenato) costituisce un'ipotesi *ad hoc*; per cui il numero di tali ipotesi *ad hoc* dovrebbe essere minimizzato. L'interpretazione e la valutazione delle omoplasie per la scelta della migliore topologia è stato a lungo al centro di un acceso dibattito tra i sostenitori del criterio della parsimonia (di seguito definiti *cladisti*, per semplicità). Il punto del contendere è: la parsimonia preclude o contempla una qualche forma di pesatura dei caratteri? Su base strettamente cladistica una pesatura dei caratteri basata sull'omoplasia è non solo accettabile, ma addirittura preferibile (GOLOBOFF 1993; GOLOBOFF *et al.*, 2008). Secondo questa logica, i caratteri che hanno una maggiore tendenza a presentare omoplasia sono, in generale, meno affidabili. Questo concorda inoltre con la definizione stessa di omoplasia, che non è altro che una discordanza tra topologia e il carattere stesso. FARRIS (1969) fu il primo a proporre un metodo iterativo di pesatura successiva dei caratteri a partire dagli alberi di massima parsimonia ottenuti. Successivamente GOLOBOFF (1993) propose un metodo di ponderazione implicita (IW), non-iterativo, basato sulla ricerca dell'albero, o del set di alberi, più "performante" (maximum fit), ovvero non necessariamente quello con il minor numero di cambiamenti evolutivi. Goloboff propose di calcolare la *fit* di un carattere come una funzione concava dell'omoplasia. L'idea di fondo è di infliggere il massimo della penalizzazione nel passaggio da uno a due steps. Quindi, confrontando le varie topologie durante la ricerca, le differenze in numero *steps* per caratteri molto omoplastici influenzano meno la scelta dell'albero. Utilizzando il criterio del IW, un albero che aumenta la *fit* per caratteri poco omoplastici (ovvero riducendo il numero di *steps* per quei caratteri) potrebbe anche produrre un aumento del numero di *steps* in caratteri molto omoplastici. In altre parole, la *fit* complessiva di un albero può essere aumentata al costo di un aumento della lunghezza dell'albero.

Pro e contro della parsimonia: Punto di forza incontestabile della parsimonia è la sua semplicità concettuale, che aiuta anche nello sviluppo di algoritmi efficienti. Uno dei principali punti deboli di questo criterio è la mancanza di ipotesi esplicite, che ostacola l'utilizzo della conoscenza dei processi evolutivi delle sequenze nella ricostruzione della filogenesi. Come conseguenza di questo fatto va aggiunto che la parsimonia non è quasi più usata in ambito molecolare perché non è spesso affidabile nel ricostruire la filogenesi corretta. Specificamente, l'impossibilità di poter applicare modelli per correggere sostituzioni multiple espone la parsimonia ad un problema noto come *long-branch attraction*. Con *long-branch attraction* si indica la tendenza a raggruppare e rappresentare come sister taxa anche dei taxa che risultano invece molto divergenti nella realtà. Questo fenomeno è stato ampiamente dimostrato usando dataset simulati e reali.

Valutazione della credibilità delle ipotesi formulate

Ultimo cruciale passaggio dell'inferenza filogenetica è valutare la credibilità delle ipotesi formulate. Esistono due metodi per stimare la credibilità dei cladi di un albero filogenetico, **bootstrap** e **jackknifing**.

Bootstrap: Il *bootstrap* è una tecnica di ricampionamento ampiamente utilizzata per stimare l'errore statistico in situazioni in cui la distribuzione della probabilità della popolazione da cui provengono le osservazioni campionarie sia sconosciuta o difficile da ricavare analiticamente. Ovvero, si considera il campione stesso come un'approssimazione dell'intera popolazione. In pratica, si generano nuovi campioni estratti casualmente da quello originario, usando la funzione di distribuzione empirica. Partendo quindi da una matrice di dati (morfologici o sequenze) si ricava una nuova matrice scegliendo casualmente delle colonne da quella orignale. Ogni colonna della matrice originale può essere scelta più di una

volta o non esserlo affatto, fino a produrre un nuovo insieme di dati delle stesse dimensioni (ovvero stesso numero di colonne) di quello originale; questa nuova matrice corrisponde ad una *replica di bootstrap*. Ad ogni *replica di bootstrap* alcuni caratteri non verranno inclusi affatto mentre altri saranno inclusi una o più volte. Per ogni *replica* (i.e., dataset artificiale) si costruisce un albero e si calcola la proporzione in cui ciascun clade si presenta in tutte le repliche. Questa proporzione è presa come confidenza statistica a supporto della monofilia dei cladi. Esistono due modi per raffigurare i supporti di bootstrap su un albero. Nel primo i risultati delle n *repliche di bootstrap* (>100) sono sintetizzate in un albero di consenso di maggioranza. Nel secondo approccio i valori di bootstrap vengono riportati sull'albero ottenuto con il dataset originale, rappresentando il numero di volte in cui quel dato clade è stato ottenuto negli alberi di bootstrap. Una corretta interpretazione dei supporti di bootstrap non è tuttavia semplice. Benché i fondamenti statistici del bootstrap siano chiari e largamente ricosciuti, il significato statistico dei supporti di boostrap applicato alle sequenze e alle relazioni evolutive è assai meno noto (cfr. Felsenstein & Kishino 1993). Il bootstrap è un processo neutro di ricampionamento inteso a stimare il disturbo del segnale filogenetico in un set di dati, secondo il metodo in uso per ricostruire la filogenesi. Tuttavia, se il metodo selezionato per ricostruire la filogenesi restituisce una filogenesi sbagliata a causa di errori sistematici o se i dati della sequenza non sono rappresentativi della distribuzione sottostante, gli intervalli di confidenza ottenuti attravreso *bootstrap* non hanno significato. Valori di *bootstrap* non significativi ai fini della valutazione della robustezza della monofilia dei cladi si ottengono ad esempio usando la parsimonia o modelli di sostituzione troppo semplici e irrealistici, soprattutto per *datasets* molto divergenti.

Jackknifing: un'altra tecnica di ricampionamento spesso usata in filogenesi è il *jackknifing*. Il *jackknife* opera tagliando casualmente metà delle colonne (siti, caratteri) dalla matrice, in modo che il nuovo dataset sia la metà dell'originale. Ogni nuovo dataset viene quindi sottoposto a regolare ricostruzione filogenetica. Il ricampionamento è ripetuto molte volte per calcolare la frequenza con cui vengono ritrovati i sottoalberi. Se un sottoalbero appare in tutti le analisi, il supporto di jackknife per quel nodo sarà 100.

Ringraziamenti

Desidero porgere un sincero ringraziamento a Maurizio Biondi (L'Aquila) e al Presidente dell'Accademia Romano Dallai (Siena) per avermi invitato a tenere questa presentazione. Ringrazio inoltre Paolo Audisio e Marco Oliverio (Roma) per gli utili consigli.

BIBLIOGRAFIA CITATA

Farris J.S., 1969 – *A successive approximations approach to character weighting*. - Systematic Zoology, 18: 374-385.

Felsenstein J., 1978 – *The number of evolutionary trees*. - Systematic Zoology, 27: 27–33.

Felsenstein J., 1982 – *Numerical methods for inferring evolutionary trees*. - Quarterly Review of Biology, 57: 379-404.

Felsenstein J., 1984 – *Distance methods for inferring phylogenies: a justification*. - Evolution, 38: 16–24.

Goloboff P.A., 1993 – *Estimating character weights during tree search*. - Cladistics, 9: 83-91.

Goloboff P.A., Carpenter J.M., Arias J.S., Miranda Esquivel D.R., 2008 – *Weighting against homoplasy improves phylogenetic analysis of morphological data sets.* - Cladistics, 24: 1-16.

Sneath P.H.A., Sokal R.R., 1973 – *Numerical Taxonomy*. San Francisco: W. H. Freeman.

Sokal R.R., Michener C.D., 1958 – *Astatistical method for evaluating systematic relationships*. - University of Kansas Science Bulletin, 38: 1409-1438.

Swofford D.L., Sullivan J., 2009 – *Phylogeny inference based on parsimony and other methods using Paup* – Theory*. pp. 267–282. In: Lemey, P., Salemi, M. & Anne-Mieke Vandamme, A.-M. (eds.): The phylogenetic handbook, a practical approach to phylogenetic analysis and hypothesis testing. New York: Cambridge University Press.

LETTURE CONSIGLIATE

Gascuel O., Steel M., 2006 – *Neighbor-Joining Revealed*. - Molecular Biology and Evolution, 23: 1997-2000.

Goloboff P.A., 2014 – *Extended implied weighting*. - Cladistics, 30: 260-272.

Lemey P., Salemi M., Anne-Mieke Vandamme, A.-M. (eds.), 2009 – *The phylogenetic handbook, a practical approach to phylogenetic analysis and hypothesis testing.* New York: Cambridge University Press.

Sullivan J., Joyce P., 2005 – *Model selection in phylogenetics*. - Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, 36: 445-466.

Yang Z., Ranna B., 2012 – *Molecular phylogenetics: principles and practice*. - Nature Reviews Genetics, 13: 303 - 314.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 217-226

DAL CAMPIONAMENTO ALL'ANALISI DEI DATI: PROBLEMATICHE E CASI STUDIO IN ENTOMOLOGIA APPLICATA

GIOVANNI BURGIO (*)

(*) *Dipartimento di Scienze Agrarie, Alma Mater Studiorum Università di Bologna;* e-mail: giovanni.burgio@unibo.it
Lettura tenuta nell'ambito della Tavola Rotonda "La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 13 novembre 2015.

From sampling to data analysis: critical issues in applied entomology

Sampling is a set of procedures that form the basic methodology of both experimental activity and extension service. By means of the sampling, plant protection by arthropod pests gained a rigorous scientific approach, defining the concept of pest injury in relation to economic thresholds, and allowing the birth of integrated control. The importance of sampling is reviewed taking into account of some practical issues, with the aim to report the more critical aspects. Topics like the importance of data distribution, the accuracy-precision of sampling and the concept of relative and absolute techniques are reported. Also, other issues like the estimation of ecosystems services, the standard comparison of species richness, and the within-between subject sampling plans are discussed.

KEY WORDS: sampling, data distribution, relative and absolute techniques, species richness, ecosystem service estimation.

Essentially all models are wrong, but some are useful
George E.P. Box

PREMESSA

L'argomento trattato rappresenta una tematica che ha sempre suscitato grande interesse e al contempo diffidenza, comprendendo materie complesse, affascinanti, di grande importanza pratica, ma non certo esenti da contraddizioni. E la metafora di G. Box sintetizza in modo ironico i sentimenti contrastanti che questa importante disciplina ha sempre originato, anche in campo entomologico. Il grande statistico sembra volere ammettere gli aspetti contradditori che aleggiano sulle discipline statistico-matematiche, anche se esprime un chiaro giudizio sulla loro oggettiva importanza. Discipline, sicuramente, talmente utili da essere diventate una necessità. Ricordiamo come il campionamento sia una branca della statistica che fondamentalmente ha come scopo la gestione della variabilità e dell'incertezza, che caratterizzano del resto tutti gli approcci stocastici. Scopo finale del campionamento, al di là di tutti gli aspetti pratici che esso evoca, è proprio di misurare, gestire, limitare e interpretare la variabilità che caratterizza ogni indagine sperimentale.

IMPORTANZA DEL CAMPIONAMENTO

Il campionamento è un insieme di metodi e procedure che costituiscono la base operativa per ogni attività di campo, sia sperimentale che tecnica (COCHRAN, 1977; BOX *et al.*, 1978; SOUTHWOOD e HENDERSON, 2000; BINNS *et al.*, 2000). Non va dimenticato che è proprio grazie al campionamento che la difesa delle piante dagli artropodi ha acquisito un'impostazione scientifica rigorosa, definendo il concetto di dannosità dei fitofagi in rapporto alle soglie economiche, e permettendo la nascita della lotta integrata. Da allora il campionamento rappresenta, o almeno dovrebbe, un pilastro fondamentale nell'attuazione di ogni pratica di difesa sostenibile. Va sottolineato che il campionamento permea la raccolta dei dati di ogni attività sperimentale, anche di laboratorio, in quanto definisce ad esempio il processo di misurazione delle variabili e la pianificazione di ogni esperimento. Il campionamento rientra nel vasto universo della statistica inferenziale (il cui padre è considerato il grande Roland Fisher) (Fig. 1). Ogni inferenza statistica, che rappresenta in definitiva un processo decisionale, è influenzata dalla qualità del nostro campionamento, che dovrebbe avvicinare il più possibile la mia raccolta di dati alla realtà. Per sottolinearne la delicatezza e l'importanza, elenchiamo una serie di inconvenienti causati da campionamenti non affidabili e non precisi: distorsione della distribuzione dei dati, che rende imprecisa la statistica utilizzata e inadeguate le conclusioni dello studio; scostamento dei dati dalla realtà oggettiva (in altre parole i dati raccolti diventano un artefatto della realtà); errate interpretazioni entomologiche (JERVIS & KIDD, 1996; Southwood & HENDERSON, 2000). Il processo di sottostima di una popolazione può inoltre creare eccessi di zeri (→0)

– Pubblicato marzo 2016

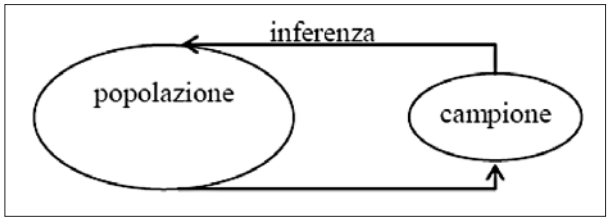


Fig. 1
Il procedimento circolare dell'inferenza: si estrae un campione dalla popolazione e dal campione si stimano grandezze e parametri, verificando delle ipotesi relative alla "popolazione" delle osservazioni, e giungendo a un decisione (da MONTANARI, 2012).

durante il campionamento di insetti, un fenomeno che richiede precauzioni particolari e la scelta di modelli di distribuzione ad hoc nel trattamento dei dati (GOEDHART *et al.*, 2014); per ovviare e prevenire questo inconveniente, vedremo che è spesso necessario un aumento di repliche, pena il crollo della potenza dei test parametrici applicati in un esperimento (ARPAIA, 2014; VOET VAN DER & GOEDHART, 2015).

SI FA PRESTO A DIRE NORMALE… DI CHE DISTRIBUZIONE SI TRATTA?

Quali siano le distribuzioni statistiche generate dai diversi campionamenti sull'entomofauna, è una domanda basilare per l'elaborazione dei dati. La scala di misura delle variabili che derivano da campionamenti non è assolutamente un aspetto da trascurare e può capitare anzi che la reale "natura" di alcuni dati non venga considerata correttamente. È risaputo come tutte le analisi statistiche di tipo parametrico (es. analisi varianza nelle sue molteplici forme, t-Student, regressione, tecniche multivariate classiche), richiedono una distribuzione normale (una distribuzione di tipo continuo), e anche eseguendo un modello generale lineare generalizzato (GLM) (ZUUR *et al.*, 2009), è necessario indicare il tipo di distribuzione dei dati pertinente al nostro esperimento. Esula in questa sede una trattazione dettagliata di questa problematica, e toccheremo solamente alcuni aspetti. Da ricordare che i conteggi che otteniamo da molti campionamenti rappresentano, in via teorica, una distribuzione discreta di tipo Poisson ($\sigma^2 = \mu$), una distribuzione asimmetrica per valori di media inferiori a circa 6. In molti casi si è visto comunque che quando le medie di distribuzioni discrete (come sono i conteggi) mostrano valori superiori a 6-8, la distribuzione tende a essere simmetrica e può essere comparata a una normale, previa o meno trasformazione dei dati; una distribuzione di questo tipo viene chiamata semicontinua e può essere trattata come una normale (SOLIANI, 2001). Ricordiamo anche che i dati in frequenza (che generano cioè percentuali) appartengono a distribuzioni discrete binomiali, che richiedono trattazioni particolari, come la famosa trasformazione angolare (o suoi derivati), che è fondamentale (e non una consuetudine astratta o retorica…) per poter applicare statistiche parametriche. Le variabili categoriali descritte dalla binomiale possono essere espresse mediante scala nominale (o binaria: 0-1) oppure scala ordinale (es: 0- bassa-media-alta).

Ricordiamo anche che esistono modelli complessi (*mixed-distribution*) per studiare quelle distribuzioni che manifestano *over-dispersion* anomale, ad esempio le distribuzioni di Poisson con $\sigma^2 > \mu$ (*overdispersed* Poisson) o le distribuzioni con eccessi di zeri (*excess zero distribution*), fino alle Poisson Log normali; tali approcci possono essere consultati, per l'entomologia, in lavori specialistici (GOEDHART *et al.*, 2014; ARPAIA, 2014).

Conoscere la distribuzione dei dati ottenuta da campionamenti è inoltre fondamentale per: pianificare il numero di repliche e dimensioni campionarie; analizzare i dati e scegliere le opportune trasformazioni per poter utilizzare i test parametrici (BOX *et al.*, 1978; ZAR, 1999; SOKAL e ROHLF, 1995; SOLIANI, 2001); applicare la *Power analysis* (vedi dopo); desumere difetti, punti deboli di una tecnica di campionamento (eccessi di zeri, distorsioni o *bias*). Preme ricordare che la power analysis gioca un ruolo fondamentale nella pianificazione sperimentale. Questa tecnica è in grado di determinare la dimensione del campione richiesto per evidenziare una differenza di una certa entità (es. 2 volte rispetto al testimone), per un dato intervallo di confidenza. Un ben conosciuto problema della statistica inferenziale, infatti, è che molte volte non vengono dimostrate "vere differenze" per un basso numero di repliche, che enfatizza la variabilità e quindi l'errore. Per approfondimenti e validazioni pratiche di questo metodo nell'impostazione del campionamento e nella stima del numero di repliche ottimale per esperimenti in entomologia, consultare GOEDHART *et al.* (2014) e ARPAIA (2014).

ACCURATEZZA E PRECISIONE NEL CAMPIONAMENTO

La variabilità osservata in un campionamento è la somma di tre componenti: la variabilità naturale, l'errore causale e il bias (SOLIANI, 2001). La variabilità naturale espressa dalla variabile osservata, costituisce ovviamente la variabilità di interesse. L'accuratezza, identificata nei testi dal termine inglese *accuracy,* è una misura della vicinanza del valore osservato al suo valore reale (parametro

della popolazione). Quando i dati sono inaccurati sono detti *biased* (distorti). L'inaccuratezza o distorsione (*bias)* si presenta quando una statistica sottostima o sovrastima in modo considerevole il parametro reale della popolazione. Si tratta quindi di un processo che in modo sistematico genera una differenza, chiamata errore, tra la statistica osservata e il valore "vero" del parametro. La precisione, indicata anche con il termine inglese *precision,* dipende essenzialmente dal sistema di misura e dalla qualità e competenza degli operatori nel gestire la strumentazione di analisi e le tecniche di campionamento. In altre parole la precisione indica il grado di ripetibilità di una misura. La precisione tende ad aumentare quando il sistema di campionamento è stabile e le serie di valori osservati nelle diverse ripetizioni sono simili. Gli errori casuali sono simmetrici rispetto a un valore medio, sono compensativi e si sviluppano naturalmente. La distorsione (*bias*), dipende fortemente dalla tecnica campionamento e di misurazione di una variabile, e può essere influenzata dall'accuratezza con cui abbiamo scelto i campioni, dall'idoneità della strumentazione di analisi e dalla competenza degli operatori. Questo tipo di errore è asimmetrico, sposta verso una sola direzione il valore sperimentale e le distorsioni generate non sono compensative.

Tecniche diverse possono generare notevoli differenze di accuratezza-precisione: sarebbe necessario applicare più tecniche di campionamento a parità di taxon, e di eseguire una tarature fra le diverse tecniche (Fig. 2**),** un passaggio importantissimo, in grado di validare i fenomeni di distorsione o imprecisione che certi campionamenti generano. Non esistono tecniche di campionamento universali e spesso un approccio multiplo può consentire una migliore interpretazione dei dati.

Tecniche di campionamento per stime assolute e relative

Le tecniche di campionamento possono produrre stime assolute (o quantitative) e relative (dette anche qualitative). Questa è una distinzione molto importante, che va tenuta sempre in considerazione non solo nell'elaborazione dei dati ma anche nelle interpretazioni entomologiche derivanti dall'applicazione delle varie tecniche disponibili (Jervis & Kidd, 1996; Southwood & Henderson, 2000).

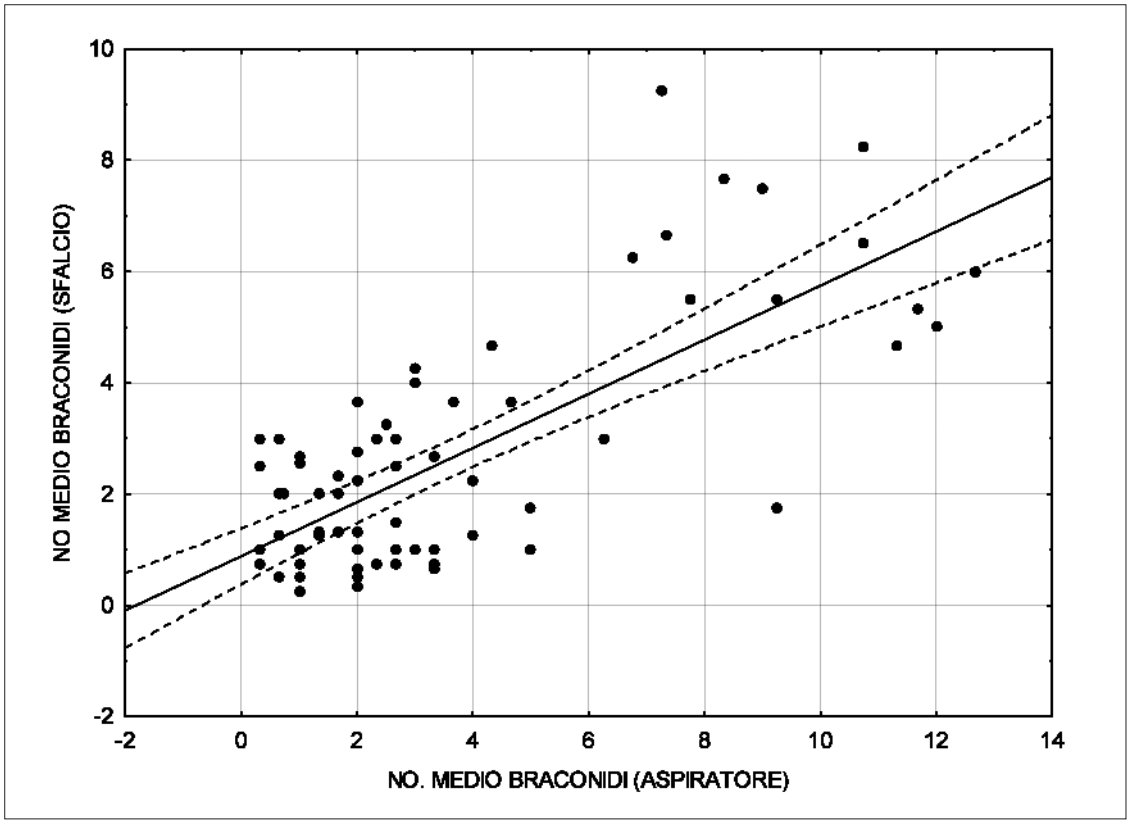


Fig. 2
Esempio di taratura fra due tecniche di campionamento. In questo caso, l'esempio si riferisce a un campionamento di adulti di Imenotteri Braconidi nel cotico erboso di un vigneto. Le tarature di questo tipo permettono di validare l'accuratezza e la precisione delle tecniche di campionamento, con un procedimento di confronto mediante analisi della correlazione. Le tarature sarebbero indispensabili in tutti i casi di campionamenti con tecniche multiple.

Una stima assoluta fornisce una misura quantitativa del volume della popolazione studiata in un dato ambiente o parte di esso, parametrizzando tale stima mediante unità spaziali (es. numero medio di insetti per superficie, per *area sample*, o per volume unitario), di habitat (numero di insetti per foglia-pianta-getto, ecc). Le tecniche relative non consentono di ottenere stime quantitative del volume della popolazione, ma solamente indicazioni fenologiche, la presenza di specie, il numero di specie di determinati taxa. Questa distinzione è molto importante perché conoscere se la tecnica di campionamento che viene applicata produce stime assolute o relative, è fondamentale per capire se abbiamo a che fare con tecniche quantitative o qualitative (per approfondimenti consultare: JERVIS & KIDD, 1996; BURGIO, 1999; SOUTHWOOD & HENDERSON, 2000; BURGIO *et al*., 2013). L'argomento è vastissimo e si rimanda a questi lavori, per i dettagli tecnici. Citiamo solo alcuni dettagli, per sottolineare come alcune tecniche molto precise per liste di specie e fenologia (che forniscono quindi stime relative) producano dati quantitativi da considerare con cautela. Le Malaise ad esempio distorcono (sottostimandole) le abbondanze relative di alcune specie di Sirfidi a regime alimentare saprofago (BURGIO e SOMMAGGIO, 2007). Una domanda molto delicata è capire se ciò avvenga anche per altri taxa. È ben noto ad esempio che le trappole a feromoni non consentano generalmente stime quantitative e i dati raccolti vanno elaborati e interpretati con le dovute cautele, usando i parametri più appropriati.

CAMPIONAMENTO E STIMA DEI SERVIZI ECO-SISTEMICI

Il campionamento e la stima dei servizi eco sistemici (es. predazione, parassitizzazione, impollinazione) rappresentano argomenti molto complessi, e in questa sede tratteremo solamente alcuni aspetti, sottolineando alcuni punti critici, riferiti principalmente alla lotta biologica.

PARASITIZZAZIONE

La stima della parassitizzazione è molto complessa e delicata, soprattutto nel caso si vogliano ottenere stime quantitative. La parassitizzazione infatti è un fenomeno densità dipendente, influenzato dalla frequente disformità nella densità dell'ospite nei siti o nelle parcelle che si confrontano, nonché dalla elevata aggregazione spaziale degli stadi ospiti, spesso riscontrata in molti insetti ed enfatizzata dalle basse densità. L'assenza o la bassa densità di stadi dell'ospite crea inoltre assenza di dati (compresi i "falsi zeri"), che devono essere valutati con attenzione. Per questi motivi, pianificazioni parcellari classiche (es. parcelle di piccole dimensioni) possono creare molti zeri "falsi", soprattutto per il pattern molto aggregato di uova e larve. Per ovviare a questi problemi, sono necessari accorgimenti sperimentali (es parcelle o campi di elevate dimensioni, aumento del numero di repliche nello spazio e nel tempo, eseguire campionamenti periodici sia intra-anno che in diverse annate). La stima della parassitizzazione **c**omprende principalmente due metodi: la raccolta di stadi di insetti, e l'esposizione di stadi di insetti-sentinella (insetti-esca).

Raccolta standardizzata e pianificata di stadi di insetti.

Il tasso di parassitizzazione di solito è calcolato su un campione di ospiti raccolti in un campionamento, con semplici formule, partendo dagli individui di parassitoide sfarfallati dai loro ospiti o da organi o parti di piante raccolte (BOCCACCIO e PETACCHI, 2009); alcuni autori distinguono la parassitizzazione apparente dal parassitismo attivo (VIGGIANI, 1994). Se il campionamento è ben progettato, porta a stime quantitative calibrate. Lo studio prevede una parte di laboratorio, che può seguire due approcci: 1.allevamento stadi raccolti, sfarfallamento e identificazione delle specie di parassitoidi; 2. dissezione stadi raccolti (es larve), metodo abbastanza semplice e rapido, ma che, essendo distruttivo, non misura l'emergenza dell'adulto e la mortalità larvale, e può non permettere una identificazione sicura della specie (DEPALO *et al.*, in corso di stampa).

Con pianificazioni robuste, i dati di parassitizzazione possono essere elaborati mediante analisi statistica classica (dopo le opportune trasformazioni dei dati) o, a seconda dello schema sperimentale, scegliendo il *generalized linear model* (GLM) più appropriato, con l'accortezza di utilizzare la distribuzione binomiale. Nel caso di pianificazioni meno robuste, è azzardato eseguire confronti quantitativi, ed è consigliabile utilizzare solamente i dati faunistici che il metodo offre (segnalazione di specie di parassitoidi, liste di parassitoidi, preferenza per l'ospite). In certi casi, i dati di diverse serie possono essere cumulati, per ottenere campioni più rappresentativi, seguendo uno schema sperimentale opportuno (ad es. mediante campionamenti *nested* ottenuti su sub-plot in diversi trattamenti sperimentali, divisi in diverse date di campionamento e anni). In questo caso la (*log Linear analysis*) può consentire una versatile analisi dei dati, e interpretare i dati seguendo una procedura

simile a un'analisi fattoriale della varianza; questa procedura permette il calcolo di un modello che comprende lo studio simultaneo di più fattori (es. trattamenti, date campionamento, anni) e le loro interazioni, purché i dati siano stati raccolti secondo una pianificazione rigorosa (DEPALO *et al.*, 2016).

Esposizione di stadi-sentinella

Questo metodo, se ben standardizzato, può consentire studi di campo sulla parassitizzazione e analisi anche quantitative del tasso di parassitismo (JERVIS e KIDD,1996); la tecnica presuppone l'allevamento in laboratorio degli ospiti da esporre in campo. Un vantaggio di questo metodo è di poter disporre di una densità dell'ospite omogenea, per confronti standardizzati. Questo metodo è stato utilizzato per campionare la parassitizzazione a carico di diversi ospiti, dalla uova di *Ostrinia nubilalis* (Hubner), fino alle uova della cimice *Halyomorpha halys* (JONES *et al.*, 2014). L'efficacia del metodo è influenzata dalla qualità degli stadi esposti, come è stato verificato esponendo uova di *Loebsia botrana* (Denis e Schiffermuller) per valutare la parassitizzazione a carico delle larve: in questo caso, per l'elevata mortalità delle uova del lepidottero, il metodo ha mostrato scarsa efficacia in annate molto calde (MARCHESINI, comunicazione personale). L'esposizione di uova vanta in ogni caso diverse realizzazioni pratiche: in questo caso la qualità intrinseca del materiale esposto, nonché il suo stato vitale (es. *frozen – alive*) condizionano la capacità di ricerca dei parassitoidi e quindi l'esito della parassitizzazione.

Mentre il metodo è sicuramente efficace per un rapida segnalazione di specie di parassitoidi a carico di un ospite, in certi casi può sottostimare e distorcere il tasso di parassitismo, come è stato segnalato proprio per *H. halys* (JONES *et al.*, 2014). L'esposizione di stadi-sentinella è stata utilizzata anche per valutare la parassitizzazione a carico di *Drosophila suzuki* Matsamura (ROSSI STACCONI *et al.* 2013; MAZZETTO *et al.*, 2016). Anche in questi casi sarebbe importante provvedere a una taratura del metodo, mediante confronto accoppiato della stima della parassitizzazione su ospite naturale.

PREDAZIONE

Stimare la predazione attiva risulta aspetto molto complesso e tutt'ora non risolto completamente; molto spesso il potenziale di predazione viene misurato in maniera indiretta, campionando i predatori osservati nelle colonie delle prede potenziali, mediante analisi delle reti trofiche. Ribadendo che tale passaggio è fondamentale in ogni studio di campo, bisogna sottolineare come esso non consenta una vera analisi della pressione predatoria e della predazione attiva, ottenibile solo mediante analisi dei contenuti intestinali, con metodi tradizionali e molecolari. Recentemente un metodo molecolare per l'analisi dei contenuti intestinali di *Harmonia axyridis* (Pallas) è stato messo a punto e validato per studiare gli afidi e le coccinelle predate (*intra-guild predation*) da questo predatore polifago (RONDONI *et al.*, 2015).

È è in corso di validazione un metodo di campo, chiamato *dummy caterpillar*, o esche di plastilina, che ha come scopo di stimare la pressione predatoria mediante la quantificazione dei morsi inflitti a piccoli pezzi di plastilina di circa 2cm (HOWE *et al.*, 2009). Il metodo è indubbiamente interessante perché potrebbe consentire di misurare la predazione mediante un metodo standardizzabile; l'analisi dei morsi, realizzabile in laboratorio, consente di risalire ai macro-gruppi di predatori mediante osservazioni allo stereo- microscopio. Il metodo consente di risalire ai morsi di insetti predatori generalisti ad apparato boccale masticatore come carabidi, stafilinidi, formiche, vespe, nonché di altri taxa come uccelli e rettili. Presenta il punto debole di non riuscire a stimare la predazione di alcuni gruppi a diverso apparato boccale (es. sirfidi e crisope), mentre non è chiaro se consenta la stima della predazione di coccinelle (Magagnoli, comunicazione personale). Il metodo non contempla inoltre l'effetto dei semiochimici nella ricerca della preda, e non è ancora completamente chiara la potenziale influenza dell'odore e del colore della plastilina utilizzata. È indispensabile eseguire la taratura dei morsi con misure di densità degli insetti indagati (es densità di attività mediante trappole a caduta). La validazione in corso, in diverse parti del mondo, ha messo in luce alcuni aspetti: la percentuale di morsi risponde in molti casi alla densità di attività di predatori del terreno, ed è influenzata dall'annata, dalla data di campionamento, dalle tecniche colturali, e dalle strategie agroecologiche (FERRANTE *et al.*, 2014; MAGAGNOLI, comunicazione personale).

CAMPIONAMENTO E BIODIVERSITÀ: CONFRONTARE LA RICCHEZZA DI SPECIE

La ricchezza in specie è probabilmente uno dei descrittori più semplici, importanti ed efficaci per misurare la diversità entomologica (MAGURRAN, 1988). Questo semplice parametro, almeno apparentemente, è di importanza vitale in tutta l'ecolo-

gia e la zoologia: basti pensare ad esempio, che nelle scienze della conservazione, i tassi di estinzione di specie sono calibrati sui *pattern* di ricchezza in specie (Simberloff, 1986). Preme ricordare che i confronti fra ricchezza di specie coinvolgono tutti i settori, come l'entomologia agraria, la forestale, l'ecologia applicata, l'uso dei bioindicatori, la fitoiatria, la faunistica. Un grosso problema, spesso dimenticato o trascurato, in tale ambito, è il seguente: il campionamento genera una *stima* del numero specie. Per molti taxa esiste una correlazione dimostrata fra numero di individui raccolti e numero di specie negli stessi campioni (Fig. 3). Le curve di accumulo delle specie, ottenute aggiungendo le specie trovate accumulando progressivamente gli individui (o aggiungendo un campione per volta), crescono repentinamente all'inizio, poi incrementano più lentamente per raggiungere classicamente un asintoto, che rappresenta il massimo numero di specie. Le curve di campionamento sono divise in due tipi: le curve di accumulo (ottenute quindi da sinistra verso destra), e le curve di rarefazione (ottenute per converso da destra a sinistra col procedimento opposto). Entrambe le curve possono essere *individual based* oppure *sample based*, ottenute per l'appunto accumulando o togliendo, rispettivamente, individui o campioni. Differenze in abbondanza (N) purtroppo possono assorbire disformità nello sforzo di campionamento (diverse dimensioni dei campi, disformità contingenti fra siti, distruzione trappole, numero diverso di trappole usate nei confronti), diverse condizioni di raccolta dati (orario, agenti atmosferici), abilità del campionatore. Le curve di rarefazione (le più utilizzate) possono permettere una validazione dell'accuratezza del campionamento in ogni sito/campo (GOTELLI e COLDWELL, 2001; CHIARUCCI *et al.*, 2008). Confrontare quindi siti o campi caratterizzati da differenze nella numerosità dei campioni è molto rischioso, pena la distorsione dei confronti. Le curve di campionamento sono calcolate in modo rigoroso mediante tecniche di ricampionamento (*boostrap*, *jack-knife*), o mediante il calcolo combinatorio, e possono costituire una validazione dell'accuratezza del campionamento. Quando il numero di specie approssima all'asintoto della curva, il campionamento si può considerare robusto (in altre parole il numero di specie è stato campionato in maniera esaustiva). Quando confrontiamo invece siti caratterizzati da un numero di specie lontano dall'asintoto indicato dalla curva, sarebbe necessario applicare la "rarefazione" ai campioni (un esempio pratico di rarefazione è mostrato in Fig. 4). Analizzare dati sul numero di specie può fornire risultati diversi a seconda che si usi o meno la rarefazione (BURGIO *et al.*, 2015). Al di là dell'applicazione del numero di "specie rarefatte" in luogo di quelle campionate, la rarefazione

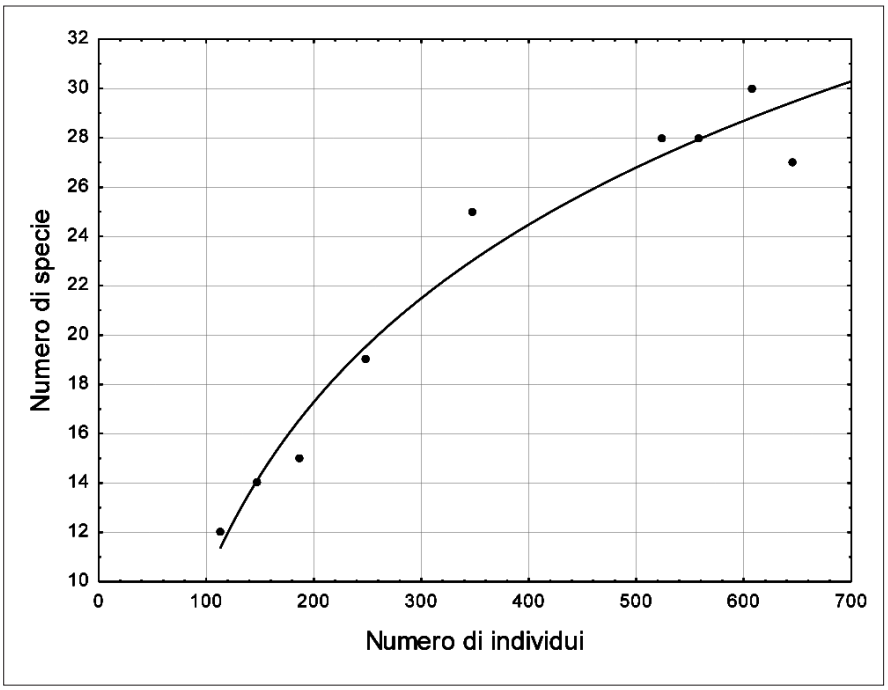


Fig. 3
Relazione fra numerosità del campione e numero di specie degli stessi campioni. I dati si riferiscono a specie di Ditteri Sirfidi campionati con trappole Malaise in 9 siti del nord-Italia. Da Sommaggio e Burgio (dati inediti).

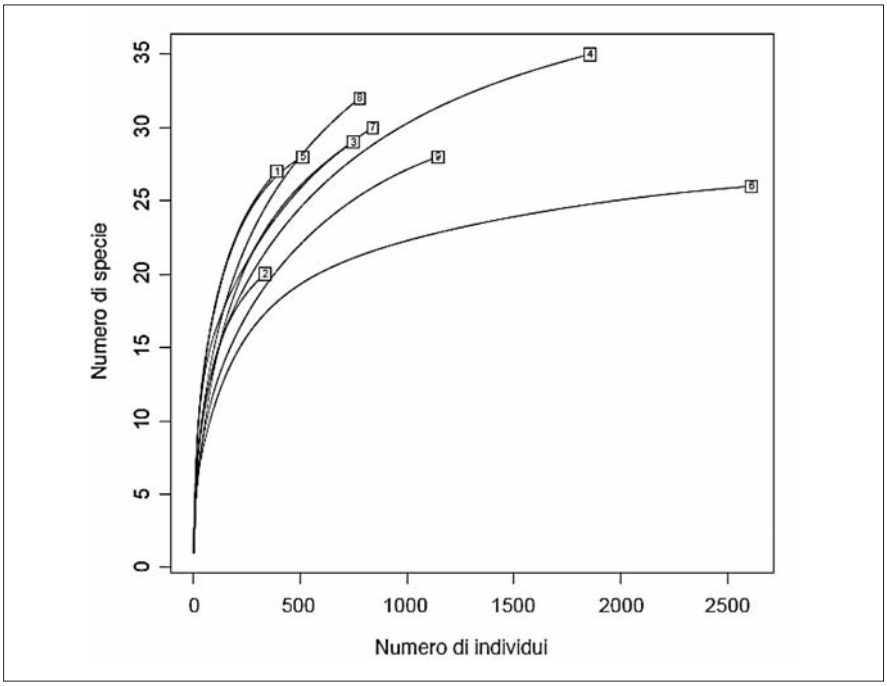


Fig. 4
Esempio di applicazione della tecnica della rarefazione del numero di specie (asse Y) in funzione del numero di individui campionati (asse X) in uno studio eseguito in nove siti dell'Emilia. I numeri all'estremità delle curve di rarefazione indicano il sito campionato. La curva del sito 9 è quella che più si approssima all'asintoto, dimostrando che in tale località il numero di specie è stato campionato in maniera più esaustiva. In questo studio, le elaborazioni statistiche fra le specie sono state seguite utilizzando le specie rarefatte, usando come riferimento la densità del sito 3, caratterizzato dalla minore abbondanza di individui (da BURGIO *et al.*, 2015, modificata).

è utilizzata in alcuni settori (es. botanica) come metodo di *routine,* e consente una validazione della robustezza del campionamento; tale metodo dovrebbe essere preso sempre più in considerazione anche in entomologia. Sono disponibili *software* per calcolare le curve di campionamento, come EstimateS (scaricabile gratuitamente), o *rarefy in Vegan* in $R_{2.3}$.

IL CAMPIONAMENTO NELLO SPAZIO- TEMPO: *WITHIN SUBJECTS* OPPURE *BETWEEN SUBJECT*?

Nell'organizzazione di ricerche, e nella pianificazione dei campionamenti nel tempo e nello spazio, esistono due impostazioni contrapposte: la *within-subjects* Tr(S) o all'interno dei soggetti (Fig. 5), e la *between subjects* S(Tr) (MAXWELL e DELANEY, 1990), fra soggetti, (Fig. 6) , dove Tr = trattamenti (strategie, o caratterizzazioni sperimentali), e S= soggetti o gruppi sperimentali. Nella prima impostazione (*within-subjects*), ogni soggetto o gruppo sperimentale riceve tutti i trattamenti. Ad esempio in una prova di campo, i trattamenti che confronto sono impostati all'interno di un unico soggetto sperimentale (es. campo o sito), seguendo una pianificazione con vere repliche, o a *sub-plots* (pseudo-repliche). Una impostazione di questo tipo necessità di replicazioni della prova nello spazio (es stesso sito) e/o negli anni. La *within-subjects* presenta il pregio principale di riuscire a studiare le dinamiche longitudinali del sistema: se si utilizzano più anni per ripetere l'esperimento, il tempo in questo caso in un GLM diventa un fattore random o quantomeno è da considerare come un campione dipendente (blocco) (BURGIO *et al.*, 2015, per un esempio). Le principali caratteristiche di tale impostazione sono: la variabilità è ridotta, a scapito però della numerosità dei campioni o soggetti sperimentali; può essere studiata la resilienza del sistema, in altre parole come il sistema evolve nel tempo (anni), condizione molto importante per sperimentazioni con una impostazione agroecologica, fitoiatrica o faunistica, in cui le molte variabili studiate in tali contesti mostrano notevoli fluttuazioni stagionali. Inoltre, l'esecuzione di campionamenti intra-anno permettono maggiore robustezza nella raccolta dei dati (il tempo trattato in questo modo risulta invece un fattore fisso).

La *between-subjects* ha una impostazione opposta: ogni soggetto o gruppo riceve un unico trattamento, e la sperimentazione comporta repliche nello spazio (es. siti o aziende, che diventano un fattore random); campionamenti periodici intra-

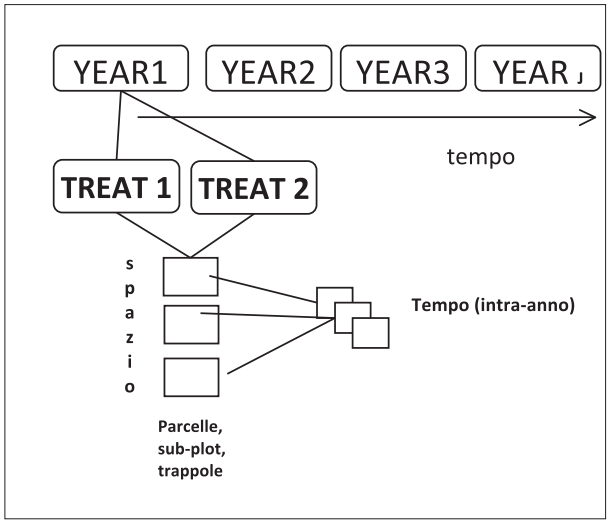


Fig. 5
Impostazione sperimentale del campionamento secondo una pianificazione *within-subjects*. YEAR=anno, TREAT= trattamenti o configurazioni sperimentali.

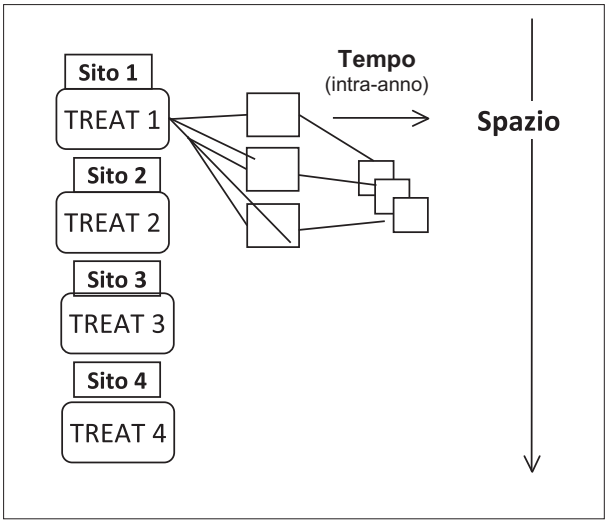


Fig. 6
Impostazione sperimentale del campionamento secondo pianificazione *between-subjects*. YEAR=anno, TREAT= trattamenti, o configurazioni sperimentali.

anno (settimanali o mensili) rientrano come precedentemente in un concetto di tempo inteso come fattore fisso. La prerogativa di questa impostazione è di studiare le dinamiche verticali del sistema e il maggior vantaggio di questa impostazione è di poter studiare l'interazione fra i diversi soggetti sperimentali e i trattamenti (o qualsiasi strategia che si confronta). Per ovvie ragioni, l'esperimento è solitamente caratterizzato da elevata variabilità, fatto che comporta la necessità di numerose repliche nello spazio (es. siti). Sperimentazioni e ricerche di questo tipo, caratterizzate da numerose repliche nello spazio, difficilmente riescono a prevedere impostazioni pluriennali, per una logica di investimento delle risorse. Impostazioni *between-subjects* si trovano spesso in recenti ricerche che seguono una impostazione cosiddetta a *landscape unit* (ogni sito ad esempio viene studiato come rappresentativo di una situazione specifica, come ad esempio complessità ecologica e di habitat, presenza infrastrutture, input agricoli, paesaggio circostante il sito e relative metriche) (THIES e TSCHARNTKE, 1999; JONSHON *et al.*, 2012; BOCCACCIO e PETACCHI, 2009; CAPRIO *et al.*, 2015, per citare solo alcuni esempi).

Le due impostazioni sono caratterizzate da pianificazioni diverse e seguono ovviamente gli scopi di specifici lavori o progetti. Chi adotta impostazioni between-subjects raramente replica i campionamenti in più di due diverse annate, e la ricerca è a volte carente di approfondimenti sulla dinamica longitudinale del sistema, che un esperimento *within-subjects* riesce a condurre, a scapito però di repliche spaziali. Esistono anche impostazioni intermedie (BIANCHI *et al.*, 2005), che possono far fronte a fenomeni di variabilità difficilmente prevedibili di certi parametri, come ad esempio i *pattern* di biodiversità e le aleatorie fluttuazioni annuali delle popolazioni di molti insetti. Ricordiamo anche che nei campionamenti andrebbe sempre verificata (e in linea teorica evitata) l'autocorrelazione dei dati (es in campioni molti vicini nello spazio, oppure in campionamenti sulle stesse parcelle in tempi ravvicinati), poiché dati con elevata autocorrelazione causano stime distorte di medie e relative misure di dispersione. L'autocorrelazione dei dati viene calcolata mediante la geostatistica (vedi contributo di Petacchi, nello stesso volume) ad esempio calcolando correlogramma o semivariogramma su campionamenti provenienti da punti georeferenziati. Questo aspetto può sembrare in effetti contradditorio, ed effettivamente ne è un esempio eloquente, perché si basa sul calcolo di modelli complessi (es correlogramma) per ottimizzare la bontà di stime semplici come la media… In ogni caso, conoscere se i dati di campionamento abbiano la tendenza all'autocorrelazione è importante per l'analisi statistica, in quanto questo tipo di dati necessita perlomeno di trattamenti statistici particolari, come l'analisi della varianza su misure ripetute (*repeated measures ANOVA*).

Pianificando i campionamenti nel tempo e nello spazio, risulta molto importante interpretare e prevedere la potenziale variabilità delle variabili precedentemente viste, in base ai taxa studiati e alle caratteristiche di ogni ambiente. Un punto di partenza molto importante nella sperimentazione di campo è infatti capire se un fenomeno che studio e misuro può essere caratterizzato da una maggiore

variabilità nel tempo o nello spazio. Nella fase di analisi statistica dei dati occorre selezionare e interpretare con cura le variabili sperimentali nella costruzione di *generalized linear mixed model* (GLMM), che prevedono le interazioni fra fattori fissi e random. Le impostazioni *within-subjects* e *between subjects* possono ovviamente essere traslate nelle sperimentazioni di laboratorio.

Conclusioni

Si ritiene che questo argomento debba stimolare la discussione e l'analisi costruttiva in ogni impostazione sperimentale in entomologia, in vista anche dell'adozione di pianificazioni adeguate e chiari punti di riferimento nell'esecuzione di ogni ricerca, aspetti che ogni comunità scientifica dovrebbe favorire. In ogni impostazione del campionamento che si adotta in una ricerca, è molto importante considerare criticamente gli aspetti qui discussi, in vista della valorizzazione dei dati che una ricerca può fornire; inoltre è attraverso l'analisi del campionamento che è possibile risalire a punti deboli e potenziali carenze metodologiche di uno studio, per pervenire alle adeguate interpretazioni che i dati possono fornire. La qualità dei dati in tutta l'entomologia dipende rigorosamente, oltre ovviamente ad altri requisiti, anche dall'impostazione di un corretto campionamento.

BIBLIOGRAFIA

Arpaia S., 2014 – *La natura dei dati entomologici e implicazioni per le analisi statistiche*. - Atti del XXIV Congresso Nazionale Italiano di Entomologia, Orosei 9-14 Giugno 2014: 144-145.

Bianchi J.J.A., van Wingerden W.K.R.E., Griffioen A.J., van der Veen M., van der Straten M.J.J., Wegman R.M.A., Meeuwsen H.A.M., 2005 – *Landscape factors affecting the control of* Mamestra brassicae *by natural enemies in Brussels sprout*. - Agriculture, Ecosystems and Environment 107: 145-150.

Binns, M.R., Nyrop, J.P., Werf, W. van der, 2000 – *Sampling and monitoring in crop protection. The theoretical basis for developing practical decision guides. The theoretical basis for developing practical decision guides*. CABI Publishing.

Boccaccio L., Petacchi R., 2009 – *Landscape effects on the complex of* Bactrocera *oleaecparasitoids and implications for conservation biological control*. - Biocontrol, 54: 607-616.

Box G.E.P., Hunter W.G., Hunter J.S., 1978 – *Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building,* John Wiley & Sons, Inc.

Burgio G., 1999 – *Tecniche di campionamento e raccolta di insetti e acari entomofagi.* - Inf.tore Fitopat., 49 (12): 3-18.

Burgio G., Sommaggio D., 2007 – *Syrphids as landscape bioindicators in Italian agroecosystems*. - Agriculture, Ecosystems and Environment, 120: 416-422.

Burgio G., Sommaggio D., Marini M., Puppi G., Chiarucci A., Landi S., Fabbri R., Pesarini F., Genghini M., Ferrari R., Muzzi E., Lenteren van J.C., Masetti A., 2015 – *The influence of vegetation and landscape structural connectivity on Butterflies (*Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperiidae*), Carabids (*Coleoptera: Carabidae*), Syrphids (*Diptera: Syrphidae*), and Sawflies (*Hymenoptera: Symphyta*) in Northern Italy Farmland.* - Environ. Entomol., 44 (5): 1299-307.

Burgio G., Baldacchino F., Magarelli A., Masetti A., Santorsola S., Arpaia S., 2013 – *Il campionamento dell'artropodofauna per il monitoraggio ambientale.* - ENEA: 137 pp. ISBN 978-88-8286-277-0.

Burgio G., Campanelli G, Leteo F., Ramilli F., Depalo L., Fabbri R., Sgolastra F., 2015 – *Ecological Sustainability of an Organic Four-Year Vegetable Rotation System: Carabids and Other Soil Arthropods as Bioindicators*. - Agroecology and Sustainable Food Systems, 39:295-316.

Chiarucci, A., Bacaro G., Scheiner S.M., 2011 – *Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity*. - Philos. T R Soc. B, 366: 2426-2437.

Cochran W.G., 1977 – *Sampling techniques*.3rd edition. John Wiley & Sons.

Depalo L., Burgio G., von Fragstein P., Kristensen H.L., Bavec M., Robačer M., Campanelli G., Canali S., 2016 - *Impact of living mulch on arthropod fauna: analysis of pest and beneficial dynamics on organic cauliflower (*Brassica oleracea *L. var.* botrytis*) in different European scenarios*. - Renewable Agriculture and Food System.

Ferrante M., Lo Cacciato A., Lövei G., 2014 – *Quantifying predation pressure along an urbanisation gradient in Denmark using artificial caterpillars.* - Eur. J. Entomol., 111(5): 649-654.

Furlan L., 2004 – *IPM thresholds for* Agriotes *wireworm species in maize in Southern Europe*. - Pest Sci., 87(4): 609-617.

Goedhart P.W., van der Voet H., Baldacchino F., Arpaia S., 2014 – *A statistical simulation model for field testing of non-target organisms in environmental risk assessment of genetically modified plants.* - Ecology and Evolution, 4: 1267–1283.

Gotelli, N.J., Colwell R. K., 2001 – *Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness.* - Ecol. Lett., 4: 379-391.

Howe A., Lövei G.L., Nachman G., 2009 – *Dummy caterpillars as a simple method to assess predation rates on invertebrates in a tropical agroecosystem*. - Entomol. Exp. Appl., 131: 325-329.

Lanzoni A., Burgio G., 2010 – *Contro le nottue dello spinacio si parte dal monitoraggio*. - L'Informatore Agrario, 4: 57-60.

Maxwell S.E., Delaney H.D., 1990 – *Designing experiments and analyzing data*. Wadsworth Publiscing Company.

Mazzetto F., Marchetti E., Amiresmaeili N., Sacco D., Francati S., Juncker C., Dindo M.L., Lupi D., Tavella L., 2016 – Drosophila *parasitoides in northen Italy and their potential to attack the exotic pest* Drosophila suzuki. - J. Pest. Sci. in press

Montanari M., 2012 – *Statistica ambientale. Inferenza e Test. Valutazione delle Differenze*. SISSAD.

Jervis M., Kidd N., 1996 – *Insect Natural Enemies: Practical Approaches to their Study and Evaluation*. Chapman and Hall, New York.

Jones A.L., Jennings D.E., Cerruti R.R. Hooks, Shrewsbury P.M., 2014 – *Sentinel eggs underestimate rates of parasitism of the exotic brown marmorated stink bug,* Halyomorpha halys. - Biological Control, 78: 61-66.

Jonsson M., Buckley H.L., Case B.S., Wratten S.D., Hale R.J., Didham R.K., 2012 – *Agricultural intensification drives landscape-context effects on host–parasitoid interactions in agroecosystems* . - Journal of Applied Ecology, 49:706-714.

Rondoni G., Athey K.J.,. Harwood J.D., Conti E., Ricci C., Obrycki J.J., 2015 – *Development and application of molecular gut-content analysis to detect aphid and coccinellid predation by* Harmonia axyridis *(Coleoptera: Coccinellidae) in Italy.* - Insect Science, 22 (6):719-730.

Rossi Stacconi V., *et al.,* 2015 – *Host stage and fecundity of parasitoids attacking* Drosophila suzukii *in newly invaded areas.* - Biological control, 84:28-35.

Southwood, T.R.E., Henderson P.A, 2000 – *Ecological Methods,* 3rd edn., Wiley-Blackwell, Oxford, United Kingdom.

Soliani L., 2001 – *Fondamenti di statistica applicata all'analisi e alla gestione dell'ambie*nte. http://www.chierici.biz/biblio/statistica%20ambientale.pdf

Viggiani G., 1994 – *Lotta blogica e integrata nella difesa fitosanitaria*. Liguori editore.

Voet H. van der, Goedhart P.W., 2015 – *The power of statistical tests using field trial count data of nontarget organisms in environmental risk assessment of genetically modified plants*. - Agricultural and Forest Entomology, 17:164-172.

Zar J.H., 2010 – *Biostatical Analysis.* Fifth Edition. Prentice Hall.

Zuur A.F., Ieno E.N., Walher N.J., Saveliev A.A., Smith G.M., 2009 – *Mixed effects models and extensions in ecology with R.* Springer.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 227-233

ECOLOGIA QUANTITATIVA DELLE POPOLAZIONI DI INSETTI FITOFAGI: ANALISI SPAZIALE DEI DATI A DIVERSA SCALA TERRITORIALE

RUGGERO PETACCHI (*)

(*) *Scuola Superiore S. Anna, Istituto Scienze della Vita, 56127 Pisa (PI)*; e-mail: r.petacchi@sssup.it
Lettura tenuta nell'ambito della Tavola Rotonda "La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 13 novembre 2015.

Insect quantitative population ecology: spatial data analysis at different scale

Estimating population densities of pest arthropods is the most important part of basic research in agricultural ecosystems and one of the main components in pest management programs. A reliable sampling program to estimate density should include a proper sampling time, sampling unit and sampling size in which the determination of spatial distribution is crucial. Understanding (insect) species distributions across different spatial scales is a key issue in integrated pest management strategy.

The major impediments to research on spatial processes in insect ecology has thus been the lack of adequate analytical and data management tools. The development of geographical information systems (GIS) and geostatistics, has opened up new avenues for analyzing spatial patterns in insect populations. Examples of geostatical analysis in different agro-ecosystems and at different spatial scale are described.

KEY WORDS: Insect Population Ecology, Phytophagous Insects, Spatial scale, Geographical Information Systems, Geostatistics

INTRODUZIONE

Lo studio dell'ecologia di una popolazione di insetti porta necessariamente ad affrontare il concetto di spazio. Infatti è noto che la distribuzione spaziale è uno degli attributi più importanti di una popolazione di insetti (ad es. BERRYMAN, 1981; TAYLOR, 1961 e 1984). Nonostante questo, in Biologia gli studi sono stati condotti fino ad oggi affrontando soprattutto il fattore tempo, mentre rimane ampiamente inesplorata la dinamica delle popolazioni nello spazio. Questo ha portato alcuni Autori a coniare il cliché *"space is the final frontier"* (LIEBHOLD *et al.*, 1993). Di molti insetti, infatti, conosciamo il ciclo biologico, ma poco sappiamo del loro movimento e della conseguente distribuzione spaziale delle loro popolazioni. Poco sappiamo delle risposte delle popolazioni ad alcune variabili ambientali che agiscono a diversa scala territoriale.

La distribuzione spaziale degli insetti, riflette caratteristiche innate di una specie ed è dettata da fattori abiotici e biotici (SHAROV, 1996). Nel primo caso abbiamo che il clima, a diversa scala spaziale, condiziona fortemente sia i tempi di sviluppo che la dimensione delle popolazioni e spesso consente di descrivere, nello spazio, le popolazioni secondo gradienti. Il più utilizzato è il gradiente di temperatura, impiegato per descrivere direzione e intensità delle popolazioni di insetti in funzione delle variazioni termiche.

I fattori biotici influiscono sulla distribuzione degli insetti in diverso modo, a seconda dell'aspetto considerato, cioè che si parli di ricerca del cibo, di ricerca del partner o di difesa dalle aggressioni di antagonisti. Gli insetti, infatti, in tutti questi casi mettono in atto diverse strategie che li portano a distribuirsi e diffondersi nello spazio. La conoscenza del tipo di distribuzione spaziale (dispersione) degli individui di una popolazione ha importanza di base negli studi demografici ed ecologici e nelle operazioni di campionamento (BOEVE e WEISS, 1988; PEDIGO e BUNTIN, 1994; SOUTHWOOD e HENDERSON, 2000). Analogamente avviene quando lo studio riguarda i dati provenienti da reti di monitoraggio fitosanitario (GUIDOTTI *et al.*, 2005) con l'obiettivo sia di migliorare le conoscenze dell'ecologia di un insetto fitofago come pure di fornire proposte operative.

In generale, nelle popolazioni di insetti, si possono riconoscere tre tipi di distribuzione spaziale, definiti uniforme, *random* e aggregata (SHAROV, 1996) e il loro studio e definizione si basa sia su studi molto approfonditi, che richiedono conoscenze dettagliate di modelli statistici e matematici (TAYLOR, 1984), come pure vi sono anche approcci basati su concetti semplici a partire dal rapporto tra media e varianza (BURGIO *et al.*, 2013).

– Pubblicato marzo 2016

Quanto visto sopra suggerisce che la distribuzione spaziale ci riporta al concetto di scala. Le popolazioni, anche di insetti fitofagi, possono occupare habitat veramente piccoli (popolazioni locali), ma possiamo avere anche set di popolazioni locali connesse da movimento di dispersione di individui, definite metapopolazioni. Infine le popolazioni di insetti possono essere considerate a scala di una regione, un'isola o addirittura un continente. Quindi le popolazioni, anche di insetti fitofagi, possono essere definite a diverse scale spaziali.

Negli studi entomologici è importante dire che non esiste ancora uniformità di vedute sulla terminologia da utilizzare nella definizione della scala spaziale nell'Ecologia delle popolazioni. I ricercatori, comunque, nell'ambito delle prove e sperimentazioni di campo, utilizzano solitamente la seguente distinzione: 1) *field-scale* (scala di campo), 2) *farm-scale* (scala aziendale) e 3) *landscape* o *large-scale* (macroscala o scala di comprensorio, (Perry, 1997; Sciarretta *et al.*, 2003). La scala spaziale prescelta è dettata principalmente a) dalle caratteristiche della specie, b) dal fenomeno che vogliamo studiare e, non ad ultimo, c) dalle risorse in campo per reperire i dati.

La scala spaziale in rapporto ai fattori ambientali considerati

La conoscenza della relazione tra una specie e i fattori di tipo biotico e abiotico che ne condizionano lo sviluppo e il movimento consente di scegliere la scala più adatta. A questo proposito Soberón (2010) e anche Soberón e Nakamura (2009) sostengono che i fattori abiotici sono fondamentali a grande scala mentre quelli ecologici (or *bionomics effects*) a piccola scala, e forniscono le impalcature teoriche per collegare le varie descrizioni di distribuzione delle specie attraverso le scale ed i fattori che le influenzano.

La scala spaziale in rapporto alle caratteristiche della specie studiata e al fenomeno studiato

Ciascuna specie di insetto ha caratteristiche innate che ne determinano la distribuzione nello spazio. Se pensiamo ad esempio ad un Afide come l'*Aphys gossypii* (Glover) che si caratterizza per dare origine a colonie fitte e molto aggregate, potremmo ipotizzare di studiarne la distribuzione spaziale delle forme attere anche solo a scala di pianta, durante il periodo in cui le popolazioni sono presenti sulle cucurbitacee. Altra cosa però se, della solita specie, volessimo studiarne e descriverne i movimenti migratori e la diffusione e colonizzazione da parte delle forme alate. In questo caso la scala spaziale necessariamente aumenta, fino a raggiungere dimensioni anche oltre i confini di una nazione (Cavalloro, 1987).

Passando ad un Dittero Tefritide come *Bactrocera oleae* (Rossi), buon volatore da adulto, se vogliamo studiarne la dinamica dei voli in rapporto con l'ambiente di coltivazione è necessario adottare la *landscape* o *large scale* che riesce a metter in evidenza l'organizzazione delle popolazioni in relazione alla fenologia dell'olivo (Ragaglini *et al.*, 2005). Se però per *B.oleae* vogliamo definire un gradiente di rischio di infestazione, finalizzato alla progettazione di una rete di monitoraggio, è consigliato scegliere una scala più ampia che consenta di utilizzare dati climatici e modelli di simulazione dello sviluppo della specie (Petacchi *et al.*, 2015). Infine qualora volessimo studiare il ruolo svolto nel suolo dai Coleotteri Carabidi predatori zoofagi, potremmo utilizzare una scala *field* o *farm*, senza rischio di commettere grossi errori.

La scala spaziale in rapporto agli obiettivi e alle risorse disponibili

Quando si parla individuare la scala spaziale per studiare un insetto fitofago è bene distinguere subito se si tratta di attività di ricerca e sperimentazione di base oppure di progetti applicativi inerenti i servizi da fornire alla difesa fitosanitaria. Infatti nel primo caso spesso l'obiettivo è necessariamente volto ad ottenere, con un piano di campionamento completamente dominato dallo sperimentatore, una base di dati utile per essere utilizzata nell'analisi statistica. Quindi si aumenta la definizione e qualità del dato nel punto e si riduce la scala territoriale di studio e lavoro.

Diversamente quando si lavora, nell'ambito della ricerca applicata, a casi studio che prevedono di fornire, ad esempio, mappe di rischio, ipotesi di reti di monitoraggio, trend di infestazione occorre aumentare la scala di lavoro per poter dare risposte in area-vasta. In questo secondo caso il dato sul punto è meno dominato dallo sperimentatore che interviene soprattutto nella parte di analisi dei dati con l'utilizzo di modelli ecologici e agro climatici, che, ovviamente, rappresentano strumenti e non obiettivi delle ricerche.

Infine, recentemente i ricercatori hanno mostrato interesse per l'approccio multi-scala utilizzato soprattutto negli studi di tipo *landscape ecology* e *landscape entomology* (Marini, 2009; O'Rourke, 2011, Chaplin-Kramer R., 2011).

Quanto sopra esposto porta all'attenzione dei

ricercatori il fatto che in Entomologia, studiando l'Ecologia delle popolazioni, la scala spaziale rappresenta il problema centrale (LEVIN, 1992; WIENS, 1989) in quanto riunisce la biologia delle popolazioni e la scienza degli ecosistemi, unificando l'ecologia di base con quella applicata.

L'AUTOCORRELAZIONE SPAZIALE DEI DATI

Cosa intendiamo e cerchiamo di fare quando studiamo l'Ecologia quantitativa delle popolazioni di insetti a diversa scala spaziale? In pratica cerchiamo di applicare il principio di autocorrelazione spaziale che indica che luoghi vicini tra loro tendono ad avere comportamenti simili, mentre luoghi lontani tra di loro tendono ad avere comportamenti differenti, ovvero"*due campioni vicini tra loro hanno valori più simili di due campioni lontani*". Questa definizione si adatta bene agli agro-ecosistemi, che, sappiamo, si caratterizzano per avere le proprietà in relazione tra loro.

L'autocorrelazione spaziale può essere studiata con diversi metodi, come ad esempio l'indice *I* di autocorrelazione di Moran e l'indice C di Gearytra (BURGIO, 1993) e la funzione correlogramma (Fig. 1).

Il correlogramma è una funzione che mostra la correlazione tra punti campionari separati da una distanza h. La correlazione di solito diminuisce con la distanza fino a raggiungere lo zero. Il *range* di un correlogramma è la distanza (*lag*) per la quale la correlazione diventa zero e definisce la distanza da tenere fra un punto di campionamento e l'altro. La statistica standard può essere applicata (teoricamente) solo nell'ambito della distanza tra due campioni che eccede il *range* del correlogramma. BURGIO (1993) suggerisce che questo assunto non debba essere interpretato rigidamente, poiché nella pianificazione di un campionamento vi sono molti aspetti legati agli obiettivi preposti. Ma in ogni caso questo principio generale può aiutare a standardizzare la progettazione della raccolta dei dati.

L'ANALISI SPAZIALE DEI DATI: I METODI GEOSTATISTICI

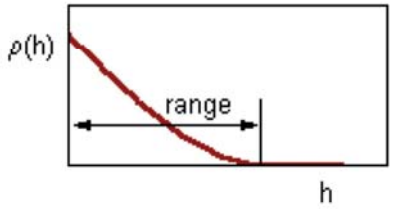
Nell'Ecologia degli Insetti lo studio dei processi che hanno una componente spaziale è realizzabile con strumenti adeguati di analisi e gestione dei dati quali i Geographical Information Systems (GIS) e la geostatistica. In geostatistica viene modificata completamente la metodologia di campionamento: infatti i metodi tradizionali di campionamento non lavorano con i dati auto correlati e, pertanto, in questi casi, lo scopo principale del piano di campionamento è quello di evitare la correlazione spaziale. In geostatistica non è necessario evitare l'autocorrelazione spaziale e il campionamento diventa meno restrittivo.

La geostatistica fornisce un insieme di metodi e tecniche probabilistiche al fine di

– ricercare un modello che esprima la dipendenza spaziale dei dati
– usare questo modello per effettuare inferenza in localizzazioni non campionate e conoscere l'errore della stima.

L'approccio geostatistico è di tipo probabilistico e si basa su di un modello che va a stimare l'incertezza associata con la stima spaziale di una variabile casuale.

Volendo stimare un valore Z(x) (ad esempio la densità di un insetto) in un certa posizione x la geostatistica considera il valore come un numero *random* in quanto per quella posizione il valore non è noto. Comunque il valore non è completamente



$$\rho(h) = \frac{\sum z_1 z_2 - N_h M_h^2}{N_h s_h^2}$$

- *z*1 and *z*2 sono il numero di organismi trovati in due campioni separati dalla distanza *h* (*lag*);
- la sommatoria è eseguita su tutte le coppie possibili di campioni separati dalla distanza *h*;
- *Nh* è il numero di coppie separate dalla distanza *h*;
- *Mh* e *Sh* sono la media (M) e la deviazione standard (DS) del numero dei campioni separati dalla distanza *h* (ogni campione cioè è pesato sul numero di coppie di campioni nel quale è incluso).

Fig. 1
Correlogramma (da SHAROV, 1996). A sinistra rappresentazione grafica della funzione e a destra la formula della funzione con la legenda.

casuale ma dipende da una funzione che mette in relazione i punti in funzione della distanza relativa. Se si conosce questa funzione è possibile stimare il valore in un punto non campionato a partire dai vicini campionati e stimare il livello di errore che tale predizione può avere.

La geostatistica si fonda sulla teoria delle variabili regionalizzate di MATHERON (1970) che afferma che "*una **variabile regionalizzata** Z(x) (Fig. 2) è una variabile con valore fortemente dipendente dalla posizione spaziale*".

La geostatistica è la scienza che studia le variabili regionalizzate e il semivariogramma, un modello matematico che quantifica la semivarianza in funzione della distanza che separa coppie di punti discreti, risulta uno dei modelli più utilizzati. Pur tralasciando la formula matematica del semivariogramma, se ne riporta di seguito (Fig. 3) la rappresentazione grafica con indicazione, in legenda, dei suoi parametri.

$$\mathbf{Z}(x) = \alpha + \mathbf{R}(x)$$

α = componente casuale e
R(x) = componente regionalizzata
La condizione è che R(x) sia preponderante rispetto alla componente casuale

Fig. 2
Formula e relativa legenda del concetto di Variabile Regionalizzata.

L'analisi geostatistica, anche in Entomologia agraria, si articola attraverso diverse fasi (SCIARRETTA e TREMATERRA, 2014) che qui vengono elencate e riassunte:

1. Analisi statistica esplorativa: analisi statistica elementare utile per evidenziare caratteristiche generali dei dati
2. Stima del variogramma sperimentale per identificare la correlazione spaziale
3. Ricerca di un modello teorico per descrivere la correlazione spaziale
4. Stima della variabile nelle localizzazioni non campionate con il metodo di interpolazione stocastica (es. kriging) o deterministica (es. Inverse Distance Weighting o IDW)
5. Costruzione di mappe di isovalore
6. Verifica della "bontà", o meglio l'attendibilità delle interpolazioni nello spazio (mappe), attraverso l'analisi delle differenze tra i valori misurati sperimentalmente e quelli predetti dal modello di interpolazione (es. *cross validation*).

Tutte queste fasi sono importanti e occorre dire che solo attraverso un approccio rigoroso al lavoro in ciascuna di esse si riesce a fornire risultati (ad es. mappe) che rappresentino il fenomeno studiato e che consentano di migliorare le conoscenze nell'ambito dell'Ecologia delle popolazioni di insetti. Basti pensare all'importanza della scelta

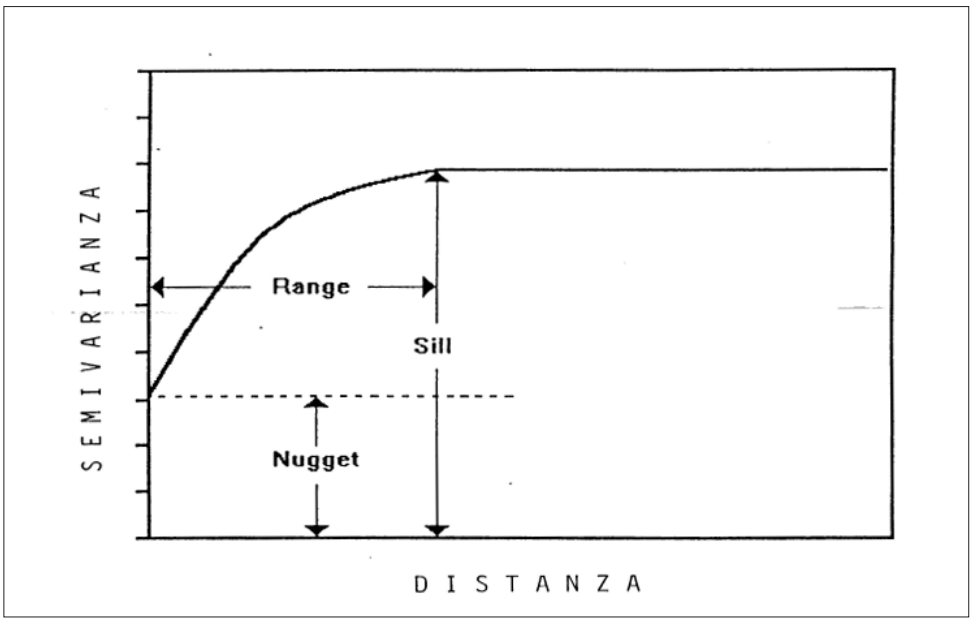


Fig. 3
Semivariogramma teorico. Il *nugget* rappresenta il rumore di fondo cioè la pura variazione casuale e può essere associato anche all'errore nel campionamento. Il *range* è la distanza *h* massima oltre la quale la semivarianza rimane costante. Questo valore massimo di semivarianza prende il nome di *sill*, il cui valore è la somma di una componente generata dalla varianza in funzione della distanza tra i punti campionati (*partial sill*) e la parte generata dalla variabilità casuale dei dati (*nugget effect*).

del metodo di interpolazione che è alla base della creazione di mappe di rischio, di superamento di soglie o di accadimento di un certo evento (WEBSTER R.E OLIVER M.A., 2001).

L'ANALISI SPAZIALE DEI DATI: LE STRATEGIE DI CAMPIONAMENTO

La strategia di campionamento è sicuramente più importante nell'approccio deterministico ma influenza fortemente anche i risultati delle elaborazioni stocastiche. Inoltre occorre sempre aver presente che non esiste alcun modo di produrre una carta di qualità da punti misurati di bassa qualità. Si elencano di seguito i requisiti del dataset necessari nell'analisi geostatistica:

- Sufficientemente ampio (numero minimo di punti per analisi geostatistica: 30-50)
- Imparziale (es. nessuna preferenza verso misure nei luoghi più accessibili)
- Rappresentativo
- Indipendente
- Acquisito con una significativa precisione (la migliore possibile in base alla scala e alle caratteristiche degli strumenti)
- Uniformità delle misurazioni (es. stessa stagione, stessi strumenti, stesse condizioni, ecc.)
- Tenere conto delle anisotropie (dove l'autocorrelazione dipende dalla direzione dei dati)
- Evitare cluster di campioni

Vi sono diverse strategie di campionamento (Fig. 4) (BURROUGH e MCDONNEL, 1998) e la scelta va fatta in base alle caratteristiche del territorio, alla specie di insetto e alla scala territoriale utilizzata.

L'ANALISI SPAZIALE DEI DATI CON GIS E GEOSTATISTICA: APPLICAZIONI

L'utilizzo di GIS e geostatistica in Entomologia ha avuto inizio ai primi anni '90 soprattutto nell'ambito forestale (LIEBHOLD *et al.*, 1991) e a partire da quel momento sempre più i ricercatori hanno utilizzato queste tecniche e strumenti sia per la ricerca di base che applicata nell'ambito della difesa delle colture.

La difesa delle colture dai fitofagi quasi mai è riconducibile ad una mera problematica da affrontare a scala *field* e comunque richiede sempre una buona conoscenza di base dei processi ecologici che incidono sulla dinamica delle popolazioni di insetti a scala territoriale superiore (*farm* o ancora meglio *landscape*). Questo comporta, solitamente, la necessità di ottenere informazioni sul fenomeno indagato (es. l'andamento quali-quantitativo dei voli di una specie di insetto o dell'infestazione di un fitofago a carico di una determinata coltura) a partire da una rete di punti di monitoraggio (RPM). I punti devono essere individuati, sul territorio, in modo da rappresentare il fenomeno nel tempo e nello spazio e la loro numerosità è sicuramente da mettere in relazione alle variabili in gioco. Poco

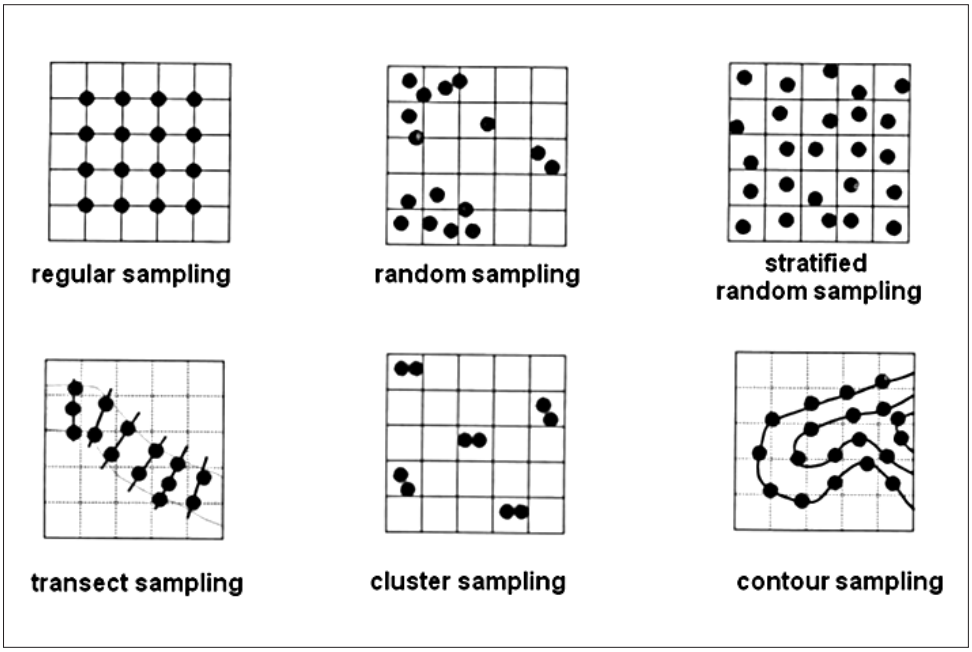


Fig. 4
Schemi di campionamento suggeriti negli studi geostatistici nell'ecologia degli popolazioni di insetti.

importa che la rete di monitoraggio debba dare informazioni allo sperimentatore o a chi gestisce programmi di difesa sul territorio. L'importante è sapere che, i criteri alla base della scelta di questa RPM sono i soliti, anche se da una parte (ricerca e sperimentazione) essa va a costituire il "piano sperimentale" e dall'altra (servizi di assistenza tecnica o *extension service*) costituirà la rete di monitoraggio fitosanitario. L'elemento unificante, in entrambi i casi, è che la RPM deve fornire la base di dati da cui estrarre conoscenza. L'utilizzo di GIS e geostatistica è molto importante a partire dalla progettazione della rete di monitoraggio fitosanitario fino alla gestione della rete stessa. In Italia alcuni esempi di reti di monitoraggio per i fitofagi riguardano le foreste con Progetto META (Monitoraggio Estensivo dei boschi della Toscana a fini fitosanitari) (Roversi *et al.*, 2001; Luciano P., 2009).

L'Emilia Romagna, nell'ambito del Sistema di previsione e avvertimento per le avversità delle colture ha investito negli anni consistenti risorse sull'utilizzo di modelli previsionali e sull'utilizzo di GIS e geostatistica con i quali produrre mappe tematiche, allo scopo, queste ultime, di facilitare l'interpretazione dei trend spaziali dello sviluppo anche di insetti fitofagi. Grazie a questo Sistema la Regione ha aumentato il numero delle aziende servite dai programmi regionali di assistenza tecnica per la produzione integrata e biologica, senza incrementare eccessivamente il numero dei tecnici impegnati (Galassi 2002; Bettati *et al.*, 2014). Sempre in Emilia Romagna GIS e geostatistica sono stati utilizzati sulle popolazioni di Elateridi (Burgio *et al.*, 2005) per studiare i vari aspetti legati al monitoraggio a *landscape scale*.

In Toscana da diversi anni è in atto attività di monitoraggio su fitofagi di diverse colture (olivo, vite, frumento e mais) e, riguardo a *Bactrocera oleae* (Rossi), GIS e geostatistica sono diventati strumenti ordinari di lavoro per i diversi attori di progetto (Marchi *et al.*, 2015). Nella solita Regione negli ultimi anni è attiva una rete di monitoraggio sulla Diabrotica del mais (*Diabrotis virgifera virgifera* LeConte) i cui dati sono ottenuti completamente dallo sperimentatore e per la cui progettazione sono stati fondamentali gli strumenti GIS. Sempre su Diabrotica, in Veneto, GIS e geostatistica sono stati utilizzati per la possibilità di valutare un piano di eradicazione (De Luigi *et al.*, 2011). In Regione Liguria GIS e geostatistica hanno portato ad una nuova metodologia di lavoro attualmente utilizzata per la progettazione e gestione della rete di monitoraggio di *B.oleae* (Petacchi *et al.*,2015).

Infine è importante citare che, anche in Italia, strumenti GIS e applicazioni geostatistiche sono largamente utilizzate nel settore dell'Entomologia Medica e Veterinaria per produrre mappe di distribuzione a piccola, media e larga scala di specie quali *Culex pipiens* (Linnaeus) e *Aedes albopictus* (Skuse) (Carrieri *et al.,* 2011 e 2012; Neteler *et al.*, 2012) e prevedere scenari di rischio futuri.

BIBLIOGRAFIA

Berryman A.A., 1981 – *Population systems: a general introduction*. New York: Plenum Press.

Bettati T., Ilic M., Bugiani R., Butturini A., Galassi T., Tiso R., 2014 – *Con FitoSPA malattie e insetti sotto controllo nei campi*. - Quaderno Agricoltura Emilia Romagna, giugno 2014: 59.

Boeve P.J., Weiss M., 1988 – *Spatial distribution and sampling plans with fixed levels of precision for cereal aphids (Homoptera: Aphididae) infesting spring wheat*. - Canadian Entomologist, 130: 67-77.

Burgio G., Baldacchino F., Magarelli A., Masetti A., Santorsola S., Arpaia S., 1993 – *Il campionamento dell'Artropodofauna per il monitoraggio ambientale*, Ed. ENEA, pp. 136.

Burgio G., Ferrari R., Ragaglini G., Petacchi R., Pozzati M., Reggiani A., Furlan L., Galassi T., 2005 – *Analisi spaziale delle popolazioni di Elateridi mediante geostatistica e GIS: primi risultati di un'indagine eseguita in Emilia-Romagna*. - L'Informatore Fitopatologico, 4: 53-58.

Burrough P.A., Mcdonnel R.A, 1998 – *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. pp 19.

Carrieri M., Albieri A., Angelini P., Baldacchini F., Venturelli C., Mascali Zeo S., Bellini R., 2011 – *Surveillance of the chikungunya vector* Aedes albopictus *(Skuse) in Emilia-Romagna (northern Italy): organizational and technical aspects of a large scale monitoring system*. - Journal of Vector Ecology, 36(1): 108-116.

Carrieri M., Angelini P., Venturelli C., Maccagnani B., Bellini R., 2012 – Aedes albopictus *(Diptera: Culicidae) population size survey in the 2007 Chikungunya outbreak area in Italy. II: Estimating epidemic thresholds*. - Journal of Medical Entomology, 49(2): 388-399; DOI: http://dx.doi.org/10.1603/ME10259

Cavalloro R. Ed., 1988 – *Aphid migration and forecasting "Euraphid" systems in European Community Countries*. - Proceedings of the EC expert meeting, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1987, ISBN 92-825-7724-4 Cat. CD-NA-10046-2A-C, pp 288.

Chaplin-Kramer R., O'Rourke M.E, Blitzer E.J., Kremen C., 2011 – *A meta analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity*. - Ecology Letters, 14: 922-932.

De Luigi. V., Furlan L, Palmieri. S., Vettorazzo M., Zanini G., C.R. Edwards C.R., Burgio G., 2011 – *Results of WCR monitoring plans and evaluation of an eradication programme using GIS and Indicator Kriging*. - Journal of Applied Entomology, 135: 38-46.

Galassi T., 2002 – *Aspetti organizzativi nell'applicazione su base territoriale dei modelli previsionali*. - Notiziario sulla protezione delle piante, N.15 (N.S.): 47-53.

Guidotti D., Ragaglini G., Petacchi R., 2005 – *Analysis of spatio-temporal* Bactrocera oleae *(Diptera,*

Tephritidae) infestation distributions obtained from a large-scale monitoring network and its importance to IPM. - Integrated Protection of Olive Crops IOBC/wprs Bull. 28(9), 2005, pp. 13-18

Levin S.A., 1992 – *The problem of pattern and scale in ecology*. – Ecology, 73:1943-1967

Liebhold A.M., Zhang X., Hohn M.E., Elkinton J.S., Ticehurst M., Benzon G.L., Campbell R.W., 1991 – *Geostatistical analysis of gypsy moth, Lymantria dispar, egg mass populations*. - Environmental Entomology, 20: 1407-1417.

Liebhold A.M., Rossi R.E., Kemp W.P., 1993 – *Geostatistics and geopgraphic information systems in applied insect ecology*. - Annual Review of Entomology, 38: 303-327.

Luciano P., 2009 – *Tecniche di monitoraggio fitosanitario e utilizzo di dati georeferenziati*. - Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Anno LVII: 83-97.

Marchi S., Guidotti D., Ricciolini M., Petacchi R., 2015 – *The use of monitoring network for estimating early infestation of* Bactrocera oleae *at large scale.* - IOBC/wprs WG "Integrated Protection of Olive Crops" Kalamata, Greece, May 11-14, 2015 (Abstract book: 27)

Marini L., Fontana P., Battisti A., Gaston K.J., 2009 – *Agricultural management, vegetation traits and landscape drive orthopteran and butterfly diversity in a grassland–forest mosaic: a multi-scale approach*. - Insect Conservation and Diversity, 2 (3): 213-220.

MATHERON G., 1970 - *The Theory of Regionalized Variables and its Applications*. Les Cahiers du Centre de Morphologie mathématique, Fascicule V, Ecole des Mines de Paris: 211 pp.

Neteler M., Roiz D., Rocchini D., Castellani C., Rizzoli A., 2011 – *Terra and Aqua satellites track tiger mosquito invasion: modeling the potential distribution of* Aedes albopictus *in north-eastern Italy*. - International Journal of Health Geographics, 10: 49.

O'Rourke M.E., Rienzo-Stack K., Power A.G., 2011 – *A multi-scale, landscape approach to predicting insect populations in agroecosystems*. - Ecological Applications, 21 (5): 1782–1791.

Pedigo L.P., Buntin G.D., 1994 – *Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. CRC Press, Florida.

Perry J.N., 1997 – *Statistical aspects of field experiments*. In: Dent D.R. & Walton M.P. (eds), methods in ecological and agricultural entomology, CAB INTERNATIONAL: 171-201.

Petacchi R., Marchi S., Federici S., Ragaglini G., 2015 – *Large-scale simulation of temperature-dependent phenology in wintering populations of* Bactrocera oleae *(Rossi)*. - Journal of Applied Entomology,139: 496-509, doi: 10.1111/jen.1218.

Ragaglini G., Tomassone D., Petacchi R., 2005 – *Can spring-preventive adulticide treatments be assumed to improve* Bactrocera oleae *(Rossi) management?* 2nd European Meeting of the IOBC/WPRS Study Group "Integrated Protection of Olive Crops". Florence, Italy, October 26-28 (2005): 87-92.

Roversi P.F., Vetralla G., Guidotti A., Toccafondi P., 2001 – *Studio preliminare per l'implementazione di un programma di monitoraggio permanente dello stato fitosanitario delle foreste della Toscana.* SISEF, III Congr. Naz. Soc. Ital. Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Viterbo, 15-18 ottobre 2001.

Sciarretta A., Burgio G., Petacchi R., 2003 – *Spatial aspects in entomological experiments on landscape management*. - Landscape Management for Functional Biodiversity. IOBC wprs Bulletin 26 (4): 139-144.

Sciarretta A., Trematerra P., 2014 – *Geostatistical Tools for the Study of Insect Spatial Distribution: Practical Implications in the Integrated Management of Orchard and Vineyard Pests*. - Plant Protect. Sci., 50 (2): 97–110.

Sharov A., 1996 – *Quantitative population ecology*. Online lectures. http://home.comcast.net/~sharov/PopEcol/

Soberón J., 2010 – *Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective*. - Ecography, 33: 159-167.

Soberón J., Nakamura M., 2009 – *Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions*. - Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 106: 19644-19650.

Southwood T.R.E., Henderson P.A., 2000 – *Ecological methods*. 3rd ed. Blackwell Sciences, Oxford

Taylor L.R., 1961 – *Aggregation, variance and the mean*. - Nature, 189: 732-735.

Taylor L.R.., 1984 – *Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations*. - Annual Review of Entomology, 29: 321-327.

Webster R., Oliver M. A., 2001 – *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley, New York.

Wiens J.A., 1989 – *Spatial Scaling in Ecology*. - Functional Ecology, 3: 385-397.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 235-241

MISURARE LA RARITÀ DEGLI INSETTI: PROBLEMI E PROSPETTIVE NELLA BIOLOGIA DELLA CONSERVAZIONE

SIMONE FATTORINI (*)

(*) *Dipartimento di Medicina clinica, Sanità pubblica, Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università dell'Aquila; CE3C – Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes / Azorean Biodiversity Group and Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo;* e-mail: simone.fattorini@gmail.com
Lettura tenuta nell'ambito della Tavola Rotonda "La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 13 novembre 2015.

Measuring insect rarity: problems and perspectives in conservation biology

Rarity measures are frequently used as proxies of species vulnerability and hence to establish conservation priorities. This is especially important when other pieces of information about species extinction risk are difficult to obtain, as commonly found for most insects. Three types of rarity are commonly recognized: geographical, ecological, and population. I discuss here what they mean, how they can be measured, which type of data are needed and how they can be used to assess conservation priorities.

KEY WORDS: biological conservation, extinction, geographic distribution, rarity.

INTRODUZIONE

Una caratteristica comune a praticamente tutte le comunità biologiche è di essere costituite da un piccolo numero di specie molto abbondanti e da un gran numero di specie presenti con pochi individui. Si tratta di un fenomeno pressoché universale, da lungo tempo oggetto di studio dell'ecologia delle comunità, e che nel contesto della moderna crisi della biodiversità ha assunto un rilievo del tutto inedito, giacché le specie più rare tendono ad essere, a parità di condizioni, quelle maggiormente esposte al rischio di estinzione (GASTON, 1994; FATTORINI, 2005). A partire dagli anni novanta, con lo sviluppo della macroecologia, allo studio della rarità intesa come scarsità di individui si è aggiunto quello delle dimensioni della distribuzione geografica. Lo studio della distribuzione di frequenza delle dimensioni delle aree di distribuzione dei più diversi gruppi animali e vegetali ha infatti dimostrato che la maggior parte delle specie che compongono una qualsiasi fauna o flora ha distribuzioni geografiche ridotte, e può essere quindi considerata geograficamente "rara", in termini sia di ampiezza dell'areale (*extent of occurrence*, EOO, cioè la superficie racchiusa all'interno dei limiti della distribuzione di una specie, usualmente misurata come area del minimo poligono convesso che racchiude tutte le località note) sia di area occupata (*area of occupancy*, AOO, cioè l'area effettivamente occupata da una specie durante un particolare intervallo temporale all'interno del suo areale, usualmente misurata come numero di località o di celle di un reticolo occupate dalla specie) (GASTON, 1994). In ambito più strettamente conservazionistico è poi maturata l'idea di definire la rarità delle specie sotto un altro profilo ancora, quello ecologico. Esempio ormai classico è la suddivisione delle piante inglesi presentata da Rabinowitz (RABINOWITZ, 1981; RABINOWITZ *et al.*, 1986) in base alla loro specificità di habitat ("habitat specificity"). Infine, è stato proposto di valutare la rarità delle specie anche in termini filogenetici, secondo l'idea che le specie che appartengono a rami evolutivi molto isolati siano filogeneticamente più rare di specie che si collocano all'interno di linee evolutive soggette ad intensa cladogenesi (si veda, ad esempio, FATTORINI *et al.*, 2013, per una discussione sui metodi utilizzati).

MISURARE LA RARITÀ

Quando si affronta il problema di come misurare la rarità, un primo punto da considerare è che non si può parlare di rarità in termini assoluti. Per qualunque tratto si voglia prendere in considerazione (distribuzione geografica, ecologia, numerosità delle popolazioni, filogenesi, o altro), una specie potrà essere infatti definita più o meno rara solo rispetto ad altre specie e la stessa specie potrebbe ricevere misure di rarità diverse a seconda delle altre specie con cui viene confrontata. Ad esempio, il coleottero carabide *Carabus rossii* Dejean 1826 è una specie endemica italiana, distribuita in modo

– Pubblicato marzo 2016

sostanzialmente uniforme nell'Italia peninsulare a sud del Po, e che, dal punto di vista della sua distribuzione geografica, potrebbe essere considerata geograficamente "rara" in uno studio sui carabidi europei, ma "comune" in una ricerca sui carabidi italiani.

Abbondanza

Se consideriamo la rarità in termini di abbondanza, i fattori che influiscono sulla sua misurazione sono ricollegabili a due problemi fondamentali: da un lato c'è quello della delimitazione dell'insieme di specie che costituisce l'oggetto di studio, dall'altro c'è quello dello sforzo di campionamento.

Il primo tipo di problema ha anzitutto un'evidente connotazione spaziale. È infatti chiaro che, all'aumentare delle dimensioni dell'area di studio, aumenta il numero delle specie che vengono prese in esame e cambiano conseguentemente i rapporti tra le loro abbondanze. Ciò deriva sia dal fatto che la distribuzione spaziale degli individui di una specie non è costante a diverse scale spaziali, sia dal fatto che allargando la scala entrano nei calcoli le abbondanze di specie che non figuravano tra quelle presenti a livello locale. Così, ad esempio, in un'area di studio che ricada interamente all'interno di un settore appenninico largamente occupato da faggete, una specie come il coleottero *Rosalia alpina* (Linnaeus, 1758) (le cui larve si sviluppano prevalentemente su faggi) potrebbe essere presente anche con densità elevata. Ma se la scala di indagine si allarga, e nell'area di studio vengono a ricadere ambienti diversi dalla faggeta, diminuendo la superficie idonea alla specie, automaticamente diminuirà la sua densità di popolazione, mentre nel calcolo della rarità entreranno nuove specie, assenti nelle faggete ma presenti nei biotopi che verranno ad essere ora inclusi nell'area di studio.

Questo tipo di considerazioni mette in luce un altro aspetto connesso alla definizione dell'insieme delle specie di cui viene valutata la rarità: la loro delimitazione su base ecologica, giacché ci si può chiedere se sia possibile o opportuno confrontare specie che, pur occupando la stessa area, sono legate ad ambienti tra loro molto diversi.

La stima dell'abbondanza relativa delle specie implica infatti una qualche forma di campionamento quantitativo, in cui le specie dovrebbero essere raccolte in proporzione alla numerosità con cui si trovano in natura; ma poiché i metodi di campionamento variano a seconda dell'ecologia delle specie, ci si deve domandare quanto le abbondanze delle specie campionate con un metodo (come ad esempio l'uso di trappole a caduta per insetti terricoli) siano confrontabili con quelle di specie campionate con metodi diversi (come la battitura delle fronde per specie arboricole).

A tutto questo va aggiunto ancora un altro elemento che concorre alla delimitazione dell'insieme delle specie: l'appartenenza tassonomica. Negli studi di rarità, il gruppo di specie considerato viene di solito definito su base tassonomica (ad esempio, le specie di una certa famiglia o di un certo ordine di insetti), ma non mancano ovviamente casi in cui sono state confrontate le abbondanze di specie appartenenti a gruppi tassonomici molto diversi ma presenti ad esempio nello stesso biotopo (Fattorini *et al.*, 2012).

Una volta definito che cosa costituisca la popolazione statistica delle specie oggetto della ricerca (ad esempio, le specie di un certo gruppo tassonomico che vivono in un certo biotopo all'interno di una certa area), ci si deve chiedere se (posto che il metodo di campionamento scelto sia in grado, almeno potenzialmente, di raccogliere tutte le specie) lo sforzo di campionamento adottato è stato sufficiente a raccogliere tutte le specie presenti. Si tratta di un problema da lungo tempo affrontato in ecologia delle comunità, e collegato al tipo di distribuzione statistica delle abbondanze delle specie in una comunità (Fattorini, 2005). Ad esempio, secondo il modello log-normale, quando si costruisce un istogramma di frequenza in cui le abbondanze delle specie vengono suddivise in classi logaritmiche (*logarithmic bins*) di ordine crescente lungo l'asse delle x, e il numero di specie presenti in ciascuna classe viene rappresentato sull'asse delle y, la distribuzione di frequenza tende a seguire un modello normale (Gaussiano). Ciò significa che le specie più rare (quelle che compongono le classi che si trovano più a sinistra lungo l'asse delle x) hanno una scarsa probabilità di essere raccolte. La loro mancata raccolta a basso sforzo di campionamento fa assumere alla distribuzione delle abbondanze una forma con asimmetria a destra (*right-skew*). Quando, all'aumentare delle dimensioni del campione, aumenta la probabilità di raccogliere le specie più rare, la loro inclusione fa assumere alla distribuzione di frequenza una forma via via più vicina a quella log-normale. Il livello di taglio in corrispondenza del quale, muovendosi da destra verso sinistra (cioè dalle specie più abbondanti alle più rare), le specie più rare non risultano ancora campionate, prende il nome di "linea del velo di Preston" (*Preston's veil line*). All'aumentare delle dimensioni del campione, la linea di Preston viene spinta sempre più a sinistra e una parte sempre maggiore della curva log-normale viene svelata. Secondo questo modello, che potrebbe essere una semplice conseguenza del Teorema

del Limite Centrale, il fatto che molte distribuzioni di abbondanza sembrano avere una forma asimmetrica destra, sarebbe in realtà un artefatto sperimentale, dovuto alla mancata raccolta delle specie più rare.

Stabilire quando un campionamento può considerarsi esaustivo (cioè quando siano state raccolte tutte le specie presenti) non è facile, ma esistono oggi tecniche statistiche (FATTORINI, 2013a) per stimare il numero di specie attese (cioè verosimilmente presenti) sulla base di quelle campionate, ed avere così almeno un termine di paragone. Se infatti il valore osservato è vicino a quello previsto su base statistica (valore atteso), si può allora ritenere che il campionamento sia stato svolto in modo adeguato. Non bisogna però dimenticare che se il metodo adottato non può portare alla raccolta di certe specie semplicemente perché inadatto allo scopo, queste non saranno mai campionate, anche con uno sforzo teoricamente infinito, e la convergenza tra valore osservato e valore previsto dalla stima statistica rifletterà solo l'inadeguatezza del metodo.

DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA

Anche la rarità geografica non può che essere espressa in forma relativa e risulterà influenzata sia dall'insieme delle specie che si prendono in considerazione sia dalla definizione di distribuzione geografica che viene adottata. Se l'EOO è definita come la superficie racchiusa all'interno dei limiti della distribuzione di una specie, essa è una misura del suo areale (range) e non dipende quindi dalla scala adottata. Viceversa, nel caso dall'AOO, la misura dipende dalla scala scelta e dal livello di risoluzione, sicché una specie ad esempio presente in un gran numero di località ma al di fuori dell'area di studio risulterà più rara di una che, nel complesso, ha una AOO più ridotta, ma la cui presenza investe maggiormente l'area in esame.

Sebbene oggi il ricorso a modelli di idoneità ambientale (FATTORINI *et al.*, 2012) possa consentire di calcolare l'AOO su base probabilistica, negli studi di rarità l'AOO viene tradizionalmente misurata come numero di celle di un reticolo (ad esempio UTM), risultando così profondamente affetta dal grado di risoluzione spaziale adottato, in quanto la grandezza delle maglie del reticolo influisce sul livello di aggregazione dei dati di presenza. Ad esempio, utilizzando un reticolo con celle di una certa grandezza, due specie *A* e *B* potrebbero avere lo stesso numero di celle occupate (quindi stessa AOO); ma se la specie *B* ha un numero medio di punti di presenza per cella più alto, l'uso di un reticolo con celle più piccole porterebbe *B* ad avere un numero di celle occupate maggiore di *A,* evidenziando così una maggiore rarità di *A* non rilevabile a minore risoluzione. Si potrebbe essere dunque tentati di scegliere reticoli con celle il più possibile piccole, ma bisogna tener presente che, al diminuire delle dimensioni della maglia, aumenta il rischio di introdurre distorsioni dovute a differenze nello sforzo di campionamento (una specie potrebbe avere una distribuzione più fitta nel reticolo, e quindi occupare più celle, di un'altra solo perché campionata di più; utilizzando celle più grandi, l'aggregazione dei punti di raccolta diminuisce l'impatto del diverso grado di conoscenza).

Quando infine le informazioni sulla distribuzione delle specie sono insoddisfacenti per tracciarne con sufficiente precisione l'EOO o per valutarne l'AOO in una particolare area, è possibile misurare la rarità geografica delle specie sulla base di altri criteri, come ad esempio quello dell'endemismo, in base al quale sono considerate rare le specie endemiche dell'area di studio, indipendentemente dall'estensione dell'EOO o dell'AOO. È qui opportuno osservare che, poiché la stessa specie può essere considerata endemica o no a seconda della scala usata, negli studi di rarità con finalità conservazionistiche, può essere utile considerare come geograficamente rare a scala ridotta le specie endemiche a scala più ampia. Ad esempio, *Asida luigionii* Leoni, 1909 è una specie tirrenica, endemica italiana, e diffusa in modo piuttosto omogeneo nella regione Lazio, dove presenta una AOO sicuramente maggiore di quella di *Asida sabulosa* (FUESSLIN, 1775), specie con ampia distribuzione europea, ma normalmente circoscritta nel Lazio a quote elevate. Alla scala scelta, *Asida luigionii* non è una specie endemica, ma, essendolo a scala geografica maggiore, può assumere un notevole valore conservazionistico a livello regionale; infatti proprio per l'ampia AOO che *A. luigionii* ha nel Lazio, questa regione può svolgere un ruolo importante nella sua conservazione.

Per quanto riguarda l'AOO, sebbene essa venga di solito misurata in termini quantitativi, in mancanza di informazioni adeguate si può optare per una categorizzazione dicotomica basata sul tipo di distribuzione spaziale che una specie mostra. Ad esempio, si può assumere che le specie presenti nell'area di studio con popolazioni frammentate ed molto isolate da quelle del resto dell'areale abbiano una AOO minore rispetto a quelle che presentano una distribuzione continua (FATTORINI, 2010a).

Ecologia

Negli studi di rarità le specie vengono spesso considerate più o meno rare sotto il profilo ecolo-

gico in base alla loro "*habitat specificity*", cioè in base l'associazione più o meno stretta per un particolare "habitat" (es. RABINOIWITZ, 1981; KATTAN, 1992). Un modo più appropriato, generale e versatile di esprimere la rarità "ecologica" delle specie potrebbe essere però quello di fare riferimento alle misure di ampiezza di nicchia (*niche breadth*), concetto questo che ben si presta ad esprimere quantitativamente il livello di rarità di una specie in base alla varietà delle risorse utilizzate. Alcuni esempi a riguardo, che spero possano rappresentare uno stimolo in questa direzione, saranno presentati più avanti.

UN APPROCCIO MULTIDIMENSIONALE

Tra le misure di rarità geografica, abbondanza delle specie e specializzazione ecologica è stato spesso osservato un certo grado di associazione statistica (es. KATTAN, 1992; FATTORINI, 2010b; FATTORINI e DI GIULIO, 2013). Ciò non implica tuttavia che si tratti di misure ridondanti, in quanto esse colgono aspetti della rarità concettualmente diversi e che possono essere tra loro combinati. Su questo principio si basa del resto l'approccio multidimensionale introdotto in botanica da RABINOWITZ (1981), la quale osservò come, aggregando tra loro tre dimensioni di rarità (distribuzione geografica, abbondanza e habitat) si potevano ottenere otto diverse combinazioni e quindi otto diverse forme di rarità.

Nell'approccio di Rabinowitz, la combinazione delle varie misure di rarità implica una precedente classificazione delle specie in rare e non rare rispetto a ciascuna dimensione. Una volta che ciascuna specie è stata classificata in una delle due categorie rispetto alla distribuzione geografica, all'abbondanza e alla specificità di habitat, si potranno identificare le seguenti otto forme di rarità: specie non rare; specie rare per l'abbondanza; specie rare per l'habitat; specie rare per la distribuzione geografica; specie rare per l'habitat e l'abbondanza; specie rare per la distribuzione geografica e l'abbondanza; specie rare per la distribuzione geografica e l'habitat; specie rare per la distribuzione geografica, habitat e l'abbondanza.

Ora, certi criteri di rarità sono per definizione dicotomici, come nel caso in cui le specie sono suddivise in endemiche e non-endemiche, o in specializzate e non-specializzate in base al fatto che occupino o no un particolare habitat. Ma quando la quantificazione della rarità avviene mediante scale continue (solitamente preferibili, in quanto permettono di esprimere le differenze e i rapporti tra i valori come quantità continue e isomorfe alla struttura dell'aritmetica, così da essere trattabili con qualsiasi approccio statistico), si pone il problema di come "tagliare" questa continuità. Si tratta di un problema risolvibile solo con scelte arbitrarie, seppur sperabilmente ragionevoli. Una soluzione frequentemente adottata è quella proposta da GASTON (1994) e che consiste nel considerare "rare" le specie che si trovano nel primo quartile dei valori ottenuti per una certa misura. ARITA *et al.* (1990) hanno però proposto di scegliere come livello di taglio la mediana e di considerare come rare le specie con valori al di sotto di essa. Quest'ultima soluzione, sebbene porti a considerare ogni volta come rare ben la metà delle specie (quindi il doppio di quelle che si otterrebbero con il primo quartile), è sicuramente più cautelativa e robusta ed è stata spesso utilizzata in ricerche basate su approcci multidimensionali come quello proposto da Rabinowitz (es. FATTORINI, 2010a,b, 2013a, FATTORINI *et al.*, 2012, 2015).

DALLA RARITÀ ALLA CONSERVAZIONE

L'importanza del concetto di rarità in biologia della conservazione risiede nel legame tra rarità e rischio di estinzione. Si assume infatti che tanto più rara è una specie tanto maggiore è – a parità di condizioni – la sua vulnerabilità (si veda, ad esempio, FATTORINI, 2013b per una rassegna).

Di qui l'idea di esprimere il valore conservazionistico di una specie attraverso punteggi basati sulla loro rarità. Tra i metodi proposti per pesare le specie in funzione della loro rarità geografica, ma teoricamente estendibili ad altre forme, si possono ricordare: l'assegnazione di pesi in funzione inversa della frequenza di occorrenza (KERR, 1997), il rapporto tra la frequenza di occorrenza di ciascuna specie rispetto al valore massimo (DAPPORTO e DENNIS, 2008); e l'assegnazione di punteggi attraverso un processo additivo basato su classi di occorrenza (SÓLYMOS e FÉHER, 2005). Più recentemente, LEROY *et al.* (2012, 2013) hanno introdotto un indice di rarità, basato sulle occorrenze, particolarmente suggestivo, in cui il peso assegnato a ciascuna di esse cresce esponenzialmente per le specie che si trovano al di sotto di un certo livello di taglio (che può essere rappresentato ad esempio dal valore del primo quartile), e decresce esponenzialmente per quelle che si trovano al di sopra del livello.

Poiché tutti questi metodi, incluso quello proposto da LEROY *et al.* (2012, 2013), fanno riferimento ad un'unica dimensione di rarità (in particolare, quella geografica), si pone il problema di come tradurre in punteggi, che esprimano il valore conservazionistico delle specie, le diverse forme di rarità

che si possono ottenere combinando tra loro misure di tipo diverso.

Per questo, in un lavoro ormai classico sulla rarità degli uccelli delle Ande Centrali, KATTAN (1992) ha proposto di dicotomizzare le specie in rare e non rare per ciascuna delle tre dimensioni individuate da Rabinowitz e di assegnare a ciascuna delle otto classi che si vengono a formare un punteggio compreso tra 1 (massima vulnerabilità: specie rare in tutte e tre le dimensioni) e 8 (minima vulnerabilità: specie comuni in tutte e tre le dimensioni) secondo il seguente schema: 8 specie non rare, 7 specie rare per l'abbondanza, 6 specie rare per l'habitat, 5 specie rare per la distribuzione geografica, 4 specie rare per l'habitat e l'abbondanza, 3 specie rare per la distribuzione geografica e l'abbondanza, 2 specie rare per la distribuzione geografica e l'habitat, 1 specie rare per la distribuzione geografica, habitat e l'abbondanza.

Nell'assegnare i punteggi alle classi comprese tra quelle di massima e minima rarità, Kattan assume che le specie a distribuzione geografica limitata siano quelle più vulnerabili a livello generale, mentre le specie con nicchia ecologica ristretta siano più vulnerabili a livello locale, indipendentemente dalla loro abbondanza, il che appare ragionevole a livello globale o regionale. A livello locale, però, la probabilità di persistenza di una specie è influenzata soprattutto dalla sua capacità di adattarsi a cambiamenti nelle condizioni ambientali e quindi dalla sua tolleranza ecologica. Per questa ragione, FATTORINI (2011, 2014a), nell'adottare una scala simmetrica rispetto a quella di Kattan (in cui il punteggio 8 viene attribuito cioè alla classe di massima rarità), ha proposto di assegnare punteggio 3 alle specie con distribuzione ridotta, 4 alle specie con nicchia ecologica ridotta, 5 alle specie scarse e con distribuzione ristretta, e 6 alle specie scarse e con nicchia ecologica ridotta.

CONCLUSIONI

Gli studi sugli insetti hanno storicamente svolto un ruolo chiave nella descrizione statistica delle distribuzione di frequenza delle abbondanze delle specie in una comunità così come nelle analisi di modelli macroecologici (si veda, ad esempio, la letteratura citata da GASTON, 1994). Può apparire allora strano che la letteratura sulla applicazione delle misure di rarità nella biologia della conservazione degli insetti sia ancora molto esigua. Le ragioni di questo ritardo possono essere riconducibili da un lato ad una diversa impostazione di base nella conservazione degli invertebrati (tipicamente improntata alla conservazione degli ambienti e raramente indirizzata direttamente alle specie) e dall'altro ad un certo scetticismo circa la possibilità di ottenere per gli insetti misure di rarità analoghe a quelle utilizzate per i vertebrati o le piante vascolari.

Ora, è sicuramente vero che lo studio della rarità negli insetti deve confrontarsi con una serie di problemi (difficoltà tassonomiche, incertezze sulla distribuzione, difficoltà nella acquisizione di dati sulle abbondanze, scarse conoscenze sull'ecologia, etc.; CARDOSO *et al.*, 2011), che si presentano forse in forma solitamente meno complessa nel caso dei vertebrati e delle piante vascolari. Ma è anche vero che queste difficoltà sono, in genere, almeno parzialmente superabili. Può essere in tal senso confortante, e agire da stimolo, osservare come sia stato possibile applicare le diverse misure di rarità suggerite da Rabinowitz, studiare le loro possibili combinazioni e correlarle al rischio di estinzione, persino ad organismi fossili vissuti nell'arco degli ultimi 500 milioni di anni (HARNIK *et al.*, 2012), per i quali non si dispone certo di dati migliori di quelli ricavabili per gli insetti viventi.

A tale proposito, vorrei riportare in conclusione alcune osservazioni derivanti dall'esperienza personale maturata nel corso di studi condotti in Italia e nelle isole Azzorre su vari gruppi di insetti (in particolare coleotteri e lepidotteri) e che spero possano offrire spunti di riflessione e stimolare lo svolgimento di ricerche analoghe per altri gruppi di insetti e in altri contesti geografici ed ecologici.

Un primo punto che vorrei sottolineare è che l'informazione di solito più facilmente accessibile ed affidabile è, nel caso degli insetti, quella di tipo geografico, per cui è generalmente possibile ottenere misure abbastanza precise almeno dell'EOO e, nel caso di aree sufficientemente esplorate, anche dell'AOO. Ma il dato geografico può essere utilizzato anche come fonte indiretta di informazione ecologica, quando questa non fosse disponibile in forma diretta. Sovrapponendo la distribuzione dei punti di presenza di una specie a mappe geografiche o ambientali è infatti ad esempio possibile ricavare misure di ampiezza di nicchia secondo il principio che tanto maggiore è la diversità ambientale riscontrata all'interno della distribuzione di una specie, tanto più ampia sarà la sua nicchia ecologica (FATTORINI, 2010a, 2010b, 2011; FATTORINI *et al.*, 2012).

Per quanto riguarda infine la rarità in termini di abbondanza delle popolazioni, è ovvio che laddove possibile sarebbe preferibile l'uso di dati derivanti da campionamenti standardizzati. Occorre tuttavia osservare, soprattutto in analisi a grande scala, che è difficile disporre di dati di questo tipo, in quanto la loro acquisizione comporta notevoli investimen-

ti in termini di tempo, persone e risorse finanziarie. In mancanza di tali dati, si può però ricorrere ad una misura indiretta della consistenza numerica di una specie (o di una sua popolazione) sulla base della sua contattabilità, in quanto la frequenza di contatto è usualmente proporzionale alla densità di popolazione (STRAYER,1999). Misure di contattabilità, facilmente derivabili dall'esame di materiale da collezione e da dati di letteratura, possono essere ad esempio il numero di esemplari o di record. È ovvio che misure di questo tipo sono soggette a numerose fonti di distorsioni. Ad esempio, è possibile che una specie sia contattata (osservata o raccolta) più frequentemente di un'altra non perché più abbondante, ma perché più mobile o più visibile. Ma si tratta di forme di distorsione insite in qualunque sistema di campionamento. È infatti ben noto che i campionamenti tramite trappole a caduta – per citare un metodo ampiamente utilizzato per il campionamento di parecchi gruppi di insetti – possono sovrastimare notevolmente l'abbondanza delle specie più mobili, così come i censimenti a vista (come nel caso di lepidotteri diurni raccolti o osservati lungo transetti) possono portare ad una sovrastima delle specie che per modalità di spostamento, dimensioni o colorazione possono essere individuate più facilmente.

È anche vero che i dati ricavabili da collezioni possono portare a risultati paradossali, in quanto un entomologo che si interessa di un certo gruppo di insetti tenderà a raccogliere di più le specie che incontra raramente e meno quelle che considera banali, con il risultato che le specie più comuni tenderanno ad essere sottostimate. Va però osservato che questo tipo di problema riguarda i dati provenienti dalle collezioni specialistiche, curate cioè da entomologi che si occupano specificamente di un particolare gruppo e che sono quindi portati a compiere raccolte selettive. I dati relativi ad un certo gruppo di insetti ottenuti invece da entomologi che non sono specialisti di quel gruppo non possono risentire di distorsioni dovute ad una preferenza per le specie "più rare" per l'ovvio motivo che il non specialista non ha alcuna idea della loro rarità (FATTORINI *et al.*, 2015). Per questo, le collezioni generiche e le ampie collezioni museali, derivanti dalla confluenza di collezioni curate da entomologi con diversa specializzazione, finiscono con il costituire un campione abbastanza rappresentativo proprio in forza della eterogeneità degli interessi dei raccoglitori (FATTORINI, 2014b). In pratica, se i dati derivanti da un singola collezione possono essere fortemente viziati da imprevedibili distorsioni, è verosimile che le varie forme di "errore di campionamento" tenderanno a compensarsi quando ci si basa sull'esame di grandi quantità di esemplari raccolti da persone diverse, con scopi diversi, con metodi diversi, ecc. Il che, in fondo, è solo un modo particolare di riaffermare la legge dei grandi numeri.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare il Prof. M. Biondi per avermi invitato a tenere alla seduta pubblica dell'Accademia con Tavola Rotonda su *"La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali"* la lettura da cui è derivata la presente nota e il pubblico presente per la stimolante discussione che ne è derivata.

RIASSUNTO

Le misure di rarità sono frequentemente utilizzate come espressione indiretta della vulnerabilità delle specie e vengono quindi impiegate per stabilire priorità di conservazione, soprattutto quando altri tipi di informazione sono difficili da ottenere, come nel caso della maggior parte delle specie di insetti. Tre tipi di rarità sono normalmente presi in considerazione: la distribuzione geografica, la specializzazione ecologica e la numerosità delle popolazioni. In questa nota sono discussi il significato di questi tipi di rarità, come possono essere misurati, che tipo di dati sono richiesti e come possono essere utilizzati a scopi conservazionistici.

BIBLIOGRAFIA

ARITA H., FIGUEROA F., FRISCH A. RODRÍGUEZ P., SANTOSDEL- PRADO, K., 1997 – *Geographical range size and the conservation of Mexican mammals*. - Conserv. Biol., 11: 92-100.

CARDOSO P., ERWIN T. L., BORGES P. A. V., NEW T. R. 2011 – *The seven impediments in invertebrate conservation and how to overcome them*. - Biol. Conserv., 144: 2647-2655.

DAPPORTO L., DENNIS R. L. H. 2008 – *Island size is not the only consideration. Ranking priorities for the conservation of butterflies on Italian offshore islands.* - J. Insect Conserv., 12: 237-249.

FATTORINI S., 2005 – *A simple method to fit geometric series and broken stick models in community ecology and island biogeography*. - Acta Oecol., 28: 199-205.

FATTORINI, S., 2010a – *Use of insect rarity for biotope prioritisation: the tenebrionid beetles of the Central Apennines (Italy).* - J. Insect Conserv., 14: 367-378.

FATTORINI S., 2010b – *Biotope prioritisation in the Central Apennines (Italy): species rarity and cross-taxon congruence*. - Biodivers. Conserv., 19: 3413-3429.

FATTORINI S., 2011 – *Insect rarity, extinction and conservation in urban Rome (Italy): a 120-year-long study of tenebrionid beetles*. - Insect Conserv. Div., 4: 307-315.

FATTORINI S., 2013a – *Regional insect inventories require long time, extensive spatial sampling and good will*. PLoS ONE, 8(4): e62118.

FATTORINI, S., 2013b – *Species ecological preferences*

predict extinction risk in urban tenebrionid beetle guilds. - Anim Biol., 63: 93-106.

Fattorini, S., 2014a – *Urban biodiversity hotspots are not related to the structure of green spaces: a case study of tenebrionid beetles from Rome, Italy.* - Urban Ecosyst, 17: 1033-1045.

Fattorini S., 2014b – *Relations between species rarity, vulnerability, and range contraction for a beetle group in a densely populated region within the Mediterranean biodiversity hotspot*. - Conserv. Biol., 28: 169-176.

Fattorini S., Di Giulio A., 2013 – *Should we correct rarity measures for body size to evaluate arthropod vulnerability? Insights from Mediterranean tenebrionid beetles.* - Biodivers. Conserv., 22: 2805-2819.

Fattorini S., Cardoso P., Rigal F., Borges P.V.A., 2012 – *Use of Arthropod Rarity for Area Prioritisation: Insights from the Azorean Islands*. - PLoS ONE 7(3): e33995.

Fattorini S., Sciotti A., Tratzi P., Di Giulio A., 2013 – *Species distribution, ecology, abundance, body size and phylogeny originate interrelated rarity patterns at regional scale*. - J. Zool. Sys. Evol. Res., 51: 279-286.

Fattorini S., Maltzeff P., Salvati L., 2015 – *Use of insect distribution across landscape-soil units to assess conservation priorities in a Mediterranean coastal reserve: the tenebrionid beetles of Castelporziano (Central Italy).* - Rend. Fis. Acc. Lincei, 26: 353-366.

Gaston K.J., 1994 – *Rarity*. Population and Community Biology Series 13. Chapman & Hall, New York. 205 pp.

Harnik P.G., Simpson C., Payne J.L., 2012 – *Long-term differences in extinction risk among the seven forms of rarity*. - Proc. R. Soc. B, 279(1749): 4969-4976.

Kattan G., 1992 – *Rarity and vulnerability: the birds of the Cordillera Central of Colombia*. - Conserv. Biol., 6: 64-70.

Kerr J.T., 1997 – *Species richness, endemism, and the choice of areas for conservation*.- Conserv. Biol., 11: 1094-1100.

Leroy B., P etillon J., Gallon R., Canard A., Ysnel F. 2012 – *Improving occurrence-based rarity metrics in conservation studies by including multiple rarity cut-off points*. - Insect Conserv. Divers., 5: 159-168.

Leroy B., Canard A., Ysnel F., 2013 – *Integrating multiple scales in rarity assessments of invertebrate taxa.* - Divers. Distrib.,19: 794–803.

Rabinowitz D.S., 1981 – *Seven forms of rarity*. In: The Biological aspects of rare plant conservation. Synge H. (Ed.), Wiley, Chichester, England, pp. 205-217.

Rabinowitz D., Cairns S., Dillon T., 1986 – *Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Isles*. In: Conservation Biology: the science of scarcity and diversity, Soulé M.E. (Ed.), Sinauer Associates, Sunderland, MA., pp. 182-204.

Sólymos P., Féher Z., 2005 – *Conservation prioritization based on distribution of land snails in Hungary*. - Conserv. Biol., 19: 1084-1094.

Strayer D.L., 1999 – *Statistical power of presence-absence data to detect population declines*. - Conserv. Biol., 13: 1034-1038.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXIII, 2015: 243-249

ANALISI STATISTICA DELLE SEQUENZE DI DNA NELLA RICOSTRUZIONE FILOGENETICA E FILOGEOGRAFICA: APPLICAZIONI NELLA RICERCA ENTOMOLOGICA

DANIELE SALVI (*)

(*) *CIBIO-InBio, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (Universidade do Porto), Campus Agrário de Vairão, Rua Padre Armando Quintas, 4485-661 Vairão (Portugal);* email:danielesalvi.bio@gmail.com
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La statistica nella ricerca entomologica: dall'analisi inferenziale ai modelli previsionali". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 13 novembre 2015.

Statistical analysis of DNA sequences for phylogenetic and phylogeographic inference with a case study in entomology

A short synthesis of phylogenetic methods based on DNA sequence data is provided. Traditional methods based on distances or parsimony are compared with probabilistic approaches based on Maximum-Likelihood and Bayesian inference. Finally, the benefit of recent applications of coalescent models in phylogenetics (species tree) and phylogeography is discussed, including an example on insects' biogeography and evolution.

KEY WORDS: DNA sequences data; molecular phylogenetics; phylogeography, species tree.

INTRODUZIONE

Uno dei primi alberi filogenetici fu disegnato dallo stesso Darwin per rappresentare l'evoluzione degli organismi a partire da un progenitore comune (la radice) attraverso diverse linee di discendenza (i rami), con una successione di antenati comuni (le ramificazioni interne o nodi), fino ad arrivare alle ramificazioni terminali delle specie attuali. La ricostruzione di tali relazioni filogenetiche è un aspetto chiave nello studio della biodiversità poiché fornisce un'ipotesi testabile sulla storia evolutiva delle forme viventi e uno schema per la loro classificazione in gruppi tassonomici gerarchici. Tali gruppi, secondo il principio della sistematica cladistica ed evolutiva, dovrebbero includere ciascuno una singola sezione dell'albero filogenetico ed essere così costituiti da tutti i taxa aventi discendenza da un comune antenato (gruppi monofiletici).

Storicamente, i primi approcci filogenetici hanno utilizzato caratteri morfologici per inferire i rapporti di discendenza tra le specie. A partire dagli anni ottanta, con lo sviluppo delle tecniche di amplificazione e sequenziamento del DNA, l'impiego di sequenze nucleotidiche ha rivoluzionato il campo della filogenesi. La disponibilità di questo 'nuovo' tipo di dati ha stimolato l'ulteriore sviluppo di strumenti analitici basati sulla Maximum Likelihood e sull'inferenza bayesiana e sull'impiego di modelli che descrivono l'evoluzione delle sequenze di DNA. Inoltre, in seguito alla cosiddetta rivoluzione filogeografica, innescata dall'impiego di sequenze di DNA mitocondriale, tali strumenti hanno poi esteso la loro applicazione, inizialmente limitata all'inferenza delle relazioni interspecifiche, allo studio delle relazioni intraspecifiche colmando il gap tra genetica di popolazione e sistematica.

Fino allo scorso secolo l'inferenza filogenetica e filogeografica erano spesso basate su un singolo locus, ad esempio mitocondriale (i cosiddetti *gene trees*), o sulla combinazione di pochi loci. Con l'avvento dei metodi di sequenziamento di nuova generazione è attualmente possibile generare, con costi accessibili, milioni di sequenze da diversi loci del genoma anche per specie non-modello (SHENDURE, 2008). La filogenesi molecolare si sta pertanto evolvendo in filogenomica e sono disponibili ormai per diversi gruppi di animali e di piante filogenesi in cui le relazioni tra le specie sono inferite sulla base di centinaia o anche migliaia di geni.

Nella prossima sezione verranno brevemente descritti i metodi di ricostruzione filogenetica basati sulle distanze, sulla parsimonia e sull'approccio probabilistico, mentre in quella successiva verranno discussi gli approcci di *species tree*. Infine verrà presentato un caso di studio filogeografico su insetti coleotteri basato sull'analisi delle sequenze di DNA.

– Pubblicato marzo 2016

METODI DI ANALISI FILOGENETICA

La costruzione di un albero filogenetico è un problema statisticamente complesso e la maggior parte dei metodi, anche con pochi taxa, richiedono calcoli intensivi. Pertanto sono stati sviluppati molti *software* che implementano i vari algoritmi e metodi di analisi (una lista abbastanza aggiornata è disponibile al link http://evolution.genetics.washington.edu/phylip/software.html#recent). Così come per i dati morfologici, il primo step di un'analisi filogenetica molecolare implica la generazione di una matrice di caratteri dei taxa studiati. In tal caso le sequenze di DNA dei vari taxa rappresentano le 'righe' della matrice, i quattro nucleotidi rappresentano i possibili stati dei caratteri e quest'ultimi costituiscono le "colonne" della matrice. I caratteri molecolari sono pertanto non ambigui e facilmente riconoscibili. La costruzione di una matrice molecolare viene definita *allineamento* delle sequenze, durante il quale si stabilisce l'omologia di posizione dei caratteri molecolari. Gli step analitici successivi dipendono dal metodo di ricostruzione filogenetica che si vuole utilizzare, mentre lo step finale prevede la valutazione del supporto statistico dell'albero. A tale scopo il metodo di *boostrap* è uno dei più utilizzati e si basa sulla generazione di 'pseudomatrici' ricampionando (con sostituzione) le colonne dell'allineamento originale (introdotto da FELSENSTEIN, 1983). Nei metodi bayesiani la valutazione del supporto statistico è invece parte integrante del processo di ricerca degli alberi filogenetici (si veda avanti).

I metodi filogenetici si dividono in due grandi categorie, quelli basati sull'applicazione di un algoritmo e quelli basati sulla definizione di un 'criterio di ottimizzazione', che è utilizzato per comparare diversi alberi possibili. Nel primo caso, l'allineamento viene utilizzato per calcolare una matrice di distanze genetiche (o di identità) e, attraverso uno specifico algoritmo, ad esempio il Neighbour-Joining o l'UPGMA, tale matrice viene rappresentata in uno schema gerarchico, sotto forma di albero. Sebbene questi metodi siano molto efficienti (ossia veloci), il loro limite è che viene prodotto un solo albero e per di più basato su singoli indici di distanza tra taxa piuttosto che sull'intera informazione presente nelle loro sequenze.

I metodi basati su un criterio di ottimizzazione utilizzano invece tutti i caratteri presenti nell'allineamento e 'ordinano' gli alberi secondo il loro *score*, calcolato in base al criterio di ottimizzazione scelto. Tuttavia, anche solo con una dozzina di taxa, il numero di alberi possibili è così elevato che non possono essere valutati tutti e si ricorre pertanto a delle ricerche euristiche che utilizzano specifici algoritmi per esplorare una parte degli alberi possibili. Tali ricerche, sebbene non garantiscano di trovare 'l'albero migliore', verosimilmente restituiscono degli alberi buoni in tempi ragionevoli.

Il criterio della Massima Parsimonia (MP) stabilisce che l'albero che richiede il minor numero di cambiamenti è quello che spiega meglio i dati. In ambito molecolare, l'approccio basato sulla parsimonia, si basa sulla ricerca di un albero che minimizzi il numero di sostituzioni necessarie per spiegare le differenze tra le sequenze dell'allineamento (FARRIS, 1970). Sebbene la MP sia molto usata con dataset morfologici, lo è meno con dataset molecolari poiché soffre di inconsistenza statistica e del fenomeno del *long-branch-attraction* (FELSENSTEIN, 1978). Tali svantaggi sono accentuati nelle analisi di dataset con sequenze molto divergenti e con numero elevato di caratteri (HENDY & PENNY, 1989).

Per il motivo sopra riportato vengono spesso preferiti i metodi basati sulla probabilità, la Maximum-Likelihood (ML; FELSENSTEIN, 1981) e i metodi di inferenza bayesiana (BI; ad esempio, HUELSENBECK & RONQUIST, 2001). Tali approcci probabilistici richiedono la definizione di un modello che descriva la probabilità di sostituzione di ciascun nucleotide in uno degli altri tre nucleotidi possibili. Attualmente sono disponibili decine di modelli evolutivi, con diverso numero di parametri e grado di complessità e vi sono specifici strumenti statistici per calcolare quello più appropriato per ciascun dataset (POSADA & CRANDALL, 1998). L'approccio di ML si basa sulla ricerca dell'albero con la più alta probabilità di originare le sequenze osservate secondo uno specifico modello di sostituzione nucleotidica; detto in altre parole, l'albero che 'massimizza la verosimiglianza delle sequenze osservate'. È un metodo molto intensivo perché per ciascuna topologia vengono calcolate le *likelihood* di ciascun sito dell'allineamento. L'approccio bayesiano si basa su un modello probabilistico complesso in cui ogni parametro ha una distribuzione di *probabilità a priori* associata ai valori che può assumere e che viene moltiplicata alla funzione di *likelihood* per ottenere la sua *probabilità a posteriori*. Quindi nell'analisi filogenetica bayesiana viene stimata la probabilità di un'ipotesi (albero) di essere corretta, date le sequenze osservate, una serie di parametri del modello e delle probabilità a priori dei vari parametri. Uno dei punti di forza dell'analisi bayesiana riguarda la capacità di esplorare lo spazio degli alberi possibili utilizzando il metodo Monte Carlo basato sulle Catene di Markov (MCMC). Questo metodo analitico permette di stimare le distribuzioni di probabilità a posteriori dei vari parametri del modello, inclusa la

topologia dell'albero. Attraverso un meccanismo iterativo, partendo da una configurazione di stati iniziale dei parametri del modello, ad ogni *generazione* viene modificato uno stato di un parametro. Tra i vari cambiamenti di stati possibili viene di volta in volta scelto preferenzialmente quello che determina un incremento della probabilità a posteriori associata al modello e ad ogni generazione verranno registrati i valori dei parametri del modello. Pertanto, dopo un numero elevato di generazioni, la catena campionerà configurazioni del modello ad elevata probabilità e cioè alberi molto buoni. Un certo numero di migliaia di questi alberi campionati nelle ultime generazioni verranno utilizzati per calcolare un albero 'riassuntivo', l'*albero di massima credibilità,* e per calcolare quante volte ciascun nodo è rappresentato in questi alberi. Questa misura ci fornisce la probabilità a posteriori dei nodi dell'albero: la ricerca degli alberi migliori e la stima del loro supporto statistico sono pertanto il risultato della ricerca bayesiana. Sebbene all'approccio bayesiano sia talvolta criticato l'uso 'soggettivo' delle probabilità *a priori*, che non si basano sui dati e la cui scelta potrebbe determinare i risultati, ci sono molti metodi per testare se i risultati ottenuti siano impartiti dai dati o semplicemente dalla nostra conoscenza (o ignoranza) a priori. D'altro canto la potenza statistica della ricerca degli alberi e la possibilità di implementare modelli molto complessi, quali gli orologi molecolari, l'età dei fossili, i modelli di coalescenza e di speciazione e cosi via, rendono l'approccio bayesiano un metodo estremamente versatile per la risoluzione di analisi filogenetiche complesse utilizzando tutte le informazioni disponibili.

Nuovi approcci basati sugli species tree

Fino ad una decade fa gli approcci sopra descritti venivano utilizzati per stimare alberi filogenetici basati sulle sequenze di un singolo gene, il cosiddetto *gene tree* (albero del gene), assumendo che questo fosse un'adeguata rappresentazione dei rapporti di discendenza delle varie specie che erano state sequenziate per quel gene. Nel caso fossero disponibili più geni, per calcolare un albero filogenetico si costruiva una matrice unica *concatenando* i singoli allineamenti in una super-matrice. L'inferenza filogenetica in tali casi è basata su loci multipli, ma sovente i loci più variabili hanno un peso maggiore nel determinare l'albero risultante rispetto ai loci aventi un minor numero di caratteri informativi. Tuttavia è ormai ben dimostrato che non ci sono ragioni per credere che l'albero del gene corrisponda all'albero delle specie, lo *species tree* (Degnan & Rosenberg, 2009). Diversi processi tra i quali il mantenimento di polimorfismo ancestrale o *incomplete lineage sorting*, trasferimenti genici orizzontali, duplicazione genica e ibridazione fanno sì che i gene trees siano diversi dal 'vero' species tree. Tale discrepanza, come se non bastasse, è più una regola che un'eccezione. Studi teorici basati su simulazioni hanno mostrato che anche per il semplice processo stocastico di assortimento genico lungo le generazioni, in assenza degli altri processi sopramenzionati, ci dobbiamo aspettare che i gene trees più probabili non siano di fatto corrispondenti al vero species tree, anche in casi semplici che includano appena cinque taxa (con un effetto maggiore all'aumentare di questi; Degnan & Rosenberg, 2009). Contestualmente sono stati sviluppati nuovi strumenti analitici per l'inferenza degli species tree a partire dai dati dei singoli geni. Piuttosto che attraverso la concatenazione, ciascun albero del gene viene inferito in modo indipendente dagli altri e l'informazione degli alberi dei geni viene combinata in un albero delle specie seguendo un criterio o un modello specifico. Anche in questo caso ci sono diversi metodi per costruire species tree, alcuni basati sulla distanza, altri basati sulla parsimonia e altri su modelli probabilistici attraverso approcci di ML o BI (Knowles & Kubatko, 2010). Negli approcci di MP, ad esempio, si ricercano species tree che minimizzano i pattern di polimorfismo ancestrale per spiegare i gene trees osservati. Negli approcci probabilistici, di ML o BI, invece vengono implementati modelli di speciazione e di coalescenza (Kingman,1982) per calcolare la probabilità degli species tree sulla base dei gene trees osservati. Alcuni di questi metodi stimano lo species tree partendo dalle sequenze dei singoli geni (in tali casi gene trees e species tree sono co-stimati; ad es. Heled & Drummond, 2010), oppure dai singoli gene trees assumendo che questi siano corretti. L'utilizzo degli species tree ha permesso di rivalutare la filogenesi di molti organismi e di ottenere stime temporali più accurate per i relativi processi di speciazione, soprattutto quando questi sono basati su un numero elevato (centinaia) di loci campionati nel genoma, come è ormai possibile grazie alle tecniche di Next Generation Sequencing. L'analisi filogenetica si sta pertanto evolvendo da un'inferenza basata su un singolo o pochi geni verso un approccio genomico che utilizza milioni di sequenze di centinaia o migliaia di geni, e modelli teorici complessi, per inferire l'albero evolutivo degli organismi.

Filogeografia: un caso di studio

Come menzionato nell'introduzione, i metodi filogenetici possono essere applicati anche a livello intraspecifico, per ricostruire la storia evolutiva

di gruppi di popolazioni della medesima specie. La *filogeografia* (AVISE, 2000) impiega le genealogie dei singoli geni (sequenziati in diverse popolazioni lungo l'areale di una specie) e l'analisi della distribuzione geografica delle linee filetiche, per inferire il ruolo di processi microevolutivi quali la divergenza allopatrica, contatto secondario, processi di espansione o contrazione demografica, nella formazione ed evoluzione delle linee filetiche intraspecifiche. In una prima fase, fino agli anni novanta, gli studi filogeografici hanno impiegato principalmente sequenze di DNA mitocondriale. Il vantaggio del DNA mitocondriale risiede nell'alta variabilità di queste sequenze e nel loro semplice meccanismo di trasmissione ereditaria negli animali (in singola copia, aploide, e per via matrilineare), che garantisce da un lato la disponibilità di molti caratteri informativi per la ricostruzione filogenetica, dall'altro un meccanismo di trasmissione verticale semplificato lungo le generazioni, privo di ricombinazione. Così come per gli studi filogenetici interspecifici, anche per la filogeografia le inferenze basate su un singolo locus (mitocondriale) sono state presto rimpiazzate da inferenze multilocus, nelle quali i processi di ricombinazione e segregazione dei genomi nucleari diploidi vengono tenuti conto nel corso nelle analisi. L'impiego di molti loci, l'analisi dei pattern di variazione nucleare e mitocondriale e l'impiego dei modelli di coalescenza hanno permesso di inferire scenari evolutivi complessi, di ricostruire con accuratezza i trend demografici storici (a partire da centinaia di migliaia di anni fa) e i pattern spaziali e temporali dei processi evolutivi e biogeografici.

Per fornire un esempio di come l'analisi filogenetica delle sequenze di DNA in ambito intraspecifico (filogeografico) possa essere utile a ricostruire uno scenario biogegrafico ed evolutivo, vengono di seguito riportati i risultati preliminari di uno studio su coleotteri Meloidi, condotto assieme ai colleghi dell'Università degli studi Roma Tre e presentato al Congresso della Unione Zoologica Italiana tenutosi a Viterbo (RICCIERI *et al*. 2015).

Filogeografia di coleotteri Meloidi a distribuzione siculo-magrebina: vicarianza o dispersione attraverso il Canale di Sicilia?

Molte specie animali mostrano un pattern di distribuzione Mediterraneo-occidentale che include il nord Africa e la Sicilia. Questo modello di distribuzione disgiunta siculo-magrebina ha da sempre affascinato i biogeografi, poiché queste due regioni sono separate dalle acque del Canale di Sicilia da oltre cinque milioni di anni. L'ultima connessione territoriale tra Sicilia e nord Africa risale infatti al Miocene, durante la cosiddetta Crisi di Salinità del Messiniano (DUGGEN *et al.*, 2003). Questa fase, secondo accurate stime geologiche, si è conclusa 5,33 milioni di anni fa, in seguito alla riapertura dello Stretto di Gibilterra e all'afflusso di acque dall'Atlantico al Mediterraneo. Quindi a partire dal Pliocene, un braccio di mare ha mantenuto la Sicilia isolata dalle coste nordafricane e, sebbene nel corso delle glaciazioni Pleistoceniche l'abbassamento globale del livello marino abbia ripetutamente 'riavvicinato' la Sicilia alle coste tunisine, queste terre non sono mai state connesse tra loro di nuovo.

Sulla base di questi scenari paleogeografici, possiamo avanzare due ipotesi zoogeografiche per spiegare l'areale disgiunto delle specie siculo-magrebine: (*i*) un'origine per vicarianza, postulando un areale pre-Pliocenico continuo di queste specie, e la sua successiva frammentazione all'inizio del Pliocene in seguito alla formazione del Canale di Sicilia; (*ii*) un'origine più recente per dispersione attraverso il Canale di Sicilia, verosimilmente durante i periodi glaciali pleistocenici quando l'estensione di questo braccio di mare tra la Sicilia e il nord Africa era sensibilmente ridotta a causa delle regressioni marine. Queste due ipotesi ci permettono di fare delle predizioni sul pattern filogeografico delle specie in esame: secondo uno scenario di antica (pliocenica) vicarianza, ci aspettiamo un elevato differenziamento tra le popolazioni nord africane e quelle siciliane, mentre secondo un'ipotesi di recente (tardo pleistocenica) colonizzazione della Sicilia per dispersione dalla Tunisia (o viceversa) è lecito aspettarsi una ridotta distanza genetica tra le popolazioni presenti ad entrambi i lati del canale di Sicilia, con una preponderante porzione della variabilità genetica condivisa tra loro. Infine, un pattern complesso di copresenza di linee filetiche divergenti con alcuni aplotipi derivati condivisi tra le due aree, suggerirebbe che entrambi i processi, vicarianza e dispersione, abbiano giocato un ruolo nei pattern di distribuzione e diversità dei taxa siculo-magrebini.

Per dirimere queste ipotesi, abbiamo studiato la distribuzione geografica della variabilità genetica in due specie di coleotteri Meloidi, della sottofamiglia Meloinae: *Mylabris schreibersi* Reiche, 1866 (tribù Mylabrini), appartenente ad un genere Palaeartico molto ricco di specie, e *Cabalia segetum* (FABRICIUS, 1792) (tribù Lyttini) appartenente ad un piccolo genere Afrotropicale distribuito in Africa orientale, penisola Arabica e Sahara, con *C. segetum* esclusiva di Magreb e Sicilia (Bologna, 1991). Entrambe le specie sono associate tipicamente ad habitat di tipo mediterraneo e sono distribuite con continuità dal Marocco alla Tunisia e quindi in Sicilia.

Per questo studio preliminare, sono state campionate 16 popolazioni siciliane e 24 magrebine (Marocco e Tunisia) di entrambe le specie (Figura 1) e sono stati sequenziati circa 20-40 individui per specie per due geni, uno mitocondriale (cytochrome oxidase subunit I, COI) ed uno nucleare (rudimentary gene, carbamoylphosphate synthetase domain, CAD).

Successivamente alla raccolta e all'identificazione morfologica, ciascun esemplare è stato conservato in alcol puro (EtOH 100%). L'estrazione del DNA genomico è stata eseguita attraverso un protocollo di precipitazione salina e l'amplificazione dei geni target è stata eseguita mediante la tecnica di polimerizzazione a catena (PCR) seguendo il protocollo descritto in KETMAIER *et al.* (2011) e WILD & MADDISON (2008). Il sequenziamento è stato effettuato nei laboratori di Macrogen (Olanda).

Le sequenze ottenute sono state allineate in ClustalW (THOMPSON *et al.*, 1994) e per ciascuna regione sono stati calcolati degli indici di diversità genetica in DNAsp 5.10 (LIBRADO & ROZAS, 2009) e di distanza genetica in MEGA5 (TAMURA *et al.*, 2011). Le relazioni filogenetiche tra gli aplotipi osservati per ciascun gene sono state inferite con il software NETWORK 4.6 (Fluxus Technology, http://www.fluxus-engineering.com/sharenet.htm) applicando il metodo Median-Joining. I network filogenetici sono preferibili agli alberi per stimare relazioni filogenetiche intraspecifiche poiché meglio si adattano all'evoluzione recente di gruppi non isolati riproduttivamente: infatti permettono un pattern reticolato di relazioni (e non strettamente dicotomico), la co-presenza di aplotipi ancestrali e derivati e garantiscono un'alta risoluzione anche con numero ridotto di caratteri filogenetici (POSADA & CRANDALL, 2003).

In entrambe le specie è stata osservata un'elevata variabilità genetica al locus nucleare CAD (*C. segetum*: N = 33; 'haplotype diversity' Hd = 0,76; 'nucleotide diversity' π = 0,004; *M. schreibersi*: N = 36; Hd = 0,93; π = 0,014). La maggior parte di questa variabilità genetica è distribuita nelle popolazioni del Magreb, sia per quanto riguarda la diversità nucleotidica (per entrambe le specie $Hd \approx 0{,}95$), sia per quanto riguardo quella aplotipica (*C. segetum* e *M. schreibersi*: 15 e 20 aplotipi, rispettivamente, osservati in Magreb). Nelle popolazioni siciliane di entrambe le specie, invece, è stata osservata una variabilità genetica comparativamente inferiore (*C. segetum*: Hd = 0,06; 2 aplotipi; *M. schreibersi*: Hd = 0,78; 6 aplotipi) (Figura 2). Nessuno degli aplotipi osservati a questo locus è condiviso tra le popolazioni della Sicilia e del Magreb e per entrambe le specie si osserva un significativo differenziamento genetico tra i due gruppi di popolazioni (F_{ST} Sicilia *vs*. Magreb = 0,51-0,58). L'analisi delle sequenze del locus mitocondriale COI in *C. segetum* mostrano un pattern congruente con quello osservato al CAD (Figura 2) con un'alta variabilità genetica nel Magreb (Magreb Hd = 0,70; Sicilia Hd = 0,12) e una significativa divergenza genetica tra popolazioni magrebine e siciliane, con ben 10 mutazioni diagnostiche fissate (F_{ST} Sicilia *vs*. Magreb = 0,95). Lo stesso possiamo dedurre dalle analisi preliminari

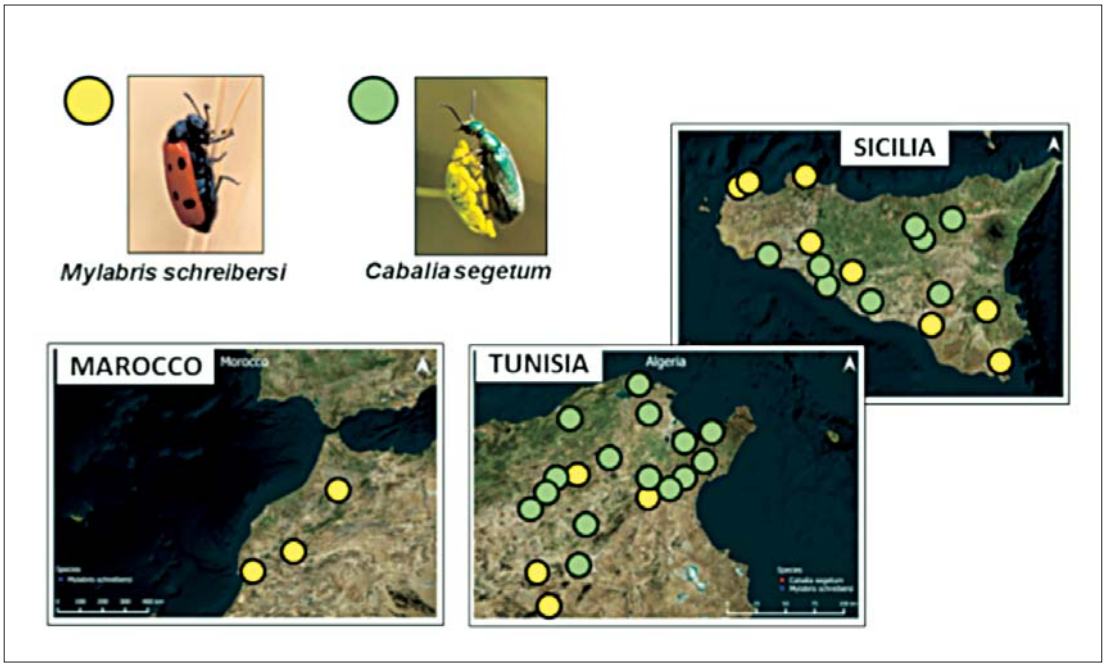


Fig. 1
Distribuzione delle popolazioni studiate di *Mylabris schreibersi* e *Cabalia segetum* in Marocco, Tunisia e Sicilia.

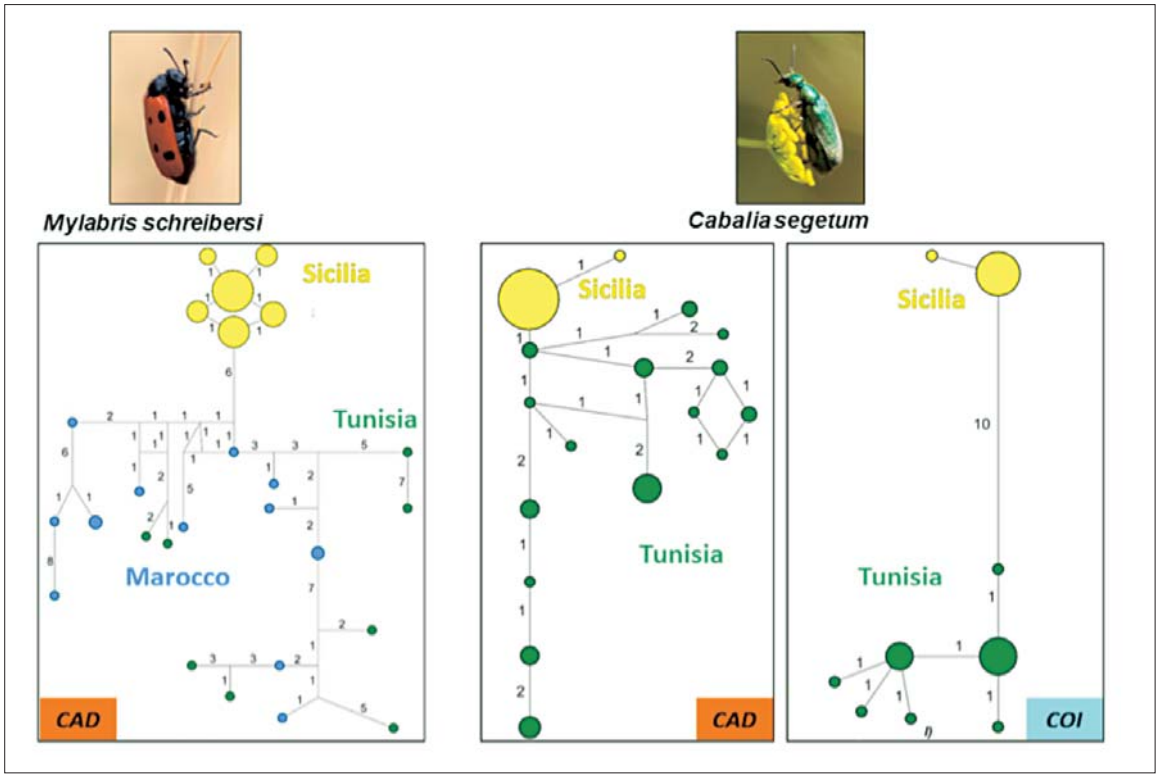


Fig. 2
Network filogenetici degli aplotipi osservati al locus nucleare CAD in *M. schreibersi* e *C. segetum* e al locus mitocondriale COI in *C. segetum*. Gli aplotipi sono rappresentati da cerchi, la cui dimensione è proporzionale alla loro frequenza in ciascuna specie, colorati in base alla loro distribuzione geografica. Le relazioni geneaologiche sono rappresentate dalle linee che connettono gli aplotipi ed i numeri rappresentano il numero di sostituzioni nucleotidiche osservate in ciascuna connessione.

delle sequenze di COI di *M. schreibersi* (in prep.). A parte la netta divergenza tra Sicilia e Magreb, non si osserva una struttura geografica della variazione genetica all'interno di queste due regioni per le due specie.

Il pattern filogeografico osservato in *C. segetum* e *M. schreibersi* è congruente con un'ipotesi di antico isolamento geografico e genetico tra le popolazioni magrebine e quelle siciliane. Ad entrambi i loci analizzati questi due gruppi di popolazioni mostrano una divergenza genetica significativa e un pattern di reciproca monofilia degli aplotipi (Figura 2). Tenendo conto del tasso di sostituzione nucleotidica osservato in altri coleotteri per geni mitocondriali (ad esempio Su *et al.*, 1996) possiamo stimare che la distanza genetica osservata tra popolazioni magrebine e siciliane si sia accumulata nel corso di diversi milioni di anni, rendendo plausibile uno scenario di divergenza allopatrica pliocenica. In particolare la monofilia delle popolazioni siciliane di entrambe le specie al locus nucleare CAD e l'assenza di aplotipi condivisi con il Magreb, suggerisce che le popolazioni siciliane siano state isolate riproduttivamente dai conspecifici magrebini per un tempo sufficiente all'accumulo di divergenza e alla completa separazione delle genealogie aplotipiche. Pertanto l'ipotesi che le popolazioni siciliane di *C. segetum* e *M. schreibersi* rappresentino in realtà specie distinte, ma morfologicamente indistinguibili, merita ulteriori approfondimenti.

Per quanto riguarda la minore variabilità genetica delle popolazioni siciliane rispetto a quelle magrebine possiamo ipotizzare che questo pattern sia dovuto ad un maggior effetto delle oscillazioni climatiche pleistoceniche in Sicilia piuttosto che in Magreb. Secondo tale ipotesi le popolazioni siciliane sarebbero state isolate tra loro e contratte in aree rifugio durante i periodi glaciali, con conseguente riduzione (estinzione) di variabilità genetica, mentre durante lo stesso periodo la continuità degli habitat mediterranei nel Magreb (La Greca, 2002) avrebbe garantito il mantenimento di ampie e stabili popolazioni e quindi di una maggiore diversità genetica. La condivisione di aplotipi tra le popolazioni marocchine e tunisine di *M. schreibersi* supporterebbe ulteriormente questo scenario. L'ampliamento del dataset mitocondriale e l'applicazione di analisi multi-locus di demografia storica potrebbero essere utili a testare questa ipotesi.

In conclusione, il caso di studio riportato, sebbene con risultati ancora preliminari, illustra un'applicazione dell'analisi delle sequenze di DNA per ricostruire le relazioni filogenetiche tra taxa e per inferire i processi evolutivi e biogeografici che le hanno determinate.

RINGRAZIAMENTI

Desidero esprimere la mia gratitudine a Maurizio Biondi (Università degli Studi dell'Aquila) per avermi invitato alla Tavola Rotonda e ai colleghi Marco A. Bologna, Emiliano Mancini, Michela Maura e Alessandra Riccieri (Università degli Studi Roma Tre) per aver messo a disposizione i risultati preliminari della ricerca presentata come caso di studio.

BIBLIOGRAFIA

Avise J.C, 2000 – *Phylogeography: the history and formation of the species*. University Press, Harvard.

BOLOGNA M.A., 1991 – *Coleoptera Meloidae*. Fauna d'Italia. XXVIII. Calderini, Bologna.

DEGNAN J.H., ROSENBERG N.A., 2009 – *Gene tree discordance, phylogenetic inference and the multispecies coalescent*. - Trends in Ecology and Evolution, 24: 332-340.

DUGGEN S., HOERNLE K., BOGAARD P. VAN DEN, RÜPKE L., PHIPPS MORGAN J., 2003 – *Deep roots of the Messinian salinity crisis*. - Nature, 422: 602- 606.

FARRIS, J.S., 1970 – *Methods for computing Wagner trees*. - Systematic Zoology, 18: 374–385.

FELSENSTEIN J., 1978 – *Cases in which parsimony or compatibility methods will be positively misleading*. - Systematic Zoology, 27: 401-410.

FELSENSTEIN, J., 1981 – *Evolutionary trees from DNA sequences: a maximum likelihood approach*. - J. Molecular Evolution, 17: 368–376.

FELSENSTEIN J., 1983 – *Statistical inference of phylogenies (with discussion).* - Journal of the Royal Statistical Society. Series A, 146: 246–272.

HELED J., DRUMMOND A.J., 2010 – *Bayesian Inference of Species Trees from Multilocus Data*. - Molecular Biology and Evolution, 27: 570-580.

HENDY M.D., PENNY D., 1989 – *A framework for the quantitative study of evolutionary trees.* - Systematic Zoology, 38: 297-309.

HUELSENBECK, J.P., RONQUIST F., 2001 – *MrBayes: Bayesian inference of phylogeny*. - Bioinformatics, 17:754–755.

KETMAIER V., COBOLLI M., BOLOGNA M.A., 2011 – *Strutturazione genetica e filogeografia di specie del genere* Mylabris *(Coleoptera, Meloidae) negli Appennini Centrali*. - Biogeographia, 27: 421-437.

KINGMAN J., 1982 – *The coalescent*. - Stochastic Processes and Their Applications, 13: 235-248.

KNOWLES L.L., KUBATKO L.S., 2010 – *Estimating Species Trees: Practical and Theoretical Aspects.* Wiley-Blackwell.

LA GRECA M., 2002 – *Vicende paleogeografiche e componenti della fauna italiana.* In: AA.VV., La Fauna in Italia. Touring Club Italiano, Milano, pp. 360-376.

LIBRADO P., ROZAS J., 2009 – *DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data.* - Bioinformatics, 25: 1451-1452.

POSADA D., CRANDALL K.A., 2001 – *Intraspecific gene genealogies: trees grafting into networks.* - Trends in Ecology and Evolution, 6: 37-45.

POSADA D., CRANDALL K.A., 1998 – *MODELTEST: testing the model of DNA substitution*. - Bioinformatics, 14:817-818.

RICCIERI A., MAURA M., SALVI D., BOLOGNA M. A., MANCINI E., 2015 – *Investigating the Sicilian-Maghrebian biogeographic pattern in blister beetles (Coleoptera, Meloidae).* - 76° Congresso della Unione Zoologica Italiana, Viterbo, 15-18 Settembre 2015. (Poster: Premio UZI 'Giovani Ricercatori').

SHENDURE J., JI H., 2008 – *Next-generation DNA sequencing*. - Nat Biotech.,26: 1135-1145

SU Z.H., OHAMA T., OKADA T. S., NAKAMURA K., ISHIKAWA R., OSAWA S., 1996 – *Geography-linked phylogeny of the Damaster ground beetles inferred from mitochondrial ND5 gene sequences*. - Journal of Molecular Evolution, 42:130-134.

TAMURA K., PETERSON D., PETERSON N., STECHER G., NEI M., KUMAR S., 2011 – *MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods.* - Molecular Biology and Evolution, 28: 2731-2739.

THOMPSON J.D., HIGGINS D.G., GIBSON T.J., 1994 – *CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice.* - Nucleic Acids Research, 22: 4673-4680.

WILD A.L., MADDISON D.R., 2008 – *Evaluating nuclear protein-coding genes for phylogenetic utility in beetles*. - Molecular Phylogenetics and Evolution, 48: 877-891.

NORME REDAZIONALI

I testi devono essere spediti per posta elettronica al Coordinatore della Redazione "Atti Accademia Entomologia" c/o CREA-ABP, Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia) all'indirizzo mail:

roberto.nannelli@isza.it

I contenuti dei lavori sono di esclusiva responsabilità dell'Autore/i.

Il testo deve essere fornito in formato Word con l'estensione .doc oppure .docx (molto gradito anche il file salvato in formato PDF); il testo non deve contenere indicazioni di carattere redazionale e deve essere uniformato alle seguenti norme:

– Titolo, informativo ma conciso.
– Nome dell'Autore (o degli Autori).
– Istituto di appartenenza dell'Autore (o degli Autori) e indirizzo; e-mail dell'autore corrispondente.
– Titolo in inglese.
– Summary.
– Key words, in inglese, massimo cinque parole, che devono dare brevi informazioni integrative al titolo del lavoro.
– Testo del lavoro con ben indicato l'inizio e la fine di ogni capitolo; i rimandi bibliografici devono essere così indicati: (Ramarkers, 1983) o Ramarkers (1983); (Riom e Gerbinot, 1977) oppure Deubert & Rhode (1971); (Robertson *et al.*, 1989).
– Eventuali ringraziamenti.
– Riassunto in italiano.
– Bibliografia indicata come da esempio:

Dallai R., 1975 – *Fine structure of the spermatheca of* Apis mellifera. - J. Insect Physiol., 21: 89-109.

Wallwork J.A., 1967 – *Acari*. In: Soil Biology, Burgers A. & Raw F. Ed., Academic Press, London, New York, pp. 365-395.

Hill D.S., 1987 – *Agricultural insect pests of the tropics and their control*. Cambridge University Press, XII+746 pp.

Nordlund D.A., Jones R.L., Lewis W.J. (Eds.), 1981 – *Semiochemical: their role in Pest control*. Wiley, N.Y., 850 pp.

Le figure e le relative didascalie devono essere indicate in cifre arabe (es. Fig. 1); devono essere fornite in formato JPG o TIFF. Per i grafici è preferito il formato PDF, le linee non dovrebbero essere più sottili di 0,25 pts e i retini avere una densità di almeno il 10%. Per le figure b/n sono ottimali risoluzioni di 600-1200 dpi, per le fotografie 300 dpi; le fotografie in JPG devono essere di buona qualità e dimensione tale da essere ridotte.

Finito di stampare nell'marzo 2016
Tipografia Coppini - Firenze