Indice con link

ATTI
DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE ITALIANA DI ENTOMOLOGIA

RENDICONTI

Anno LXV

2017

TIPOGRAFIA COPPINI - FIRENZE

ATTI
DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE ITALIANA DI ENTOMOLOGIA

RENDICONTI
Anno LXV
2017

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 17-18 febbraio 2017 ..... » 9
Verbali delle adunanze del 16-17 giugno 2017 ..... » 17
Verbali delle adunanze del 17-18 novembre 2017 ..... » 25

Letture

Stefano Vanin – *Entomologia forense: uno sguardo di dettaglio* ..... » 33
Gennaro Viggiani – *Attuali ricerche su alcune specie di* Asphondylia *Loew (Diptera: Cecidomyiidae) causanti galle fiorali su Lamiaceae* ..... » 37

Tavola Rotonda su:

LA PROTEZIONE INTEGRATA DELLE COLTURE: PROBLEMI RICORRENTI, SOLUZIONI E NUOVE SFIDE

Ramon Albajes, Filipe Madeira – *Current status of Integrated Pest Management (IPM) in Europe* ..... » 45
Andrea Lucchi, Carlo Duso, Alberto Alma – *La protezione integrata della vite: problemi ricorrenti, soluzioni e nuove sfide* ..... » 53
Lucia Zappalà, Antonio Biondi, Giovanna Tropea Garzia, Gaetano Siscaro, Carmelo Rapisarda – *Aggiornamenti sul controllo integrato dei principali fitofagi dell'orticoltura protetta in ambiente mediterraneo* ..... » 59
Claudio Ioriatti, Gianfranco Anfora – *I semiochimici nella difesa integrata del melo in Trentino-Alto Adige* ..... » 63
Carlo Malavolta – *La protezione integrata delle colture: evoluzione tecnica, dei sistemi di supporto e della normativa* ..... » 69

Tavola Rotonda su:

GLI ARTROPODI DEL SUOLO: DIVERSITÀ E BIOCENOSI

Marzio Zapparoli – *Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi. Introduzione ad una Tavola Rotonda* ..... » 75
Stefano Taiti – *Biologia e biogeografia degli isopodi terrestri (Crustacea, Isopoda, Oniscidea)* ..... » 83
Filippo Milano, Paolo Pantini, Stefano Mammola, Marco Isaia – *La conservazione dell'araneofauna in Italia e in Europa* ..... » 91
Massimo Migliorini – *Gli acari oribatei: un gruppo negletto di artropodi edafici. Possono esserci di aiuto?* ..... » 105
Lucio Bonato, Alessandro Minelli, Marzio Zapparoli – *Centipede communities (Chilopoda) of forest soils across Europe: abundance, species richness and species composition* ..... » 113
Loris Galli, Matteo Zinni – *L'importanza dei Proturi nell'ambito delle biocenosi del suolo: stato delle conoscenze* ..... » 121
Pietro Paolo Fanciulli – *Aspetti biologici ed ecologici dei Collemboli nella fauna del suolo* ..... » 127
Roberto Poggi – *Uno sguardo ai Coleotteri del suolo* ..... » 135
Andrea Di Giulio – *Le larve dei Coleotteri del suolo* ..... » 141
Giacomo Santini, Alberto Masoni, Filippo Frizzi – *Il ruolo degli Imenotteri Formicidi nelle comunità del suolo* ..... » 149
Pier Mauro Giachino, Dante Vailati – *Considerations on biological and terminological aspects of the subterranean and endogean environments: diversity, correlations and faunistic interchange* ..... » 157
Gianluca Piovesan, Marzio Zapparoli – *Qualità biologica dei suoli e gestione forestale* ..... » 167

Tavola Rotonda su:

INSECT-PLANT INTERACTIONS

Angharad M.R. Gatehouse – *Plant Response to Biotic Stress: Can this be exploited for Crop Protection?* ..... » 175
Deepa S. Pureswaran – *Trophic interactions in eastern spruce budworm population ecology* ..... » 179
Salvatore Cozzolino – *Piante troppo furbe o insetti troppo ingenui?* ..... » 181
Rosa Rao – *La Sistemina e il network di segnali alla base delle risposte di difesa delle piante* ..... » 185
David Giron, Antoine Guiguet, Carlos Lopez-Vaamonde, Issei Ohshima – *Are leaf-miners and gall-inducers part of a continuum of plant manipulators?* ..... » 191
Maria Cristina Digilio – *Difese indotte nelle piante: l'interazione con insetti e microrganismi* ..... » 197

Tavola Rotonda su:

IL CONTRIBUTO DELL'ENTOMOLOGIA NEI CASI GIUDIZIARI
E NELLE RICOSTRUZIONI STORICHE: UNA PASSEGGIATA
TRA L'ENTOMOLOGIA FORENSE E L'ARCHEOENTOMOLOGIA FUNERARIA

Stefano Vanin – *Una passeggiata tra l'entomologia forense e l'archeoentomologia funeraria* ..... Pag. 205
Carlo Pietro Campobasso, Francesco De Micco, Valentina Bugelli – *La stima dell'epoca di morte: una sfida per il medico-legale* ..... » 209
Gino Fornaciari – *Informazioni nascoste nelle mummie, nelle sepolture e negli antichi ambienti abitativi: l'archeoentomologia medica degli insetti vettori* ..... » 215

ANNO ACCADEMICO
2017

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
Bullini Prof. Dott. Luciano	– Roma	1986
Covassi Dott. Marco Vittorio	– Firenze	1983 - 1997
Cravedi Prof. Dott. Piero	– Piacenza	1999 - 2005
Dallai Prof. Dott. Romano	– Siena	1979 - 1982
Frilli Prof. Dott. Franco	– Udine	1978 - 1982
Giordana Prof. Dott. Barbara	– Milano	1997 - 2003
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
Olmi Prof. Dott. Massimo	– Viterbo	2002 - 2013
Osella Prof. Dott. Giuseppe Bartolomeo	– L'Aquila	1983 - 1997
Principi Prof. Dott. Maria Matilde (*)	– Bologna	1953 - 1960
Ragusa di Chiara Prof. Dott. Salvatore	– Palermo	1993 - 2000
Rivosecchi Prof. Dott. Leo	– Roma	1987 - 2003
Santini Prof. Dott. Luciano	– Pisa	1993 - 2000
Sbordoni Prof. Dott. Valerio	– Roma	1986
Solinas Prof. Dott. Mario	– Perugia	1978
Süss Prof. Dott. Luciano	– Milano	1987 - 1993
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. Dott. Marco	– Roma	2001 - 2008
Brandmayr Prof. Dott. Pietro	– Rende (CS)	2005 - 2014
Casale Prof. Dott. Achille	– Sassari	1996 - 2002
Delrio Prof. Dott. Gavino	– Sassari	1989 - 2000
Fausto Prof. Dott. Anna Maria	– Viterbo	2011 - 2016
Floris Prof. Dott. Ignazio	– Sassari	2011 - 2017
Frati Prof. Dott. Francesco	– Siena	2011 - 2016
Gasperi Prof. Dott. Giuliano	– Pavia	2005 - 2013
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
Massa Prof. Dott. Bruno	– Palermo	2011 - 2017
Mazzini Prof. Dott. Massimo	– Viterbo	2000

(*) † 10 settembre 2017.

Minelli Prof. Dott. Alessandro	– Padova	1986 - 1993
Nannelli Dott. Roberto	– Firenze	1998 - 2005
Nuzzaci Prof. Dott. Giorgio	– Bari	1988 - 1994
Pennacchio Prof. Dott. Francesco	– Napoli	2001 - 2007
Poggi Dott. Roberto	– Genova	1989 - 1999
Rapisarda Prof. Dott. Carmelo	– Catania	2005 - 2012
Rotundo Prof. Dott. Giuseppe	– Campobasso	1999 - 2010
Roversi Prof. Dott. Pio Federico	– Firenze	2008
Russo Prof. Dott. Agatino	– Catania	2011 - 2017
Tranfaglia Prof. Dott. Antonio	– Potenza	1993 - 1999
Triggiani Prof. Dott. Oreste	– Bari	2001 - 2012
Turillazzi Prof. Dott. Stefano	– Firenze	1989 - 2000
Vigna Taglianti Prof. Dott. Augusto	– Roma	1986 - 1994

ACCADEMICI ONORARI

Altieri Prof. Miguel Angel	– Berkeley (California, USA)	2004
Gatehouse Prof. Angharad M.R.	– Newcastle (U.K.)	2015
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
Balletto Prof. Dott. Emilio	– Torino	2016
Bandi Prof. Dott. Claudio	– Milano	2015
Biondi Prof. Dott. Maurizio	– L'Aquila	2012
Bosco Prof. Dott. Domenico	– Torino	2015
Cervo Prof. Dott. Rita	– Firenze	2012
Cobolli Prof. Dott. Marina	– Roma	2001
Colazza Prof. Dott. Stefano	– Palermo	2013
Cristofaro Dott. Massimo	– Roma	2014
de Lillo Prof. Dott. Enrico	– Bari	2011
Digilio Prof. Dott. Maria Cristina	– Napoli	2015
Di Palma Prof. Dott. Antonella	– Foggia	2014
Duso Prof. Dott. Carlo	– Padova	2016
Gargiulo Prof. Dott. Giuseppe	– Bologna	2013
Garonna Prof. Dott. Antonio Pietro	– Napoli	2016
Germinara Prof. Giacinto Salvatore	– Foggia	2014
Isidoro Prof. Dott. Nunzio	– Ancona	2013
Lucchi Prof. Dott. Andrea	– Pisa	2015
Nazzi Prof. Dott. Francesco	– Udine	2012
Pantaleoni Prof. Dott. Roberto	– Sassari	2016
Pellizzari Prof. Dott. Giuseppina	– Padova	2011
Ricci Prof. Dott. Carlo	– Perugia	2016
Zapparoli Prof. Dott. 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 LXV, 2017: 9-31

VERBALI DELLE ADUNANZE DEL 17-18 FEBBRAIO 2017

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

SEDUTA PUBBLICA

Venerdì 17 febbraio 2017, alle ore 14:30, a Firenze in via Romana 17 Aula 1, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori della Seduta Pubblica.

Sono presenti gli Accademici:

Emeriti: R. Dallai, B. Giordana V. Girolami, L. Santini;
Ordinari: A. Alma, P. Cravedi, G. Gasperi, M. Maroli, A. Minelli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, F. Pennacchio, C. Rapisarda, G. Rotundo, L. Süss;
Straordinari: M. Biondi, E. De Lillo, C. Digilio, C. Duso, I. Floris, G. Gargiulo, A.P. Garonna, G.S. Germinara, A. Lucchi, B. Massa, F. Nazzi, G. Pellizzari, A. Russo.

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, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, V. Sbordoni, M. Solinas, S. Zangheri; *Ordinari*: P.A. Audisio, A. Battisti, A. Binazzi, M.A. Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, G. Delrio, A.M. Fausto, F. Frati, S. Longo, P. Luciano, S. Maini, C. Malva, M. Mazzini, M. Olmi, R. Poggi, P. F. Roversi, O. Triggiani, S. Turillazzi, A. Vigna Taglianti; *Straordinari*: A. Ballerio, E. Balletto, C. Bandi, D. Bosco,R. Cervo, M. Cobolli, S. Colazza, M. Cristofaro, A. Di Palma, N. Isidoro, R. Pantaleoni, C. Ricci, M. Zapparoli.

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

Il tema della Tavola Rotonda verte su:
"*La protezione integrata delle colture: problemi recenti, soluzioni e nuove sfide*"

Il Presidente Romano Dallai apre la Seduta Pubblica e invita gli Accademici Andrea Lucchi e Carlo Duso a coordinare i lavori.

Si susseguono gli interventi:

- Accademici Andrea Lucchi e Carlo Duso: introduzione.
- Ramon Albajes (University of Lleida) - *Current status of Integrated Pest Management (IPM) in Europe.*
- Accademico Andrea Lucchi - *Esperienze di Protezione Integrata in viticoltura.*
- Lucia Zappalà (Università di Catania) - *Aggiornamenti sul controllo integrato dei fitofagi in orticoltura protetta.*
- Gianfranco Anfora (Fondazione Mach e Università di Trento) - *I semiochimici nella difesa integrata del melo in Trentino Alto Adige.*
- Carlo Malavolta (Regione Emilia-Romagna) - *La produzione integrata: aspettative, progressi, applicazioni.*

Segue un'interessante discussione coordinata dagli Accademici Andrea Lucchi e Carlo Duso, al termine della quale la Seduta si conclude alle ore 18:00.

I testi delle relazioni verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2017 dell'Accademia.

Il Segretario — Piero Cravedi

Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA PLENARIA

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

Sabato 19 febbraio 2017 alle ore 9:30, 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: R. Dallai, B. Giordana, V. Girolami, L. Masutti, M. Solinas.
Ordinari: A. Alma, A. Battisti, A. Binazzi, P. Cravedi, F. Frati, G. Gasperi, S. Maini, M. Maroli, M. Mazzini, A. Minelli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, M. Olmi, F. Pennacchio, C. Rapisarda, G. Rotundo, P.F. Roversi, L. Süss, S. Turillazzi;
Straordinari: A. Ballerio, E. Balletto, M. Biondi, R. Cervo, E. De Lillo, C. Digilio, C. Duso, I. Floris, G. Gargiulo, A.P. Garonna, G.S. Germinara N. Isidoro, A.Lucchi, B. Massa, F. Nazzi, G. Pellizzari, C. Ricci, 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, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, L. Santini, V. Sbordoni, S. Zangheri. *Ordinari*: P. A. Audisio, M. A. Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, G. Delrio, A. M. Fausto, S. Longo, P. Luciano, C. Malva, R. Poggi, O. Triggiani, A. Vigna Taglianti. *Straordinari*: C. Bandi, D. Bosco, M. Cobolli, S. Colazza, M. Cristofaro, A. Di Palma, R. Pantaleoni.

Viene discusso il seguente Ordine del giorno:

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (18 e19 novembre 2016)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Modifica di Statuto: considerazioni preliminari
4) Proclamazione e consegna diplomi nuovi Accademici Straordinari
5) Fauna d'Italia
6) Varie ed eventuali

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (18 e19 novembre 2016)

Vengono esaminati i verbali delle Sedute Pubbliche di venerdì 18 e sabato 19 novembre 2016 e dell'Assemblea Plenaria di sabato 19 novembre 2016 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 è stata presa la decisione di interrompere la pubblicazione della rivista "Entomologia". La nostra Accademia e la Società Entomologica Italiana hanno attribuito gran-

de importanza a tale iniziativa coinvolgendo nell'Editorial Board eminenti personalità scientifiche e sollecitando ripetutamente la presentazione di contributi. Purtroppo il numero dei lavori pervenuti è stato inferiore alle aspettative e non consente di proseguire nella pubblicazione dal gennaio 2017. Molti membri del Comitato Editoriale hanno espresso il loro dispiacere per questa, purtroppo inevitabile, anche per motivi economici, decisione.

Il Presidente informa che l'Accademico Emerito Sebastiano BARBAGALLO è stato recentemente eletto Vice Presidente dell'Accademia Gioenia di Catania. L'Assemblea si congratula con il collega BARBAGALLO per il prestigioso incarico.

Il Presidente richiama l'attenzione sulle attività culturali del 2017 e del 2018 ricordando che il programma è stato così aggiornato:

Anno 2017
– 16 giugno: Tavola Rotonda su: "Artropodi del suolo: diversità e biocenosi" coordinata dall'Accademico M. ZAPPAROLI.
– 17 giugno: Lettura del prof. Stefano VANIN su: "Nuove sfide e vecchi problemi nell'utilizzo degli insetti nelle indagini giudiziarie" Introduzione a una successiva Giornata Scientifica dedicata all'Entomologia Forense in ottobre.
– 13 ottobre: Tavola Rotonda coordinata dal prof. Stefano VANIN su: "Insetti: dalle teche dei musei alle aule dei tribunali, dai laboratori ai libri di storia".

Chiesta e ottenuta la parola l'Accademico F. PENNACCHIO informa che a novembre di ogni anno si tiene l'incontro della rete europea dei dottorati in Scienze Entomologiche (PhD Network in Insect Science), che si è sviluppata a partire dal dottorato europeo in Insect Science and Biotechnology. Al fine di promuovere la partecipazione dei giovani a questo incontro e alle iniziative culturali dell'Accademia, è stato proposto di organizzare entrambi gli eventi a Napoli, dal 15 al 17 di novembre. I primi due giorni sarebbero dedicati all'incontro dei dottorandi, i quali presenteranno le loro ricerche in corso, mentre il giorno 17, nel pomeriggio, si potrebbe tenere la Tavola Rotonda dedicata allo studio delle interazioni insetto/pianta (organizzatrici le Accademiche GATEHOUSE e DIGILIO). Le giornate di studio, così come gli incontri del dottorato, si terrebbero presso il Centro congressi della Università Federico II, situato a via Partenope, sul lungomare di Napoli. Il giorno 18, sabato, sarebbe possibile visitare le sale che ospiteranno il prossimo Congresso Europeo di Entomologia, al Centro congressi presso la Stazione Marittima, per poi svolgere le riunioni dell'Accademia presso il Centro congressi dell'Università Federico II.

L'Accademico F. PENNACCHIO chiede quindi che venga considerata la possibilità di tenere le adunanze dell'Accademia del prossimo novembre a Napoli.

Segue una discussione in cui l'Accademico M. SOLINAS evidenzia che nelle adunanze di novembre sono previste le votazioni per l'elezione dei nuovi Accademici e che lo spostamento della sede potrebbe comportare una riduzione della partecipazione degli Accademici Emeriti e Ordinari con il rischio di non raggiungere il numero legale.

Dalla discussione emerge anche la difficoltà per molti Accademici a partecipare sia alla Tavola Rotonda sull'Entomologia Forense previste per il 13 ottobre a Firenze sia alle attività culturali che sono in corso di organizzazione per novembre a Napoli. Al termine della discussione la maggioranza degli Accademici si esprime a favore dello spostamento della sede delle adunanze del prossimo novembre a Napoli in modo da favorire la partecipazione sia all'incontro della rete europea dei dottorati in Scienze Entomologiche sia alle adunanze dell'Accademia.

Il programma del mese di novembre 2017, con sede a Napoli, risulta quindi:
– 15, 16 e 17 novembre: incontro della rete europea dei dottorati in Scienze Entomologiche. L'evento è organizzato in collaborazione dalla nostra Accademia e dalla Società Entomologica Italiana.
– 17 novembre: Tavola Rotonda su: "L'interazione insetto-pianta" coordinata dalle Accademiche C. DIGILIO e A.M.R. GATEHOUSE
– 18 novembre: Lettura dell'Accademico V. GIROLAMI su: "Simbiosi nei Ditteri Tripetidi".

Anno 2018
– Febbraio, venerdì: Tavola Rotonda su "Tutela della biodiversità, banche genetiche e crioconservazione degli insetti" coordinata dall'Accademico P.F. Roversi.
– Febbraio, sabato: Lettura dell'Accademico G. Gargiulo su "La *Drosophila* come sistema modello per lo studio delle interazioni molecolari ospite-parassitoide".
– Giugno, venerdì: Tavola Rotonda organizzata dall'Accademico G. Gasperi su "Nuovi approcci genomici e molecolari per il controllo di specie invasive di insetti di interesse agrario e sanitario".
– Giugno, sabato: lettura dell'Accademico E. Balletto su "Alcuni aspetti della Mirmecofilia".
- Novembre, venerdì: Tavola Rotonda proposta dagli Accademici E. Balletto e A. Casale in corso di definizione.
– Novembre, sabato: Lettura dell'Accademico R. Pantaleoni su "Il nemico condiviso e l'entomologia applicata: alcune chiavi di lettura".

3) Modifiche di Statuto: considerazioni preliminari.

Il Presidente introduce l'argomento ricordando che sia nel messaggio di convocazione per la presente Assemblea, che in date anteriori (per ultima, con gli auguri natalizi), aveva ricordato che il Consiglio di Presidenza stava preparando un documento, frutto del contributo del Consiglio stesso e della preziosa competenza professionale del collega e membro straordinario, Alberto Ballerio, che sentitamente viene ringraziato per la sua disponibilità. Diversi colleghi hanno risposto al documento, inviato con l'O.d.g, con osservazioni e suggerimenti migliorativi. Altre importanti indicazioni sul documento sono attese nei prossimi mesi. Il Consiglio di Presidenza si proponeva, infatti, di preparare un documento, frutto del parere di tutti gli Accademici, da portare successivamente alla discussione ed approvazione dell'Assemblea ordinaria (come recitato dall'art. 23 dell'attuale Statuto), facilitando così l'espletamento di un lavoro complesso quale è la revisione di uno Statuto. Il Consiglio di Presidenza ha cioè svolto un ruolo promozionale e di coordinamento del lavoro di revisione, lasciando tuttavia l'approvazione definitiva dei vari articoli dello Statuto alla Assemblea Ordinaria.

Questo lavoro preliminare è stato contestato dall'Accademico Solinas, che ritiene che il Consiglio di Presidenza abbia commesso una grave irregolarità, abusando del ruolo del Consiglio stesso, prevaricando il parere degli Accademici Ordinari, estendendo agli Accademici Straordinari il parere sulle modifiche alla Statuto.

Il Presidente ritiene, al contrario di quanto il collega denuncia, che il Consiglio, con il proprio impegno e la partecipazione di tutta la comunità Accademica, abbia svolto democraticamente il proprio ruolo, contribuendo alla preparazione del materiale che sarà oggetto di una discussione riservata alla sola Assemblea Ordinaria.

Se, tuttavia, l'Assemblea ritiene che l'operato del Consiglio di Presidenza sia da ritenere scorretto, è opportuno che gli Accademici esprimano il loro parere ed il Consiglio stesso ne prenderà atto per le opportune riflessioni.

L'Accademico Mario Solinas, chiesta e ottenuta la parola, si rivolge in tutta cordialità all'Assemblea come segue:

> "Senza volere entrare nel merito della presente discussione, non ritenendo questa la sede appropriata secondo lo Statuto vigente, desidero tuttavia approfittarne per raccontare un po' ai più giovani, in qualità di "veterano" (circa 40 anni Accademico Ordinario di cui 14 Segretario e 3 Vicepresidente), che i fondatori di questa Accademia, pure essendo tra i più rinomati "Baroni universitari" dell'epoca (Guido Grandi e Athos Goidanich, *in primis*), formularono uno Statuto di una esemplare democrazia interna, assegnando il potere sovrano all'Assemblea Ordinaria, cui risultano esplicitamente riservate le proposte di modifica dello Statuto.
>
> Iniziative di gruppo come quella cui assistiamo, dunque non provenienti dall'Assemblea Ordinaria, pur volendo accreditare ai proponenti la massima buona fede, non possono escludere la formazione di altri gruppi alternativi e perfino contrapposti, col rischio finale di trasformare l'attuale gestione democratica del sodalizio in un'oligarchia auto-referenziata.
>
> Per quanto riguarda gli Accademici Straordinari non ricordo siano mai emerse esigenze da parte loro di emancipazione di qualsiasi tipo, né riuscirei a immaginarne la ragione, dati i rapporti sempre estremamente cordiali e paritetici tra Accademici Ordinari e Straordinari, ben lungi dal fare minimamente apparire questi ultimi una categoria in alcun modo inferiore rispetto ai primi, né sul piano scientifico né su quello dell'esperienza umana."

Egli conclude l'intervento ringraziando vivamente il Presidente per avergli dato la parola come pure tutta l'Assemblea per la cordiale attenzione.

Il Presidente trova per lo meno discutibile quanto riferito dal collega riguardo al primo Statuto, quando afferma che esprimeva "una esemplare democrazia interna", ma che "il potere sovrano era riservato alla Accademia Ordinaria.

Chiesta e ottenuta la parola, l'Accademico Emerito L. MASUTTI interviene sostenendo che, a prescindere dallo specifico oggetto della discussione odierna, sembra opportuno, oltre che doveroso, osservare le regole a suo tempo ufficialmente concordate, per rispetto e vantaggio dell'intero corpo accademico, nella certezza del generoso comune intendimento. Nella posizione a ciascuno riconosciuta dallo Statuto, è dato di comunicare eventuali proposte innovative al Presidente, perché questi ne valuti il merito per una decisione, diretta o elaborata in sede di Consiglio, o per l'affidamento all'esame dell'Assembla Ordinaria.

Il Presidente riafferma che il Consiglio di Presidenza ha svolto un ruolo di supporto alla corretta definizione degli articoli dello Statuto che si andranno a modificare; esso non ha mai inteso prevaricare alcuno e tantomeno abusare della propria posizione.

Prendono poi la parola molti Accademici Ordinari (fra gli altri, A. MINELLI, F. PENNACCHIO, A. RUSSO, C. RAPISARDA, A. BATTISTI, S. TURILLAZZI, P.F. Roversi, A. ALMA) per ringraziare il Consiglio di Presidenza per il lavoro svolto e rinnovare l'invito a proseguire sulla strada del coinvolgimento di tutti in questo lavoro, riservando la decisione finale sulle modifiche proposte alla Assemblea Ordinaria.

4) Proclamazione e consegna Diplomi nuovi Accademici Straordinari.

Il Presidente consegna i Diplomi di Accademico Straordinario ai neonominati Emilio BALLETTO, Carlo DUSO, Antonio Pietro GARONNA, Carlo RICCI. All'Accademico Straordinario Roberto PANTALEONI, assente giustificato, il diploma sarà consegnato in altra occasione.

Il Presidente consegna anche il Diploma di Accademico Ordinario al neonominato Francesco FRATI, che non aveva avuto la possibilità di ritirarlo in precedenza.

L'Assemblea si congratula con i nuovi Accademici Straordinari e con il nuovo Accademico Ordinario accogliendo tutti con un caloroso applauso.

5) Fauna d'Italia

Su invito del Presidente, l'Accademico Marzio ZAPPAROLI, Segretario Tesoriere del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia, prende la parola e riferisce che nei mesi successivi alla seduta del 19 novembre 2016 l'attività del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia si è articolata come segue:

1. Volume 51, Ascidiacea, autori Francesco MASTROTOTARO e Riccardo BRUNETTI: dopo l'invio alle stampa nell'aprile 2016, abbiamo ricevuto le bozze da parte dell'Editore. Le bozze sono attualmente in fase di correzione da parte degli Autori. Si ricorda che il volume sarà stampato con il parziale contributo del CSFI.
2. Volume 52 Hymenoptera Symphyta I, autore Fausto PESARINI: l'Autore ha consegnato il testo e le figure. Il materiale è stato quindi trasmesso all'editore ed il volume è quindi in stampa. Anche questo volume sarà stampato con parziale contributo del CSFI.
3. I volumi della collana Fauna d'Italia in fase di preparazione per il 2017 sono:
   - Lepidoptera Coleophoridae (autore Giorgio BALDIZZONE): la consegna prevista nel gennaio 2017 slitterà di pochi mesi. Tutor del volume per il CSFI è l'accademico Achille Casale;
   - Homoptera Psylloidea (autore l'accademico Carmelo RAPISARDA): come già riferito a Novembre 2016, è prevista la consegna nell'autunno 2017. Tutor del volume è l'Accademico Bruno Massa.

4. Per gli anni successivi sono in preparazione i seguenti volumi:
   - Lepidoptera "Rhopalocera" (autori l'Accademico Emilio Balletto *et al.*). Tutor del volume sono gli Accademici Achille Casale e Marzio Zapparoli.
   - Cnidaria Scyphozoa (autori Fernando Boero *et al.*)
   - Plathelminthes Turbellaria (pars) (autori Marco Curini Galletti *et al.*)
   - Dermaptera (autori l'Accademico Augusto Vigna Taglianti *et al.*)
5. Come anticipato nella seduta di novembre 2016, nel gennaio 2017 un gruppo ristretto del CSFI (M.A. Bologna, M. Oliverio, M. Zapparoli) ha iniziato ad incontrarsi per impostare l'aggiornamento della "Checklist della fauna italiana". Si ricorda che la checklist non sarà in formato cartaceo ma solo informatico e sarà collegata al sito web del CSFI. Il progetto prevede l'aggiornamento tassonomico e faunistico dei Protozoi e dei Metazoi della fauna italiana. Per lo sviluppo di tale iniziativa lavoreranno anche due assegnisti di ricerca, finanziati da Lifewatch Italia; uno di tali assegni sarà bandito entro marzo 2017.
6. Il Comitato è stato coinvolto da ISPRA in una nuova convenzione, relativa al monitoraggio delle specie aliene invasive. Il contratto è stato firmato dai due Presidenti e siamo in attesa di ricevere il relativo contributo finanziario. La convenzione durerà un anno. Questo finanziamento verrà utilizzato per un borsista che opererà nel progetto e per cofinanziare i futuri volumi della Fauna.
7. In base a informali colloqui intercorsi a fine 2016, il Comitato sarà coinvolto da ISPRA in una seconda convenzione, per la continuazione del monitoraggio delle specie in Direttiva Habitat. Anche questi finanziamenti consentiranno al Comitato di partecipare alle spese per la stampa dei volumi della Fauna d'Italia.

5) Varie ed eventuali

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

Il Segretario — Piero Cravedi
Il Presidente — Romano Dallai

SEDUTA PUBBLICA

Sabato 19 febbraio 2017 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 presenti all'Assemblea Plenaria, partecipano altri studiosi e ricercatori ospiti dell'Accademia.

Il Presidente Romano Dallai invita l'Accademico Francesco Frati a presentare la lettura dal titolo:

"*Collemboli antartici: origine, evoluzione e adattamento*"

Segue un'interessante discussione, al termine della quale il Presidente ringrazia il relatore e coloro che sono intervenuti.
Il testo della lettura sarà pubblicato sugli Atti-Rendiconti 2017.

La Seduta è tolta alle ore 11:30.

Il Segretario — Piero Cravedi
Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA ORDINARIA

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

Sabato 18 febbraio 2017 alle ore 11:30, 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: R. Dallai, B. Giordana, V. Girolami, L. Masutti, M. Solinas.
Ordinari: A. Alma, A. Battisti, A. Binazzi, P. Cravedi, F. Frati, G. Gasperi, S. Maini, M. Maroli, M. Mazzini, A. Minelli, R. Nannelli, G. Nuzzaci, M. Olmi, F. Pennacchio, 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, M.V. Covassi, F. Frilli, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, L. Santini, V. Sbordoni, S. Zangheri; *Ordinari*: P.A. Audisio, M. A. Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, G. Delrio, A.M. Fausto,S. Longo, P. Luciano, C. Malva, R. Poggi, O. Triggiani, A. Vigna Taglianti.

Viene discusso il seguente Ordine del giorno:

1) Approvazione del verbale della seduta precedente (19 novembre 2016).
2) Comunicazioni del Presidente.
3) Esame e approvazione conto consuntivo anno finanziario 2016
4) Varie ed eventuali

1) Approvazione del verbale seduta precedente (19 novembre 2016)

Viene esaminato il verbale della Seduta Ordinaria di sabato 19 novembre 2016, già inviato a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici.

Il Segretario Piero Cravedi comunica che è stato segnalato l'errore di una data riportata a pagina 15. La data del 30 aprile 2014 è stata quindi corretta in 30 aprile 2016

Il verbale viene approvato all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

Il Presidente, a norma dell'art.7 del Regolamento, comunica che: la disponibilità di posti nelle diverse categorie di Accademici, al 30 aprile 2017 è la seguente:
– per Accademico Onorario posti liberi 2
– per Accademico Ordinario: posti liberi 6;
– per Accademico Straordinario posti liberi 7.

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 2017, secondo quanto previsto dall'art. 12 dello Statuto.

Il Presidente comunica inoltre che per gli Accademici Straordinari M. Biondi, R. Cervo, F. Nazzi e M. Zapparoli è scaduto il quinquennio di appartenenza.

A novembre avverrà la votazione per la conferma per il nuovo quinquennio (Art.10 dello Statuto)

3) Esame e approvazione conto consuntivo anno finanziario 2016

Il Presidente invita il Tesoriere R. Nannelli, a presentare il Conto consuntivo per l'anno finanziario 2016.

Il Tesoriere fa presente che il 9 febbraio scorso si è riunito presso il CREA-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 2017 e il Conto consuntivo 2016. Erano presenti solo i due componenti Accademici (Marco Vittorio Covassi e Pio Federico Roversi) in quanto il rappresentante del Ministero dei Beni culturali, Dott.sa Adele De Luca, non è potuta intervenire per ragioni di salute. Aveva fatto però pervenire per e-mail, insieme alla giustificazione per la sua assenza, una relazione in cui esprime parere positivo all'approvazione sia del bilancio preventivo 2017 sia del conto consuntivo 2016; la relazione è stata poi allegata al verbale della riunione.

Il Tesoriere illustra quindi all'Assemblea i principali capitoli del Conto consuntivo evidenziando il notevole incremento del contributo assegnato dal MIBACT (15.998 Euro) per l'attività culturale svolta dall'Accademia nel 2016. Tale finanziamento deve essere rendicontato entro la fine del mese di marzo 2017. Parte del finanziamento è già stato impegnato nel 2016 e parte verrà utilizzato per le spese di pubblicazione degli Atti e Rendiconti dell'Accademia 2016, parte per la pubblicazione di due monografie relative alle Tavole Rotonde tenute dall'Accademia nel 2016 (febbraio e novembre). Con il finanziamento MIBACT è stata impegnata anche la caparra confirmatoria per l'impegno dei locali (in Napoli) dove si terrà il congresso ECE 2018 (fattura n. 276, Agenzia Event Planet) e la quota di pertinenza dell'Accademia per la pubblicazione (anno 2016) della rivista on-line Entomologia (fattura n. 401, del 21/12/2016, Pagepress).

Il Tesoriere informa anche che nel mese di novembre 2016 hanno raggiunto la loro scadenza i titoli bancari (valore 50.000 Euro) costituenti il fondo inalienabile dell'Accademia, tale cifra è pertanto rientrata nel conto corrente dell'Accademia e in base all'art. 2 dello Statuto deve essere reimpiegato sulla base delle indicazioni dell'Assemblea.

Completata l'illustrazione e non essendovi richieste di ulteriori dettagli, il Presidente pone in votazione il Conto consuntivo 2016 che viene approvato all'unanimità e che verrà conservato agli atti insieme al Bilancio preventivo 2017.

Il Tesoriere informa l'Assemblea che nel mese di gennaio è stata presentata al Ministero per i Beni, le Attività Culturali e il Turismo regolare richiesta di finanziamento per il 2017.

4) Varie ed eventuali.

Sulla base di quanto già segnalato dal Tesoriere a riguardo del fondo inalienabile dell'Accademia, il Presidente informa che sono già stati presi contatti con un funzionario della banca tesoriera sui possibili impieghi del fondo. La Dottoressa Tiziana Minelli, funzionario del Centro Enti di banca MPS, ha fornito informazioni al riguardo e al momento attuale sulla base di quanto stabilito dallo Statuto dell'Accademia la sottoscrizione di Titoli di Stato (BTP e CCT) determinano rendite con tasso compreso fra 0,36 e 0,53 % mentre l'investimento dell'intera cifra (50.000 Euro) sul Conto italiano di deposito garantito dalla banca (senza rischio) vincolato per almeno un triennio, può raggiungere un tasso di rendita di 0,9 -1,0 %.

Il Presidente considerando anche che i due fondi giacenti sul conto corrente (Fondo Marcello La Greca di 25.000 Euro e il fondo Premio Marco Osella di 21.210 Euro) non producono nessun tipo di reddito e che per i prossimi tre anni non è previsto il bando per il Premio Marco Osella, propone di ampliare l'investimento di altri 20.000 Euro in maniera da realizzare una piccola rendita da impiegare nell'attività accademica.

Si apre un breve dibattito e ribadito che l'investimento deve rispettare quanto stabilito dallo Statuto e non deve comportare rischi con perdita di valore per l'Accademia, l'Assemblea esprime parere favorevole all'investimento dei 50.000 Euro del fondo inalienabile più 20.000 Euro del fondo "Osella" e dà mandato al Presidente e al Tesoriere di formalizzare l'impegno del capitale per il triennio di mandato dell'attuale Consiglio di Presidenza.

La seduta dell'Assemblea Ordinaria è tolta alle ore 12:10.

Il Segretario — Piero Cravedi

Il Presidente — Romano Dallai

VERBALI DELLE ADUNANZE DEL 16-17 GIUGNO 2017

ASSEMBLEA PLENARIA

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

SEDUTA PUBBLICA

Venerdì 16 giugno 2017, alle ore 10,16, a Firenze presso la Sala Convegni della Banca "Monte dei Paschi di Siena", via de' Pecori 6/8, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori della Seduta Pubblica.

Sono presenti gli Accademici:

Emeriti: R. Dallai, B, Giordana, V. Sbordoni;
Ordinari: M.A. Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, P. Cravedi, C. Malva, M. Maroli, B. Massa, A. Minelli, R. Nannelli, R. Poggi,C. Rapisarda, A. Russo;
Straordinari:A. Ballerio, M. Biondi, R. Cervo, M. Cobolli, S. Colazza, C. Digilio, G. Gargiulo, A.P. Garonna, F. Nazzi, 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, V. Girolami, L. Masutti, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, L. Santini, M. Solinas, S. Zangheri; *Ordinari*: A. Alma, P.A. Audisio, A. Battisti, A, Binazzi, G. Delrio, A. M. Fausto, I. Floris, F. Frati, G. Gasperi, P. Luciano, S. Maini, M. Mazzini, F. Pennacchio, G. Rotundo, P.F. Roversi, L. Süss, O. Triggiani, S. Turillazzi, A. Vigna Taglianti; *Straordinari*: E. Balletto, C. Bandi, M. Cristofaro, E. De Lillo, A. Di Palma, G. S. Germinara, A. Lucchi, R. Pantaleoni, G. Pellizzari;

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

Il tema della Tavola Rotonda verte su:

"*Gli artropodi del suolo: diversità e biocenosi*"

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

Si susseguono gli interventi:

– Accademico Marzio Zapparoli: *Introduzione agli Artropodi del suolo*
– Stefano Taiti, CNR, Firenze: *Biologia e biogeografia degli Isopodi terrestri*
– Marco Isaia, Università di Torino: *I Ragni come bioindicatori nelle biocenosi epigee del suolo*
– Massimo Migliorini, Università di Siena: *Gli Acari Oribatei: un gruppo negletto di Artropodi edafici. Possono essere di aiuto?*
– Lucio Bonato, Università di Padova: *Chilopodi nelle biocenosi forestali europee: ricchezza e diversità*

Alle ore 12,30 la Seduta viene sospesa per la pausa pranzo.

La Seduta riprende alle ore 14,00 con un breve intervento del dott. Steve Hammoud, Direttore sostituto del Responsabile di Area Territoriale Toscana della Banca "Monte dei Paschi di Siena" che porge il benvenuto e assicura la disponibilità a ospitare altre analoghe iniziative .

– Loris Galli, Università di Genova: *L'importanza dei Proturi nelle biocenosi del suolo: stato delle conoscenze*
– Pietro Paolo Fanciulli, Università di Siena: *Aspetti biologici ed ecologici dei Collemboli nella fauna del suolo*
– Accademico Roberto Poggi: *Uno sguardo ai Coleotteri del suolo*
– Andrea Di Giulio, Università Roma Tre: *Le larve dei Coleotteri del suolo*
– Giacomo Santini, Università di Firenze: *Il ruolo degli Imenotteri Formicidi nelle comunità del suolo*
– Pierfilippo Cerretti, Sapienza Università di Roma: *Parassitoidi di Artropodi del suolo*
– Pier Mauro Giachino, Regione Piemonte: *Il Milieu Souterrain Superficiel, tra suolo e sottosuolo*
– Gianluca Piovesan: Università della Tuscia: *Qualità biologica del suolo e selvicoltura*
– Accademico Marzio Zapparoli: *Conclusioni e ringraziamenti*

Segue un'interessante discussione coordinata dall'Academico Marzio Zapparoli, al termine della quale la Seduta si conclude alle ore 17:45.

I testi delle relazioni verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2017 dell'Accademia.

Il Segretario — Piero Cravedi
Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA PLENARIA

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

Sabato 17 giugno 2017 alle ore 09:15, presso la propria sede in via Lanciola 12/A Cascine del Riccio Firenze, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori dell'Assemblea Plenaria alla presenza degli Accademici:

Emeriti: R. Dallai, B. Giordana, L. Masutti, L. Santini, V. Sbordoni.
Ordinari: A. Alma, A. Battisti, M. A.Bologna, P. Brandmayr, A. Casale, P. Cravedi, A. M. Fausto, C. Malva, M. Maroli, B. Massa, M. Mazzini, R. Nannelli, F. Pennacchio, R. Poggi, C. Rapisarda, A. Russo, P. F. Roversi.
Straordinari: A. Ballerio, E. Balletto, M. Biondi, R. Cervo, M. Cobolli, S. Colazza, C. Di Giglio, G. Gargiulo, A. P. Garonna, A. Lucchi, F. Nazzi, R. Pantaleoni, 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, V. Girolami, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, M. Solinas, S. Zangheri; *Ordinari*: P.A. Audisio, A. Binazzi, G. Delrio, I. Floris, F. Frati, G. Gasperi, S. Longo, P. Luciano, S. Maini, A. Minelli, G. Rotundo, L. Süss, O. Triggiani, S. Turillazzi, A. Vigna Taglianti; *Straordinari:* C. Bandi, M. Cristofaro, E. De Lillo, A. Di Palma, G. S. Germinara, G. Pellizzari.

Viene discusso il seguente Ordine del giorno:

1) Approvazione del verbale della seduta precedente (17 e 18 febbraio 2017).
2) Comunicazioni del Presidente.
3) Fauna d'Italia
4) Pubblicazioni dell'Accademia
5) Attività culturale 2017
6) Varie ed eventuali

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (17 e 18 febbraio 2017)

Vengono esaminati i verbali della Seduta Plenaria del 18 febbraio 2017 e delle Sedute Pubbliche del17 e del 18 febbraio 2017, già inviati a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici. I verbali vengono approvati all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

Il Presidente Romano DALLAI comunica che :

– L'Accademico Pio Federico ROVERSI è stato recentemente nominato Direttore del Centro di Ricerca Difesa e Certificazione del CREA - Consiglio per la ricerca e l'analisi dell'economia agraria, con decorrenza 1 giugno 2017.
  L'Assemblea si congratula con l'Accademico P.F. ROVERSI accogliendo la notizia con un caloroso applauso.
– Ripercussioni sulle attività di ricerca derivanti dall'applicazione del Protocollo di Nagoya. Il Presidente invita l'Accademico A. BALLERIO, che ha approfondito l'esame di tale protocollo, a illustrare le possibili conseguenze derivanti dalla sua applicazione. Il Protocollo di Nagoya, entrato in vigore nell'ottobre 2014, è principalmente finalizzato a regolamentare "l'utilizzazione delle risorse genetiche", intesa come "attività di ricerca e sviluppo sulla composizione genetica e/o biochimica delle risorse genetiche, anche attraverso l'applicazione della biotecnologia". In esecuzione del protocollo, l'Unione Europea, nell'aprile 2014, ha emanato un Regolamento che lo recepisce. Il Regolamento è già in vigore, anche se demanda ai singoli stati l'individuazione delle sanzioni per le violazioni. Per l'Italia è in fase di preparazione un Decreto di Legge (DDL) che dovrebbe definire le sanzioni e altri aspetti relativi al Regolamento. Il testo del DDL, attualmente è riservato. L'ambiguità di molte disposizioni genera svariati interrogativi e problemi. Segue una discussione da cui emergono le gravi preoccupazioni del settore. Tra gli altri, intervengono V. SBORDONI, che sollecita l'Accademia a prendere una decisa posizione sull'argomento, F. PENNACCHIO, M.A. BOLOGNA e P.F. ROVERSI, che suggeriscono la costituzione di un gruppo di Accademici per la preparazione di un documento. Gli Accademici che, a vario titolo, parteciperanno presso i Ministeri competenti agli incontri per la discussione del DDL, riferiranno poi circa l'evoluzione dell'importante normativa.

3) Fauna d'Italia

L'Accademico M.A. Bologna, Presidente del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia, su invito del Presidente, riferisce che:

Nei mesi successivi alla seduta del 18 febbraio 2017, l'attività del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia si è articolata come segue:

1. Volume 51, Ascidiacea, autori Francesco MASTROTOTARO e Riccardo BRUNETTI: Le bozze sono state corrette e la composizione del volume è stata completata, così come la copertina del volume stesso. In base a comunicazione ricevuta recentemente dall'Editore, la stampa è prevista in data 26 giugno 2017. Si ricorda che il volume sarà stampato con il parziale contributo del CSFI.
2. Volume 52 Hymenoptera Symphita I, autore Fausto PESARINI: l'Autore ha consegnato il testo e le figure, ma ha deciso di predisporre nuove fotografie delle specie. Per predisposizione delle bozze ha avuto un lieve rallentamento. La stampa è prevista comunque entro il 2017. Anche questo volume sarà stampato con parziale contributo del CSFI.
3. I volumi della collana Fauna d'Italia in fase di preparazione per il 2018 sono:
   – Lepidoptera Coleophoridae (autore Giorgio BALDIZZONE): la consegna prevista nel gennaio 2017 slitterà di pochi mesi, ma verrà presto sollecitata. Tutor del volume per il CSFI è l'accademico Achille CASALE.
   – Lepidoptera "Rhopalocera" (autori l'Accademico Emilio BALLETTO *et al*.). Di questo volume è stato presentato al Comitato una bozza della parte generale e di una prima parte di Sistematica. Tutor del volume sono gli Accademici Achille CASALE e Marzio ZAPPAROLI.
   – Homoptera Psilloidea (autore l'accademico Carmelo RAPISARDA): è confermata la consegna dei testi e delle figure nell'autunno 2017. Tutor del volume è l'Accademico Bruno MASSA.

Per gli anni successivi sono in preparazione i seguenti volumi:
- Cnidaria Scyphozoa (autori Fernando Boero *et al.*);
- Plathelminthes Turbellaria (pars) (autori Marco Curini GAlletti *et al*.);
- Dermaptera (autori l'Accademico Augusto Vigna Taglianti *et al*.).

4. La preparazione della nuova "Checklist della fauna italiana" in formato solo online sta proseguendo a cura di un gruppo di lavoro ristretto del CSFI (Bologna, Oliverio, Zapparoli). Si è in attesa, per il mese di Luglio del bando per un assegno di ricerca, a cura del CNR su fondi LifeWatch, previsto per marzo scorso.
5. Il Comitato è stato coinvolto da ISPRA in una nuova convenzione, relativa al monitoraggio delle specie aliene invasive e la prima tranche del contributo è stata versata. Come già accennato, il finanziamento verrà utilizzato per un borsista che opererà nel progetto e per cofinanziare i futuri volumi della Fauna. Il bando per tale borsa è già stato pubblicato dall'Università della Tuscia ed il concorso si concluderà il 28 giugno p.v.

4) Pubblicazioni dell'Accademia

Su invito del Presidente l'Accademico Roberto Nannelli informa che, come programmato, nel mese di marzo sono stati pubblicati sia in forma cartacea che in versione online, con attivazione sul sito dell'Accademia dei PDF liberi scaricabili, il volume degli Atti e Rendiconti dell'Accademia; Anno LXIV (2016) e le due monografie relative alle Tavole Rotonde tenute in febbraio e novembre 2016 (monografia n. 27 intitolata "Recenti acquisizioni per il controllo sostenibile di *Bactrocera oleae*" e monografia n.28 intitolata "Avversità delle api e nuove minacce da insetti alieni per l'apicoltura italiana: *Aethina tumida* e *Vespa velutina*"). I costi per la preparazione del volume e dei pdf della versione online sono stati coperti con il finanziamento del MIBACT assegnato nel 2016; purtroppo la disponibilità economica rimanente ha permesso di stampare solo un numero limitato di copie che sono servite per il "deposito obbligatorio" presso le Biblioteche Nazionali Istituzionali, la biblioteca storica del MIPAAF e l'invio ai repertori bibliografici internazionali. Le poche copie rimaste sono a disposizione delle biblioteche universitarie, di musei e di Accademici che ne faranno richiesta. Sia il volume degli Atti sia le due monografie, in formato PDF, sono state inviate per posta elettronica a tutti gli Accademici.

Per il presente anno è programmata la preparazione del volume degli Atti relativo al 2017 e le monografie relative alle Tavole Rotonde svolte nel 2017, se il Ministero dei Beni Ambientali, Culturali e del Turismo assegnerà all'Accademia un adeguato finanziamento. Sicuramente la stampa delle citate pubblicazioni avverrà nei primi mesi del prossimo anno, ma il curatore delle pubblicazioni invita i rispettivi coordinatori delle Tavole Rotonde a sollecitare i relatori a fornire, entro fine anno, il testo dei loro interventi.

5) Attività culturali 2017

Il Presidente ricorda che le Adunanze del prossimo novembre si terranno a Napoli, come prosecuzione dell'incontro annuale dello European PhD network in "Insect Science" e delle Giornate Culturali di Entomologia. Secondo quanto emerso nella discussione della Assemblea Plenaria dello scorso febbraio, si sono apportate alcune variazioni al programma già comunicato. La Tavola Rotonda coordinata dal prof. Stefano Vanin su "Insetti: dalle teche dei musei alle aule dei tribunali, dai laboratori ai libri di storia" non si terrà, come originariamente previsto il 13 ottobre a Firenze, ma nel pomeriggio di venerdì 17 novembre a Napoli. Nella mattina dello stesso venerdì 17 novembre ci sarà il Simposio "Interazioni insetto-pianta" coordinato dalle Accademiche A.M.R. Gatehouse e C. Digilio. L'attività culturale si completerà sabato 18 novembre con la lettura dell'Accademico Vincenzo Girolami "Simbiosi dei Ditteri Tripetidi".

Il programma delle attività culturali è già stato quasi completato anche per il 2018 e figura nel verbale dell'Assemblea Plenaria del19 febbraio 2017. Resta da definire la Tavola Rotonda proposta dagli Accademici E. Balletto e A. Casale per la Seduta Pubblica di novembre 2018.

Il Presidente ricorda, inoltre, che nel luglio del 2018 si terrà a Napoli l'XI European Congress of Entomology ed evidenzia che è necessario iniziare a pensare all'organizzazione del prossimo

Congresso Nazionale Italiano. Segue una breve discussione dalla quale emerge l'importanza di lasciare un adeguato intervallo tra le edizioni dei Congressi Nazionali e altri importanti Convegni organizzati in Italia o all'estero. L'argomento sarà ripreso in una prossima Adunanza.

6) Varie ed eventuali

Nessuna

La seduta dell'Assemblea Ordinaria è tolta alle ore 10:00.

Il Segretario — Piero CRAVEDI
Il Presidente — Romano DALLAI

SEDUTA PUBBLICA

Sabato 17 giugno 2017 alle ore 10:00, 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 presenti all'Assemblea Plenaria, partecipano altri numerosi studiosi e ricercatori ospiti dell'Accademia.

Il Presidente Romano DALLAI invita il prof. Stefano VANIN dell'University of Huddersfield - UK a presentare la lettura dal titolo:

"*Entomologia Forense: uno sgardo di dettaglio"*

Segue un'interessante discussione, al termine della quale il Presidente ringrazia il relatore e coloro che sono intervenuti.

Il testo della lettura sarà pubblicato sugli Atti-Rendiconti 2017.
La Seduta è tolta alle ore 11:00.

Il Segretario — Piero CRAVEDI
Il Presidente — Romano DALLAI

ASSEMBLEA ORDINARIA

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

Sabato 17 giugno 2017 alle ore 11:00, 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: R. DALLAI, B. GIORDANA, L. MASUTTI, L. SANTINI, V. SBORDONI
Ordinari: A. ALMA, A. BATTISTI, M.A. BOLOGNA, P. BRANDMAYR, A. CASALE. P. CRAVEDI, A. M.FAUSTO, C. MALVA, M. MAROLI, B. MASSA, M. MAZZINI, R. NANNELLI, F. PENNACCHIO, R. POGGI, C. RAPISARDA, A. RUSSO, P.F. ROVERSI.

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, V. Girolami, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, M.M. Principi, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, M. Solinas, S. Zangheri. *Ordinari*: P.A. Audisio, A. Binazzi, G. Delrio, I. Floris, F. Frati, G. Gasperi, S. Longo, P. Luciano, S. Maini, A. Minelli, G, Rotundo, L. Süss, O. Triggiani. S. Turillazzi, A. Vigna Taglianti.

Viene discusso il seguente ordine del giorno

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (18 febbraio 2017)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Preliminare esame delle Modifiche di Statuto e di Regolamento
4) Varie ed eventuali

Per la discussione del punto 3) Preliminare esame delle Modifiche di Statuto e Regolamento, su proposta del Presidente, viene invitato a partecipare, per le sue specifiche competenze, l'Accademico Straordinario Alberto Ballerio.

1) Approvazione del verbale della seduta precedente(18 febbraio 2017)

Viene esaminato il verbale dell'Assemblea Ordinaria di sabato 18 febbraio 2017, già inviato a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici.

Il verbale viene approvato all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

Il Presidente comunica che i dottori Emanuele Mazzoni e Rinaldo Nicoli Aldini, organizzatori del X Simposio "La difesa antiparassitaria nelle industrie alimentari e la Protezione degli Alimenti" hanno richiesto il Patrocinio dell'Accademia. Come per le precedenti edizioni dell'iniziativa, che con cadenza quinquennale si svolge a Piacenza,

il Consiglio di Presidenza nella seduta delll'8 aprile 2017 ha espresso apprezzamento accogliendo favorevolmente la richiesta.

Il Presidente comunica inoltre che, a norma dello Statuto (Articoli 12 e 13) e del Regolamento (Articolo 7), a fronte di 2 posti disponibili per Accademico Onorario, 6 posti per Accademico Ordinario e 7 posti per Accademico Straordinario, sono pervenute entro il 30 aprile 2017 le seguenti proposte per nuovi Accademici, che saranno votate nell'Assemblea Ordinaria del febbraio 2018:

Una proposta per Accademico Onorario che riguarda il professor:

– Rolf G. Beutel, presentato dagli Accademici Francesco Frati, Alessandro Minelli e Francesco Pennacchio;
– Quattro proposte per Accademici Ordinari che riguardano gli Accademici Straordinari:
  - Rita Cervo, presentata dagli Accademici Stefano Turillazzi, Ignazio Floris e Pietro Luciano;
  - Marina Cobolli, presentata dagli Accademici Marco A. Bologna, Anna Maria Fausto e Paolo Audisio;
  - Enrico De Lillo, presentato dagli Accademici Giorgio Nuzzaci, Mario Solinas e Giuseppe Rotundo;
  - Giuseppina Pellizzari, presentata dagli Accademici Andrea Battisti, Sebastiano Barbagallo e Alessandro Minelli;
– Cinque proposte per Accademici Straordinari che riguardano i professori:
  - Eric Conti, presentato dagli Accademici Giorgio Nuzzaci, Mario Solinas e Luciano Süss;
  - Leonardo Dapporto, presentato dagli Accademici Stefano Turillazzi, Francesco Pennacchio e Francesco Frati;
  - Sauro Simoni, presentato dagli Accademici Pio Federico Roversi, Pietro Luciano e Andrea Battisti;

- Haralabos TSOLAKIS, presentato dagli Accademici Salvatore RAGUSA DI CHIARA, Giorgio NUZZACI e Luciano SÜSS;
- Stefano VANIN, presentato dagli Accademici Augusto VIGNA TAGLIANTI, Anna Maria FAUSTO e Paolo AUDISIO.

Il Presidente fa presente che hanno completato il quinquennio gli Accademici Straordinari Maurizio BIONDI, Francesco NAZZI e Marzio ZAPPAROLI e dovranno essere confermati a febbraio.

L'Accademica Rita CERVO, anch'essa in scadenza di quinquennio, è stata proposta per il passaggio alla categoria degli Ordinari.

3) Preliminare esame delle modifiche di Statuto e di regolamento

Alla discussione di questo punto è presente anche l'Accademico Straordinario Alberto BALLERIO.

Il Presidente ricorda che sabato 8 aprile si è tenuta a Firenze una riunione degli Accademici Emeriti e Ordinari, a seguito della convocazione straordinaria indetta per una preliminare discussione su alcuni punti dello Statuto, in corso di revisione. Alla riunione era stato invitato, per le sue specifiche competenze, l'Accademico Straordinario Alberto BALLERIO. All'incontro hanno partecipato solo i colleghi che più agevolmente potevano raggiungere la sede, ma la riunione è stata comunque proficua ed ha permesso di conoscere il parere degli intervenuti e avere una prima valutazione sugli argomenti oggetto della discussione. Allo scopo di conoscere l'orientamento della maggior parte degli Accademici Emeriti e Ordinari sui punti evidenziati, si è convenuto di preparare un documento sotto forma di questionario che è poi stato inviato ai colleghi richiedendo di far avere alla Presidenza, dopo attenta valutazione, il loro parere.

L'esito del questionario è stato inviato agli Accademici in data 3 giugno 2017 e viene qui riassunto. Sono pervenute 26 risposte. Al primo quesito riguardante l'introduzione della nuova categoria dei "Seniores" in sostituzione di quella degli "Emeriti" per gli Accademici che abbiano superato i 75 anni di età, la maggioranza delle risposte è stata favorevole.

Nell'ambito degli Ordinari Seniores, su proposta di tre Accademici Ordinari o Seniores, potranno essere nominati, previa votazione, nella categoria degli Emeriti, personalità che abbiano acquisito meriti scientifici di prestigio o che si siano distinti per il loro impegno nell'Accademia.

Diversi colleghi, però, pur condividendo la nuova terminologia per gli Accademici Ordinari che raggiungeranno il 75° anno di età, hanno espresso perplessità sull'abolizione della categoria degli attuali "Emeriti" e si sono dichiarati disposti a considerare la permanenza in tale categoria per coloro che ne fanno parte in base allo Statuto vigente. Si avrebbero pertanto due categorie di Accademici Ordinari over 75 anni: gli "Emeriti ad esaurimento" e i "Seniores".

Come sopra riportato, è prevista anche la possibilità di elezione, fra i "Seniores", di nuovi Accademici Emeriti, secondo criteri di merito e non di anzianità.

Solo un collega ha espresso la preferenza per il mantenimento della situazione attuale.

Per quanto riguarda il quesito relativo alla decadenza di un membro "Ordinario" dal titolo di Accademico per la sua prolungata assenza dall'attività dell'Accademia, vi è stata una unanimità per l'applicazione della procedura di decadenza.

Anche per quanto riguarda il quesito relativo alla conferma degli Accademici Straordinari, vi è stato un generale consenso per l'attuazione della conferma al termine del primo quinquennio, senza ulteriori verifiche. Quattro colleghi hanno espresso il parere che anche per questi Accademici sia possibile la decadenza per assenze prolungate dalle riunioni dell'Accademia; altri due colleghi gradirebbero il termine "Membri corrispondenti" per questa categoria.

Per quanto riguarda il quesito relativo alla durata del mandato del Presidente e del Vice-Presidente, vi è stata una unanimità sulla durata di due mandati per entrambe queste cariche.

Infine per quanto riguarda il numero degli Accademici Onorari vi è stata una larga maggioranza in favore dell'aumento del numero di posti disponibili da 10 a 15, ma vi sono perplessità espresse da alcuni colleghi che lamentano la scarsa partecipazione di questi Accademici alle riunioni. Si fa tuttavia presente che gli Accademici Onorari sono personalità scientifiche straniere per le quali non è sempre facile ed economicamente sostenibile assicurare una partecipazione all'attività dell'Accademia.

Segue una breve discussione al termine della quale l'Assemblea concorda sull'assegnare l'incarico all'Accademico Straordinario Alberto BALLERIO, per la sua competenza giuridica, di preparare una versione dello Statuto dell'Accademia recependo i suggerimenti pervenuti.

Le modifiche saranno poi discusse in una prossima Assemblea Ordinaria, secondo quanto previsto dallo Statuto attualmente in vigore.

4) Varie ed eventuali

Nessuna

La seduta dell'Assemblea Ordinaria è tolta alle ore 12:00

Il Segretario — Piero CRAVEDI

Il Presidente — Romano DALLAI

VERBALI DELLE ADUNANZE DEL 17-18 NOVEMBRE 2017

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

SEDUTA PUBBLICA

Venerdì 17 novembre 2017, alle ore 9:30, a Napoli presso il Centro Congressi Federico II in via Partenope, 36, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori della Seduta Pubblica.

Sono presenti gli Accademici:

Emeriti: R. Dallai, B. Giordana;
Ordinari: Alma, A. Battisti, M.A Bologna, P. Brandmayr, P. Cravedi, A.M. Fausto, F. Frati, G. Gasperi, C. Malva, R. Nannelli, F. Pennacchio, C. Rapisarda, A. Russo;
Onorari: A.M.R. Gatehouse
Straordinari: C. Bandi, M. Biondi, R. Cervo, S. Colazza, E. De Lillo, C. Digilio, A. Di Palma, C. Duso, A.P. Garonna, G.S. Germinara, N. Isidoro, F. Nazzi, M. Zapparoli.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, L. Bullini, M.V. Covassi, F. Frilli, V. Girolami, L. Masutti, E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, L. Santini, V. Sbordoni, M. Solinas, S. Zangheri. *Ordinari*: M. Binazzi, A. Casale, I. Floris, S. Longo, P. Luciano, S. Maini, M. Maroli, B. Massa, A. Minelli, G. Nuzzaci, R. Poggi, P.F. Roversi, L. Süss, O. Triggiani. *Straordinari*: A. Ballerio, E. Balletto, M. Cobolli, S. Colazza, G. Gargiulo, A. Lucchi.

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

Il tema della Tavola Rotonda verte su:

"Insect-Plant interactions"

Il Presidente Romano Dallai apre la Seduta Pubblica e invita le Accademiche A.M.R. Gatehouse e C. Digilio, organizzatrici della Tavola Rotonda, a coordinare i lavori.

Si susseguono gli interventi:

– Accademica C. Digilio: *introduzione*
– A.M.R. Gatehouse, University of Newcastle, UK - *Plant response to stress: can this be exploited for crop protection?*
– Deepa Pureswaran, Laurentian Forestry Centre, Quebec, Canada - *Host tree-insect interactions in northern forest ecosystems in a changing climate.*
– Cristina Digilio, University Federico II, Napoli – *Insect and microorganisms interactions and the induction of plant defence.*
– Salvatore Cozzolino, University Federico II, Napoli – *Smart plants or naive insects?*
– Rosa Rao, University Federico II, Napoli – *How plants react to the insect challenge.*
– David Giron CRNS / Université Francois Rabelais, Tours, France – *Are leaf-miners and gall-inducers part of a continuum of plant manipulators?*
– Stefano Colazza, University of Palermo – *Ecology of egg parasitoids in crop protection.*

Segue un'interessante discussione coordinata dalle Academiche A.M.R. Gatehouse e C. Digilio al termine della quale la Seduta si conclude alle ore 13:30.

I testi delle relazioni verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2017 dell'Accademia.

SEDUTA PUBBLICA

La Seduta Pubblica riprende alle ore 14,45 con la Tavola Rotonda su *"Insects for the Court, Insects for the history: a journey through forensic entomology and funerary archaeoentomology"* coordinata dal prof. S. Vanin dell'University of Huddersfield, UK.

Il Presidente Romano Dallai apre la Seduta Pubblica e invita il prof. S. Vanin a introdurre e coordinare i lavori.

Si susseguono gli interventi:

– Introduzione del Coordinatore Stefano Vanin
– Stefano Vanin, University of Huddersfield, UK - *Forensic entomology and funerary archaeoentomology: a source of answers.*
– Carlo Campobasso, University of Campania Luigi Vanvitelli, Napoli - *PMI estimation a challenge for forensic pathologists*
– Gino Fornaciari, University of Pisa – *Hidden information within mummies and other burials.*

Segue un'interessante discussione coordinata dal prof. S. Vanin, al termine della quale la Seduta si conclude alle ore 16,30.

I testi verranno pubblicati sugli Atti-Rendiconti 2017 dell'Accademia.

Il Segretario — Piero Cravedi
Il Presidente — Romano Dallai

ASSEMBLEA PLENARIA

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

Sabato 18 novembre 2017 alle ore 10:30, a Napoli presso il Centro Congressi Federico II in via Partenope 36, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori dell'Assemblea Plenaria.

Sono presenti gli Accademici:

Emeriti: R. Dallai, B. Giordana.
Ordinari: A. Alma, A. Battisti, M.A. Bologna, P. Brandmayr, P. Cravedi, A.M. Fausto, I. Floris, F. Frati, G. Gasperi, C. Malva, R. Nannelli, F. Pennacchio, C. Rapisarda, A. Russo.
Onorari: A.M.R. Gatehouse.
Straordinari: C. Bandi, M.Biondi, R. Cervo, E. De Lillo, C. Digilio, A. Di Palma, C. Duso, A.P. Garonna, S. Germinara, N. Isidoro, F. Nazzi, M. Zapparoli.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, L. Bullini, M. V. Covassi, F. Frilli, V. Girolami, L. Masutti,E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, L. Santini, V. Sbordoni, M. Solinas, S. Zangheri. *Ordinari*: A. Binazzi, A. Casale, S. Longo, P. Luciano,S. Maini, M. Maroli, B. Massa, M. Mazzini, A Minelli, G. Nuzzaci, R. Poggi, P. F. Roversi, L. Süss, O.Triggiani. *Straordinari*: A. Ballerio, E. Balletto, S. Colazza, M. Cobolli, A. Lucchi, G. Gargiulo, A. Lucchi.

Viene discusso il seguente Ordine del giorno:

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (17 e 18 giugno 2017)
2) Comunicazioni del Presidente
3) Fauna d'Italia
4) Programma delle sedute dell'anno 2018 e dell'Attività culturale degli anni 2018 e 2019
5) Varie ed eventuali

1) Approvazione dei verbali delle sedute precedenti (17 e 18 giugno 2017)

Vengono esaminati i verbali delle Sedute Pubbliche del 17 e 18 giugno 2017 e della Assemblea Plenaria del 18 giugno 2017, già inviati a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici.

I verbali vengono approvati all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

Il Presidente inizia comunicando la recente scomparsa dell'Accademica Emerita Maria Matilde PRINCIPI e invita l'Assemblea a un minuto di raccoglimento.

L'Accademica M.M. PRINCIPI, ultra centenaria, è stata fino all'ultimo molto attenta alle attività dell'Accademia, mantenendo contatti sia con i colleghi della sede di Bologna sia con il Presidente che, a maggio, in occasione della Festa della donna si recò a trovarla per esprimerle il nostro affetto.

Per la commemorazione, prevista per il febbraio 2019, è stato designato l'Accademico Roberto PANTALEONI che ha a lungo collaborato con la prof.ssa PRINCIPI.

Il Presidente ricorda anche che rimane l'impegno di commemorare anche l'Accademica Fausta PEGAZZANO e l'Accademico Antonio GALVAGNI.

Per la commemorazione dell'Accademica F. PEGAZZANO, l'Accademico R. NANNELLI si impegna per il novembre 2018, mentre per quella dell'Accademico A. GALVAGNI verrà interpellato l'Accademico B. MASSA, per il comune settore di ricerca.

Il Presidente comunica che gli Accademici P. CRAVEDI, V. SBORDONI e L. SÜSS hanno compiuto il 75° anno e, secondo quanto previsto dallo Statuto, sono quindi diventati Emeriti.

Il Presidente riferisce inoltre che in mattinata, prima dell'inizio delle adunanze, il Consiglio di Presidenza ha avuto l'opportunità di visitare il Centro Congressi presso la Stazione Marittima, in cui si terrà dal 2 al 6 luglio 2018 il congresso Europeo di Entomologia.

La struttura e i servizi sono apparsi funzionali e ben collocati e offriranno una preziosa base per la buona riuscita del Congresso.

Il Presidente evidenzia anche la necessità di iniziare a pensare alla data e alla sede del prossimo Congresso Nazionale italiano di Entomologia.

3) Fauna d'Italia

Su invito del Presidente l'Accademico Marco A. BOLOGNA, Presidente del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia (CSFI), prende la parola e riferisce che:

Nei mesi successivi alla seduta del giugno 2017, l'attività del Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia si è articolata come segue:

1. Volume 51, Ascidiacea, autori Francesco MASTROTOTARO e Riccardo BRUNETTI: il volume è stato pubblicato ed è disponibile. E' stato stampato con il parziale contributo del CSFI.
2. Volume 52, Hymenoptera Symphita I, autore Fausto PESARINI: sono state consegnate le bozze corrette in data 16 novembre 2017. Sarà forse necessario predisporre un'ulteriore bozza per alcu-

ni problemi sulle figure. La stampa è prevista comunque entro il 2017. Anche questo volume è stampato con parziale contributo del CSFI.

3. Volume 53, Lepidoptera Coleophoridae, autore Girogio BALDIZZONE: il testo completo e tutte le figure sono state consegnate al CSFI in data 17.11.17. Dopo una breve revisione stilistica da parte del Comitato sarà consegnato all'Editore per la stampa che verrà effettuata nel 2018. Anche questo volume sarà stampato con parziale contributo del CSFI.
4. I volumi della collana Fauna d'Italia in fase di preparazione per il 2018 sono:
   - Lepidoptera "Rhopalocera" (autori l'Accademico Emilio BALLETTO *et al*.). Di questo volume è stato presentato al Comitato una bozza della parte generale di una prima parte di Sistematica. Tutor del volume sono gli Accademici Achille CASALE e Marzio ZAPPAROLI.
   - Homoptera Psilloidea (autore l'accademico Carmelo RAPISARDA): è confermata la consegna dei testi e delle figure nell'autunno 2017. Tutor del volume è l'Accademico Bruno MASSA.

   Per gli anni successivi sono in preparazione i seguenti volumi:
   - Cnidaria Scyphozoa (autori Fernando BOERO *et al*.);
   - Plathelminthes Turbellaria (pars) (autori Marco CURINI GALLETTI *et al*.);
   - Dermaptera (autori l'Accademico Augusto VIGNA TAGLIANTI *et al.)*.
5. La preparazione della nuova "Checklist della fauna italiana" in formato solo online sta proseguendo a cura di un gruppo di lavoro ristretto del CSFI (BOLOGNA, OLIVERIO, ZAPPAROLI). A fine Novembre è prevista la conclusione dell'iter per un assegno di ricerca, a cura del CNR su fondi LifeWatch, previsto per marzo scorso. Sempre a fine Novembre vi sarà una riunione organizzativa su questo tema a cura del CSFI.
6. Il CSFI continua il lavoro in convenzione con ISPRA per il monitoraggio delle specie aliene invasive. Un borsista è stato attivato su questo lavoro la cui prima fase si concluderà a dicembre 2017 e la seconda nel giugno 2018.

4) Programma delle sedute dell'anno 2018 e dell'Attività culturale degli anni 2018 e 2019

Il Presidente conferma che nel 2018 le adunanze dell'Accademia si terranno a Firenze il 23 e 24 febbraio, l'8 e 9 giugno e il 16 e 17 novembre.

Nella Seduta Pubblica di venerdì 23 febbraio 2018 è prevista la Tavola Rotonda su "Banche genetiche e crioconservazione degli insetti" coordinata dall'Accademico Pio Federico ROVERSI.

Nella Seduta Pubblica di sabato 24 febbraio 2018 è prevista la lettura dell'Accademico Giuseppe GARGIULO su "La *Drosophila* come sistema modello per lo studio delle interazioni molecolari ospite-parassitoide"

Nella Seduta Pubblica di venerdì 8 giugno 2018 è prevista la Tavola Rotonda su "Nuovi approcci genomici e molecolari per il controllo di specie invasive di insetti di interesse agrario e sanitario" coordinata dall'Accademico Giuliano GASPERI.

Nella Seduta Pubblica di sabato 9 giugno 2018 è prevista la lettura dell'Accademico Emilio BALLETTO su" Mirmecofilia delle farfalle diurne europee".

Dal 2 al 6 luglio 2018 si terrà a Napoli l '"European Congress of Entomology" organizzato congiuntamente dalla Società Entomologia Italiana e dalla nostra Accademia.

Nella Seduta Pubblica di venerdì 16 novembre 2018 è prevista la Tavola Rotonda su "Estinzioni globali ed estinzioni locali" coordinata dagli Accademici Emilio BALLETTO e Achille CASALE.

Nella Seduta Pubblica di sabato 17 novembre 2018 è prevista la lettura dell'Accademico Roberto PANTALEONI su "Il nemico condiviso e l'entomologia applicata." L'Accademico Roberto NANNELLI commemorerà l'Accademica Fausta PEGAZZANO.

Si auspica che le Tavole Rotonde del venerdì pomeriggio si possano tenere in centro a Firenze presso la sala Convegni della Banca "Monte dei Paschi di Siena" in via de' Pecori 6/8. Il Tesoriere Roberto NANNELLI si incarica di prendere gli opportuni contatti.

Il Presidente evidenzia la necessità di una programmazione poliennale da inserire nelle richieste di finanziamento che, frequentemente, coinvolgono un triennio e sollecita proposte di attività anche per l'anno 2019.

Segue una breve discussione da cui emergono le seguenti proposte:

A febbraio potrebbe essere organizzata una Tavola Rotonda sulla Cimice asiatica a cura dell' Accademico Albero ALMA e della prof.ssa Luciana TAVELLA.

Sempre a febbraio si chiederà all'Accademico Girolami di tenere la lettura sulle simbiosi dei Ditteri Tripetidi già prevista per il 2017.

A giugno si prospetta una Tavola Rotonda sui Lepidotteri defogliatori della Sardegna. L'Accademico Ignazio FLORIS approfondirà la possibilità di organizzare l'evento.

Sempre a giugno si prospetta la possibilità di invitare l'Accademica Marina COBOLLI a tenere una lettura.

Per novembre viene proposta una Tavola Rotonda sulle "Nuove Tecnologie nella difesa delle derrate" a cura dell'Accademico Salvatore GERMINARA. La lettura del sabato potrebbe riguardare "Il controllo dell'ailanto" a cura degli Accademici Massimo CRISTOFARO ed Enrico DE LILLO.

Le proposte emerse verranno quanto prima approfondite con i relatori proposti in modo da definire con maggiore precisione il programma per l'anno 2019.

4) Varie ed eventuali

Nessuna

La seduta dell'Assemblea plenaria è tolta alle ore 11:30

Il Segretario — Piero CRAVEDI
Il Presidente — Romano DALLAI

SEDUTA PUBBLICA

Sabato 18 novembre 2017 alle ore 11:30, a Napoli presso li Centro Congressi Federico II, via Partenope, 39, il Presidente Romano DALLAI dichiara aperta la Seduta Pubblica.

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

Il Presidente R. DALLAI invita il Prof. Gennaro VIGGIANI dell'Università di Napoli a presentare la lettura dal titolo:

Attuali ricerche su specie di Asphondylia *(Diptera: Cecidomyiidae) causanti galle fiorali su Lamiaceae*

Segue un'interessante discussione, al termine della quale il Presidente ringrazia il relatore e coloro che sono intervenuti.

Il testo della lettura sarà pubblicato sugli Atti-Rendiconti 2017.

La Seduta è tolta alle ore 12:30.

Il Segretario — Piero CRAVEDI
Il Presidente — Romano DALLAI

ASSEMBLEA ORDINARIA

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

Sabato 18 novembre 2017 alle ore 12:30, a Napoli presso il Centro Congressi Federico II in via Partenope, 39, come da convocazione del Presidente, iniziano i lavori dell'Assemblea Ordinaria alla presenza degli Accademici:

Emeriti: R. Dallai, B. Giordana.
Ordinari: A. Alma, A. Battisti, M.A. Bologna, P. Brandmayr, P. Cravedi, A.M. Fausto, I. Floris, F. Frati, G. Gasperi, C. Malva, R. Nannelli, F. Pennacchio, C. Rapisarda, A. Russo.

Hanno giustificato la propria assenza gli Accademici: *Emeriti*: A. Arzone, S. Barbagallo, P. Baronio, A.M. Bonvicini Pagliai, G. Briolini, L. Bullini, M. V. Covassi, F. Frilli, V. Girolami, L. Masutti,E. Mellini, G. Mineo, R. Monaco, G. Osella, S. Ragusa di Chiara, L. Rivosecchi, L. Santini, V. Sbordoni, M. Solinas, S. Zangheri. *Ordinari*: A. Binazzi, A. Casale, S. Longo, P. Luciano,S. Maini, M. Maroli, B. Massa, M. Mazzini, A Minelli, G. Nuzzaci, R. Poggi, P. F. Roversi, L. Süss, O.Triggiani.

Viene quindi discusso il seguente Ordine del giorno:

1) Approvazione del verbale della seduta precedente 17 giugno 2017
2) Comunicazioni del Presidente.
3) Esame e approvazione del Bilancio preventivo a.f. 2018
4) Varie ed eventuali.

1) Approvazione del verbale della seduta precedente (17 giugno 2017)

Viene esaminato il verbale della Seduta Ordinaria del 17 giugno 2017, già inviato a suo tempo per posta elettronica a domicilio degli Accademici.

Il verbale viene approvato all'unanimità.

2) Comunicazioni del Presidente

Il Presidente ricorda che le votazioni per l'elezione dei nuovi Accademici Ordinari, Straordinari e Onorari e per la conferma degli Accademici Straordinari in scadenza di quinquennio sono state spostate al prossimo febbraio. I proponenti dovranno presentare la documentazione dell'attività scientifica dei candidati entro la fine di dicembre 2017.

In merito alla proposta di modifica di Statuto, il Consiglio di Presidenza si è recentemente riunito per recepire i suggerimenti pervenuti da vari Accademici. A breve verrà completato un testo, con il supporto legale dell'Accademico A. Ballerio, che verrà inviato agli Accademici Ordinari ed Emeriti sollecitando ulteriori commenti. In base a tali commenti verrà preparato un testo che si prevede di poter presentare all'Assemblea Ordinaria di febbraio.

3) Esame e approvazione Bilancio preventivo anno finanziario 2018

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 2018, in cui dovrà essere ratificato anche il Bilancio consuntivo 2017.

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 2018. Sulla base della richiesta di contributo inoltrata al MIBACT nel mese di gennaio 2017, solo nei primi giorni di ottobre è pervenuta al Presidente la comunicazione di assegnazione di un contributo di 11.500 Euro per l'attività culturale dell'Accademia. Tale finanziamento, se non intervengono comunicazioni successive, deve essere rendicontato entro i primi giorni di marzo 2018.

Il Consiglio di Presidenza ha programmato la preparazione e stampa del volume degli Atti dell'Accademia 2017, ritiene anche importante realizzare tre monografie con i contributi presentati nelle Tavole Rotonde organizzate dall'Accademia nel corso del 2017. Si è inoltre convenuto il rimborso delle spese sostenute per il viaggio e il soggiorno a Napoli dell'Accademica GATEHOUSE, coordinatrice della Tavola Rotonda "Insect-plant interactions" tenuta nella Seduta pubblica di venerdì 17 novembre, e il rimborso delle spese per il Relatore straniero invitato nella prossima Tavola Rotonda, coordinata dall'Accademico Pio Federico ROVERSI, che l'Accademia organizzerà nel mese di febbraio 2018 a Firenze. Altra parte del finanziamento potrà essere impegnato per l'attività editoriale del Comitato per la Fauna d'Italia ed eventualmente come anticipo di spese organizzative del Congresso Europeo di Entomologia programmato a Napoli nel luglio del 2018.

Completata l'illustrazione e non essendovi richieste di ulteriori dettagli, il Presidente pone in votazione il Bilancio preventivo 2018.

L'Assemblea non pone rilievi e approva all'unanimità.

4) Varie ed eventuali

L'Accademico A. RUSSO, chiesta e ottenuta la parola, invita a riconsiderare la proposta discussa nell'odierna Assemblea Plenaria relativa al prossimo Congresso Nazionale di Entomologia. Poiché nel 2018 si terrà a Napoli il Congresso Europeo, sembra più opportuno prevedere di tenere il Congresso Nazionale nel 2020, anziché nel 2019. Segue una breve discussione in cui molti si esprimono a favore di tale proposta. L'Accademico A. BATTISTI segnala che nel 2020 si terrà, nel mese di luglio in Finlandia, il Congresso Internazionale con cui sarebbe opportuno cercare di evitare sovrapposizioni. A conclusione della discussione l'Assemblea ritiene che l'argomento meriti di essere affrontato nell'Assemblea Plenaria del prossimo febbraio.

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

Il Segretario	*Il Presidente*
Piero CRAVEDI	Romano DALLAI

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 33-36

ENTOMOLOGIA FORENSE: UNO SGUARDO DI DETTAGLIO

STEFANO VANIN (*)

(*) *School of Applied Sciences, University of Huddersfield, Queensgate HD1 3DH, Huddersfield UK;* e-mail: stefano.vanin@hud.ac.uk, stefano.vanin@gmail.com
Lettura tenuta nella Seduta pubblica dell'Accademia. Firenze, 17 giugno 2017.

A detailed analysis of Forensic Entomology

Forensic entomology is the discipline that provides useful information in civil and criminal cases analyzing insects from the crime scene or the cadaver of the victims.

In these last years, the development of the discipline and of analytical and molecular techniques has allowed a wider spectrum of the forensic entomology applications to be achieved. In particular insects can provide information about time since death, season of death, body transfer, detection of drugs and as well victim identification via DNA, especially when the body is removed before the police arrival.

KEY WORDS: PMI estimation, Entomotoxicology, victim's identification.

Negli ultimi anni le scienze forensi hanno avuto un ruolo sempre più importante nel campo investigativo e giudiziario, ma anche nella percezione che l'opinione pubblica ha di questi mondi. Sicuramente le note serie televisive americane, a cui sono seguite anche alcune serie europee tra cui alcune italiane, hanno giocato un ruolo chiave nello sdoganamento delle scienze forensi al gran pubblico. Questo fenomeno ha assunto il nome di "effetto CSI" e come un Giano bifronte ha portato sia degli elementi positivi che delle distorsioni nella percezione e comprensione del sistema investigativo. Sebbene non sia nello scopo della presente nota il discutere questa tematica, è comunque importante sottolineare come solo negli ultimi anni la prova scientifica abbia assunto un ruolo chiave nella ricostruzione del crimine sia in fase investigativa che di dibattimento e come alcuni termini quali "fingerprint" e "DNA" siano ormai diventati di uso comune. Questo ha portato ad un aumento del peso e della responsabilità delle discipline forensi, e conseguentemente anche di chi si occupa di queste materie con conseguente necessità di una formazione di alto profilo che coinvolga le istituzioni universitarie e gli ordini professionali.

A questo proposito è interessante notare come in Inghilterra, paese dalla lunga e consolidata tradizione investigativa, ci sia una differenza nel modo in cui vengono declinate le parole per definire questo ambito di lavoro: le "Scienze Forensi" sono infatti declinate al singolare come la "Scienza Forense" e a differenza dei paesi mediterranei esiste una società, attualmente chiamata "Chartered Society for Forensic Science", un tempo nota come "Forensic Science Society," che raggruppa tutti i professionisti ed accademici del settore. Lo scopo è quindi quello di riunire persone che, seppur con conoscenze e campi d'indagine diversi, si trovano ad operare nello stesso ambiente, quello forense, fatto di regole e protocolli da rispettare rigidamente, pena la non validità del lavoro svolto: in altri termini la non ammissibilità della prova in tribunale.

In ogni caso comunque la scienza forense è l'applicazione di tutte le scienze al diritto civile e penale: le scienze al servizio della legge. È inoltre importante sottolineare che quello che viene applicato nel contesto forense non è solo il bagaglio di conoscenze delle singole discipline quanto piuttosto il metodo scientifico: *the scientific investigation of crime through rational, practical and valid methods provides an unbiased and uncompromising service to the Justice System* [http://www.forensic-science-society.org.uk/home].

Prima di vedere come anche l'entomologia si contestualizza in questo scenario è d'obbligo soffermarsi su un termine, che troppo spesso è stato usato impropriamente: la parola forense. Di derivazione latina, questo termine si rifà al modo di amministrare la giustizia presso i Romani dove i processi venivano condotti nella piazza, il *forum*. La parola forense quindi non identifica un modo più accurato di studio di un qualsiasi elemento raccolto sulla scena del crimine, il metodo scientifico è già accurato di per sé, ma quanto piuttosto il fatto che si tratta di un'analisi fatta in seguito ad un mandato di un tribunale o comunque di un ente/istituzione preposta a far rispettare la legge. Ne consegue che un esperimento che ha come scopo lo studio della colonizzazione di una carcassa da parte degli insetti o di microrganismi, non è un esperimento forense quanto piuttosto uno studio

– Pubblicato aprile 2018

di ecologia della decomposizione (Benbow *et al.,* 2017). Lo stesso studio può però diventare forense se serve a posteriori per verificare alcune condizioni che si sono realizzate su un cadavere o su una carcassa animale, in caso di crimini contro la fauna, su cui si sta investigando e i cui risultati servono a rispondere ai quesiti degli inquirenti o del giudice. Non si tratta di sottigliezze linguistiche ma piuttosto di elementi fondamentali per capire la disciplina, anche l'entomologia forense.

Nella sua definizione più ampia infatti l'entomologia forense è l'applicazione delle conoscenze sugli insetti a casi civili e penali. Si tratta quindi di un approccio multidisciplinare che coinvolge tutti gli aspetti dell'entomologia a seconda delle domande a cui l'entomologo forense è chiamato a rispondere. Le 6 domande chiave di un'investigazione che permettono di ricostruire gli eventi accaduti durante e dopo il crimine sono: Chi, Dove, Quando, Che cosa, In che modo, e Perché. Compito delle discipline forensi è di rispondere alle prime 5 lasciando al giudice o alla giuria, a seconda dei sistemi giudiziari, la risposta all'ultima domanda.

Se fino a qualche anno fa l'unica domanda a cui gli insetti si pensava potessero dare una risposta era il "Quando", inteso come epoca del decesso ora, con l'avvento di nuove tecnologie, delle aumentate conoscenze e di numerosi lavori sperimentali, lo spettro di domande si è allargato includendo il "Dove", "in Che modo", e anche il "Chi".

I patologi forensi sono i primi ad essere interrogati circa il tempo del decesso e si basano per le loro valutazione sui fenomeni che avvengono nel cadavere dopo la morte. I più conosciuti tra questi sono lo studio dell'*algor, rigor* e *livor mortis*, in altri termini la diminuzione della temperatura dopo il decesso, la rigidità e la lividità cadaverica (Henssge e Madea, 2004). L'analisi di questi fenomeni tuttavia permette di trarre conclusioni affidabili solo per le prime 72 ore dopo il decesso e per corpi che non abbiano subito amputazioni, depezzamento o bruciatura. Altri fattori quali il loro occultamento o esposizione diretta ai raggi solari possono comunque interferire con l'acuratezza di queste valutazioni. Dopo le 72 ore e nei casi sopra elencati l'entomologia forense offre il suo supporto alle indagini circa il tempo della morte. Il tempo intercorso dal decesso, o meglio l'intervallo minimo post mortale (mPMI) (Fig.1) che, salvo rare eccezioni - ad esempio miasi, Vanin *et al.* (2017) - corrisponde con il tempo di colonizzazione dopo il decesso (Villet *et al.*, 2010), può essere stimato con l'entomologia utilizzando due approcci differenti a seconda del tempo trascorso dall'evento delittuoso.

Il primo metodo si avvale dello studio dello stato di sviluppo delle larve delle mosche, soprattutto Calliphoridae, Sarcophagidae, talvolta Muscidae e Phoridae in ambienti confinati (Smith, 1985; Reibe e Madea, 2010a,b), che per prime colonizzano il cadavere. La conoscenza dello stadio di sviluppo degli insetti e del loro tasso di sviluppo, temperatura dipendente, permette di stimare il mPMI se sono note le temperature del periodo precedente al ritrovamento del corpo. Tale metodo ha valenza ed utilità solo durante la prima ondata di colonizzazione e quindi, per temperature medie, per intervalli di qualche

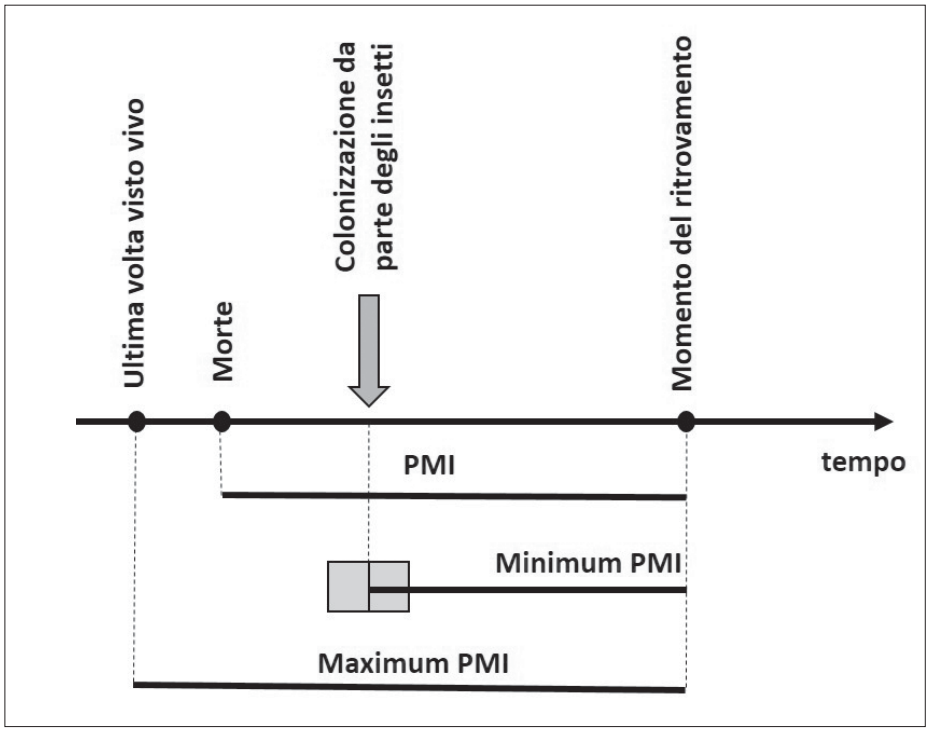

Fig. 1 – Rappresentazione schematica dei concetti di Post Mortem interval (PMI), PMI minimo e PMI massimo.

settimana mentre per temperature più basse anche di qualche mese.

Nel caso di ritrovamento di un corpo esposto per tempi più lunghi è fondamentale lo studio delle comunità che si susseguono sul cadavere e che sono legate a particolari stati di decomposizione del corpo. Dopo la morte infatti, il corpo va incontro ad una serie di trasformazioni fisiche, chimiche e biologiche che nel loro insieme prendono il nome di decomposizione. Ogni stadio di decomposizione del cadavere è attrattivo per differenti taxa di insetti e di altri artropodi, quali ad esempio gli acari (SMITH, 1985). Queste comunità colonizzano il cadavere secondo sequenze prevedibili, seppure con differenze legate al clima, alla regione geografica, alla posizione del cadavere ed ad altre variabili intrinseche ed estrinseche al cadavere stesso (CAMPOBASSO *et al.,* 2001) .

Una precisa e dettagliata conoscenza dell'ecologia e della fenologia delle specie permette di comprendere la stagione della colonizzazione in casi molto vecchi (anche di interesse storico o archeologico, VANIN *et al.,* 2009) o l'eventuale spostamento o occultamento del cadavere in un luogo diverso da quello del ritrovamento. A questo proposito l'elevata sinantropia di alcune specie può chiaramente dimostrare un eventuale spostamento del corpo da un'area urbana ad una rurale. In questo tipo di analisi bisogna comunque prestare attenzione alla struttura del territorio come dimostrato per *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) in Pianura Padana, dove a causa dell' *urban sprawl* (edificato diffuso) questa specie non può essere usata per dedurre eventuali spostamenti dei cadaveri da contesti urbani alla campagna (VANIN *et al.,* 2008). Tuttavia altre specie, come quelle appartenenti al genere *Calliphora* Robineau-Desvoidy, 1830, hanno dato utili informazioni di spostamento di cadaveri e di carcasse di animali protetti da ambienti urbani dove erano stati uccisi ad ambienti agricoli lontani da insediamenti umani. Valutazioni circa la stagione della colonizzazione del cadavere o il suo spostamento vanno fatte sempre con estrema attenzione al contesto geografico in cui il corpo viene trovato, alle informazioni sulla fenologia, habitat preferendum, reale distribuzione della specie (CHARABIDZE *et al.,* 2017) e considerando anche fenomeni come la globalizzazione ed il riscaldamento globale che hanno effetti diretti ed indiretti sulle faune, compresa quella entomologica di interesse forense (TURCHETTO e VANIN, 2010). È inoltre oppurtuno in questi casi ragionare in termini "forensi" per quanto riguarda la risposta corretta ai quesiti circa un eventuale spostamento del corpo e non in termini assoluti. Facendo un esempio, la probabilità di trovare quella determinata specie se il corpo è stato spostato da un altro habitat va confrontata con la probabilità di trovare quella stessa specie se il corpo non è stato spostato. In questi casi infatti solo un approccio bayesiano all'interpretazione delle prove, la presenza di una determinata specie date due ipotesi, permette di trarre conclusioni utili ai fini giudiziari (BUCKLETON *et al.,* 2016).

L'aumentato interesse per la materia e l'intensa sperimentazione effettuata hanno permesso di utilizzare gli insetti o parti di essi, come ad esempio i pupari, raccolti sui resti umani in avanzato stato di decomposizione o scheletrizzati per efettuare indagini tossicologiche. L'entomologia forense quindi ha superato i quesiti del "Dove" e "Quando" la morte è avvenuta e può contribuire a fornire informazioni qualitative sulla causa di morte (INTRONA *et al.*, 2001) qualora essa sia riferibile ad una intossicazione. Con tecniche di routine tipiche dei laboratori di tossicologia, possono essere estratte droghe ed altre sostanze chimiche tossiche e non, direttamente dalle larve e dagli adulti che si sono sviluppati sul cadavere, ma anche dai loro escrementi, come nel caso dei dermestidi ed anche dai pupari di ditteri. La quantità di una sostanza trovata sull'insetto non può però essere correlata in termini quantitativi con quanto presente nel corpo prima del decesso essendo in gioco un numero elevato di parametri non totalmente noti quali ad esempio la diffusione della droga nel corpo dopo il decesso, la degradazione delle droghe e dei metaboliti nel cadavere durante la decomposizione, il metabolismo della droga e dei suoi derivati da parte dell'insetto e il livello e la tipologia di escrezione della droga e dei sui metaboliti da parte dell'insetto.

Negli ultimi anni è stata inoltre analizzata un'altra potenzialità dell'analisi degli insetti presenti sulla scena del crimine ovvero la possibilità di ottenere il profilo genetico della vittima o del potenziale esecutore del crimine (WELLS e STEVENS, 2008). Questo campo di indagine ha importanti implicazioni nel caso in cui il cadavere venga rimosso dalla scena dopo una sua iniziale permanenza per depistare le indagini o mettere in discussione le testimonianze dei collaboratori di giustizia. Il rinvenimento di larve che si sono sviluppate sul cadavere e che sono rimaste sul terreno dopo che il corpo è stato rimosso non è solo un indizio della presenza del cadavere ma anche l'inizio di un'indagine molecolare volta a caratterizzare il DNA che permane nel *crop* della larva per almeno 48 ore dopo l'ultimo pasto (DE LOURDES CHÁVEZ-BRIONES *et al*., 2013).

Studi sulla possibilità di estrarre e caratterizzare il DNA umano sono stati fatti non solo sulle larve ma anche sui pupari di calliforidi. I risultati sono stati positivi sebbene riguardino pupari relativamente freschi, ovvero raccolti poco tempo dopo l'emergenza dell'adulto (MARCHETTI *et al*., 2013).

Ma non solo gli insetti che si sono sviluppati sul corpo contengono al loro interno DNA utile alle indagini, ma anche gli insetti ematofagi presenti sulla scena o sul corpo della vittima possono contenere il DNA dell'assalitore. Questo tipo di anali-

si è stata dimostrata possibile per esempio per la cimice dei letti (*Cimex lectularius* Latreille, 1802) (Szalanski *et al.,* 2006) ed il pidocchio (*Pediculus humanus humanus* (Linnaeus, 1758) e *Pediculus humanus capitis* (De Geer, 1767) (Mumcuoglu *et al.,* 2004).

In conclusione si può affermare che l'analisi del materiale entomologico raccolto sulla scena del crimine o sul cadavere contribuisce in maniera significativa a tutti i quesiti fondamentali delle indagini. I risultati del lavoro dell'entomologo tuttavia hanno valore solo se costruiti in stretta collaborazione con gli altri attori dell'investigazione prima tra tutti il medico legale a cui spetta l'analisi del corpo e la risposta ai quesiti ad esso relativi (Campobasso e Introna, 2001). Negli ultimi anni, forse grazie anche ad alcuni casi di rilevanza nazionale, dove l'entomologia forense ha giocato un ruolo importante e l'attività di formazione e divulgazione della disciplina da parte del Gruppo Italiano per l'Entomologia Forense (GIEF), la sintonia tra entomologi e medici si sta concretizzando sempre di più con risultati positivi sia relativi alla casistica che alla ricerca scientifica.

Resta però ancora molto da fare sia per rendere coscienti magistrati, giudici ed inquirenti circa le potenzialità, ma anche i limiti della disciplina e per completare le conoscenze per una più accurata applicazione dell'approccio entomologico in contesto forense. Non manca l'entusiasmo e la competenza, mancano forse solo le risorse finaziarie per realizzare dei progetti su scala nazionale relativi all'entomologia forense e fornire così un servizio sempre più efficace ed utile alla giustizia.

BIBLIOGRAFIA

Benbow E.M., Tomberline J.K., Tarone A. M., 2017 – *Carrion Ecology, Evolution, and their applications.* CRC Press, Taylor & Francis Group, 512 pp.

Buckleton J.S., Bright J.-A., Taylor D., 2016 – *Forensic DNA Evidence Interpretation*, Second Edition CRC Press, Taylor and Francis group, 496 pp.

Campobasso C.P., Di Vella G., Introna F., 2001 – *Factors affecting decomposition and Diptera colonization.* - Forensic Sci Int., 120(1-2): 18-27.

Campobasso C.P., Introna F., 2001 – *The forensic entomologist in the context of the forensic pathologist's role.* - Forensic Sci Int., 120(1-2): 132-9.

Charabidze D., Gosselin M., Hedouin V., 2017 – *Use of necrophagous insects as evidence of cadaver relocation: myth or reality?* - PeerJ., 5: e3506.

de Lourdes Chávez-Briones M., Hernández-Cortés R., Díaz-Torres P., Niderhauser-García A., Ancer-Rodríguez J., Jaramillo-Rangel G., Ortega-Martínez M., 2013 – *Identification of human remains by DNA analysis of the gastrointestinal contents of fly larvae.* – J. Forensic Sci., 58(1): 248-50.

Henssge C., Madea B., 2004 – *Estimation of the time since death in the early post-mortem period.* - Forensic Sci. Int., 144(2-3): 167-75.

Introna F., Campobasso C.P., Goff M.L., 2001 – *Entomotoxicology.* - Forensic Sci. Int., 120(1-2): 42-7.

Marchetti D., Arena E., Boschi I., Vanin S., 2013 – *Human DNA extraction from empty puparia.* - Forensic Sci. Int., 229: e26-e29.

Mumcuoglu K.Y., Gallili N., Reshef A, Brauner P, Grant H., 2004 – *Use of human lice in forensic entomology.* - J. Med. Entomol., 41(4): 803-6.

Reibe S., Madea B., 2010a – *How promptly do blowflies colonise fresh carcasses? A study comparing indoor with outdoor locations.* - Forensic Sci. Int., 195(1-3): 52-7.

Reibe S., Madea B., 2010b – *Use of* Megaselia scalaris *(Diptera: Phoridae) for post-mortem interval estimation indoors.* - Parasitol. Res., 106(3): 637-40.

Smith K.G.V., 1986 – *A manual of forensic entomology*. London Trustees of the British Museum. 208 pp.

Szalanski A.L., Austin J.W., McKern, J.A., Steelman C.D., Miller D.M., Gold R.E., 2006 – *Isolation and characterization of human DNA from bed bug,* Cimex lectularius *L.,(Hemiptera: Cimicidae) blood meals*. - J. Agric. Urban Entomol., 23: 189-194.

Turchetto M., Vanin S., 2010 – *Climate change and Forensic entomology.* In: Amendt J., Campobasso C.P., Goff M.L., Grassberger M. (Eds.), Current Concepts in Forensic Entomology. Springer 350 pp.

Vanin S., Turchetto M., Galassi A., Cattaneo C., 2009 – *Forensic entomology and the archaeology of war*. - Journal of Conflict Archaeology, 5: 127-139.

Vanin S., Migliaccio M., Tadini Buoninsegni L., Mangini M., Bugelli V., Pinchi V., Focardi M., 2017 – *A case of insect colonization before the death.* - J. Forensic Sci., 62(2): 1665-1667.

Vanin S., Tasinato P., Ducolin G., Terranova C., Zancaner S., M. Montisci, P. Ferrara, Turchetto M., 2008 – *Use of* Lucilia *species (Diptera: Calliphoridae) for forensic investigations in Southern Europe.* - Forensic Sci. Int., 177: 37-41.

Villet M.H., Richards C.S., Midgley J.M., 2010 – *Contemporary Precision, Bias and Accuracy of Minimum Post-Mortem Intervals Estimated Using Development of Carrion-Feeding Insects*. In: Amendt, J.; Campobasso, C.P.; Goff, M.L.; Grassberger, M. (Eds.), Current Concepts in Forensic Entomology. Springer pp. 109-137.

Wells J.D., Stevens J.R., 2008 – *Application of DNA-based methods in forensic entomology.* - Annu. Rev. Entomol., 53: 103-20.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 37-42

ATTUALI RICERCHE SU ALCUNE SPECIE DI *ASPHONDYLIA* LOEW (DIPTERA: CECIDOMYIIDAE) CAUSANTI GALLE FIORALI SU LAMIACEAE

GENNARO VIGGIANI (*)

(*) *Già professore ordinario dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", Facoltà di Agraria, Via Università , 100 - Portici (NA). Italia*; e-mail: genviggi@unina.it
Lettura tenuta nella Seduta pubblica dell'Accademia - Napoli, 18 novembre 2017.

Present researches on some species of Asphondylia *Loew (Diptera: Cecidomyiidae) causing flower galls on Lamiaceae*

After a brief introduction to the morphological, taxonomical and bio-ecological aspects of the species belonging to the genus *Asphondylia* Loew (Diptera: Cecidomyiidae), the author outlines the researches in progress on the Palaearctic species causing flower galls on Lamiaceae and presents preliminary results. The study is extended to the *Asphondylia* infesting *Clinopodium nepeta*, *Clinopodium menthifolium* subsp. *ascendens*, *Clinopodium vulgare*, *Micromeria graeca* subsp. *graeca*, subsp. *fruticulosa*, subsp. *tenuifolia* and *Origanum vulgare*. Their galls are very simple and uniform, similar to the ungalled flowers, and this does not help the specific discrimination. Interesting morphological characters, very poorly known, emerged studying the first larva of species associated with different plants. The synchronization between gall midge reproduction and host plant phenology occurs for several species through a pupal quiescence. The complex of parasitoids is represented mostly by Torymidae, Eurytomidae, Pteromalidae and Eulophidae (Hymenoptera: Chalcidoidea). The fungus *Botryosphaeria dothidea* has been found associated with almost all flower galls of the studied gall midges. Finally it is underlined the importance of the integration of morphological, bio-ecological and molecular data to fix nominal species of this group of *Asphondylia*. Furthermore, at this purpose, it seems more appropriate to designate a hapantotype, represented by adult (female and male), larva and pupa, molecular sequences, rather than by a single holotype specimen.

KEY WORDS: gall midge, parasitoids, fungi, hapantotype, *Botryosphaeria dothidea*.

INTRODUZIONE

Il genere *Asphondylia* Loew (Diptera: Cecidomyiidae) appartiene alla tribù Asphondiliini, un vasto gruppo d'insetti galligeni che include 320 specie nominali (GAGNÉ e JASCHHOF, 2014). I caratteri distintivi del genere sono quelli riferiti da KOLESIK e VEENSTRA-QUAH (2008) e KOLESIK (2015). La discriminazione degli adulti è in genere molto difficile, particolarmente per le specie paleartiche (SILVESTRI, 1908; TOKUDA, 2012), a causa della loro marcata similarità morfologica, così come avviene anche per le larve mature e per le pupe. Conseguentemente, la grande maggioranza delle identificazioni specifiche delle *Asphondylia* è finora basata essenzialmente sulla pianta ospite e sul tipo di galla causata.

Aspetti morfologici e molecolari – Le conoscenze morfologiche relative alle *Asphondylia* sono soprattutto legate alla tassonomia tradizionale del genere che, per quanto riguarda gli adulti, prende in considerazione, per la femmina, principalmente i palpi, le antenne, le ali, l'addome e l'ovopositore e, per il maschio, le antenne e l'armatura genitale. Delle larve sono noti quasi solo aspetti morfologici relativi alle larve mature (es. spatola sternale e microstrutture sulle aree adiacenti), mentre per le pupe principalmente i processi sclerotizzati presenti sulla parte ventrale del capo, nonché il tipo e la distribuzione di spine presenti dorsalmente sui segmenti addominali (FEDOTOVA, 1985; 2003; 2008; SKUHRAVÁ, 2011). L'olotipo delle specie tradizionalmente descritte è rappresentato dal maschio, al quale si associano, tra i paratipi, anche larve mature e pupe; in qualche caso (GAGNÈ e WARING, 1990) esso è fissato sulla larva matura. Negli ultimi anni è emersa la possibilità di acquisire dati molecolari da integrare alle informazioni morfologiche, biologiche ed ecologiche per una più valida caratterizzazione delle entità studiate (YUKAWA *et al*., 2003; UECHI e YUKAWA, 2004; KOLESIK *et al.,* 2010; DORCHIN, 2015).

Bio-ecologia – Di diverse specie di *Asphondylia* si dispone di dati bio-ecologici; TOKUDA (2012) ne ha fornito un'ampia sintesi. Tuttavia, per moltissime specie si conoscono solo le piante ospiti e i tipi di galla prodotti. Le *Asphondylia* infestano un vasto numero di piante appartenenti a varie famiglie, tra le quali principalmente Asteraceae, Che-

– Pubblicato aprile 2018

nopodiaceae e Fabaceae. Varie specie rivestono importanza economica in quanto infestanti piante d'interesse agrario e forestale (Gagné e Jaschhof, 2014). Alcune di esse sono anche considerate possibili agenti di controllo biologico, come quelle delle *Acacia* (Mimosaceae) in Australia che potrebbero essere introdotte in Sud Africa per il contenimento di specie invasive (Adair *et al*., 2009). In rapporto alle piante ospiti le *Asphondylia* comprendono specie monofaghe, oligofaghe e polifaghe, galligene su vari organi e parti vegetali. Sui loro ospiti esse possono essere: univoltine, polivoltine su un solo ospite e polivoltine su ospiti diversi o alternativi (Uechi e Yukawa, 2006). Su questi aspetti i dati molecolari stanno contribuendo a chiarire soprattutto i cicli biologici di specie che si riproducono su ospiti diversi, talvolta alternativi o stagionali nel corso del loro ciclo annuale. Un primo caso, potremmo dire storico, delle difficoltà e incertezze nell'identificare gli ospiti di una specie è quello riguardante l'*A. gennadii* (Marchal), il cui ciclo biologico annuale si svolge tra il carrubo (*Ceratonia siliqua*) (Fabaceae), ospite invernale, e molti altri ospiti (Solanaceae, Capparidaceae, Liliaceae) nel periodo estivo (Orphanides, 1975; Uechi *et al.*, 2004). Ospiti alternativi sono stati segnalati anche per *A. yushimai* Yukawa et Uechi (Yukawa *et al*., 2003) e *A. baca* Monzen (Uechi *et al.*, 2004). Non sempre la galla legata a una pianta ospite può avere una specificità rappresentativa di una specie galligena, come ritenuto da alcuni autori (Carneiro *et al*., 2009). In un recente lavoro (Uechi *et al*., 2017) è stato messo in evidenza che la nuova specie asiatica *Asphondylia capsicicola* Uechi, Yukawa et Tokuda. che infesta varie specie di *Capsicum* (*C. annuum* L., *C. frutescens* L.) (Solanaceae), è molto simile alla specie mediterranea *A. gennadii*, che si riproduce sulle stesse piante ospiti, e che causa lo stesso tipo di galla. Tra le varie specie di *Asphondylia* associate a diversi organi vegetali della stessa pianta, vi sono quelle del gruppo *auripila*, comprendente 14 specie, tutte insediate su *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville (Zygophyllaceae), il cespuglio di creosoto, diffuso in alcune zone desertiche degli USA (California, Texas) e in Messico. Esse causano lo sviluppo di diversi tipi di galla su rami, foglie e fiori della pianta ospite. Per le caratteristiche morfologiche larvali, pupali e degli adulti questo gruppo di specie è considerato monofiletico (Gagnè e Waring, 1990). Una recente analisi filogenetica del gruppo ha supportato l'ipotesi di speciazione su un'unica pianta ospite (Joy e Crespi, 2007). Molto interessanti sono gli adattamenti delle *Asphondylia* alle diverse strategie che consentono la sincronizzazione della loro attività riproduttiva con la fenologia delle piante ospiti. Essi si realizzano con arresti di sviluppo prolungati anche per vari mesi e oltre, che generalmente interessa uova, stadi larvali (principalmente prime età) o pupe (Parnell, 1964; Malagaris, 2011; Zimowska *et al.*, 2017).

Parassitoidi e funghi associati alle galle – Le circa 290 segnalazioni finora disponibili mettono in evidenza che i parassitoidi associati alle *Asphondylia* sono Hymenoptera Chalcidoidea appartenenti alle famiglie Torymidae, Ormyridae, Eurytomidae, Pteromalidae, Eupelmidae ed Eulophidae (Noyes, 2017). Di esse non poche si riferiscono a identificazioni da verificare. Un lavoro approfondito sui parassitoidi di *A. sarothamni* è quello di Parnell (1964). Altri contributi sono stati forniti da Waring e Price (1989), Malagaris (2011), Doğanlar e Elsayed (2013), Devaraj e Sundararaj (2014).

Negli ultimi anni, grazie anche all'impiego di tecniche molecolari, si è affrontata l'identificazione dei funghi associati alle galle di *Asphondylia* con maggiore attendibilità. Il fungo *Botryosphaeria dothidea* (Moug.Fr.) Ces. et De Not. (anaforma *Fusicoccum aesculi*, sinanaforma *Dichomera* sp.) è il fungo dominante associato alle specie di *Asphondylia* in Australia (Barber *et al.,* 2005; Adair *et al*., 2009). Kobune *et al*. (2012) hanno evidenziato lo stesso fungo nelle galle indotte da *Illiciomyia yukawai* Tokuda e, più recentemente, da Zimowska *et al*. (2017), in galle fiorali causate da *Asphondylia serpylli* Kieffer su *Thymus vulgaris*. Il rapporto tra pianta, cecidomidi e funghi è stato indagato e discusso da vari autori. Alcuni di essi ritengono che i funghi associati a tali galligeni siano soltanto degli inquilini (Richter-Vollert, 1964) mentre altri li considerano dei veri simbionti (Rohfritsch, 2008; Rohfritsch, 2010; Kobune *et al*., 2012).

Asphondylia associate a Lamiaceae

Delle 20 specie di *Asphondylia* segnalate su Lamiaceae (Gagné e Jaschhof, 2014), 17 sono paleartiche e per la maggior parte di esse sono noti solo la pianta ospite e il tipo di galla fiorale. Tali conoscenze non consentono alcun valido confronto tra le varie popolazioni legate alle diverse piante ospiti. Finora, dettagli bio-ecologici sono noti solo per *Asphondylia coridothymi* Skuhravá, che causa galle fiorali su *Coridothymus capitatus* (L.) Reichenbach [(=*T. capitatus* (L.) Hoffmanns et Link.] (Lamiaceae) nell'isola di Samos in Grecia. Questa specie univoltina ha un lungo periodo di sviluppo

larvale, principalmente allo stadio di prima età (primi di giugno-fine settembre). Le pupe appaiono a metà ottobre e svernano nei fiori galla (Malagaris, 2011).

Ricerche in Corso

Piante ospiti e ciclo di Asphondylia – Da alcuni anni sono in corso delle ricerche su *Asphondylia* che causano fiori galla su Lamiaceae paleartiche. Scopo di tale studio è di acquisire dati morfologici, molecolari e bio-ecologici, anche relativi alle specie associate (parassitoidi e funghi), che possano più validamente caratterizzarne le specie e/o le popolazioni. In tale programma si ritiene di particolare interesse anche lo studio morfologico e comportamentale dei primi stadi giovanili, generalmente poco indagato, e non solo per questo gruppo di *Asphondylia*. A tutt'oggi tale ricerca è estesa alle seguenti piante ospiti: *Clinopodium nepeta* (L.) Kuntze, *Clinopodium menthifolium* subsp. *ascendens* (Jord.) Govaerts, *Clinopodium vulgare* L., *Micromeria graeca* (L.) Benth., subsp. *graeca*, subsp. *fruticulosa* (Bertol.) Guinea, subsp. *tenuifolia* (Ten.) Nyman e *Origanum vulgare* L. Inoltre, nel quadro di una collaborazione con l'Università di Lublin (Polonia) su questa tematica, si è anche incluso il *Thymus vulgaris* L. coltivato, sul quale è stata segnalata per la prima volta in Polonia l' *Asphondylia serpylli* Kieffer (Zimowska *et al*., 2017).

Il ciclo delle *Asphondylia* associate alle piante sopracitate inizia con la deposizione di un uovo in un boccio fiorale e, in genere, in prossimità dell'ovario. La giovane larva di prima età, scarsamente mobile, si mantiene nella parte inferiore della cavità fiorale, ove, a partire dallo stilo, comincia a rendersi evidente il micelio fungino associato al dittero. L'attività trofica larvale porta gradualmente al consumo dell'ovario, non sempre degli stami, il cui sviluppo comunque si arresta, mentre gli elementi della corolla s'ipertrofizzano e restano fusi, formando la vera galla. All'interno di quest'ultima, il micelio fungino ne infesta i tessuti ma, a mano a mano che la larva evolve nei successivi stadi, esso non riesce a invadere la cavità gallare, ma resta confinato alle sue pareti. A ciò contribuiscono soprattutto i notevoli movimenti della larva matura. Il micelio fungino, infatti, allorquando per varie cause, tra le quali la sua parassitizzazione, la larva rimane inattiva, invade l'intera galla. L'impupamento della larva matura avviene nel fiore galla, dal quale emerge il nuovo adulto. Nel corso dell'anno si svolgono una o più generazioni. La pupa è lo stadio svernante.

Peculiarità morfologiche e caratteri tassonomici – Interessanti e finora quasi del tutto ignorate sono risultate alcune caratteristiche della larva di prima età delle *Asphondylia* associate a *C. nepeta*, *M. graeca* e *O. vulgare*. Esse confermano quelle finora messe in evidenza da Parnell (1964) per il tipo del genere *A. sarothamni*. In detta larva, nella quale non vi è traccia del sistema tracheale, sull'ultimo segmento caudale vi sono due produzioni cuticolari spiniformi, curve ventralmente. In corrispondenza di quest'ultime, sulla parte sternale opposta, vi è uno sclerite a forma di U, che porta, alla base e lateralmente, due spinette. Lo sclerite si estende nell'interspazio tra le spine unciniformi. La funzione di queste strutture, difficile da indagare, non è nota. Si potrebbe per ora ipotizzare che esse non servano per la mobilità di questo stadio larvale, che è molto ridotta, ma per provocare delle ferite sul substrato vegetale; ciò potrebbe favorire lo sviluppo dei funghi associati a questi cecidomidi, che apparentemente iniziano a colonizzare il boccio fiorale allorquando è in attività la larva di prima età. Questo aspetto morfo-funzionale merita degli approfondimenti.

Finora differenze morfologiche discriminanti sono state trovate tra le *Asphondylia* associate ai *Clinopodium* spp. e quelle su *M. graeca* e sue sottospecie. Esse riguardano principalmente la lunghezza dell'ovopositore (mm), maggiore nel primo gruppo [minima 1,00, massima 1,35, media 1,21 (DS = ± 0,082) (n = 20)] e più breve nel secondo [minima 0,70, massima 0,99, media 0,85 mm (DS = ± 0,075) (n = 20)]. Queste differenze sono supportate anche dai risultati molecolari che lasciano per ora distinguere almeno due specie da descrivere.

Analisi filogenetica – Alcuni autori (Uechi e Yukawa, 2004; Veenstra-Quah *et al.,* 2007; Kolesik e Veenstra-Quah, 2008) hanno ricostruito le relazioni filogenetiche di alcune specie di questo genere basandosi solo sulle sequenze della citocromo ossidasi (COI); altri hanno incluso nell'analisi anche quelle del gene ITS2 del DNA ribosomiale (Kolesik *et al.,* 2010). Nel corso delle ricerche sulle *Asphondylia* delle Lamiaceae è emerso che le porzioni di ITS2 presentano spesso lunghe delezioni o introgressioni, per cui si è anche utilizzata una terza sequenza più conservata come la 28S (Gebiola *et al.,* 2012).

Sincronizzazione dell'attività riproduttiva con la fenologia delle piante ospiti – Sotto l'aspetto bioecologico è da sottolineare che le fenologie delle piante ospiti di alcune *Asphondylia* in corso di studio sono risultate differenti. Nell'ambito dei *Clinopodium*, tra i quali la specie più ampiamente diffusa

è *C. nepeta*, il periodo di fioritura inizia a maggio-primi di giugno e continua almeno fino ad autunno inoltrato, mentre nell'ambito di *M. graeca* la fioritura annuale più precoce (già fine marzo-inizio di aprile) si ha per la *M. graeca* subsp. *fruticulosa*; la più tardiva è quella della sottospecie *tenuifolia* (da maggio-giugno). Il periodo di fioritura varia in rapporto alle sottospecie, ma almeno per la subsp. *graeca*, si prolunga sino al tardo autunno. A partire dai periodi citati inizia il ciclo riproduttivo delle *Asphondylia* associate. Nel corso dell'anno si compiono varie generazioni; la prima, che è forse l'unica abbastanza distinta, e che si svolge nel periodo primaverile-inizio estate, dura 30-45 giorni. In seguito le generazioni si accavallano.

Tutte le specie di *Asphondylia* oggetto di studio, come quelle di altre Lamiaceae (*A. coridothymi*, *A. serpylli*), arrestano il loro sviluppo allo stadio di pupa nel tardo autunno. Lo sfarfallamento dei nuovi adulti dalle pupe svernanti si ha in corrispondenza delle prime fioriture delle piante ospiti. È stato possibile accertare che lo svernamento delle pupe avviene allo stato di quiescenza e non di diapausa. Infatti, da fiori galla raccolti dal tardo autunno alla primavera successiva, mantenuti in capsule Petri, in parte a temperatura ambiente (20-22°C) e in parte a temperatura costante di 25°C e, in entrambi i casi, a fotoperiodo naturale, lo sfarfallamento degli adulti dalle pupe svernanti è avvenuto già dopo qualche mese dalla raccolta.

Complesso dei parassitoidi e funghi associati alle galle – Da tutte le *Asphondylia* in corso di studio sono stati ottenuti parassitoidi appartenenti alle famiglie precedentemente citate. Il loro complesso è risultato di composizione variabile, non soltanto in rapporto alle diverse specie di *Asphondylia* e alle loro piante ospiti, ma anche in relazione agli stessi ospiti in località e/o tempi diversi. La specie più comune e sovente dominante, come su *Asphondylia* associata a *C. nepeta*, è risultata l'eulofide *Sigmophora brevicornis* (Panzer). Si tratta di un parassitoide primario, ectofago, larvale, associato a numerose *Asphondylia* (Graham, 1987). Le osservazioni finora effettuate confermano che, come messo in evidenza da Parnell (1964), lo sviluppo larvale del parassitoide si completa anche a spese del micelio fungino presente nella galla ospite. Altro eulofide, solitario, endofago di larve e pupe, presente in alcuni complessi, è l'*Aprostocetus westwoodi* (Fonscolombe). L'euritomide *Eurytoma dentata* Mayr, parassitoide ectofago solitario, polifago, è risultato molto attivo particolarmente su *Asphondylia* associata ad *O. vulgare*. Vari aspetti morfologici e biologici di questi e di altri parassitoidi si stanno approfondendo. In tale ambito è stato accertato il comportamento da iperparassitoide endofago in pupe di *S. brevicornis*, e probabilmente di altri ospiti, di una specie indescritta di *Baryscapus* (Eulophidae).

Dalle indagini relative alle *Asphondylia* associate a *C.nepeta, C. menthifolium* subsp. *ascendens e M. graeca*, il fungo che accompagna lo sviluppo dei fiori galla di questi cecidomidi è *B. dothidea*. Questi dati, insieme alle precedenti osservazioni effettuate indipendentemente da diversi autori in tutto il mondo, e come risultato per *T. vulgaris* (Zimowska *et al*., 2017), avvalorano l'ipotesi che la relazione insetto-fungo sia di tipo mutualistico e stimolano ulteriori studi multidisciplinari sull'argomento. Da vari isolati sono state inoltre ottenute specie del complesso *Cladosporium cladosporioides*, ma tali funghi sono stati anche isolati da fiori apparentemente normali, non infestati da *Asphondylia*.

Conclusioni

Dai dati finora raccolti è emerso che la caratterizzazione morfologica degli adulti, generalmente legata al maschio, così come la pianta ospite e la galla, non consentono da soli la discriminazione di una specie. Caratteri complementari, ma non in tutti i casi, possono riscontrarsi su larve mature e pupe. In questa situazione, la specie andrebbe più correttamente fissata su un apantotipo (femmina, maschio, larva e pupa, sequenze geniche), piuttosto che su un solo esemplare olotipo (maschio o altro). La larva di prima età è simile in tutte le *Asphondylia* ottenute dalle piante ospiti studiate. Le loro strutture caudali meritano approfondimenti morfo-funzionali. L'attività riproduttiva delle varie specie è sincronizzata con la fioritura delle relative piante ospiti; essa è realizzata con periodi variabili di stasi, anche di 4-5 mesi (inverno-primavera) che interessano lo stadio pupale. Nei casi studiati, essa è risultata essere una quiescenza e non una diapausa, che s'instaura a temperatura massima inferiore ai 20 °C e termina quando tale soglia è superata. La forma del fiore galla è molto simile a quella di fiori sani, che anche a seguito della fruttificazione, variano di poco le dimensioni; la sua struttura è molto uniforme, conseguentemente non utilizzabile per una discriminazione specifica. Il fiore galla svernante non è solo protettivo per la pupa del cecidomide, ma è anche un altro mezzo di dispersione della specie. Almeno per alcuni parassitoidi si è evidenziato un rapporto alimentare, diretto o indiretto, come per la specie fitofaga ospite, ai funghi associati alla galla. È confermata la costante presenza del fungo *B.dothidea* nelle galle fiorali causate da *Asphondylia* su Lamiaceae, ma restano ancora alquanto oscure le modalità

di acquisizione del fungo da parte del galligeno, nonché quelle relative all'ingresso del fungo nel boccio fiorale sano.

RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia per la collaborazione: i Dott.ri U. Bernardo, L. Gualtieri e F. Nugnes, CNR, Istituto per la protezione sostenibile delle piante, SS di Portici (NA), che si occupano della caratterizzazione molecolare delle *Asphondylia*; il Dott. R. Nicoletti, Consiglio per la Ricerca e Analisi dell'Economia agricola, Roma e i Dott.ri A. Becchimanzi e P. Varricchio, Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici (NA), che svolgono le ricerche relative alla caratterizzazione morfo-molecolare dei funghi associati a detti cecidomidi, il Dott. A. Stinca, Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici (NA), al quale si deve la identificazione delle piante; il Dott. Raffaele Sasso, ENEA C.R. Casaccia, Laboratorio SSPT-BIOAG-SOQUAS, Roma, per la raccolta di campioni.

RIASSUNTO

Dopo una breve introduzione sugli aspetti morfologici, tassonomici e bio-ecologici delle specie incluse nel genere *Asphondylia* Loew (Diptera: Cecidomyiidae), l'autore descrive le ricerche in corso sulle specie paleartiche che causano galle fiorali su Lamiaceae e ne presenta i risultati preliminari. Attualmente lo studio è esteso alle *Asphondylia* infestanti *Clinopodium nepeta*, *Clinopodium menthifolium* subsp. *ascendens*, *Clinopodium vulgare*, *Micromeria graeca* subsp. *graeca*, subsp. *fruticulosa*, subsp. *tenuifolia* e *Origanum vulgare.* Le loro galle sono semplici e uniformi, simili a fiori non infestati e ciò non ne agevola la discriminazione specifica. Interessanti caratteri morfologici, poco indagati, sono emersi studiando la larva di prima età di specie associate a piante differenti. La sincronizzazione tra la riproduzione del galligeno e la fenologia della pianta ospite è legata a un periodo variabile di quiescenza allo stato di pupa. Il complesso dei parassitoidi, che varia nelle diverse località e nel tempo, anche per una stessa specie ospite, è rappresentato principalmente da Torymidae, Eurytomidae, Pteromalidae ed Eulophidae (Hymenoptera: Chalcidoidea). Alla maggior parte delle galle fiorali è risultato associato il fungo *Botryosphaeria dothidea*. Infine è sottolineata l'importanza della integrazione di dati morfologici, bio-ecologici e molecolari per fissare le specie nominali di questo gruppo di *Asphondylia*. A tale scopo appare più appropriata la designazione di un apantotipo, rappresentato da adulto (femmina e maschio), larva e pupa, sequenze geniche), piuttosto che di un olotipo fissato solo su un esemplare (maschio o altro).

BIBLIOGRAFIA

ADAIR R.J., BURGESS T., SERDANI M., BARBER P., 2009 – *Fungal associations in* Asphondylia *(Diptera: Cecidomyiidae) galls from Australia and South Africa: implications for biological control of invasive acacias*. - Fungal Ecology, 2: 121-134.

BARBER P.A., BURGESS T.J., HARDY G.E.S.J., SLIPPERS B., KEANE P.J., WINGFIELD M.J., 2005 – Botryosphaeria *species from* Eucalyptus *in Australia are pleoanamorphic, producing* Dichomera *synanamorphs in culture*. - Mycological Research, 109: 1347-1363.

CARNEIRO M.A.A., CRISTINA S.A., BRANCO C.S. A., BRAGA C.E.D., ALMADA E.D., COSTA M.B.M., MAIA V.C., FERNANDES G.W., 2009 – *Are gall midge species (Diptera, Cecidomyiidae) host-plant specialists?*. - Revista Brasileira de Entomologia, 53: 365-378.

DEVARAJ R., SUNDARARAJ R., 2014 – *Parasitoids of* Asphondylia pongamiae *(Diptera: Cecidomyiidae), the flower gall inducer of* Pongamia pinnata *and their roles in biological control*. - Journal of Tropical Forest Science, 26: 173-177.

DOGANLAR M., ELSAYED A.K., 2013 – *Parasitoids complex of* Asphondylia conglomerata *De STEFANI (Diptera: Cecidomyiidae) on the Mediterranean Saltbush,* Atriplex halimus *L. (Chenopodiaceae) in Egypt, with descriptions of new species from Eulophidae and Torymidae (Hymenoptera: Chalcidoidea)*. - Linzer biol. Beitr., 45: 1799-1811.

DORCHIN N., JOY B.J., HILKE K.L., WISE J.M.., ABRAHAMSON G.W., 2015 – *Taxonomy and phylogeny of the* Asphondylia *species (Diptera: Cecidomyiidae) of North American goldenrods: challenging morphology, complex host associations, and cryptic speciation*. - Journal of the Linnean Society, 174: 265-304.

FEDOTOVA, Z.A., 1985 – *New species of gall midges (Diptera, Cecidomyiidae) from little-known and new genera for the fauna of Kazakhstan*. - Izvestiya Akademii Nauk Kazakhskoï SSR, Seriya Biologicheskaya, 4: 28-36.

FEDOTOVA Z.A., 2003 – *A review of Palaearctic gall midges of the genus* Asphondylia (*Diptera, Cecidomyiidae) with descriptions of new species from the middle Volga River Region.* - Zoologicheskiï Zhurnal, 82: 972-985. English translation in Entomological Review, 83: 612-625.

FEDOTOVA Z.A., 2008 – *New genus and species of the gall-midges (Diptera, Cecidomyiidae) from Zhigulevskyy Nature Reserve*. - Isvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rosikaoi Akademii Nauk, 10: 119-145.

GAGNÉ R.J., JASCHHOF M., 2014 – *A Catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the World. 3rd Edition. Digital version 2.*

GAGNÈ R.J., WARING G.L., 1990 – *The* Asphondylia (*Cecidomyiidae: Diptera) of creosote bush (*Larrea tridentata*) in North America.- Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 92: 649-671.

GEBIOLA M., GÓMEZ-ZURITA J., MONTI M.M., NAVONE P., BERNARDO U., 2012 – *Integration of molecular, ecological, morphological and endosymbiont data for species delimitation within the* Pnigalio soemius *complex (Hymenoptera: Eulophidae).* - Molecular Ecology, 21: 1190-1208.

GRAHAM M.W.R. DE V., 1987 – *A reclassification of the European Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae), with a revision of certain genera*. - Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology, 55: 109-110.

JOY J.B., CRESPI J.B., 2007 – *Adaptive radiation of gall-Inducing insects within a single host-plant species* - Evolution, 61: 784-795.

KOBUNE S., KAJIMURA H., MASUYA H., KUBONO T., 2012 – *Symbiotic fungal flora in leaf galls duced by* Illiciomyia yukawai *(Diptera: Cecidomyiidae) and in its mycangia*. - Microbial Ecology, 63: 619-627.

KOLESIK P., 2015 – *A review of gall midges (Diptera : Cecidomyiidae : Cecidomyiinae) of Australia and Papua New Guinea: morphology, biology, classification and key to adults.* - Austral Entomology, 54 : 127-148.

KOLESIK P., ADAIR R.J., EICK G., 2010 – *Six new species of* Asphondylia *(Diptera: Cecidomyiidae) damaging flower buds and fruit of Australian* Acacia *(Mimosaceae)*. - Systematic Entomology, 35: 250-267.

KOLESIK P., VEENSTRA-QUAH, A., 2008 – *New gall midge taxa (Diptera: Cecidomyiidae) from Australian Chenopodiaceae*. - Australian Journal of Entomology, 47: 213-224.

MALAGARIS P., 2011 – *Biology and ecology of* Asphondylia coridothymi *(Diptera: Cecidomyiidae) inducing galls on* Coridothymus capitatus *on the island of Samos, Greece*. - Acta Societatis Zoologicae Bohemicae, 75: 239-251.

NOYES J.S., 2017 – *Universal Chalcidoidea database*. *URL www.nhm.ac.uk/entomology/chalcidoids/index.html.*

ORPHANIDES G. M., 1975 – *Biology of the carob midge complex*, Asphondylia *spp. (Diptera, Cecidomyiidae) in Cyprus*. - Bulletin of the British Museum (Natural History) Entomology, 65: 381-390.

PARNELL J.R., 1964 – *Investigations on the biology and larval morphology of the insects associated with the galls of* Asphondylia sarothamni *H.Loew (Diptera: Cecodomyiidae) on broom* (Sarothamnus scoparius (L.) Wimmer.). - The Transactions of the Royal Entomological Society of London*,* 116: 255-273.

RICHTER-VOLLERT I., 1964 – *Untersuchungen nur Morphologie und Ökologie von* Asphondylia sarothamni H. Lw. - Zoologica, 40: 1-54.

ROHFRITSCH O., 2008 – *Plants, gall midges, and fungi: a three-component system*. - Entomologia Experimentalis et Applicata, 128: 208-216.

ROHFRITSCH O., 2010 – *Genesis and development of dipterocecidia*. - Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, 58: 55-66.

SILVESTRI F.,1908 – *Descrizione e cenni biologici di una nuova specie in* Asphondylia *dannosa al lupino*. - Bollettino del laboratorio di Entomologia Agraria Filippo Silvestri, 3: 3-11.

SKUHRAVÁ M., 2011 – *A new gall midge species* Asphondylia coridothymi *sp. nov. (Diptera: Cecidomyiidae) causing galls on* Coridothymus capitatus *(Lamiaceae) in Greece*. - Acta Societatis Zoologicae Bohememicae, 75: 253-263.

TOKUDA, M., 2012 – *Biology of* Asphondyliini *(Diptera: Cecidomyiidae)*. - Entomological Science, 15: 361-383.

UECHI N., YUKAWA J., 2004 – *Description of* Asphondylia itoi *sp. n. (Diptera: Cecidomyiidae) Inducing Fruit Galls on* Distylium racemosum *(Hamamelidaceae) in Japan*. - Esakia, 44: 27-43.

UECHI N, YUKAWA J., 2006 – *Life history patterns and host ranges of the genus* Asphondylia *(Diptera: Cecidomyiidae)*. In: Ecology and Evolution of Galling Arthropods and Their Associates, Ozaki K, Yukawa J, Ohgushi T, Price PW Eds. Springer-Verlag, Tokyo, pp. 275-285.

UECHI N., YUKAWA J., TOKUDA M., MARYANA N., GANAHA-KIKUMURA T., KIM W., 2017 – *Description of the Asian chili pod gall midge*, Asphondylia capsicicola *sp. n., with comparative notes on* Asphondylia gennadii *(Diptera: Cecidomyiidae) that induces the same sort of pod gall on the same host plant species in the Mediterranean region*. - Appl - Entomol. Zool., 52: 113-123.

UECHI N., YUKAWA J., YAMAGUCHI D., 2004 – *Host Alternation by Gall Midges of the Genus* Asphondylia *(Diptera: Cecidomyiidae)*. - In: Contributions to the Systematics and Evolution of Diptera, D. Elmo Hardy Memorial Volume. N.L. Evenhuis & K.Y. Kaneshiro Eds., Bishop Museum Bulletin in Entomology*,*12: 53-66.

WARING G.L., PRICE P.W., 1989 – *Parasitoids pressure and the radiation of a gallforming group (Cecidomyiidae:* Asphondylia *spp.) on creosote bush* (Larrea tridentate). -– Oecologia, 79: 293-299.ice

YUKAWA J., UECHI N., HORIKIRI M., TUDA M., 2003 – *Description of the soybean pod gall midge*, Asphondylia yushimai *sp. n. (Diptera: Cecidomyiidae), a major pest of soybean and findings of host alternation.* - Bulletin of Entomological Research*,* 93: 73-86.

ZIMOWSKA B., VIGGIANI G., NICOLETTI R., FURMAŃCZYK A., BECCHIMANZI A., KOT I., 2017 – *First report of the gall midge* Asphondylia serpylli *on thyme* (Thymus vulgaris), *and identification of the associated fungal symbiont*. - Annals of Applied Biology, 171: 89-94.

Seduta pubblica, Firenze 17 febbraio 2017

Tavola Rotonda su:

LA PROTEZIONE INTEGRATA DELLE COLTURE: PROBLEMI RICORRENTI, SOLUZIONI E NUOVE SFIDE

Coordinatori:
Andrea Lucchi e Carlo Duso, Accademici

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 45-51

CURRENT STATUS OF INTEGRATED PEST MANAGEMENT (IPM) IN EUROPE

RAMON ALBAJES (*) - FILIPE MADEIRA (*)

(*) *Universitat de Lleida, Agrotecnio Center, Rovira Roure 177, 25199 Lleida, Catalonia, Spain;* ralbajes@pvcf.udl.cat
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La protezione integrata delle colture: problemi ricorrenti, soluzioni e nuove sfide". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2017.

Current status of Integrated Pest Management (IPM) in Europe

The document contains three parts. The first part tries to justify why we need to accelerate the implementation of IPM. Then we review how the different components of IPM are being developed in EU and finally major challenges for a quicker development of IPM are summarized.

KEY WORDS: Biological control, Cultural, Pheromone, Pesticide

INTEGRATED PEST MANAGEMENT: THE NECESSITY OF A FASTER ADOPTION OF IPM SYSTEMS IN AGRICULTURE

It is well known the paradox formulated by YUDELMAN *et al*. (1998) at the end of the last century by associating the increased use of pesticides in the second half of 20th century with increased yield losses during the same period. Yield losses caused by arthropod pests, diseases and weeds were calculated as being above two thirds of potential yield at the beginning of the present century (OERKE and DEHNE, 2004) in the most important crops worldwide and only an average of about 50% of the losses are prevented by control activities. That trend had already been denounced many years by STERN *et al*. (1959) when they introduced the term of integrated control to diminish the problems caused by the increasing use of synthetic pesticides in U.S.A. Since then, much progress has been achieved but a long way is still in front of us to gain the necessary sustainability of pest control in agriculture.

A set of indicators can be used to monitor the progress in the IPM implementation. Firstly, technological innovation is based on scientific research and its transfer to industry and society at large. It is thus significant that the percentage of documents dealing with IPM published in scientific journals has increased very significantly since 1990 particularly in the domain of agricultural entomology but also in plant pathology (Fig. 1). Among IPM components, most attention in scientific research has been paid to host plant resistance, biological control and cultural controls (ALBAJES, 2010). One of the main goals of IPM is the replacement of chemical control by non-chemical methods when needed. In spite of the progress experimented by the design and application of IPM systems in EU, use of pesticides in Europe is still increasing although at lower rates than in the past.

Figure 2 shows a stability of pesticide sales in Europe in the recent years in spite of the noticeably decrease of registered products – mainly insecticides – due to EU legislation. The publication of the 2009/128/CE directive on sustainable use of pesticides aroused much expectation and hope in European agriculture. Most of EU states have already activated their national plans for the implementation of that directive. In the coming years we will be able to check if the directive has achieved its main objectives.

TENDENCIES IN THE DEVELOPMENT OF COMPONENTS AND TOOLS FOR IPM

Review of the vast literature on IPM confirms that success has come from a fundamental understanding of the ecology of crop/pest interactions, rarely from a revolutionarily new control tactic (KOGAN, 1998). Consequently, more research is needed to know the components of agricultural ecosystems, their relationships and how we can manage them to increase environmental resistance to pest population development. Let me advocate, therefore, for a better funding of fundamental research aimed at better understanding the ecology of agricultural ecosystems. Although most of EU FP & H2020 and national R&D calls

– Pubblicato aprile 2018

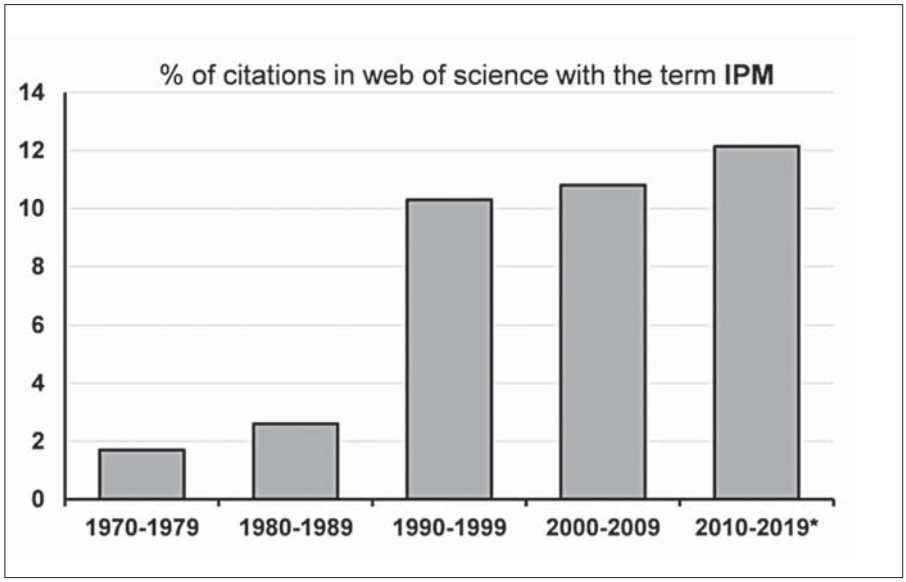

Fig. 1 – Percentage of references that have the term IPM (Integrated Pest Management) with a scientific content (Web of Science) during the period 1970-2016.
* Data of 2017, 2018 and 2019 are projections calculated from 2010-2016 data.

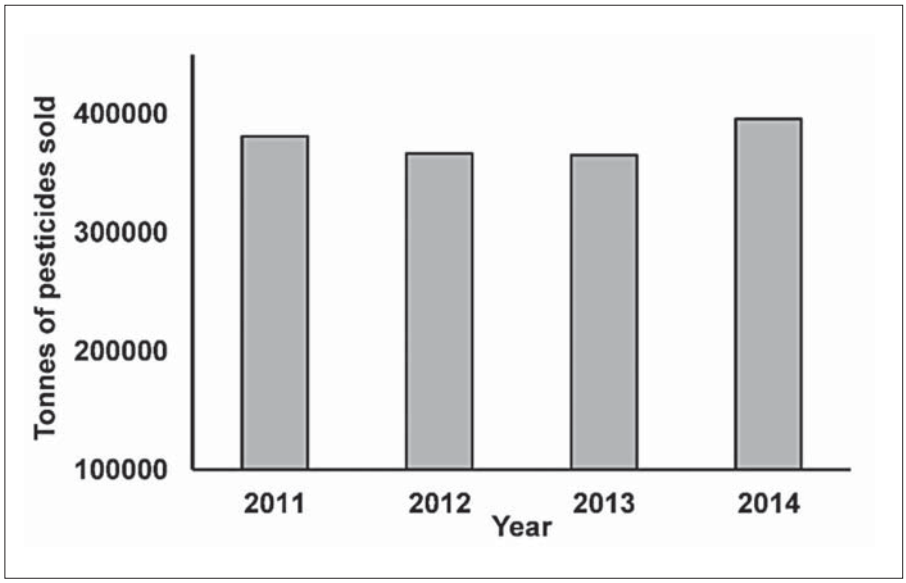

Fig. 2 – Evolution of pesticide sales (tonnes) in EU agriculture in recent years. Adapted from: Eurostat 2016, Agri-environmental indicator - consumption of pesticides.

include IPM as a priority, often topics involved deal with 'practical' control objectives and rarely on objectives focused on acquiring a deeper knowledge about agroecosystems functioning, that should be the basis for developing sound IPM programmes.

Plant resistance. Use of plant resistance has been particularly focused on disease control but much less on insect pest control. Attention to insect-plant relationships has been paid only in recent years and much of what we know on them mostly comes from the domain of plant pathology, that is, the relationship between host plant and pathogens. However, the way plant pathogens take advantage of plants is very different from how insects do, including that the attack of herbivore insects starts by wounding the plant, insects may be attracted to certain host plants from long distances and role of plant volatiles are often crucial, the insect is able to move and leave the plant after probing plant quality, insect response is given at cellular, population, and community levels so tri-trophic relationships may govern insect- plant relationships. In spite of increased scientific literature nowadays available on insect- plant relationships, very little innovation has issued into the market to use plant resistance to herbivore insects and mites for pest control in contrast with disease control where new crop varieties that have incorporated disease resistance are commercially available since decades. About a 10% of scientific literature on agricultural entomology refers to insect- plant relationships or crop plant resistance in last 20 years (ALBAJES, 2010); perhaps we can expect in the next future that a larger part of those scientific results will lead to commercial developments.

Biological control. Biological control is one of the cornerstone of IPM systems for controlling arthropod pests. In fact, we have only a 'few' pests due to the natural control that natural enemies exert on herbivorous arthropods that otherwise could feed on crop plants. That is why biological control by conservation and enhancement of naturally occurring natural enemies is gaining a lot of interest in recent years. This tendency, however, is limited by lack of stimuli to invest by natural enemy industry, which is based on inundative or augmentative biological control. About one hundred natural enemy species are commercialized in Europe and Mediterranean Africa for releasing in several crops, mostly protected crops (Table 1). In these, the paradox is to release predators that are found in nature, sometimes even not far from the greenhouses but that cannot enter into because the screens that very often are placed in greenhouse windows.

Table 1 – Families and number of species commercially used as biological control agents. Source: EPPO (www.eppo.int, accessed November 2017).

Class, Order	**Family (number of species)**
Arachnida, Acari	Phytoseiidae (9)
	Others (2)
Insecta, Hemiptera	Anthocoridae (6)
	Pentatomidae (2)
Insecta, Neuroptera	Chrysopidae (1)
Insecta, Coleoptera	Coccinellidae (12)
	Staphylinidae (2)
Insects, Thysanoptera	Aeolothripidae (2)
	Phlaeothripidae (1)
Insecta, Diptera	Cecidomyidae (2)
	Syrphidae (2)
Insecta, Hymenoptera	Encyrtidae (17)
	Aphelinidae (12)
	Braconidae (8)
	Trichogrammatidae (5)
	Eulophidae (3)
	Pteromalidae (2)
Nematoda	Heterorrhaditidae (2)
	Phasmarhabditidae (1)
TOTAL	91

Conservation biological control. Is classically used in pome fruit and citrus orchards to control several pests such as pear psylla in pear orchards or red spider mite in apple orchards. Both pests may be reasonably controlled by correct orchard management practices to enhance the action of predatory bugs in the former case or the conservation of phytoseiid mites in the second case. A faster and reliable development of conservation biological control may come from the study of relationships between agrosystems components and the surrounding landscape. The idea of management of crop and non-crop habitats for natural enemy conservation in the framework of area wide IPM implementation is not new but needs to be based on local field studies, not on general knowledge; this kind of studies requires great and patient efforts by local and expert scientific teams that are not available everywhere. Further developments of metapopulation ecology applied to agriculture may additionally facilitate such a progress.

Classical biological control – that is the importation and release of exotic natural enemies to control exotic pests has achieved important successes in the control of pests in the last 150 years. However, much criticism has received this technique in the last years (Follett and Duan, 2000). Although only a few cases have been soundly documented of impacts of exotic natural enemies on native species and other side effects, *ad hoc* legislation is being elaborated in EU about classical biological control (Bigler *et al*., 2006). Nuisance created to people and damages caused on certain crops by the imported lady beetle *Harmonia axyridis* is probably one of the most known recent cases of side effects of classical biological control. The species was imported into Europe and other parts of the World from Asia to control aphid pests some years ago and it is spreading in several areas of the EU.

Microbial control. Dozens of entomopathogenic microbes are sold in EU market including mainly bacteria, fungi, viruses, and nematodes. Most of the so called biopesticides are entomopathogens (Table 2). Biopesticides represent a 5% of the world plant protection product market. The largest part of the biopesticide market is the bacterium *Bacillus thuringiensis* Berl. which includes several subspecies and strains that are quite selective for

Table 2 – The EU market for biopesticides by type through 2021 (million dollars). Source: BCC Research.

Type	2015	2016	2021	CAGR% 2016-2021
Bacteria	391.7	427.2	952.2	17.4
Fungal	45.7	49.9	104.3	15.9
Viral	22.8	24.9	50.5	15.2
Other*	48.3	52.6	109.5	15.8
Total	508.5	554.6	1,216.5	17.0

* It includes pheromones and natural enemies.

specific insect families. In spite that entomopathogens are widely used in organic farming, some of the innovative developments to improve their efficacy have generated a strong controversy in EU and have limited their commercialization. Biotechnological manipulation of entomopathogens, gene transfer of insecticidal capacity of entomopathogens to crop plants, use RNA interference (RNAi) to make insect pests more susceptible to entomopathogens by interfering the expression of selected genes, vectoring entomopathogens by insects –mostly honey bees until now, new entompathogens or new formulations of known species that have new modes of action or that are more tolerant to limiting environmental conditions are some of the goals that are in the innovation pipeline of public and private research laboratories. Wide compatibility of microbial products with other IPM tools is the main advantage of this technique; the strict legislative requirements for the registration of biopesticides based on entomopathogens in EU are their main limitation.

Cultural controls. Management of crop and associated non-crop habitats to do environment less favourable to arthropod pests or more favourable to their natural enemies, is a major component of IPM. This set of techniques has received little attention from the scientific research. Very few papers with the term 'cultural controls' as a key word have been produced (ALBAJES, 2010); however, many data on insect biology and behaviour may contribute to the design of cultural practices aiming to enhance environmental resistance to herbivorous insect population increase. Although cultural control is apparently easy to apply, identification of practices that are detrimental for herbivorous insects requires a deep knowledge of agrosystems functioning and even if they are clearly identified, their modification is not always feasible due to several reasons including cost increase, incompatibility with other agricultural practices, new requirements of the machinery that is not available in the farm, insufficient expertise in the farm to introduce the new technique. A manual of good cultural practices for an efficient application of IPM is recommendable and special training and demonstration trials are likely needed to introduce modifications in routine cultural practices. Arrogance of technological progress often neglects those innovations apparently not sophisticated and needs extra efforts of extension to convince growers of the efficacy of correct cultural practices for pest control.

Pesticides for IPM. As mentioned above, 2009/128/CE directive on sustainable use of pesticides reflects the awareness of EU government and citizens of risks of making pest control too much dependent on chemical pesticides. For the first time in EU legislation, it is written that pesticides are the last barrier of plant protection and they should be applied only when the other tools for pest control fail or are not available. In fact, more than 50% of insecticide active ingredients that were available at the end of the 20th century have been or will be soon banned. In spite of negative consequences of such drastic reduction like increased risks of insecticide-resistance or lack of efficient pesticides for minor pests and crops, the tendency creates additional incentives for the development of IPM systems. However, Figure 2 shows that in spite of the high number of pesticides banned in recent years, sales of pesticides in the EU are stable. This stability could be due the replacement of chemical active ingredients by non-chemical methods in agricultural pest control and also by a better use of pesticides. Precision farming is providing pest control with techniques that allow adapting pesticide doses to real crop needs by adjusting spraying devices to the canopy architecture. Table 3 shows a reduction of 27 % of the volume rate saved if the sprayer is able to adapt the volume rate to leaf area index (LAI) of crop plants as it sprays.

Table 3 – Pesticide saving when volume rate to be sprayed is adjusted to the leaf area index (LAI) of the crop plant.

Stage	LAI	Volume rate (L ha^{-1})	saving
Early	0.38	275	**27%**
Full	1.54	375	-

Source: Román & Planas (2017)

A more traditional innovative objective of pesticide industry is to increase selectivity and to reduce persistence of chemicals applied for pest control; these characteristics of modern pesticides facilitate farmers to combine chemicals and non-chemicals methods in true IPM systems.

Pheromones and other semiochemicals. Behaviour in insects is governed mainly by semiochemicals, that is, those substances that produced and released in the environment by one individual elicit a response in other individuals that are able to recognise the substance. When the substance is recognised and provokes a response in individuals of the same species is called pheromone. Pheromones are the most used semiochemicals in IPM; hundreds of pheromones have been identified but only dozens of them are used for pest control in

mating disruption or mass trapping techniques in spite of the great effort done in field experimentation. For codling moth, an important pest of apples worldwide, the number of hectares treated with mating disruption has doubled every five years from 2000 to 2010 (Fig. 3).

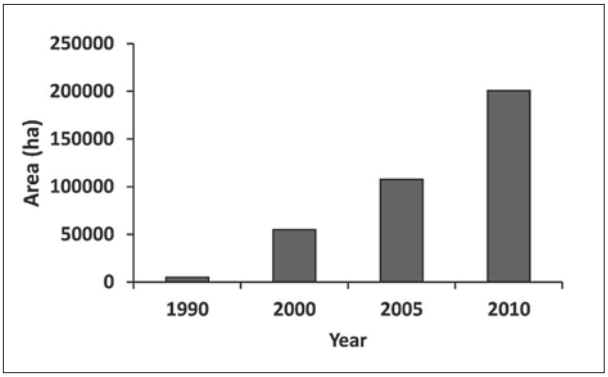

Fig. 3 – Evolution of area treated with mating disruption against codling moth (ha). Source: Witzgall *et al*., 2010.

Millar asked in 2007 about the characteristics of agricultural systems in which pheromones for mating disruption or mass trapping have been applied most successfully and in which they failed. The author reports that successful cases are linked to the following features:

– Pheromone chemistry is well defined:
  - Components
  - Optimal ratios
  - Blend stability
– Active at long distances
– Short lifetime of non-feeding adults
– A limited host range of the insect pest
– A limited number of generations
– Physical characteristics of crop to minimize air volume to be treated
– Combination (interference?) with plant volatiles
– Easy to apply

More research is needed to increase the area of successful application of pheromones. For this, some driving forces for a further research on pheromones have been reported by Millar (2007) and they include:

1. Improve the insect biology knowledge
2. New emerging and exotic pests
3. Crop characteristics
   - GM crops (cotton, maize)
4. Economical perspective:
   - Market analysis
   - Scaling up the synthesis
   - Registration
   - Dispensers: nature and formulation
   - Density of releasing points
   - Indirect costs: training, monitoring

There have been several developments of non-pheromone semiochemicals for pest control and there is a very active research on it so that new successes are expected in the coming years. Among successful cases we can mention the 3 million hectares treated with mass trapping to control Mediterranean fruit fly. Management of natural enemies through kairomones or the use of these substances for push & pull techniques (Cook *et al*., 2007) are other working fields with high potential for IPM.

Biotechnological tools for IPM. Applications of plant and insect biotechnology are among the most promising emerging tools for IPM. More than the 95% of genetically modified (GM) crops target pest organisms, mostly weeds and insect pests. European reluctance to grow GM varieties is slowing their deployment in the continent; as we have been involved in environmental risk assessment of maize that have incorporated the insecticidal capacity of the entomopathogenic bacterium *B. thuringiensis*, the so-called Bt maize, for many years, we can say that this GM crop is safe for non-target arthropods that live in maize ecosystems (Comas *et al*., 2013) in accordance with most of European authors who have reported on this topic. Probably, a case-by-case analysis of GM crops may be more useful for regulatory purposes and for decision making. Other biotechnological tools include RNAi, that have been used mainly for silencing defence genes in insect pests making them more susceptible to natural enemies, GM sterile insects for pest suppression which have been successfully applied to control mosquitos but not in Europe, kits for quick and easy identification of insects. Although there are several European research laboratories actively working in biotechnology applied to insect pest control, concerns of a part of EU society and restrictive European Commission regulations are blocking the development and application of many potential methods of pest control to integrate in IPM systems (Masip *et al*., 2013).

Tools for IPM. IPM systems require tools for an efficient application in the field. Pest assessment and decision making are the basic elements of any IPM system. Pest assessment in the field is based in sound sampling and monitoring methods that should balance precision requirements with costs of taking and processing samples. Knowledge on relationships between pest densities and yield should allow to calculate values of economic thresholds for several crops, pests and environments. Economic threshold is, in few words,

that minimal pest density at which pest control equals yield loss prevented by the application of a control measure. Economic threshold is a very simple concept but often not so easy to calculate. In fact, sound economic thresholds are rarely known for many crops and pests. Expert systems may help field technicians to understand and to manage all the complexity of agroecosystems and make correct decisions. For this, extension and training are key activities for a quicker adoption of IPM systems.

Conclusions: challenges for spreading IPM in EU agriculture

a. A set of indicators about the progress of IPM implementation in EU show that its adoption needs to be accelerated. Inclusion of IPM among objectives of most of EU research calls, increasing number of scientific papers including IPM as a key word, EU 2009/128/CE directive on sustainable use of pesticides that declares IPM implementation as a key goal of EU for the coming years are among the positive results favouring the adoption of IPM technology. To persist in this line is a major challenge for European agriculture, science, and policy makers in the next future.

b. In spite that many pesticides, and particularly insecticides, have been banned in European agriculture, there is a stability of pesticide sales. Properties of pesticides are changing and modern active ingredients, including biopesticides, are more easily integrated in IPM systems. Pesticide industry is making an effort in the innovation with selective and non-persistent substances but also innovative application techniques to minimize volumes and doses are needed. Developments of precision farming may help in this direction.

c. An increased set of data about insect- plant relationships are being published in scientific literature in recent years. The application of this basic knowledge to produce plants that are more resistant or tolerant to insect pests is necessary, but most of results have not been developed in practical applications yet although it may be expected they will be in the coming time.

d. Biological and microbial control with predators, parasitoids, and entomopathogens has exploded in last decades in EU agriculture. Dozens of natural enemies are available in Europe. However, release of exotic beneficials in Europe has been criticised due to their potential impact on native fauna, although it must be said that there are very few documented impacts of exotic natural enemies on local fauna. Rules about importation and release of arthropod biological control agents are being elaborated; several scientists have advocated to take into account that too restrictive legislation for classical biological control may lead to worse consequences; a balance between risks and benefits of releasing exotic natural enemies for classical biological control is needed. Most risks could be avoided by intensifying research on conservation biological control.

e. Use of biopesticides for microbial control of insect pests is still restricted to a few microorganisms but more and more species are being experimentally tested and they could bring new solutions for some pest problems. For this, it is needed to rationalize regulatory processes to register and use new active ingredients.

f. Cultural controls have been often neglected when developing IPM systems. To identify those agricultural practices that contribute pests to build high populations is required. This is usually difficult and even when known, it can be difficult to modify if changes are incompatible with agricultural procedures. However, effective cultural practices are usually cheap to apply.

g. Many semiochemicals playing a role in relationships of insects with environment and themselves have been identified. Additionally, insect behaviour associated to each of these semiochemicals has been elucidated in many cases, and therefore interference of insect pest operations has allowed to diminish their fitness and crop plant damage in a very selective way. Among semiochemicals used for IPM purposes, pheromones have had a preeminent role through mating disruption or mass trapping techniques in addition to their use for insect population monitoring. Also failures in pest control have accompanied relevant successes, mostly due to lack of comprehension of mechanisms involved in semiochemical functioning.

h. Progress in biotechnology has been crucial for many sciences and technologies, also in pest control. Plant resistance introduced in GM crop plants, RNAi techniques to interfere with insect defence against deleterious environmental factors, improved sterilization mechanisms for sterile male techniques, use of molecular markers for insect ecology studies or for insect identification are among some successes of biotechnological applications for pest control. However, EU should decide more clearly the role of biotechnology in the

scientific progress making decisions based on science and not on emotions without scientific basis.

i. Finally, some tools absolutely necessary for the successful implementation of IPM in commercial conditions should be improved. Knowledge of pest density and crop yield relationships must lead to determine sound economic thresholds for decision making in the field. Due to the many factors influencing values of economic thresholds, these are rarely known in specific conditions and too often values are not validated for local situations. Sampling and monitoring tools should allow the use of economic thresholds with the precision required.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the Italian Accademia Nazionale di Entomologia and particularly Prof. Andrea Lucchi, from University of Pisa, for inviting us to give a talk which was the origin of this document.

This work was supported by the EU Horizon 2020 projects EMPHASIS (grant agreement № 634179) and EUCLID (grant agreement № 633999).

LITERATURE CITED

ALBAJES R., 2010 — *Integrated Pest Management: an Entomologist's perspective*. - J. Plant Pathol., 92: (4, Supplement), S4.25-S4.32.

BIGLER F., BABENDREIER D., KUHLMANN U. (Eds.), 2006 — *'Environmental Impact of invertebrates for biological control of arthropods*: *Methods and Risk Assessment.* CAB International, Wallingford, UK.

COMAS C., LUMBIERRES B., PONS X, ALBAJES, R., 2014 — *No effects of Bt-maize on non-target arthropods in the field in southern Europe: meta-analysis of 26 taxa*. - Transgenic Res., 23: 135-143.

COOK S.M., KHAN Z.R., PICKETT J.A., 2007 — *The use of push-pull strategies for Integrated Pest Management*. - Annu. Rev. Entomol., 52: 375-400.

FOLLETT P.A., DUAN J.J. (Eds.), 2000 — *Nontarget effects of biological control*. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.

KOGAN M., 1998 — *Integrated Pest Management: Historical Perspectives and Contemporary Developments*. - Annu. Rev. Entomol., 43: 243-270.

MASIP G., ZABALZA M., PÉREZ-MASOT E., BANAKAR R., CEBRIAN D., TWYMAN R. M. CAPELL T., ALBAJES R., CHRISTOU P., 2013 — *Paradoxical EU agricultural policies on genetically engineered crops*. - Trends Plant Sci., 18: 312-324.

MILLAR J.G., 2007 — *Insect pheromones for Integrated Pest Management: promise versus reality*. - Redia, 90: 51-55.

OERKE E.C., DEHNE H.W., 2004 — *Safe guarding production losses in major crops and the role of crop protection*. - Crop Prot., 23: 275-285.

ROMÁN C., PLANAS S., 2017 — *EU Euclid Project, Annual meeting*.

STERN V.M., SMITH R.F., VAN DEN BOSCH R., HAGEN K.S., 1959 — *The Integrated Control concept*. - Hilgardia, 29: 81-101.

WITZGALL P., KIRSCH P., CORK A., 2010 — Sex *pheromones and their impact of pest management*. - J. Chem. Ecol., 36: 80-100.

YUDELMAN M., RATTA A., NYGAARD D., 1998 — *Pest Management and Food Production: Looking to the Future*. Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 25. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 53-58

LA PROTEZIONE INTEGRATA DELLA VITE: PROBLEMI RICORRENTI, SOLUZIONI E NUOVE SFIDE

ANDREA LUCCHI (*) - CARLO DUSO (**) - ALBERTO ALMA (***)

(*) *DISAAA-a, Università di Pisa*;
(**) *DAFNAE, Università di Padova*;
(***) *DISAFA, Università di Torino.*
Corrispondenza: andrea.lucchi@unipi.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La protezione integrata delle colture: problemi ricorrenti, soluzioni e nuove sfide". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2017

Grapevine integrated protection: recurring problems, solutions and new challenges

This survey reports three examples of IPM implementation carried out in the vineyards of Tuscany (Central Italy), Piedmont and Veneto (Northern Italy) for the control of *Lobesia botrana*, *Planococcus ficus*, *Scaphoideus titanus* and phytophagous mites.

KEY WORDS: Pheromones, Mating disruption, Biological control agents, Encyrtidae, Coccinellidae, Phytoseiidae, IPM.

INTRODUZIONE

La protezione integrata, definita dagli anglosassoni come "Integrated Pest Management" (IPM), è nata in California nei primi anni '50, in antitesi alla lotta insetticida "a calendario". Nelle prime definizioni di IPM veniva posto l'accento sulla necessità di considerare il controllo chimico e quello biologico come due facce della stessa medaglia, al cui riguardo gli insetticidi dovevano essere impiegati in maniera da interferire il meno possibile con la regolazione demografica degli organismi dannosi operata dai loro antagonisti naturali (SMITH e HAGEN, 1959). Nel 1993 il Dipartimento di Agricoltura (USDA) si impegnò ad applicare l'IPM, entro l'anno 2000, sul 70% delle superfici coltivate negli USA. Purtroppo le previsioni si rivelarono troppo rosee, se è vero che, come sostenuto da EHLER e BOTTRELL (2000), dopo 7 anni l'IPM era applicato solo sul 4-8% della superficie coltivata. Gli autori sopra citati definirono il fenomeno come "l'illusione dell'IPM", proponendo, come provocazione, la nuova definizione di "Integrated Pesticide Management" (gestione integrata dei prodotti fitosanitari) o di PM (senza la I) intendendo con esso "Pest Management". A partire dagli anni '70, l'IPM ha riscontrato molto interesse anche in Europa, come riportato nell'esauriente sintesi di FREIER e BOLLER (2009). Ai giorni nostri, almeno nei sistemi agricoli più evoluti, l'IPM è senza alcun dubbio la strategia di riferimento per il controllo dei fitofagi, dei patogeni e delle malerbe.

Molte definizioni di IPM sono state proposte, soprattutto negli anni '60, sia in Italia che all'estero. Una di queste, riferendosi al settore dell'entomologia, la definisce come "…una strategia con la quale si mira a mantenere le popolazioni degli organismi nocivi al di sotto della soglia di dannosità, sfruttando i meccanismi naturali di regolazione e utilizzando metodi di controllo accettabili dal punto di vista ecologico, economico e tossicologico" (IOBC, 1977). In Europa, la Direttiva 2009/128/CE ha istituito un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari, sancendo l'obbligatorietà dell'adozione dell'IPM per gli Stati membri. In Italia, questa Direttiva è stata recepita con il Decreto Legislativo N. 150 del 2012 e infine attuata mediante il Piano di Azione Nazionale (PAN) per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (Decreto Interministeriale 22 gennaio 2014). In tal modo si è inteso "stabilire gli obbiettivi, le misure, i tempi e gli indicatori per la riduzione dei rischi e degli impatti derivanti dall'utilizzo dei prodotti fitosanitari". Il PAN promuove la ricerca di alternative all'uso dei prodotti fitosanitari e fornisce indicazioni per ridurre l'impatto di questi prodotti nelle aree agricole ed extra agricole. Per le diverse filiere produttive, l'adozione dell'IPM nel controllo dei principali fitofagi dipende dall'esistenza di strumenti e mezzi alternativi agli insetticidi, che siano efficaci e, allo stesso tempo, economicamente accettabili.

Nella viticoltura italiana gli artropodi dannosi associati alla vite sono una cinquantina (LUCCHI, 2017). Di questi, per dannosità e frequenza, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller), *Planococcus ficus* (Signoret), *Scaphoideus titanus* Ball e alcuni acari Tetranichidi rappresentano le principali avversità biotiche su gran parte del territorio nazionale. Per la gestione di questi fitofagi esistono a tutt'oggi possibili mezzi e metodi, alternativi agli insetticidi, che hanno

– Pubblicato aprile 2018

acquisito nel corso degli ultimi anni un'importanza via via crescente per l'efficacia mostrata in diversi contesti viticoli. Questi rimedi si configurano come "promotori di IPM" offrendo agli operatori del settore viticolo soluzioni credibili e praticabili per il mantenimento della sanità delle viti e la salvaguardia delle produzioni.

Il presente contributo ospita tre casi studio condotti in altrettante regioni italiane, che offrono possibili soluzioni "integrate" nella gestione dei fitofagi sopramenzionati: mediante il ricorso ai feromoni e agli agenti di controllo biologico in Toscana, alla gestione ecologica dell'agroecosistema vigneto in Piemonte e agli acari predatori in Veneto.

Un'esperienza di protezione integrata resa possibile dalla proficua collaborazione tra viticoltori e ricercatori

Nella difesa delle colture sono ad oggi disponibili efficaci mezzi alternativi agli insetticidi che, tuttavia, non vengono adottati per mancanza di informazioni adeguate e/o di fiducia. Negli Stati Uniti questo vuoto è riempito dagli "University Extension Services", che supportano fattivamente i produttori nell'implementazione di strategie innovative per il controllo di fitofagi e organismi agenti di malattie. Qualcosa di simile si è verificato negli ultimi anni in Trentino, dove la stretta cooperazione tra produttori e strutture pubbliche di ricerca (l'Istituto agrario di San Michele all'Adige, oggi Fondazione E. Mach) ha favorito l'adozione dell'IPM sul territorio provinciale con l'applicazione della confusione sessuale come principale metodo di controllo dei Lepidotteri del meleto e del vigneto sulla quasi totalità delle superfici coltivate (Ioriatti e Lucchi, 2016). Per quanto riguarda la Toscana, vengono qui riportati i risultati di una fruttuosa collaborazione tra Università di Pisa e Aziende viticole che ha portato in soli tre anni all'applicazione di strategie IPM in più di 1000 ettari di vigneto nel territorio prestigioso della DOC Bolgheri, sul litorale livornese (DMS: 43.233982, 10.614802).

Principali problematiche entomologiche

I vigneti del Bolgherese hanno subito in anni recenti pesanti infestazioni da parte della tignoletta della vite *L. botrana* e della cocciniglia farinosa *P. ficus*. Le strategie insetticide generalmente adottate dai viticoltori includevano due o tre interventi all'anno contro la tignoletta con regolatori di crescita o fosforganici e 1-2 trattamenti all'anno contro la cocciniglia con fosforganici o con insetticidi sistemici. Recentemente, una nota azienda viti-vinicola della zona si è rivolta all'Università per concordare una strategia alternativa nella gestione dei due insetti menzionati in quanto gli insetticidi utilizzati fino a quel momento avevano assicurato una parziale efficacia.

Un piano per la gestione integrata

Su nostra proposta, l'azienda ha applicato dalla fine di marzo 2014 la confusione sessuale (CS) per il controllo di *L. botrana* su solo un sesto (50 ettari) dell'intera superficie aziendale, in modo da poter confrontare i risultati ottenuti con la strategia insetticida convenzionale, applicata sulla superficie rimanente. La CS è stata applicata con erogatori Shin-Etsu Isonet L® ad una densità di 500 unità per ha. La gestione delle popolazioni di *P. ficus* comprendeva il rilascio di due agenti di controllo biologico (BCA), il parassitoide *Anagyrus* sp. near *pseudococci* (Girault) (Hymenoptera Encyrtidae) a metà maggio (1.000 individui/ha su un totale di 3,5 ettari) e il predatore *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera Coccinellidae) (500 individui/ha su un totale di 4 ettari) a giugno e/o a luglio. Il monitoraggio delle popolazioni dei due fitofagi è stato effettuato con trappole a feromone e campionamenti sui grappoli. La valutazione di efficacia è stata condotta sia nei vigneti a confusione che in quelli convenzionali per quanto riguarda la tignoletta e negli appezzamenti nei quali sono stati rilasciati gli insetti utili per quanto riguarda la cocciniglia, a confronto con vigneti testimone. Per valutare l'efficacia della CS contro *L. botrana* sono stati presi in considerazione (a) il numero di catture settimanali di maschi nelle trappole a feromoni (Trap Test Isagro®); (b) la percentuale di grappoli infestati e il numero di nidi per infiorescenza (prima generazione), o il numero di larve per grappolo e il numero di acini danneggiati per grappolo (seconda e terza generazione). Le infestazioni di prima e seconda generazione sono state valutate attraverso indagini non distruttive, in vigneto, di infiorescenze e grappoli verdi. Nel caso della terza generazione, una stima della popolazione larvale e dell'infestazione è stata fatta alla raccolta, su campioni di grappoli raccolti nei vigneti e sezionati in laboratorio. Per quanto riguarda le popolazioni di cocciniglia, l'efficacia degli agenti di biocontrollo è stata valutata in base al numero di esemplari parassitizzati da *Anagyrus* sp. near *pseudococci* a metà luglio e alla raccolta, e mediante la stima delle popolazioni di larve e adulti di *C. montrouzieri* nei vigneti oggetto dei rilasci e in quelli testimone. La valutazione di efficacia sul campo ha portato all'osservazione di oltre 20.000 grappoli durante l'intera stagione produttiva.

Risultati

Fin dal primo anno i risultati sono stati molto promettenti, l'azienda viticola non ha trattato con insetticidi nei vigneti a confusione, con un'infestazione estremamente bassa alla raccolta (meno del 5% dei grappoli

infestati), mentre ha trattato due volte nelle aree convenzionali con methoxyfenozide e chlorantraniliprole, con un'efficacia notevolmente inferiore alla vendemmia in termini di grappoli infestati. Inoltre, sono stati ottenuti eccellenti risultati nel controllo di *P. ficus*, cosicché altre aziende locali hanno aderito al progetto nell'anno seguente.

Nel 2015 la confusione è stata applicata nel Bolgherese su 300 ettari e gli agenti di controllo biologico rilasciati su circa 20 ettari, confermando gli ottimi risultati ottenuti nell'anno precedente.

Per questo nel 2016 altre importanti aziende locali sono entrate a far parte del progetto, la confusione per *L. botrana* ha riguardato un totale di 700 ettari mentre predatore e parassitoide della cocciniglia sono stati utilizzati su circa 200 ettari.

La sostanziale diminuzione della quantità di insetticidi dovuta all'introduzione della confusione e degli insetti utili è stata percepita dalle aziende del Bolgherese come un primo importante passo verso la produzione di vini caratterizzati non solo da elevata qualità ma anche da elevati standard di sicurezza per gli operatori e da ridotto impatto ambientale. Il programma triennale ha portato ad una drastica riduzione delle popolazioni dei due insetti, cosicché altre aziende hanno aderito al progetto nel 2017 e l'area gestita in IPM è ulteriormente aumentata (la confusione sessuale è stata applicata su oltre 1.000 ha e gli agenti di biocontrollo sono stati rilasciati su circa 400 ha).

L'agroecologia nel controllo di *Scaphoideus titanus*

La distribuzione di giovani e adulti di *S. titanus* (Hemiptera Cicadellidae) è di tipo aggregato: ciò significa che l'insetto tende a concentrarsi in alcune porzioni del vigneto tralasciandone altre (Jermini *et al*., 1993; Bosco *et al*., 1997; Lessio e Alma, 2006). Tuttavia, mentre i giovani sono estremamente sedentari, gli adulti presentano una buona mobilità. Una tecnica che ha permesso di chiarirne l'effettiva capacità di dispersione è la marcatura con proteine alimentari e successiva cattura, che consiste nel distribuire direttamente sulle piante, in questo caso sui focolai di vite americana infestati dall'insetto, una soluzione acquosa di albume d'uovo (10%) o di latte vaccino (20%), e di disporre trappole cromotattiche a diversa distanza dalla zona trattata (Lessio *et al*., 2014). Le cicaline vengono a contatto con le sostanze traccianti frequentando le piante, e una volta catturate sulle trappole vengono rimosse e sottoposte ad analisi ELISA per l'identificazione del tracciante stesso. In alcuni casi, gli adulti hanno dimostrato grande capacità di dispersione, arrivando a spostarsi per oltre 400 m, e fino a oltre 2 km. Tuttavia, la maggior parte degli spostamenti è dell'ordine di alcune decine di metri (Lessio *et al*., 2014).

La correlazione spaziale degli adulti è in effetti di circa 150-200 m, oltre i quali i fattori maggiormente condizionanti sono l'ambiente circostante e la difesa fitosanitaria (Lessio *et al*., 2011). Si presume che la dispersione degli adulti avvenga lungo corridoi ecologici con presenza di vite, piuttosto che direttamente in linea d'aria (Lessio e Alma, 2004a; Lessio *et al*., 2014). Lo spostamento degli adulti all'interno del vigneto tende a seguire l'orientamento dei filari (Lessio *et al*., 2009), e l'effetto-bordo risente principalmente delle zone non gestite con presenza di vite (Pavan *et al*., 2012; Lessio *et al*., 2014). Tali aspetti potrebbero essere sfruttati, in futuro, per individuare zone del vigneto con funzione di cuscinetto o di barriera naturale nell'ambito della lotta insetticida. Ad esempio, nei nuovi impianti potrebbero essere realizzati filari marginali orientati parallelamente al fronte delle zone incolte, ove concentrare i trattamenti insetticidi. L'attività di volo è prevalentemente crepuscolare, sia per i maschi che per le femmine (Lessio e Alma, 2004b).

Per quanto riguarda i limitatori naturali, nel suo areale d'origine *S. titanus* subisce la parassitizzazione di numerose specie di Imenotteri Driinidi e Ditteri Pipunculidi che, purtroppo, non si sono adattati alle condizioni climatiche europee (Nusillard *et al*., 2003). Alcune specie paleartiche, invece, fra cui alcuni Imenotteri Driinidi e Mimaridi (questi ultimi parassitoidi delle uova), hanno mostrato un certo grado di adattamento nei confronti di *S. titanus* (Alma e Arzone, 1994; Arzone e Alma, 1994).

Dal momento che *S. titanus* prospera in ambienti quali vigneti non trattati o in stato di abbandono, incolti, boschi di neoformazione e boschi veri e propri in cui vi sia sviluppo di vite americana, un metodo di controllo efficace può consistere nell'eliminazione di tali focolai (Lessio *et al*., 2014). Tuttavia, occorre fare alcune distinzioni dal punto di vista giuridico per quanto riguarda le linee d'intervento possibili. Per quanto riguarda i vigneti in stato di abbandono, questi sono semplicemente soggetti a obbligo di estirpo. Negli ambienti di tipo diverso (scarpate stradali, boschi di neoformazione, boschi veri e propri, etc.), occorre valutare caso per caso le possibilità d'intervento soprattutto dal punto di vista normativo (Camerano e Terzuolo, 2015). In ogni caso, l'eliminazione della vegetazione ospite non deve essere effettuata in presenza degli adulti di *S. titanus*, per non favorirne la diffusione verso i vigneti. Inoltre, la sostituzione della vite americana con colture alternative, ad esempio essenze nettarifere, potrebbe concorrere a stabilizzare l'agroecosistema vigneto (Lessio *et al*., 2017).

Fra le ricerche in corso su mezzi di lotta alternativi si possono citare l'impiego del caolino e le reti escludi-

insetto. Il caolino è una polvere inerte, bianca, che distribuita sulle piante le rende meno visibili da parte degli insetti: è stato utilizzato con successo contro le psille del melo (Daniel *et al*., 2005), ma la sua efficacia (o meno) nei confronti di *S. titanus* deve ancora essere confermata. Le reti escludi-insetto sono state impiegate negli USA, contro *Graphocephala atropunctata* (Signoret), un vettore di *Xylella fastidiosa* Well che causa la "Pierce's disease" della vite (Daugherty *et al*., 2012); tuttavia, prove effettuate in Piemonte hanno dimostrato che la loro efficacia è solo parziale (dati non pubblicati).

La gestione degli acari fitofagi può prescindere dagli acaricidi?

Le infestazioni degli acari fitofagi nei vigneti: dall'impiego degli acaricidi al controllo naturale.

Le infestazioni degli acari Tetranichidi nei vigneti si sono verificate in varie aree geografiche e in misura crescente a partire dal secondo dopoguerra. Alla base di queste manifestazioni sono stati individuati essenzialmente tre meccanismi: a) l'impiego diffuso di fungicidi ditiocarbammati e di insetticidi organici di sintesi, risultati dannosi nei confronti degli antagonisti naturali degli acari fitofagi, b) la scarsa sensibilità dei Tetranichidi nei confronti di molti prodotti fitosanitari, c) l'intensificazione colturale dei vigneti.

Dagli anni '60 agli anni '80 l'impiego degli acaricidi specifici era divenuto abituale nei programmi di difesa fitosanitaria della vite. Alla fine degli anni '70, le aziende vitivinicole più avanzate del Veneto effettuavano un intervento acaricida al germogliamento e da uno a due interventi acaricidi nell'estate. Questo, per risolvere problemi legati essenzialmente a due specie di Tetranichidi: *Panonychus ulmi* (Koch) ed *Eotetranychus carpini* (Oudemans). L'aspetto paradossale è che questi interventi non ottenevano sempre gli effetti attesi, probabilmente a causa dell'efficacia decrescente di sostanze attive ormai datate. Questa situazione critica è stata affrontata soprattutto negli anni '80 quando sono stati considerati con attenzione i risultati delle ricerche sugli acari Fitoseidi (Acari Phytoseiidae) intraprese da Paola Ivancich Gambaro (1973). Ne è una testimonianza il consistente numero di ricerche svolte su questi antagonisti naturali nei vigneti italiani ed europei (Baillod *et al*., 1982; Duso *et al*. 2012). Dalle indagini condotte in Italia sono emersi risultati sorprendenti sulla ricchezza di specie esistente nei vigneti, in particolare negli ambienti del Centro-Sud (Castagnoli 1989; Ragusa e Tsolakis, 2001). Allo stesso tempo, le conoscenze sulla biologia e sul comportamento delle numerose specie di Fitoseidi rinvenute sono apparse ancora limitate ai fini di un loro sfruttamento in lotta biologica.

La valorizzazione dei Fitoseidi richiede conoscenze approfondite

La comprensione del ruolo dei Fitoseidi nel controllo degli acari Tetranichidi ha richiesto un forte impegno da parte dei ricercatori che hanno cercato di rispondere ad una serie di quesiti mediante indagini di campo e di laboratorio. In particolare, sono stati studiati i principali fattori che influenzano la diffusione e la persistenza dei Fitoseidi nei vigneti. Nelle prime ricerche svolte nell'Italia nord-orientale, l'importanza dei Fitoseidi è emersa all'interno di prove in cui venivano poste a confronto strategie di difesa fitosanitaria compatibili o meno con l'attività di questi predatori (Girolami 1981; Duso *et al*., 1983; Girolami *et al*., 1992). La divulgazione dei risultati di queste ricerche e la presenza di un servizio di assistenza tecnica, allora diffuso nel territorio veneto, hanno conseguito risultati concreti. La sostituzione dei fungicidi (soprattutto ditiocarbammati) e degli insetticidi (alcuni esteri fosforici) dannosi nei confronti dei Fitoseidi con prodotti più selettivi e l'adozione di soglie d'intervento hanno favorito la ricolonizzazione dei vigneti da parte dei predatori e il successo dei lanci inoculativi di Fitoseidi. Il primo fenomeno (registrato anche in altre regioni) è avvenuto rapidamente nei territori collinari e con maggior lentezza negli ambienti di pianura ove i ditiocarbammati erano fortemente impiegati. In questi ambienti sono state sperimentate soluzioni basate sul lancio inoculativo di Fitoseidi. Tuttavia, si trattava di individuare la specie più adatta a questo tipo di operazione in funzione delle condizioni ambientali e dei fitofagi presenti. Una serie di studi di campo ha posto in evidenza la grande efficacia di *Kampimodromus aberrans* (Oudemans) nel controllo di *P. ulmi* e di *E. carpini*, confermando quanto intuito da Ivancich Gambaro (1973). Queste ricerche hanno posto a confronto *K. aberrans* con altre specie, in particolare *Typhlodromus pyri* Scheuten (dominante nei vigneti del centro Europa), *Amblyseius andersoni* (Chant) (comune negli ambienti temperato-umidi) e *Phytoseius finitimus* Ribaga (diffusa nei vigneti biologici) (Duso, 1989; Duso e Pasqualetto 1993; Girolami *et al*., 1992; Duso e Vettorazzo, 1999). L'individuazione dei fattori che influenzano positivamente la persistenza dei Fitoseidi generalisti quando le prede scarseggiano è risultata indispensabile per l'affinamento delle strategie di gestione di queste risorse. Tra gli alimenti alternativi dei Fitoseidi sono apparsi particolarmente importanti il polline e alcuni patogeni, in particolare la peronospora. Le relazioni tra Fitoseidi e polline sono risultate spesso significative per *K. aberrans* e *T. pyri* (Malagnini *et al*., 1997) mentre la peronospora rappresenta un alimento completo per *A. andersoni* e *T. pyri* (Duso *et al*., 2003; Pozzebon e Duso, 2008). Una delle conseguenze pratiche di queste indagini è rappresentata dalla gestione dello sfalcio del cotico

erboso dell'interfila. Il rallentamento del ritmo di sfalcio consente una prolungata fioritura di specie a impollinazione anemofila e dunque un flusso pollinico che favorisce la sopravvivenza e la riproduzione dei Fitoseidi generalisti. Queste condizioni migliorano la resilienza delle popolazioni in seguito a interventi con prodotti fitosanitari non selettivi (Girolami *et al*., 2000). La diffusione di popolazioni di Fitoseidi resistenti agli esteri fosforici (Tirello *et al*., 2012) e, probabilmente, ai ditiocarbammati (Posenato, 1994) ha rappresentato un fenomeno fondamentale per la loro definitiva affermazione.

Problemi attuali e nuove sfide

Attualmente, nei vigneti del Veneto si eseguono pochissimi trattamenti acaricidi. Rimangono alcuni problemi localizzati associati all'acariosi (manifestazione dei sintomi indotti dall'eriofide *Calepitrimerus vitis* Nalepa) la cui genesi è ancora incerta. Sono segnalati focolai di *E. carpini* nelle aree collinari e in questo caso è sorta una discussione sulla responsabilità degli interventi con i neonicotinoidi (effettuati contro *S. titanus*) a causa di una loro presunta dannosità nei confronti dei Fitoseidi. Gli effetti negativi di alcuni neonicotinoidi sono associati soprattutto alla riduzione della fecondità dei predatori (Duso *et al*., 2014) e quindi interventi sporadici non dovrebbero manifestare effetti devastanti sull'acarofauna utile. In realtà, predatori e prede possono risultare esposti agli insetticidi mediante modalità differenti e i primi corrono seri rischi quando ingeriscono prede contaminate da neonicotinoidi (Pozzebon *et al*., 2011; Tirello *et al*. dati non pubblicati). Recentemente, l'eriofide *Colomerus vitis* Pagenstecher è stato individuato quale possibile vettore del virus GPGV (Malagnini *et al*., 2016). Se questo fenomeno fosse confermato potrebbero aprirsi nuovi scenari in cui gli acaricidi sarebbero chiamati in causa per ridurre drasticamente la presenza del vettore.

La protezione della vite in Veneto sta vivendo una nuova fase caratterizzata dalla diffusione di specie invasive. Tra queste preoccupano *Halyomorpha halys* (Stål) e *Drosophila suzukii* (Matsumura) ma non vanno trascurate le recenti infestazioni di *Erasmoneura vulnerata* (Fitch). L'impatto che la lotta chimica contro queste specie avrà sui rapporti tra acari fitofagi e predatori dovrà essere valutato con attenzione per non ripetere gli errori del passato.

Considerazioni conclusive

Sulla base delle esperienze sopra descritte, si ritiene che nei vigneti italiani non esistano ostacoli insormontabili per l'introduzione e l'implementazione di strategie IPM nel controllo dei fitofagi chiave.

Appare fondamentale tuttavia, oltre alla disponibilità e alla fiducia delle aziende nei confronti di possibili metodi alternativi, l'interesse dei ricercatori nella promozione e nel trasferimento delle conoscenze esistenti. Si ritiene che il mondo della ricerca debba assumere necessariamente un ruolo primario nel coinvolgere in tutti i modi i soggetti interessati a lavorare insieme per un obiettivo comune.

BIBLIOGRAFIA

Alma A., Arzone A., 1994 – *Adattamento di driinidi paleartici al cicadellide neartico* Scaphoideus titanus *Ball (Auchenorrhyncha Cicadellidae).* MAF Convegno Lotta Biologica, Acireale (CT), pp 77-82.

Arzone A., Alma A., 1994 – *Indagini sui parassitoidi oofagi di* Scaphoideus titanus *Ball (Auchenorrhyncha Cicadellidae).* MAF Convegno Lotta Biologica, Acireale (CT), pp 83-88-

Bosco D., Alma A., Arzone A., 1997 – *Studies on population dynamics and spatial distribution of leafhoppers in vineyards (Homoptera: Cicadellidae).* - Annals of Applied Biology, 130: 1-11.

Camerano P., Terzuolo P.G., 2015 – *Flavescenza dorata - Guida per il contenimento delle viti rinselvatichite.* IPLA.

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) A. A. Balkema, Rotterdam, pp 169-180.

Daniel C., Pfammatter W., Kehrli P., Wyss E., 2005 – *Processed kaolin as an alternative insecticide against the European pear sucker*, Cacopsylla pyri *(L.).* - Journal of Applied Entomology, 129: 363-367.

Daugherty M.P., Gruber B.R., Almeida R.P.P., Anderson M.M., Cooper M.L., Rasmussen Y.D., Weber E.A., 2012 – *Testing the efficacy of barrier plantings for limiting sharpshooter spread.* - American Journal of Enology and Viticulture, 63: 139-143.

Duso C., 1989 – *Role of* Amblyseius aberrans *(Oud.),* Typhlodromus pyri *Scheuten and* Amblyseius andersoni *(Chant) (Acari, Phytoseiidae) in vineyards*. I. *The effects of single or mixed phytoseiid population releases on spider mite densities* (Acari, Tetranychidae). - Journal of Applied Entomology, 107: 474-492.

Duso C., Pasqualetto C., 1993 – *Factors affecting the potential of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) as biocontrol agents in North-Italian vineyards*. - Experimental & Applied Acarology, 17: 241-258.

Duso C., Vettorazzo E., 1999 – *Mite population dynamics on different grape varieties with or without phytoseiids released (Acari: Phytoseiidae).* - Experimental & Applied Acarology, 23: 741-763.

Duso C., Malagnini V., Paganelli A., 1997 – *Indagini preliminari sui rapporti tra polline e* Kampimodromus aberrans *(Oudemans) (Acari: Phytoseiidae).* - Allionia, 35: 229-239.

Duso C., Girolami V., Borgo M., Egger E., 1983 – *Influenza di anticrittogamici diversi sulla sopravvivenza di predatori Fitoseidi introdotti su vite.* - Redia, LXVI: 469-483.

Duso C., Pozzebon A., Kreiter S., Tixier M.S., Candolfi M.P., 2012 – *Management of phytophagous mites in European vineyards*. In: "Arthropod Management in

Vineyards: Pests, Approaches, and Future Directions" (Bostanian N.J., Vincent C., and Isaacs R. Editors), Springer, 191-217.

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. - Biological Control, 27: 229-241.

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)*. - Experimental and Applied Acarology, 62: 391-414.

Ehler L.E., Bottrell D.G., 2000 – *The illusion of integrated pest management*. - Issues in Science & Technology, 16: 61-64.

Freier B., Boller E.F., 2009 – *Integrated Pest Management in Europe - History, Policy, Achievements and Implementation*. In: Peshin &Dhawan (Eds.): Integrated Pest Management Volume 1: Innovation-Development Process, pp 435-454, Springer Science + Business Media

Girolami V., 1981 - *Danni, soglie di intervento, controllo degli acari della vite*. In: Proceedings del terzo incontro su "*La difesa integrata della vite*", Latina, Italy, 3-4 Dicembre 1981, pp. 111-143.

Girolami V., Picotti P., Coiutti C., 1992 – *Ruolo determinante del fitoseide* Amblyseius aberrans (Oud.) *nel controllo degli acari fitofagi*. - L'Informatore Agrario, 68: 65-69.

Girolami V., Borrella E., Di Bernardo A., Malagnini V., 2000 – *Influenza positiva sui Fitoseidi della fioritura del cotico erboso*. - L'Informatore Agrario, 51:71-73.

Ioriatti C., Lucchi A., 2016 - *Semiochemical Strategies for Tortricid Moth Control in Apple Orchards and Vineyards in Italy*. - Journal of Chemical Ecology, 42 (7): 571-583.

Ivancich Gambaro P., 1973 – *Il ruolo del* Typhlodromus aberrans *Oudemans (Acarina Phytoseiidae) nel controllo biologico degli Acari fitofagi del Veronese*. - Bollettino di Zoologia Agraria e Bachicoltura, 11:151-165.

Jermini M., D'Adda G., Baumgartner J., Lozzia G.C., Baillod, M., 1993 – *Nombre des pièges englués pour estimer la densité rélative des populations de la cicadelle* Scaphoideus titanus *Ball en vignoble*. - Bollettino di Zoologia Agraria e Bachicoltura, 25: 91-102.

Lessio F., Alma A., 2004a – *Dispersal patterns and chromatic response of* Scaphoideus titanus *Ball (Homoptera Cicadellidae), vector of the phytoplasma agent of grapevine flavescence doree*. - Agricultural and Forest Entomology, 6: 121-127.

Lessio F., Alma, A., 2004b -*Seasonal and daily movement of* Scaphoideus titanus *Ball (Homoptera : Cicadellidae)*. - Environmental Entomology, 33: 1689-1694.

Lessio F., Alma, A., 2006 – *Spatial distribution of nymphs of* Scaphoideus titanus *(Homoptera : Cicadellidae) in grapes, and evaluation of sequential sampling plans*. - Journal of Economic Entomology, 99: 578-582.

Lessio F., Borgogno Mondino E., Alma, A., 2009 – *Spatial correlation of* Scaphoideus titanus *Ball adults on European grapevine at a plot scale: a case-study*. In: Boudon-Padieu, E. (ed.) 16th ICVG Meeting Les Progrès Agricole et Viticole, Dijon, France, pp 166-167.

Lessio F., Borgogno Mondino E., Alma A., 2011 – *Spatial patterns of* Scaphoideus titanus *(Hemiptera: Cicadellidae): a geostatistical and neural network approach*. - International Journal of Pest Management, 57: 205-216.

Lessio F., Tedeschi R., Alma A., 2017 – *Influence of foraging strip crops on the presence of leafhoppers and planthoppers associated to grapevines' phytoplasmas*. - Bulletin of Insectology, 70(2): 221-229.

Lessio F., Tota F., Alma, A., 2014 – *Tracking the dispersion of* Scaphoideus titanus *Ball (Hemiptera: Cicadellidae) from wild to cultivated grapevine: use of a novel mark-capture technique*. - Bulletin of Entomological Research, 104: 432-443.

Malagnini V., De Lillo E., Saldarelli P., Beber R., Duso C., Raiola A., Zanotelli L., Valenzano D., Giampietruzzi A., Morelli M., Ratti C., Causin R., Gualandri V., 2016 – *Transmission of grapevine Pinot gris virus by* Colomerus vitis *(Acari: Eriophyidae) to grapevine*. - Archives of Virology, 161(9): 2595-2599.

Lucchi A., 2017 – *Note di Entomologia viticola*. Terza Edizione. Pisa University Press, 223 pp.

Nusillard B., Malausa J.C., Giuge L., Millot P., 2003 – *Assessment of a two years study of the nautral enemy fauna of* Scaphoideus titanus *Ball in its North American native area*. - IOBC/wprs Bulletin, 26: 237-240.

Pavan F., Mori N., Bigot G., Zandigiacomo, P., 2012 – *Border effect in spatial distribution of Flavescence doree affected grapevines and outside source of* Scaphoideus titanus *vectors*. - Bulletin of Insectology, 65: 281-290.

Posenato G., 1994 - *Popolazioni di* Amblyseius aberrans *(Oud.) resistenti ad esteri fosforici e ditiocarbammati*. - L'Informatore Agrario, 50: 41-43.

Pozzebon A., Duso C., 2008 – *Grape downy mildew* Plasmopara viticola, *an alternative food for generalist predatory mites occurring in vineyards*. - Biological Control, 45: 441-449.

Pozzebon A., Duso C., Tirello P., Bermudez Ortiz P., 2011 – *Toxicity of thiamethoxam to* Tetranychus urticae *Koch and* Phytoseiulus persimilis *Athias-Henriot (Acari Tetranychidae, Phytoseiidae) through different routes of exposure.* - Pest Management Science, 67: 352-359.

Ragusa di Chiara S., Tsolakis H., 2001 – *Phytoseiid faunas of natural and agricultural ecosystems in Sicily*. In: Halliday RB, Walter DE, Proctor HC, Norton RA, Colloff MJ (eds) Proceedings of the 10th International Congress of Acarology, CSIRO Pub, Collingwood, Australia, pp 522-529

Smith R.F., K.S. Hagen, 1959 – *Integrated control programs in the future of biological control*. - Journal of Economic Entomology, 52: 1106-1108.

Tirello P., Pozzebon A., Duso C., 2012 – *Resistance to chlorpyriphos in the predatory mite* Kampimodromus aberrans. - Experimental and Applied Acarology, 56: 1-8.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 59-62

AGGIORNAMENTI SUL CONTROLLO INTEGRATO DEI PRINCIPALI FITOFAGI DELL'ORTICOLTURA PROTETTA IN AMBIENTE MEDITERRANEO

LUCIA ZAPPALÀ - ANTONIO BIONDI - GIOVANNA TROPEA GARZIA
GAETANO SISCARO - CARMELO RAPISARDA

University of Catania, Department of Agriculture, Food and Environment, via Santa Sofia 100, 95123, Catania, Italy; corrispondenza: lzappala@unict.it
Sintesi della lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La protezione integrata delle colture: problemi ricorrenti, soluzioni e nuove sfide". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2017.

Recent advances in Integrated Management of the main pests of vegetable protected crops in Mediterranean environment

KEY WORDS: tomato, *Bemisia tabaci*, *Tuta absoluta*, *Nesidiocoris tenuis*, IPM

The EU Directive on the sustainable use of pesticides (2009/128/EC) is now adopted by most EU member States through their National Action Plans. Among its major aims, the reduction of pesticide risks and impact on human health and the environment and the promotion of Integrated Pest Management (IPM) approaches or techniques, such as non-chemical tools, are being pursued.

Greenhouse crops are extremely specialized farming systems with peculiar ecologic conditions deriving from climatic, agronomic and plant protection issues. Indeed, some traits (e.g. high number of pest generations and their frequent overlapping, limited and/or prevented access to native beneficials, rapid development of insecticide resistant pest populations) hamper the IPM applications, while several others (e.g. climate regulation, physical barriers, easier use of beneficials, knowledge intensive crop system and high value crops) facilitate the adoption of sustainable control techniques.

In Italy, tomato is one of the most important protected crops. Its pest complex, although diverse, can be reduced to a few key species represented by root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), whiteflies [mainly *Bemisia* spp. gr. *tabaci* (Gennadius)] and the exotic moth *Tuta absoluta* (Meyrick).

Gall forming nematodes of the genus *Meloidogyne* have a remarkable dimorphism, with worm-like, mobile males and pear-shaped, sedentary females, which are the only forms parasitizing plants by penetrating, during their larval stage, their root tissues. Feeding activity of these nematodes negatively affects the cells physiology and development, causing hypertrophy and hyperplasia which lead to root galls production. Highly infested roots remarkably reduce their function, consequently causing water stress to plants, as well as limited growth and production, up to death. Nematodes are important pests in greenhouses all over the warm regions, but they become particularly noxious especially in sandy soils, with high ground humidity, and spring and autumn temperatures ranging from 20 to 30°C. Many species are known to attack greenhouse vegetable crops worldwide, but *M. incognita* (Kofoid & White), *M. javanica* (Treub) and *M. arenaria* (Neal) are the most important ones in the Mediterranean region (COLOMBO, 2002; AMBROGIONI *et al.*, 2014). The integrated control of nematodes, which mainly relies on the adoption of resistant varieties, can also be obtained applying soil solarization, alone and/or in association with vegetal extracts, mychorrhizae and microbials [especially *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson] (VV.AA., 2014). Recently, garlic-based products have been used in pre-transplant for preventing nematode attacks and during the growing cycle as curative treatments.

The *Bemisia tabaci* species complex is a global concern on many crops, also due to the absence of clear discriminant morphological traits both in adults and juveniles. However, more than 35 putative species have been molecularly, biologically and behaviorally identified and characterized. In particular, their fitness on diverse host plants and their different degree of insecticide resistance development have been noticed (DE BARRO

– Pubblicato aprile 2018

et al., 2011; BOYKIN, 2014). Whitefly damage consists in sapsucking, honeydew production and, most importantly, virus transmission, with more than 300 virus species being known to be transmitted by whiteflies (NAVAS-CASTILLO *et al.*, 2011; 2014). Important and harmful viruses are known to be transmitted by *Bemisia* spp. gr. *tabaci* on protected vegetable crops, such as TYLCV, TYLCSV or ToCV. A new "*B. tabaci*" transmitted virus, the Tomato leaf curl New Delhi virus (ToLCNDV), has been reported very recently in Italy (PANNO *et al.*, 2016), affecting several host plants and mainly zucchini, causing great damage and high yield losses. The efficient control of whiteflies, and more broadly of whitefly related problems, is based on the use of adult mass trapping, of tolerant or resistant varieties, on the releases and conservation of parasitoids and/or predators, as well as microbial agents, on the application of insect-proof nets and UV-absorbing plastic films and of selective insecticides. A key role in the biological control of this pest is played by generalist predators, both mites and mirid bugs. The latter are mostly responsible for the crop resilience being omnivorous; however, this can become a weakness factor, as it will be explained later on. Insect-proof nets, properly maintained and periodically revised, greatly contribute to the control of whiteflies and other pests under greenhouse conditions. Among physical barriers, plastic films and in particular UV-absorbing ones have a great potential in whitefly control. Their application, jointly with the orientation of rows perpendicular to the main light source, greatly reduces adult whiteflies presence on crops as well as, more importantly, the percentage of virus infected plants (RAPISARDA *et al.*, 2005; 2006). The best results are obtained applying UV-absorbing plastic both on the roof as well as on the lateral walls. However, this technique is expensive mainly due to the need of yearly renewal of the plastic cover. An increase in the efficacy duration would benefit this control method.

The list of exotic pests reported infesting protected crops, was recently enriched by the South American tomato pinworm, *T. absoluta*, which was reported for the first time in Europe in Spain (2006) and after in Italy (2008) (TROPEA GARZIA *et al.*, 2012). This pest is currently reported worldwide in most tomato growing countries with the exception of China and the North American and Australian continents (BIONDI *et al.*, 2018). For its biological traits and economic relevance, this species is the key pest for tomato and can be effectively contained only by applying integrated control strategies, both before (e.g. removal of crop residues, soil sanitation, use of insect-proof nets) and after transplanting (e.g. pheromone traps, protection of indigenous natural enemies, rational insecticide applications) (SISCARO *et al.*, 2013). Nevertheless, the inaccurate integration of these techniques, together with the strong tendency of the moth to develop insecticide resistant populations (HADDI *et al.*, 2012a; 2012b; 2017; RODITAKIS *et al.*, 2013; 2017), make this pest a constant threat to tomato production. Bioassays have been conducted to test α-cypermethrin impregnated nets for their lethal and sublethal effects on *T. absoluta.* Significant reduction in longevity and reproduction of the exposed adults, as well as a repellent effect were recorded (BIONDI *et al.*, 2015). However, the technique is still limited to the experimental level in Europe. In the framework of sustainable pesticide use, a significant reduction of infestations, mainly due to a repellent effect on the moth egglaying, was obtained with weekly applications of dustable sulphur (ZAPPALÀ *et al*., 2012), which is commonly applied on tomato, at least in the first phases of the growing cycle. Sulphur can also be supplied in vapor phase using electric devices that, through heating, make sulphur flakes sublimate. Although this technique is not effective in controlling *T. absoluta*, it was proved very effective in reducing the diffusion of viruses (though not reducing the number of adult whiteflies collected) as well as in controlling dipteran leafminers, the tomato russet mite and the main tomato fungal diseases (COLOMBO *et al.*, 2010). However, the application of this technique is greatly reduced due the proved negative effects on the plastic covers and the galvanized metallic structures. Controversial results were obtained by mating disruption applications, which, most frequently, only allowed a reduction in the number of pesticide applications rather than a total substitution (COCCO *et al*., 2013). Besides, the reports of parthenogenetic populations in the Mediterranean basin (CAPARROS MEGIDO *et al.*, 2012; ABBES & CHERMITI, 2014) question this technique. The moth sexual pheromone is instead greatly and effectively used alone or together with light and/or color, as attractant in mass trapping applications that contribute to the sustainable control of this pest (SISCARO *et al.*, 2013; CHERIF *et al.*, 2018). Finally, although the richness of the natural enemies complex reported in the Mediterranean basin (BIONDI *et al.*, 2013a; ZAPPALÀ *et al.*, 2013; ABBES *et al.*, 2014), generalist predators are the most promising antagonists for biological control of the moth. However, the biocontrol services provided by *T. absoluta* natural enemies can be disrupted by many insecticide applications, including several authorized in organic farming (BIONDI *et al.,* 2012; 2013b). Among the key *T. absoluta* biological control agents in the Mediterranean environments, the mirid *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) is largely employed in biocontrol programs in tomato crops through augmentative releases and conservative strategies against various pests (mites, thrips, whiteflies, and more recently also *T. absoluta*). However, under certain circumstances (i.e. low prey densities and high tem-

perature), it can cause economic losses by its repeated feeding on tomato plants. Specific trials were performed to evaluate the effect of companion plants on the mirid damage as well as on its biocontrol activity. *Sesamum indicum* L. was proved to be the most attractive plant for the bug, reducing the mirid damage on tomato though not interfering with its predatory activity on *T. absoluta* in laboratory and semi-field conditions. Besides, it proved to be the only suitable plant for *N. tenuis* development without any additional prey (Biondi *et al.*, 2016). Sesame attractivity was also confirmed in olfactory trials (Naselli *et al.*, 2016a) and in a preliminary semi-field trial which stimulates future larger scale trials. Finally, the evidence of plant defense induction by all *N. tenuis* instar feeding punctures (Naselli *et al.*, 2016b) opens new insight in the predator biocontrol services.

The implementation of sustainable pest control programs, both targeting new exotic and previously established pests, requires constant efforts in scientific research and it is supported by the current European regulation on crop protection.

REFERENCES

Abbes K., Biondi A., Zappalà L., Chermiti B., 2014 – *Fortuitous parasitoids of the invasive tomato leafminer* Tuta absoluta *in Tunisia*. - Phytoparasitica, 42: 85-92.

Abbes K., Chermiti B., 2014 – *Propensity of three Tunisian populations of the tomato leafminer* Tuta absoluta *(Lepidoptera: Gelechiidae) for deuterotokous parthenogenetic reproduction*. - Afr. Entomol., 22: 538-544.

Ambrogioni L., Carletti B., Roversi P.F., 2014 – *Chapter 14, Nematodi galligeni* [pp. 337-366]. In: Ambrogioni L., D'Errico F.P., Greco N., Palmisano A.M., Roversi P.F. (coord.), Nematologia Agraria generale e applicata, Società Italiana di Nematologia, pp. 482.

Biondi A., Desneux N., Siscaro G., Zappalà L., 2012 – *Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator* Orius laevigatus. - Chemosphere, 87: 803-812.

Biondi A., Chailleux A., Lambion J., Han P., Zappalà L., Desneux N., 2013a – *Indigenous natural enemies attacking* Tuta absoluta *(Lepidoptera: Gelechiidae) in Southern France*. - Egypt. J. Biol. Pest Control, 23: 117-121.

Biondi A., Zappalà L., Stark J.D., Desneux N., 2013b – *Do biopesticides affect the demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal effects?* - PLoS One, 8: e76548.

Biondi A., Zappalà L., Desneux N., Aparo A., Siscaro G., Rapisarda C., Martin T., Tropea Garzia G., 2015 - *Potential toxicity of α-cypermethrin-treated nets on* Tuta absoluta *(Lepidoptera: Gelechiidae)*. - J. Econ. Entomol., 108: 1191-1197.

Biondi A., Zappalà L., Di Mauro A., Tropea Garzia G., Russo A., Desneux N., Siscaro G., 2016 – *Can alternative host plant and prey affect phytophagy and biological control by the zoophytophagous mirid* Nesidiocoris tenuis? - BioControl, 61: 79-90.

Biondi A,, Guedes R.N.C., Wan F.H., Desneux N., 2018 – *Ecology, Worldwide Spread and Management of the Invasive South American Tomato Pinworm,* Tuta absoluta*: Past, Present, and Future*. - Annu. Rev. Entomol., 63: 239-258.

Boykin L.M., 2014 – Bemisia tabaci *nomenclature: lessons learned*. - Pest Manag. Sci., 70: 1454-1459.

Caparros Megido R., Haubruge E., Verheggen F.J., 2012 – *First evidence of deuterotokous parthenogenesis in the tomato leafminer,* Tuta absoluta *(Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)*. - J. Pest Sci., 85: 409-412.

Cherif A., Harbaoui K., Zappalà L., Grissa-Lebdi K., 2018 – *Efficacy of mass trapping and insecticides to control* Tuta absoluta *in Tunisia*. - J. Plant Dis. Protect., 125: 51-61.

Cocco A., Deliperi S., Delrio G., 2013 – *Control of* Tuta absoluta *(Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in greenhouse tomato crops using the mating disruption technique.* - J. Appl. Entomol., 137: 16-28.

Colombo A., 2002 – *Le problematiche nematologiche delle colture ortive in serra*. - Nematologia mediterranea, 30 (supplemento): 17-20.

Colombo A., Rapisarda C., Siscaro G., Tropea Garzia G., Cataldi S., Vitale A., Zappalà L., Polizzi G., 2010 – *Zolfo sublimato per la difesa da malattie e fitofagi delle colture ortive.* - Colture Protette, 1: 88-94.

De Barro P.J., Liu S.S., Boykin L.M., Dinsdale A.B., 2011 – Bemisia tabaci*: a statement of species status*. - Annu. Review Entomol., 56: 1-19.

Haddi K., Berger M., Bielza P., Cifuentes D., Field L., Gorman K., Rapisarda C., Williamson M.S., Bass C., 2012a – *Identification of mutations associated with pyrethroid resistance in the voltage-gated sodium channel of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*)*. - Insect Bioch. Mol, Biol., 42: 506-513.

Haddi K., Berger M., Bielza P., Cifuentes D., Field L.M., Gorman K., Williamson M.S., Bass C., Rapisarda C., 2012b – *Tomato leafminer,* Tuta absoluta *(Meyrick), and insecticide resistance: a new challenge for control strategies.* - Bull. OILB/WPRS, 80: 45-49.

Haddi K., Berger M., Bielza P., Rapisarda C., Williamson M.S., Moores G., Bass C., 2017 – *Mutation in the ace-1 gene of the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*) associated with organophosphates resistance*. - J. App. Entomol., 141: 612-619.

Naselli M., Zappalà L., Gugliuzzo A., Tropea Garzia G., Biondi A., Rapisarda C., Cincotta F., Condurso C., Verzera A., Siscaro G., 2016a – *Olfactory response of the zoophytophagous mirid* Nesidiocoris tenuis *to tomato and alternative host plants*. - Arthropod-Plant Inte., 11: 121-131.

Naselli M., Urbaneja A., Siscaro G., Jaques J., Zappalà L., Flors V., Pérez-Hedo M., 2016b - *Stage-related defense response induction in tomato plants by* Nesidiocoris tenuis. - International . J. Mol. Sci., 17: 1210.

Navas-Castillo J., Fiallo-Olivé E., Sánchez-Campos S., 2011 – *Emerging virus diseases transmitted by whiteflies*. - Annu. Rev. Phytopathol., 49: 219-248.

Navas-Castillo J., López-Moya J.J., Aranda M.A., 2014 – *Whitefly-transmitted RNA viruses that affect intensive vegetable production*. - Ann. App. Biol., 165: 155-171.

Panno S., Iacono G., Davino M., Marchione S., Zappardo V., Bella P., Tomassoli L., Accotto G.P., Davino S., 2016 – *First report of* Tomato leaf curl New Delhi virus *affecting zucchini squash in an important horticultural area of southern Italy*. - New Disease Reports, 33: 6.

Rapisarda C., Cascone G., Colombo A., Tropea Garzia G., Mazzarella R., Serges T., 2005 – *Controllo fisico di* Bemisia tabaci *e della virosi TYLCD in coltura protetta*. - Colture protette, 34 (8): 53-64.

Rapisarda C., Tropea Garzia G., Cascone G., Mazzarella R., Colombo A., Serges T., 2006 – *UV-absorbing plastic films for the control of* Bemisia tabaci *(Gennadius) and Tomato Yellow Leaf Curl Disease (TYLCD) on protected cultivations in Sicily (South Italy)*. - Acta Hortic., 719: 597-604.

Roditakis E., Skarmoutsou C., Staurakaki M., del Rosario Martínez-Aguirre M., García-Vidal L., Bielza P., Haddi K., Rapisarda C., Rison J., Bassi A., Teixeira, L.A., 2013 – *Determination of baseline susceptibility of European populations of* Tuta absoluta *(Meyrick) to indoxacarb and chlorantraniliprole using a novel dip bioassay method*. - Pest Manag. Sci., 69: 217-227.

Roditakis, E., Vasakis, E., García-Vidal, L., Del Rosario Martínez-Aguirre, M., Rison, J.L., Haxaire-Lutun, M.O., Nauen, R., Tsagkarakou, A., Bielza, P., 2017 – *A four-year survey on insecticide resistance and likelihood of chemical control failure for tomato leaf miner*Tuta absoluta *in the European/Asian region*. - J. Pest Sci.: 1-15. doi:10.1007/s10340-017-0900-x

Siscaro G., Biondi A., Haddi K., Rapisarda C., Tropea Garzia G, Zappalà L., 2013 – *Orientamenti di lotta integrata per il contenimento di* Tuta absoluta *(Meyrick) in Italia*. - Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Anno LX, 2012: 111-124.

Tropea Garzia G., Siscaro G., Biondi A., Zappalà L., 2012 – Tuta absoluta*, a South American pest of tomato now in the EPPO region: biology, distribution and damage*. - EPPO Bull., 42: 205-210.

Various Authors, 2014 – *Chapter 10, Lotta* [pp. 155-245]. In: Ambrogioni L., D'Errico F.P., Greco N., Palmisano A.M., Roversi P.F. (coord.), Nematologia Agraria generale e applicata, Società Italiana di Nematologia, pp. 482.

Zappalà L., Siscaro G., Biondi A., Mollà O., Gonzàlez-Cabrera J., Urbaneja A., 2012 – *Efficacy of sulphur on Tuta absoluta and its side effects on the predator* Nesidiocoris tenuis. - J. Appl. Entomol., 136: 401-409.

Zappalà L., Biondi A., Alma A., Al-Jboory I.J., Arnò J., Bayram A., Chailleux A., El-Arnaouty A., Gerling D., Guenaoui Y., Shaltiel-Harpaz L., Siscaro G., Stavrinides M., Tavella L., Vercher R., Urbaneja A., Desneux N., 2013 – *Natural enemies of the South American moth,* Tuta absoluta, *in Europe, North Africa and Middle-East, and their potential use in pest control strategies*. - J. Pest Sci., 86:635-647.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 63-68

I SEMIOCHIMICI NELLA DIFESA INTEGRATA DEL MELO IN TRENTINO-ALTO ADIGE

CLAUDIO IORIATTI (*) - GIANFRANCO ANFORA (*) (**)

(*) *Centro Trasferimento Tecnologico, Fondazione Edmund Mach, Via Edmund Mach 1, 38010 San Michele all'Adige (TN)*
(**) *Centro Agricoltura, Alimenti e Ambiente, Università di Trento, Via Edmund Mach 1, 38010 San Michele all'Adige (TN)*
Corrispondenza: claudio.ioriatti@fmach.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La protezione integrata delle colture: problemi ricorrenti, soluzioni e nuove sfide". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2017.

The use of semiochemicals for the Integrated Pest Management in apple orchards in Trentino-South Tyrol, Italy

With its 28,000 hectares, Trentino - South Tyrol region is the main apple-producing area in Italy and one of the most important apple-growing district in Europe. Codling moth (*Cydia pomonella*) is the key pest of apple orchards and economic losses associated with its infestation could be significant if not adequately controlled. Since the early Nineties area-wide applications of pheromone mating disruption (MD) has been implemented in the region for the control of codling moth. At present, after 25 years of constant increase of the treated surface, mating disruption is applied on about 24,000 ha i.e. 85% of the total apple growing area. For a complete control of the pest MD needs to be integrated with a post-blossom insecticide (methoxyfenozide or chlorantraniliprole), generally applied when the eggs of the first generation start hatching. While the main target is still codling moth, the multi-species dispensers are sometime applied to control leafrollers or oriental fruit moth. Once largely used, hand-applied reservoir dispensers are nowadays gradually replaced by aerosol technology that has shown comparable efficacy and reduced application costs. Additional insecticide applications potentially required to control new invasive alien species like *Halyomorpha halys*, the northward expansion of *Ceratitis capitata*, or the new outbreaks of apple proliferation disease vectored by *Cacopsylla picta* and *Cacopsylla melanoneura* can jeopardize the economic sustainability of MD application and foster research institutions and advisory services to find alternative control techniques.

KEY WORDS: tortricid pests, codling moth, mating disruption, pheromone dispensers, invasive alien species

INTRODUZIONE

Con oltre 2 milioni di tonnellate di mele prodotte annualmente, l'Italia si contende una delle prime cinque posizioni nel ranking dei principali produttori mondiali. Gran parte della produzione si concentra nelle regioni settentrionali e fra queste spicca il significativo apporto del Trentino-Alto Adige la cui produzione, realizzata su poco più di 28.000 ha, è stimata contribuire per circa il 70% della produzione nazionale (DALPIAZ, 2014).

La produzione di mele nel Trentino-Alto Adige, come generalmente in tutta la melicoltura, è sorretta da un ampio apporto di fitofarmaci potenzialmente critici per quanto riguarda gli aspetti tossicologici e ambientali. Fino agli anni ottanta, infatti, il controllo dei fitofagi del melo era perseguito prevalentemente mediante il ricorso ad insetticidi esteri fosforici. In seguito, con l'accrescersi della consapevolezza dell'avverso impatto di tali sostanze sugli organismi utili e della potenziale tossicità nei confronti degli utilizzatori e di tutti coloro che risultavano inavvertitamente esposti alla deriva dei trattamenti, si promosse la loro sostituzione almeno per il controllo dei tortricidi ed in particolare per il controllo di carpocapsa, *Cydia pomonella* L., ubiquitariamente considerato il fitofago primario del melo. Gli insetticidi scelti per sostituire gli esteri fosforici furono i regolatori di crescita degli insetti, considerati meno tossici e più selettivi nei confronti delle specie utili. Ben presto però, a seguito del loro reiterato impiego nella lotta alla carpocapsa (IORIATTI *et al.*, 1997; WALDNER, 1997), venne osservata una perdita della loro efficacia per l'insorgenza di fenomeni di resistenza (RIEDL e ZELGER, 1994), che agli inizi degli anni novanta interessava una superficie di circa 15.000 ha.

Fu questa criticità che, circa 25 anni orsono, indusse il sistema della produzione di mele regionale a sperimentare un radicale cambio di strategia nel controllo dei fitofagi torticidi, passando dal controllo basato su insetticidi chimici all'uso di uno strumento estremamente selettivo per gli organismi utili e privo di tossicità per gli operatori e consumatori quale la confusione sessuale.

Il suggerimento ad intraprendere questa nuova strada arrivò dal convegno internazionale organizzato nel 1992 dall'IOBC (International Organisation for Biological and Integrated Control) a San Michele all'Adige durante il quale furono presentate non solo esperienze pilota sull'impiego di feromoni sessuali per il controllo dei fitofagi del melo, ma anche efficaci applicazioni pratiche di durata decennale rea-

– Pubblicato aprile 2018

lizzate in diverse parti del mondo (Ioriatti e Arn, 1992). Da allora il metodo della confusione sessuale per il controllo dei tortricidi del melo è divenuto lo strumento di riferimento per superare gli inconvenienti causati dall'uso degli insetticidi tradizionali, ed oggi (2017) risulta essere applicato su circa 24.000 ha di melicoltura regionale.

Lepidotteri Tortricidi infeudati al melo

In Trentino-Alto Adige *C. pomonella* è in grado di compromettere anche la totalità della produzione. In regione svolge due generazioni complete e, almeno alle altitudini più basse, una parziale terza generazione. Il modello di sviluppo basato sulla sommatoria dei gradi giorno è stato ampiamente validato ed è utilizzato diffusamente per decidere le modalità di intervento (Mattedi *et al.,* 2008; Schmidt *et al.,* 2006). Oltre alla carpocapsa, non è raro dover adottare degli strumenti di controllo anche per il danno causato da altri lepidotteri ricamatori che in funzione delle località e delle annate possono essere ascrivibili principalmente a diverse specie quali *Adoxophyes orana* (Fischer v. Röslerstamm), *Archips podana* (Scopoli), *Pandemis heparana* (Denis & Schiffermüller), *Pandemis cerasana* (Hübner), *Argyrotaenia ljungiana* (Thunberg) e *Grapholita molesta* Busck. Sia le strategie di difesa mediante interventi con insetticidi che quelle che prevedono l'uso della confusione sessuale sono modulate tenendo conto della possibile copresenza di più specie di tortricidi.

Dalle prime esperienze sperimentali alla messa a punto di diffusori commerciali

Incoraggiati dei primi riscontri ottenuti nel controllo di carpocapsa in Francia e in Svizzera (Audemard *et al.,* 1977; Charmillot e Baggiolini, 1975; Wildbolz *et al.,* 1973), si diede avvio anche in Trentino alle prime esperienze sperimentali di confusione sessuale (Sacco e Pellizzari Scaltriti, 1983). Per l'applicazione del feromone venne adottata la stessa metodologia utilizzata in Francia e in Svizzera consistente nell'impregnare con il feromone sintetico di carpocapsa [(8E,10E)-8,10-dodecadien-1-ol, comunemente chiamato codlemone) addizionato di antiossidante (1% butylated hydroxytoluene o BHT) e dissolto in un solvente (esano), un tubo di caucciù che successivamente veniva tagliato in modo da ottenere degli spezzoni di circa 8-9 cm contenenti ciascuno approssimativamente 0,8-0,9 g di feromone. Questi diffusori artigianali venivano applicati con una graffettatrice al tronco delle piante distribuendo complessivamente 28-30 g/ha di feromone.

Sul finire degli anni ottanta si affacciarono anche sul mercato italiano i primi diffusori prodotti industrialmente che si potevano dividere in due tipologie: diffusori costituiti da una matrice impregnata di feromone quali gli Ecopom prodotti dall'Istituto Donegani, i diffusori a membrana semi-impermeabile Check Mate CM della Consep, l'EcoTape FTF della Certis, oppure diffusori a serbatoio come le ampolle in plastica prodotte da BASF e i tubicini in polietilene prodotti da Shin Etsu (Domenichini *et al.,* 1990; Michelatti *et al.*, 1990; Trematerra *et al.,* 1993; Rama, 1997; Trona *et al.,* 2009; Ioriatti e Lucchi, 2016). Obiettivo comune a tutte le sperimentazioni condotte con questi diffusori era la valutazione della loro efficacia in funzione della formulazione feromonale utilizzata nonché di verificare la durata dell'emissione e la congruità del quantitativo emesso rispetto alle esigenze imposte dal fitofago da controllare. Nel corso della sperimentazione si poté constatare che i diffusori a serbatoio garantivano generalmente una maggior regolarità di emissione e una durata della stessa che consentiva di coprire con una sola applicazione ad inizio della primavera l'intera attività di volo annuale dell'insetto bersaglio, contrariamente a quelli a matrice impregnata per i quali era richiesta la reiterazione dell'applicazione nel corso dell'estate.

A causa della selettività dei metodi basati sui semiochimici, come la confusione sessuale, si possono creare nuovi spazi per pullulazioni dei fitofagi secondari. Un secondo obiettivo perseguito con le diverse tipologie di diffusori fu quindi la verifica della possibilità di combinare in un unico diffusore più feromoni sintetici in modo da poter controllare contemporaneamente la carpocapsa, che rimaneva il target principale, e altre specie di lepidotteri che talvolta coesistevano nel meleto, come i tortricidi ricamatori o la *G. molesta.*

L'applicazione su scala territoriale

Con il conseguimento di entrambi questi obiettivi primari, sul finire degli anni novanta fu possibile disporre di diffusori di feromone affidabili in grado di controllare una o più specie di fitofagi con un'unica applicazione ad inizio anno. Rimanevano ora da individuare le modalità applicative che consentissero di assicurare l'efficacia del metodo di lotta.

Il metodo di controllo basato sulla confusione sessuale richiede infatti che venga applicato su una superficie di una certa estensione, da un lato per consentire una omogenea distribuzione del feromone nell'atmosfera del meleto e dall'altro per limitare l'immigrazione nella coltura di femmine che si fossero accoppiate fuori dall'area trattata con il feromone. Data la particolare struttura fondiaria della melicol-

tura regionale, caratterizzata da piccole aziende spesso suddivise in diversi appezzamenti sparsi sul territorio, non sembrava ci fossero i presupposti per un successo della sua applicazione. L'ostacolo fu superato attraverso il coinvolgimento immediato delle strutture cooperative che si fecero carico di acquisire i diffusori e coinvolgere l'intera compagine sociale nell'applicazione del metodo. Fu così possibile mettere alla prova la confusione sessuale nelle condizioni applicative migliori ed ottenerne fin dall'inizio risultati ampiamente soddisfacenti grazie anche alla strategica collaborazione con i servizi di consulenza e con gli enti di ricerca e sperimentazione operanti sul territorio. Sulla scia dei positivi riscontri, la superficie interessata dalla confusione sessuale si estese velocemente e già nel 2004 si poteva contare una superficie di 14.000 ha trattati che salirono ulteriormente fino a circa 24.000 ha nel 2016 vale a dire quasi l'80% della melicoltura regionale (Fig. 1).

Dai diffusori ad emissione passiva alla diffusione attiva tramite aerosol

I diffusori di cui abbiamo fin qui parlato richiedevano di essere applicati prima dell'inizio del primo volo di carpocapsa in numero variabile (500-1.000/ha) in funzione della tipologia utilizzata con tempi di applicazione stimati da 1,5 a 3 ore/ha. In un contesto in cui la superficie media delle aziende melicole varia da 1,5 a 2,5 ha, l'applicazione dei diffusori non è di per sé un grosso impegno per il frutticoltore; un po' più complicata risulta invece la distribuzione del materiale fra le diverse aziende e talvolta ciò si traduce in mancata o ritardata applicazione dei diffusori con possibilità di pregiudicare il buon funzionamento del metodo.

Dal 2010 è iniziata pertanto una sperimentazione per validare anche nella nostra regione l'efficacia della tecnologia aerosol per la distribuzione del feromone (Baldessari *et al.*, 2013). Si tratta di una tecnologia già sviluppata inizialmente nel Nord America per il controllo di carpocapsa ed altri tortricidi e che ha portato alla formulazione del primo prodotto distribuito commercialmente, il Checkmate Puffer® (Suterra LLC - Bend, OR, USA) (Shorey e Gerber, 1996; Knight, 2002; Welter *et al.*, 2005; 2010; Stelinski *et al.*, 2007; Higbee e Burks, 2008). Vantaggi e svantaggi dell'impiego della tecnologia aerosol sono ampiamente discussi da Brunner (2017). Si tratta di dispositivi alimentati da batteria che nelle prime esperienze condotte in Trentino si presentavano come delle bombolette pressurizzate contenenti 70 g di codlemone predisposte per erogare ogni 15 minuti un "puff" di circa 7 mg di feromone. Il dispositivo era attivo per 12 ore, dalle 18.00 alle 6.00, periodo durante il quale avvengono gli accoppiamenti di carpocapsa in ambiente naturale (Batiste *et al.*, 1973a,b). L'elevata quantità di feromone distribuito per singolo dispositivo consente di erogare, applicando soli pochi diffusori (2-3/ha), una quantità di feromone di sintesi equivalente a quella rila-

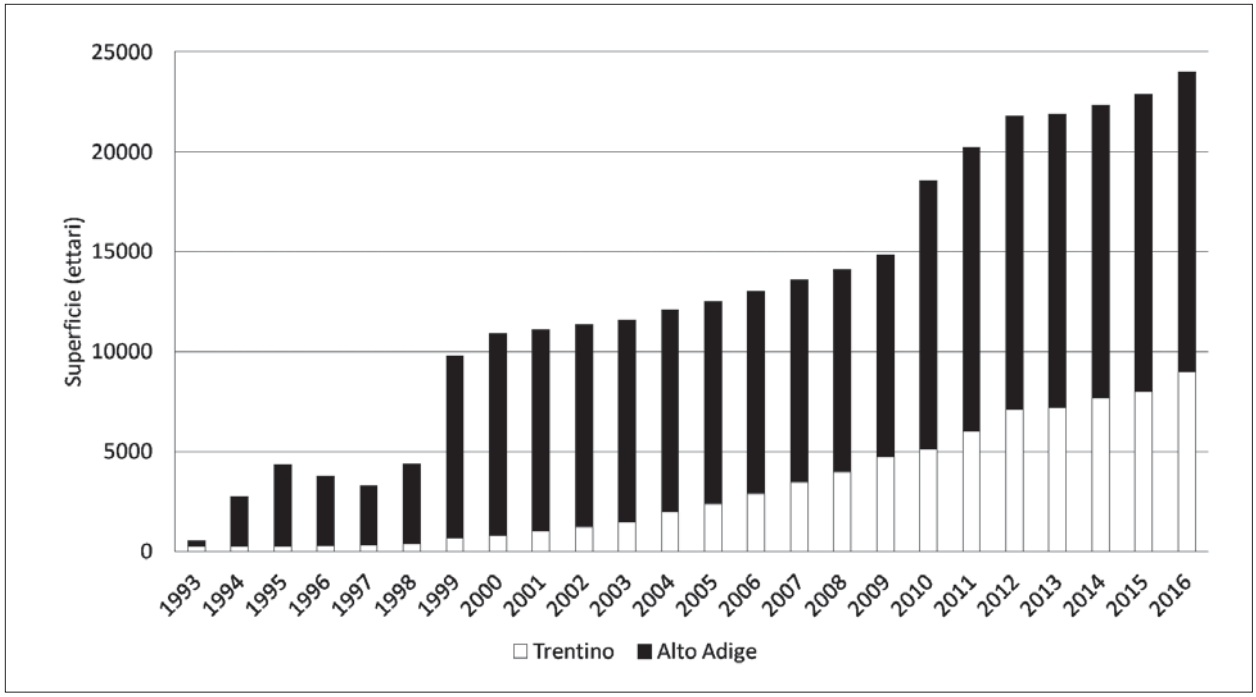

Fig. 1 – Superficie coltivata a melo interessata all'applicazione della confusione sessuale nei confronti di *Cydia pomonella* in Trentino- Alto Adige (per il Trentino dati forniti da Associazione Produttori Ortofrutticoli Trentini, per l'Alto Adige da Pernter, 2016)..

sciata per ettaro e per giorno con gli erogatori tradizionali da applicarsi manualmente (Angeli *et al*., 2013; Casado *et al.*, 2014). Ciò ha consentito una drastica riduzione dei tempi di applicazione e una maggiore facilità di controllo delle corrette modalità di intervento, rendendo la tecnologia aerosol particolarmente adatta per una applicazione territoriale della confusione sessuale. Formulazioni simili sono state in seguito sviluppate anche da altri produttori, in particolare Isomate Mist (Mister) CM (Pacific Biocontrol, Vancouver WA, USA) e Semios CM (SemiosBIO Technologies Inc., Vancouver, BC, Canada) ed il loro impiego a fianco dei Checkmate Puffer® ha consentito una ulteriore estensione dell'area trattata (Pernter, 2016). Dei 24.000 ha di meleto trattati nel 2017 con la confusione sessuale circa un 50% sono interessati dall'applicazione della tecnologia aerosol (Puffers®, Mister®), mentre la restante metà è ancora coperta dai dispenser tradizionali.

Modalità di applicazione della confusione sessuale

Nella generalità dei casi il controllo della carpocapsa e degli eventuali altri tortricidi presenti è ottenuto affiancando alla confusione sessuale un trattamento insetticida eseguito in post fioritura, nel momento in cui schiudono le uova della prima generazione di carpocapsa. Il trattamento viene generalmente eseguito con methoxyfenozide o con chlorantraniliprole, insetticidi in grado di controllare nel contempo l'eventuale presenza di larve svernanti di lepidotteri ricamatori. Successivi interventi ad integrazione della confusione sessuale sono eseguiti raramente, in genere si limitano ai frutteti isolati e vicini alle zone urbanizzate e a fonti luminose. Gli interventi sono giustificati sulla base di controlli visuali nei frutteti che evidenziano il superamento della soglia di tolleranza o in seguito ad anomali incrementi di catture nelle trappole sessuali.

Nuove specie invasive ed insetti vettori di malattie

L'azione combinata delle attività umane e dei cambiamenti climatici rende sempre più importante il problema dell'ingresso o della recrudescenza nei nostri ambienti di specie aliene invasive. Questo fenomeno è uno dei maggiori fattori di rischio per la sostenibilità della difesa integrata anche nella melicoltura del Trentino-Alto Adige.

Tra le specie che destano maggiore preoccupazione c'è il Pentatomide *Halyomorpha halys* (Stål). Questo insetto polifago esotico ha recentemente invaso le aree frutticole del nord Italia (Maistrello et al. 2013), ed è stato segnalato anche in Trentino-Alto Adige a partire dal 2016. Le punture di questa cimice provocano gravi necrosi e deformazioni su numerose specie di ortaggi e frutti. Il melo è tra le piante ospiti di questa specie, e negli Stati Uniti, la sua presenza sta provocando danni ingenti da oltre 10 anni su questa coltura e rivoluzionando le pratiche di lotta integrata finora adottate. Esiste per questa specie un feromone di aggregazione utilizzato in trappole per il monitoraggio la cui efficacia non è però sempre adeguata. Si sta pertanto investigando la possibilità di ottimizzare tali trappole tramite la combinazione con i segnali acustici che questa specie emette durante la comunicazione sessuale e con altri semiochimici di origine vegetale (Mazzoni *et al.*, 2017).

La mosca della frutta, *Ceratitis capitata* (Wiedemann), è uno dei fitofagi più diffusi nel mondo, in grado di attaccare più di 300 diverse specie di piante da frutto incluso il melo (Liquido *et al*., 1990, Papadopolus *et al.,* 2001, De Meyer *et al*., 2002). La sua presenza in Italia è documentata fin dal 1863 e, per le sue precipue esigenze climatiche, fino a qualche tempo fa ha interessato prevalentemente la frutticoltura delle regioni più calde del meridione e del centro Italia. La frutticoltura trentina, ed in particolare la melicoltura, è stata pertanto esente dal rischio di attacchi dell'insetto almeno fino agli inizi degli anni novanta, quando sporadiche ed isolate infestazioni si sono registrate in frutteti (melo e pesco) situati in prossimità di supermercati e centri commerciali, dove presumibilmente venivano importate partite di frutta infestate dalla mosca. Dopo un lungo periodo durante il quale non sono stati più segnalati attacchi, a partire dal 2010, probabilmente in conseguenza dei cambiamenti climatici, le infestazioni di mosca sono riapparse annualmente in regione, interessando la sua parte meridionale, a sud di Trento, e la frutticoltura della valle del Sarca, oltre a qualche isolato frutteto nella periferia nord di Trento e attorno alla città di Bolzano. Questa situazione ha comportato la necessità di intervenire con specifici trattamenti insetticidi in prossimità della raccolta con conseguenze negative sia in termini di residui sulla frutta, che di esposizione della manodopera impegnata nella raccolta, oltre a mettere in discussione la convenienza tecnico-economica dell'applicazione della confusione sessuale per il controllo dei tortricidi. Per evitare tali inconvenienti si sta verificando la fattibilità e l'efficacia del controllo tramite attract and kill, metodo già ampiamente impiegato nel controllo di *C. capitata* su melo in Catalogna (Batllori *et al.,* 2003; Escudero Colomar *et al*., 2015; Damos *et al*., 2015). Altri organismi non sono ancora presenti in Italia ma il loro ingresso è altamente probabile. È quindi fondamentale attuare pro-

grammi per la diagnosi precoce ed il monitoraggio, anche coinvolgendo cittadini volontari con il supporto di applicazioni digitali (Malek *et al.*, 2017), e per l'identificazione delle strategie di controllo integrato più adatte.

Le malattie delle piante trasmesse da insetti sono un'altra grave minaccia in molti agroecosistemi. Per la melicoltura del Nord Italia gli scopazzi sono sicuramente la malattia che desta maggior preoccupazione. La fitopatia incurabile è causata da un fitoplasma che vive esclusivamente nel floema delle piante. Il fitoplasma si diffonde soprattutto mediante le sole due specie di insetti vettori finora accertate, *Cacopsylla picta* (Foerster), *Cacopsylla melanoneura* (Foerster). La perdita economica causata dalla malattia è dovuta alla produzione di frutti di ridotte dimensioni e di scarso valore organolettico. Recentemente in Trentino-Alto Adige si sono registrate recrudescenze della malattia in alcuni distretti frutticoli. Le attuali modalità di gestione della problematica mirano al contenimento della sua espansione mediante interventi insetticidi per il controllo dei vettori e all'estirpo delle piante sintomatiche. L'eventuale ulteriore nuova espansione della malattia potrebbe quindi mettere a repentaglio l'attuale gestione integrata degli insetti chiave basata su semiochimici. Per far fronte a questa problematica sono in corso studi sul sistema pianta-patogeno-vettore e su potenziali nuovi metodi di controllo (Oppedisano *et al.*, 2017).

Conclusioni

In definitiva, l'applicazione su scala territoriale in Trentino-Alto Adige della confusione sessuale nei confronti della carpocapsa e degli altri Lepidotteri fitofagi del melo come tecnologia di riferimento della difesa integrata si è dimostrata efficace ed ha garantito molteplici benefici. I nuovi strumenti di diffusione dei feromoni possono aumentarne l'efficacia, ridurne i costi ed i tempi di applicazione.

La possibilità di gestire efficacemente insetti alieni invasivi e specie autoctone risorgenti con metodi ecocompatibili, possibilmente basati su semiochimici, è però una condizione essenziale per il mantenimento della sostenibilità economica della confusione sessuale. È quindi fondamentale che le istituzioni di ricerca e tutti gli altri soggetti interessati continuino a collaborare per accelerare la messa a punto di tali tecniche di controllo alternative.

BIBLIOGRAFIA

Angeli G., Rizzi C., Baldessari M., Dalpiaz M., 2013 – *Difesa dalla carpocapsa del melo con Checkmate® Puffer CM*. - Inf. Agr., 69: 51-54.

Baldessari M., Ioriatti C., Angeli G., 2013 – *Evaluation of Puffer® CM, a release device of pheromone to control codling moth on apple in Italy*. - IOBC-WPRS Bull., 91: 199–204.

Batiste W.C., Olson W.H., Berlowitz A., 1973a – *Codling Moth: Diel Periodicity of Catch in Synthetic Sex Attractant vs. Female-Baited Traps*. - Environ. Entomol., 2: 673-676.

Batiste W.C., Olson W.H., Berlowitz A., 1973b – *Codling Moth: influence of temperature and daylight intensity on periodicity of daily flight in the field*. - J. Econ. Entomol., 66: 883-892.

Batllori J.L., Vilajeliu M., Vilardell P., Creixell A., Carbó M., Esteba G., Raset F., Vayreda F., Giné M., Curós D., 2003 – *Área piloto de reducción de insecticidas en plantaciones comerciales de manzano*. - Fruticultura Profesional, 136: 49-54.

Brunner J.F., 2017 – *Aerosol delivery of pheromones in IFP: A mature technology for plant protection*. - IOBC-WPRS Bull., 123: 1-13.

Casado D., Cave F., Welter S., 2014 – *Puffer-CM dispensers for mating disruption of codling moth: Area of influence and impacts on trap finding success by males*. - IOBC-WPRS Bull., 99: 25-31

Dalpiaz A., 2014 – *Innovazione e organizzazione, le uniche risposte per uscire dalla crisi*. - Frutticoltura, 11: 2-6

Damos P., Escudero-Colomar L.A., Ioriatti C., 2015 – *Integrated Fruit Production and Pest Management in Europe: The Apple case study and ow far we are from the original concept?* - Insects, 6: 626-657

De Meyer M., Copeland R. S., Lux S.A., Mansell M., Quilici S., Wharton R.A. White I.M., Zenz N., 2002 - *Annotated checklist of host plants for Afrotropical fruit flies (Diptera: Tephritidae) of the genus* Ceratitis. Documentations zoologiques Vol. 27, Royal Museum for Central Africa, Tervuren, Belgium.

Domenichini P., Castagna B., Abbiati C., Pedron S., Pezzini G., 1990 – *First conclusions after 5 years of experiences carried out with mating disruption technique applied against oriental fruit moth (*Cydia molesta *Busck) on peach tree using polyethylene tube dispensers*. In: Atti Giornate Fitopatologiche, 1:237-246.

Escudero-Colomar A.L., Vilajeliu M., Batllori L., 2005 – *Captura masiva para el control de la mosca mediterránea de la fruta (*Ceratitis capitata *Wied.) en manzano*. - Phytoma España, 171: 26–31.

Higbee B.S., Burks C.S., 2008 - *Effects of mating disruption treatments on navel orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) sexual communication and damage in almonds and pistachios*. - J. Econ. Entomol., 101: 1633-1642.

Ioriatti C., Arn H., 1992 – *Use of pheromones and other semiochemicals in integrated control*. - IOBC/WPRS Bull., 15:145 pp..

Ioriatti C., Forti D., Rizzi C., Pontalti M., Dallago G., 1997 – *La confusione sessuale su melo per il controllo di carpocapsa e ricamatori*. - Inf. Agr., 30: 69-74

Ioriatti C., Lucchi A., 2016 – *Semiochemical Strategies for Tortricid Moth Control in Apple Orchards and Vineyards in Italy*. - J. Chem. Ecol., 42: 571-583.

Liquido N.J., Cunningham R.T., Nakagawa S., 1990 – *Host plants of Mediterranean fruit-fly (Diptera, Tephritidae) on the island of Hawaii (1949-1985 Survey)*. - J. Econ. Entomol., 83: 1863-1878.

Knight A. L. 2002 – *Development of aerosol devices for management of codling moth and leafrollers*. - IOBC-WPRS Bull. 25: 101-110.

Maistrello L., Dioli P., Bariselli M., 2013 – *Trovata una cimice esotica dannosa per i frutteti*. - Agricoltura, 6: 67-68.

Malek R., Tattoni C., Ciolli M., Corradini S., Andreis D., Dallago G., Mazzoni V., Ioriatti C., Anfora G., 2017 – *Bugmap, a citizen science approach to monitor the invasive brown marmorated stink bug* Halyomorpha halys *(Hemiptera: Pentatomidae)*. First Italian Citizen Science Conference, 23-25 Novembre 2017, Roma, p. 36.

Mattedi L., Forno F., Varner M., Piva U., 2008 – *Field observations about the behaviour of codling moth in Trentino (North-Eastern Italy)*. In: Proc. 13th Int. Conf. Organic Fruit-Growing, FOEKO, Weinsberg, pp 238-246

Mazzoni V., Polajnar J., Baldini M., Rossi Stacconi M.V., Anfora G., Guidetti R., Maistrello L., 2017. *Use of substrate-borne vibrational signals to attract the Brown Marmorated Stink Bug,* Halyomorpha halys. - J. Pest Sci., 90: 1219-1229.

Michelatti G., Schreiber G., Ugolini A., Bosso A., Bussi C., 1990 – *Two years of control trials against* Cydia pomonella *and* Argyrotaenia punchellana *with the mating disruption method in Piedmont orchards*. In: Atti Giornate Fitopatologiche, 1: 171-180.

Oppedisano T., Pedrazzoli F., Panassiti B., Mittelberger C., Polajnar J., Kostanjšek R., P. Bianchedi, Mazzoni V., Virant-Doberlet M., Angeli G., De Cristofaro A., Anfora G., Ioriatti C., 2017 – *New insights into the biology and ecology of the psyllid vectors of apple proliferation for the development of sustainable control strategies*. - IOBC-WPRS Bull., 123: 101-103.

Papadopoulos N.T., Katsoyannos B.I., Carey J.R., Kouloussis N.A., 2001 – *Seasonal and annual occurrence of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in northern Greece*. - Ann. Entomol. Soc. Am., 94: 41-50.

Pernter P., 2016 – *Eine Südtiroler Erfolgsgeschichte Verwirrte Fläche steigt auf 14.900 ha*. - Obstabau Weinbau 5: 5-8.

Rama F., 1997 – *Ecopom dispensers for mating disruption in apple orchards*. - IOBC-WPRS Bull., 20: 65-72.

Riedl H., Zelger R., 1994 – *Erste Ergebnisse der Untersuchungen zur resistenz des Apfelwickler gegenu¨ber Diflubenzuron*. - Obstbau Weinbau, 4: 107-109

Schmidt S., Anfora G., De Cristofaro A., Mattedi L., Molinari F., Pasqualini E., Ioriatti C., 2006 – *Ethyl (2E,4Z)-2,4-decadienoate (pear ester): A new instrument for female codling moth monitoring*. - Inf. Fitopatol., 5: 17-24.

Shorey H.H., Gerber R.G., 1996 – *Use of puffers for disruption of sex pheromone communication of codling moths (Lepidoptera: Tortricidae) in walnut orchards*. - Environ. Entomol., 25: 1398-1400.

Stelinski L.L, Gut L.J., Haas M., McGhee P., Epstein D., 2007 – *Evaluation of aerosol devices for simultaneous disruption of sex pheromone communication in* Cydia pomonella *and* Grapholita molesta *(Lepidoptera: Tortricidae)*. - J. Pest Sci., 80:225–233.

Trematerra P., Ioriatti C., Schreiber G., Natali A., 1993 – *Mating disruption with semi-permeable membrane dispenser for the control of* Cydia pomonella *L.* - IOBC-WPRS Bull., 16:277–283.

Trona F., Anfora G., Baldessari M., Casagrande E., Ioriatti C., Angeli G., 2009 – *Mechanisms and efficacy of mating disruption of codling moth* Cydia pomonella *(L.) with EcoTape pheromone dispensers*. - Bull Insectol., 62: 7-13.

Waldner W., 1997 – *Three years of large-scale control of codling moth by mating disruption in the South Tyrol, Italy*. - IOBC-WPRS Bull., 20: 35-44

Welter S., Pickel C., Millar J., Cave F., Van Steenwyk R., Dunley J., 2005 – *Pheromone mating disruption offers selective management options for key pests*. - California Agriculture 59: 16-22.

Welter S., Casado D., Cave F., Elkins R., Grant J., Pickel C.I., 2010 – *I. Why Puffers work: determining the effects of residual releases on control of codling moth, II. Optimizing "meso-pheromone emitters for codling moth management in walnuts*. - California Walnut Board Research Report: 141-175.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 69-71

LA PROTEZIONE INTEGRATA DELLE COLTURE: EVOLUZIONE TECNICA, DEI SISTEMI DI SUPPORTO E DELLA NORMATIVA

CARLO MALAVOLTA (*)

(*) *Servizio Agricoltura sostenibile - DG Agricoltura - Reg. Emilia-Romagna*
Membro Commissione IOBC/WPRS «Integrated production guidelines»
Corrispondenza: carlo.malavolta@regione.emilia-romagna.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "La protezione integrata delle colture: problemi ricorrenti, soluzioni e nuove sfide". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 17 febbraio 2017.

Integrated Pest Management: evolution of techniques, support systems and of related legislation

An analysis of IPM and Integrated production concepts and implementation evolution is presented. Technical items, support systems, legislation and market initiatives related with IPM and IP are analysed. Possible improvement steps in implementation are described and proposed, including possible support systems and opportunities for the future in terms of legislation and financial support.

KEY WORDS: Integrated Pest Management, Integrated Production, Sustainable use of pesticides.

EVOLUZIONE DELLE TECNICHE DI IPM E IP ADOTTATE

L'evoluzione tecnica da protezione integrata (Integrated Pest Management - IPM) a produzione integrata (Integrated Production - IP) è stato un passaggio fondamentale sancito dalla esigenza di trovare tutte le possibili sinergie fra metodi agronomici di prevenzione delle avversità, con particolare riferimento a uso di varietà resistenti, avvicendamento colturale, fertilizzazioni e irrigazioni equilibrate, infrastrutture ecologiche, ecc…

Allo stesso tempo si è cercato di garantire migliori performance agroambientali attraverso la riduzione dell'impiego di fitofarmaci, ma anche di fertilizzanti, acqua e energia. Anche la riduzione dell'impatto sulle acque superficiali e falde e delle emissioni GHG (gas ad effetto serra) sono obbiettivi fondamentali nell'ottica della sostenibilità delle produzioni. Il testo "An approach towards Integrated agricultural production through Integrated plant protection" riassume in Figura 1 l'evoluzione dal controllo chimico "cieco" fino alla Produzione integrata riassumendo i principali passaggi di tale evoluzione (BOLLER *et al.,* 1998).

Studi recenti hanno dimostrato che la applicazione delle tecniche di Produzione integrata possono contribuire alla riduzione delle emissioni di GHG attraverso la riduzione del consumo dei principali prodotti agrochimici, con particolare riferimento ai fertilizzanti ed all'impiego di energia, ad esempio attraverso la adozione di tecniche di lavorazione minima o di appropriate rotazioni.

Per quanto riguarda l'applicazione della protezione integrata, l'evoluzione delle tecniche adottate ha seguito i principi fondamentali di sviluppo di tutti gli strumenti di supporto disponibili, a partire dalla giustificazione degli interventi basati su monitoraggio, applicazione delle soglie di intervento ed in alcuni casi anche su interventi preventivi.

La scelta dei principi attivi è stata basata sulla efficacia, la selettività verso gli organismi utili, l'impatto sull'uomo e sull'ambiente.

Un'ulteriore evoluzione è stato l'impiego di sistemi di supporto alle decisioni (Decision Support Systems - DSS) a livello aziendale/territoriale che integrano fra loro l'impiego di modelli previsionali, piani di fertilizzazione, bilancio idrico.

Un ulteriore contributo alla razionalizzazione dell'impiego dei fitofarmaci è venuto dal controllo e dalla regolazione (taratura) delle macchine irroratrici nonché dalla loro evoluzione tecnologica (recupero, ecc.). In prospettiva assumeranno un ruolo fondamentale anche le tecnologie informatiche applicate alla agricoltura (inclusa la precision farming).

EVOLUZIONE DEI SISTEMI DI SUPPORTO ALLA PROTEZIONE/PRODUZIONE INTEGRATA

Accanto alla evoluzione delle tecniche impiegate sono diventati fondamentali i sistemi di supporto alla applicazione delle tecniche di difesa e produzione integrata. Fra questi sistemi di supporto ricordiamo la ricerca/sperimentazione, le attività di formazione e informazione, l'assistenza tecnica diretta (consulenza/visite aziendali) ed indiretta (bollettini, sistemi web, ecc.).

Molta importanza hanno avuto nel corso degli ultimi

– Pubblicato aprile 2018

1. Blind chemical control (Lutte chimique aveugle)	General, schematic and routine applications of the most potent pesticides; advice from industry
2. Chemical control based on advice (Lutte chimique conseillée)	Application of usually broad spectrum pesticides after consulation with an official advisory service
3. Specific control (Lutte dirigée) *Transitory phase*	• Introduction of the concept of "economic threshold levels"; • application of pesticides with no negative side-effects; • protection of beneficial organisms
4. Integrated plant protection*) (Protection intégrée) *Dinamic phase*	Similar to specific control, but in addition • Integration of biological and biotechnical methods and methods of good agricoltural practice; • chemical control strongly regulated
5. Integrated agricoltural production*) (Protuction agricole intégrée) *Open dinamic phase, further development possible in the whole world*	Similar to integrated plant protection, but in addition observance, integration and exploitation of all positive factors in the agro-ecosystem according to ecological principles

*) In the original figure, step 4 was clearly separated from step 5 by a solid line. We have replaced it by a broken line to indicate that in the modern concept integrated plant protection is removed from its isolation and put into the context of all farm operations.

Fig. 1 – The Evolution of Plant Protection Methods (modified from IOBC 1977).

decenni anche gli aiuti diretti alle aziende che includono anche misure specifiche di aiuto per impiego di mezzi biotecnologici/organismi utili. Fra questi sicuramente la maggiore importanza può essere riconosciuta alle misure agroambientali e ai programmi ambientali finanziati dalle Organizzazione Comuni di Mercato (OCM) del settore ortofrutticolo.

Altri aiuti di grande rilevanza che vengono forniti dai Programmi di Sviluppo Rurale riguardano gli investimenti aziendali, interaziendali e di filiera che consentono la realizzazione di nuovi impianti, più adatti all'applicazione delle tecniche di produzione integrata, l'acquisto di nuove attrezzature per lavorazioni/irroratrici, l'acquisto di reti antinsetto, la copertura delle spese di certificazione.

Infine la promozione commerciale di produzioni a marchio riconoscibili dal consumatore moderno è uno degli strumenti di ulteriore supporto e stimolo all'applicazione delle tecniche di protezione/produzione integrata.

Evoluzione della normativa e delle iniziative commerciali collegate a protezione/produzione integrata

Fra queste iniziative ne ricordiamo diverse sia private sia ispirate da principi tecnico-scientifici quali ad esempio le Linee guida IOBC (Boller *et al.,* 2004; IOBC guidelines), le norme GLOBALGAP e le norme UNI. Anche molte "private label" della GDO hanno avuto un ruolo determinante grazie alla sinergia con tracciabilità e garanzia igienico sanitaria che le produzioni integrate possono offrire.

Sono da ricordare anche diverse iniziative istituzionali di livello regionale (marchio QC Regione Emilia-Romagna, Toscana, Veneto qualità, Marche, ecc.), nazionale (Sistema Qualità Nazionale Produzione integrata SQNPI) e comunitario (Direttiva uso sostenibile fitofarmaci, Direttiva Nitrati, Direttiva sostanze pericolose, ecc.) (SUD, 2009). Purtroppo non è mai stato attribuito alla produzione integrata un riconoscimento comunitario da Regolamento come avvenuto invece per la Produzione biologica. In ogni caso è importante ricordare che l'allegato III della Direttiva 128 sull'uso sostenibile dei fitofarmaci è fortemente ispirato alle citate norme IOBC.

Conclusioni

Per garantire uno sviluppo adeguato della protezione/produzione integrata dal punto di vista tecnico è necessario continuare ad investire su ricerca e sperimentazione, anche di sistemi multidisciplinari e non solo con i confronti di tesi/ripetizioni di fattori

singoli. Per mantenere aggiornato e alto il livello di sostenibilità occorrerà operare non solo sulla scelta dei principi attivi ma anche su criteri di giustificazione, valutazione dei rischi (modelli previsionali) e monitoraggio, anche con tecniche innovative (remote sensing). Gli studi dovranno continuare a indagare non solo sulla difesa in senso stretto ma anche sulla prevenzione (cultivar resistenti, rotazione, sistemi di impianto, ecc.). Sarà importante anche l'innovazione sulle macchine irroratrici e altre macchine utili a ridurre gli impatti e l'uso dei prodotti agrochimici (inclusa la precision farming). Infine sarà importante indagare su ruolo e sinergia delle infrastrutture ecologiche e sugli elementi di biodiversità anche extraaziendali.

Per supportare la protezione/produzione integrata occorrerà continuare ad investire su formazione e informazione, sulla assistenza tecnica indiretta (bollettini, sistemi web, ecc.) e anche diretta, ma probabilmente solo per la fase di conversione, alla quale dovrà seguire l'assistenza tecnica indiretta.

Anche gli aiuti diretti alle aziende dovrebbero essere destinati alla sola conversione e concentrati nelle aree di maggiore interesse/rischio ambientale; altri aiuti diretti potrebbero essere concessi per promuovere l'impiego di mezzi biotecnologici (ad es. confusione sessuale ed organismi utili) o per investimenti destinati a impianti/macchine innovativi.

Ulteriori evoluzioni dovranno essere considerate sul piano normativo e a livello di mercato. Un primo aspetto da verificare è quanto l'applicazione della produzione integrata potrebbe diventare cogente anziché volontaria. In questo senso occorrerà verificare quanto veloce sarà l'adozione dei requisiti contenuti nei Piani di Azione Nazionale (PAN) prodotti in applicazione della Direttiva sull'uso sostenibile dei fitofarmaci e in particolare dell'allegato III. Si dovrà anche capire se e quanto la produzione integrata potrà diventare un vincolo per l'accesso agli aiuti della PAC. Importante sarà anche l'evoluzione dei diversi livelli dei requisiti richiesti e quindi capire che spazi esistono per un livello avanzato da promuovere anche commercialmente con marchi pubblici o privati. Molto importante potrebbe essere un eventuale riconoscimento normativo della produzione integrata come livello avanzato da parte della UE. Infine dovrà essere tenuto conto del rapporto con la agricoltura biologica evitando che si sviluppi una relazione di tipo competitivo e cercando invece di promuovere per quanto possibile le sinergie fra i due sistemi, ad esempio nella realizzazione di attività di ricerca e sperimentazione o dei supporti.

BIBLIOGRAFIA CITATA

BOLLER E.F., AVILLA J., GENDRIER J.P., JÖRG E., MALAVOLTA C., 1998 – *Integrated Production in Europe: 20 years after the declaration of Ovrannaz*. - IOBC-WPRS Bulletin, 21(1).

BOLLER E.F., AVILLA J., JÖRG E., MALAVOLTA C., WIJNANDS F., ESBJERG P., 2004 – *Integrated Production: Principles and technical Guidelines*. 3rd edition. - IOBC-WPRS Bulletin, 27(2).

SUD 2009 - *Directive 2009/128/EC of the European Parliament and the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides*. Official Journal of the European Union L 309/71 – 24/11/2009.

IOBC guidelines: http://www.iobc-wprs.org/ip_ipm/download_documents.html

Seduta pubblica, Firenze 16 giugno 2017

Tavola Rotonda su:

GLI ARTROPODI DEL SUOLO: DIVERSITÀ E BIOCENOSI

Coordinatore:
Marzio Zapparoli, Accademico

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 75-81

GLI ARTROPODI DEL SUOLO: DIVERSITÀ E BIOCENOSI
Introduzione ad una Tavola Rotonda

MARZIO ZAPPAROLI (*)

(*) *Dipartimento per la Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo*
Introduzione alla Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Soil Arthropods: diversity and biocoenosis. Introduction to a Round Table

Biodiversity, recognized as the variety and variability of living organisms in the different ecosystems of the Planet, is a fundamental resource for man. Arthropods, and especially insects, are the most significant component of this variety. A considerable portion of this fauna lives in the soil, the most superficial layer of the Earth's crust defined by a complex combination of mineral, organic matter, gases and water. In addition to being the preferred habitat for many organisms, which contribute to its formation, the soil performs other several fundamental ecosystem functions, in relation to the growth of plants, the purification of water, the regulation of the Earth's atmosphere. It is therefore essential for the life on Earth. The soil is currently the subject of great attention by the scientific world, both because it is considered a frontier of biodiversity, since the organisms present in it are largely unknown, and because it is subject to strong degradation, due to human exploitation.

The Italian National Academy of Entomology has organized in Florence (June 16, 2017) a Round Table entitled "Soil Arthropods: diversity and biocenosis", as part of the cultural activities that institutionally performs. With this initiative, addressed to students, scholars and citizenship, it is intended to provide a general overview of the main groups of arthropods living in the soil, on the communities they form, on their ecological meaning and on the possibility of use that they offer for the evaluation the health state of this important compartment, with particular regard to Italy and to Europe in general, also in relation to other scientific disciplines such as Forestry. This round table has been attended by Italian researchers, affiliated to Universities (Genoa, Padua, Siena, Florence, Viterbo, Rome), Natural History Museums (Bergamo, Genoa) and other research institutes (National Research Council, Regione Piemonte), who present synthesis on problems related to various taxonomic groups, from spiders, to crustaceans isopods, to centipedes and, above all, to insects. Aim of this note is to present some introductory remarks on the value and significance of soil arthropods from the point of view of their ecology, biodiversity and conservation.

KEY WORDS: Biodiversity, Italian fauna, ecosystem services, nature conservation.

La poesia della terra non muore mai.
Quando tutti gli uccelli sono stanchi sotto il sole bruciante
e si nascondono nell'intrico degli alberi,
una voce corre di siepe in siepe intorno al prato dalla falce tagliato.
È questo il grillo dei campi, il capintesta della festa dell'estate,
che mai smette il suo canto ma tutto il tempo stride,
e quando è stanco cerca riposo sotto un filo d'erba.

La poesia della terra non muore mai.
D'inverno, in una sera solitaria, quando il silenzio è opera del gelo,
ecco sprizzare dalla stufa il canto del grillo del focolare,
che cresce più cresce il caldo
E a chi vaga smarrito tra sonno e veglia
par di udire il grillo dei campi all'opra tra l'erba dei colli.

JOHN KEATS (1795-1821)
Il grillo dei campi e il grillo del focolare - 1816

INTRODUZIONE

La Biodiversità, intesa come la varietà e la variabilità di organismi viventi negli ecosistemi del Pianeta, costituisce una risorsa fondamentale per l'uomo (ADAMS *et al*., 2004; DUMONT, 2005). Gli artropodi, ed in particolare gli insetti, sono la componente più significativa di questa varietà (WILSON, 1987). Una considerevole porzione di questa fauna vive nel suolo, dove è più o meno direttamente coinvolta in tutti i servizi, i processi e le funzioni che esso offre e svolge (PULLEMAN *et al.*, 2012).

– Pubblicato aprile 2018

Il suolo è attualmente oggetto di grande attenzione da parte del mondo scientifico, sia perché considerato una frontiera della biodiversità, sia perché la sua integrità e funzionalità sono sempre più minacciate dalle attività antropiche; inoltre, biodiversità e funzionalità di questo comparto sono tra loro strettamente correlate (e.g., Creamer *et al*., 2016; Munafò, 2016, 2017; Robinson *et al.*, 2017).

Nell'ambito delle proprie iniziative culturali, il 16 giugno 2017 l'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia ha organizzato a Firenze, presso la sede del "Monte dei Paschi di Siena", una Tavola Rotonda dal titolo "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Scopo di questa nota è quello di presentare alcune considerazioni di carattere introduttivo a questa iniziativa, sul valore e sul significato degli artropodi del suolo dal punto di vista della loro ecologia, biodiversità e conservazione.

Il suolo: definizione, complessità e significato

Numerose sono le definizioni di suolo disponibili nella letteratura scientifica, nazionale ed estera, differenti secondo il punto di vista disciplinare (vedi ad es., Parisi, 1974; Richter e Markewitz, 1995; Gobat *et al.*, 1998; Menta, 2008; Mancabelli, 2015). Secondo il World Reference Base for Soil Resources dell'International Union of Soil Sciences (IUSS Working Group WRB, 2015) il suolo è definito come *"... a continuous natural body which has three spatial and one temporal dimension. The three main features governing soil are:*

It is formed by mineral and organic constituents and includes solid, liquid and gaseous phases.

The constituents are organized in structures, specific for the pedological medium. These structures form the morphological aspect of the soil cover, equivalent to the anatomy of a living being. They result from the history of the soil cover and from its actual dynamics and properties. Study of the structures of the soil cover facilitates perception of the physical, chemical and biological properties; it permits understanding the past and present of the soil, and predicting its future.

The soil is in constant evolution, thus giving the soil its fourth dimension, time.".

Tale definizione mette bene in evidenza la complessità di questo comparto terrestre, proprio perché ne sottolinea la multidimensionalità spaziale (orizzontale, verticale, tridimensionale) e, soprattutto, temporale, dimensione indispensabile per comprenderne l'importanza in termini evolutivi, sia in senso fisico che biologico.

Dal punto di vista spaziale, la complessità del suolo emerge anche esaminando i principali sistemi di classificazione adottati a livello internazionale e la loro articolazione tassonomica. Ad esempio, la Soil Map of the World pubblicata dalla Fao-Unesco (1974), identifica 26 gruppi (soil units), definiti in base alla loro modalità di origine, localizzazione ed evoluzione. Il successivo World Reference Base (1998), lo standard internazionale per un sistema di classificazione del suolo approvato dall'International Union of Soil Sciences, individua invece 32 gruppi (Reference Soil Groups), sempre in base alle loro differenti caratteristiche. La classica Soil Taxonomy dell'U.S. Department of Agricolture (Soil Survey Staff, 1975, 2014), ammette 12 gruppi, a loro volta divisi in Ordini, Sottordini, Grandi gruppi, Sottogruppi, Famiglie e Serie, gerarchicamente ordinati in base alla loro affinità.

L'ampia variazione spaziale e stagionale che le caratteristiche fisiche (e.g., tessitura, struttura, profilo) e chimiche (e.g., contenuto di acqua, sostanza organica, gas e minerali) del suolo possono manifestare e la reciproca interattività di alcune di esse, incrementa inoltre la varietà di condizioni che questo habitat mette a disposizione degli organismi viventi, favorendone la diversità (Jeffery *et al.*, 2010).

Il suolo inoltre rappresenta una risorsa naturale limitata che l'Uomo non può riprodurre, fondamentale per la sua sopravvivenza (Haber, 2007). Esso infatti offre una lunga serie di Servizi Ecosistemici in tutte le quattro grandi categorie individuate dal Millennium Ecosystem Assessment (2005), sia nei processi, sia nelle funzioni (cfr. Pulleman *et al*., 2012). Il suolo, infatti, svolge:

i) servizi di supporto alla vita: nei processi pedogenetici; nella produzione primaria; nel ciclo del carbonio (attraverso la decomposizione della materia organica); nel ciclo dei nutrienti (attraverso la mineralizzazione di N, P, S);
ii) servizi di approvvigionamento: fornendo supporto fisico; conservando l'acqua; fornendo rifugio agli organismi viventi (microhabitat); favorendo lo sviluppo della biodiversità attraverso processi evolutivi; fornendo risorse genetiche utilizzabili nelle biotecnologie; fornendo cibo; fornendo biomateriali (antibiotici); fornendo materie prime (agricoltura industriale);
iii) servizi di regolazione: della qualità dell'acqua, della distribuzione dell'acqua, della consistenza delle popolazioni animali e vegetali (attraverso le reti trofiche), dei gas atmosferici, del clima, dell'erosione;
iv) servizi culturali, intesi come processi cognitivi: attraverso la consapevolezza della sua importanza; attraverso l'uso ricreativo e educativo, in particolare per l'educazione ambientale; attraverso il mantenimento della salute ed il benessere; attraverso la conservazione del patrimonio e dei beni archeologici.

La fauna (degli artropodi) del suolo: definizione, diversità e significato

Definire la fauna degli artropodi del suolo non è semplice. Tale operazione è però irrinunciabile poiché qualsiasi stima della biodiversità di un suolo o valutazione della sua funzionalità mediante questi organismi, non può prescindere da una loro, per quanto possibile chiara, delimitazione.

Facendo riferimento alla generale enunciazione di organismi del suolo (*soil biota*) riportata in Pulleman *et al.* (2012), secondo la quale "*Soil biota comprise the organisms that spend all, or part of, their life cycles belowground, ranging from the myriad of invisible microbes, such as bacteria, fungi and protozoa, to the macro-fauna, e.g. earthworms, ants and termites.*", si può estrapolare un "concetto" di fauna del suolo e, più in dettaglio, di artropodi del suolo, includendo nella nozione di suolo anche i suoi annessi (*sensu* Gobat *et al.*, 1998), ovvero un ampia varietà di habitat - difficilmente separabili dal suolo propriamente detto - che include muschi, licheni, epatiche, humus, legno morto, tane e nidi, funghi, carogne ed escrementi, fino ai suoli sospesi delle foreste tropicali (Delamare-Debouteville, 1951). Si tratta quindi di un insieme estremamente ampio e complesso, ancorché tassonomicamente circoscritto e articolato.

Allo scopo di individuare gruppi funzionali che utilizzano e trasformano l'habitat suolo in modo simile (guild), sono state proposte varie classificazioni, spesso empiriche ed orientative, sulla base di criteri morfologici ed ecologici diversi (cfr. Vigna Taglianti e Zapparoli, 2007). Ad esempio, la tradizionale suddivisione in base alle dimensioni del corpo, che individua micro-, meso- e macrofauna (e quindi micro-, meso- e macroartropodi), con limiti dimensionali variabili secondo gli Autori (ma vedi Coiffait, 1958), mette in evidenza una differente abilità degli organismi a penetrare i vuoti (Wallwork, 1970) e quindi una loro differente capacità di sfruttamento della nicchia spaziale.

Un altro criterio utilizzato è quello della relazione con l'habitat. Distinguiamo quindi: i) "geofili temporaneamente inattivi" (edafosseni), presenti nel suolo solo in certe fasi del loro ciclo vitale (e. g., svernamento, impupamento), funzionalmente poco influenti ma che entrano a far parte delle reti trofiche in quanto spesso prede di altri organismi; ii) "geofili temporaneamente attivi" (edafofili), presenti nel suolo per gran parte del loro ciclo vitale, per uno o più stadi di sviluppo, che includono larve detritivore e/o predatrici (e. g., molti neurotteri, ditteri, coletteri, lepidotteri); iii) "geofili periodici" (edafofili), stabilmente presenti nel suolo per parte del ciclo vitale (e.g., durante la fase larvale), occasionalmente nel suolo da adulti per altre attività (ovideposizione, rifugio, e. g., coleotteri scarabeidi); iv) "geobionti" (euedafici, edafobi), che vivono esclusivamente nel suolo (e.g., miriapodi, isopodi, acari, collemboli, dipluri, proturi).

È proprio tra questi ultimi che troviamo gli elementi con le maggiori specializzazioni (e convergenze adattative) come, ad esempio, la riduzione degli apparati oculari (e anoftalmia), la perdita di pigmentazione, la miniaturizzazione del corpo, la riduzione delle appendici (zampe, antenne, etc.), l'atterismo, lo sviluppo di chemio- e igrorecettori, la comparsa di zampe fossorie, l'eliminazione dei cicli stagionali di riproduzione ed altre ancora.

In questa categoria troviamo inoltre gli organismi maggiormente vulnerabili alle alterazioni delle condizioni ambientali provocate dall'Uomo, e quindi con maggior valore di bioindicatori, in particolare tra gli insetti (tra i numerosi lavori in Italia e all'estero, vedi ad es. Brandmayr e Pizzolotto, 2015; Isaia *et al.* 2007; Maleque *et al.*, 2009; Paoletti *et al.*, 1996; Parisi, 2001; Parisi *et al.*, 2005; Van Straalen, 1997, 1998).

Si può infine ricordare che gli organismi del suolo sono distinti anche in base alle funzioni ecosistemiche che svolgono. Vengono infatti generalmente riconosciuti tre ampi gruppi funzionali (Pulleman *et al.*, 2012; Bagyaraj *et al.*, 2016): i) i *chemical engineers*, decompositori, trasformatori di nutrienti, rappresentati soprattutto da batteri e funghi, i quali partecipano ai processi di trasformazione del carbonio e al ciclo dei nutrienti; ii) i *biocontrollers*, regolatori biologici delle popolazioni animali e vegetali, perlopiù rappresentanti della microfauna del suolo come ad esempio nematodi, collemboli, acari (fitofagi, predatori e parassiti di altri invertebrati o microrganismi); iii) gli *ecosystem engineers*, che creano, modificano, mantengono o eliminano (mirco)habitat, come ad esempio anellidi enchitreidi e lombricidi, insetti isotteri e imenotteri formicidi, i quali partecipano al mantenimento della struttura del suolo, in genere rappresentanti della meso- e della macrofauna. Gli artropodi partecipano quindi in almeno due di questi tre gruppi funzionali. Va tuttavia notato (cfr. Jeffery *et al.*, 2010; Pulleman *et al.*, 2012), che i rappresentanti di tali gruppi agiscono su scale spazio-temporali differenti e che possono talvolta sovrapporsi nelle funzioni; inoltre, tali gruppi non agiscono in modo indipendente ed un intervento su una funzione può influenzare anche altre funzioni. Tali organismi quindi presentano caratteristiche di ridondanza e di interattività per cui, in accordo con Hågvar (1998), "*If soils suddenly became sterile, all terrestrial ecosystems would collapse rapidly.*".

Gli artropodi del suolo: biodiversità globale e nazionale

Il suolo rappresenta una "frontiera" della biodiversità. Mora *et al.* (2011) affermano infatti che "*the bulk of species that remain to be discovered are likely to be small-ranged and perhaps concentrated in hotspots and less explored areas such as the deep sea and soil; although their small body-size and cryptic nature suggest that many could be found literally in our own "backyards"*".

Decaëns *et al.* (2006), ammettendo che il numero di specie animali allora conosciute fosse circa 1.500.000, hanno calcolato che la fauna del suolo (intesa nel senso più ampio del termine, vedi sopra) sia rappresentata da circa 360.000 specie descritte, ovvero meno di 1/4 di tutte le specie animali conosciute. Di queste 360.000, circa il 97% sarebbe rappresentato da artropodi, soprattutto coleotteri e acari. Inoltre, Decaëns (2010), facendo riferimento a contesti di foresta tropicale, afferma che "*The more optimistic estimates suggest that soil and leaf litter arthropod richness is about five times larger than in the canopy.*".

Sempre in termini di ricchezza di specie, la biodiversità degli artropodi del suolo mostra inoltre un gradiente latitudinale, almeno per alcuni gruppi tassonomici come acari, collemboli, dipluri, isotteri, imenotteri formicidi, per i quali è stato documentato un incremento nel numero di specie da nord a sud, sia a scala globale (Decaëns, 2010), sia a scala macroregionale (Jeffery *et al.*, 2010).

Per quanto riguarda la biodiversità degli artropodi del suolo nel nostro Paese, non esistono stime al riguardo. Tuttavia, ricordando che in base a Minelli *et al.* (1993-1995), la fauna italiana è approssimativamente costituita da 57.000 specie conosciute (valore grossolanamente aggiornabile a circa 60.000, fonte Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia), di cui oltre 46.000 rappresentate da artropodi, di cui circa 37.000 insetti, si potrebbe ragionevolmente ipotizzare che gli artropodi del suolo s.l. in Italia sono rappresentati da circa 15.000 specie, ovvero circa il 30% degli artropodi della fauna nazionale. Per una rassegna dei principali gruppi tassonomici e di alcune specie significative si veda Vigna Taglianti e Zapparoli (2007).

Gli artropodi del suolo: aspetti di conservazione

Relativamente poca attenzione è stata sinora data alla conservazione della fauna del suolo. Ciò è forse imputabile alla sua limitata "visibilità" o alla relativa scarsità di specie carismatiche (Decaëns *et al.*, 2006; Lazarova *et al.*, 2011), soprattutto se la si confronta con i vertebrati. Si potrebbe tuttavia obiettare che in Italia tali elementi non mancherebbero, per la grande quantità di specie/sottospecie esclusive, ad areale ristretto, o al limite dell'areale presenti nel nostro territorio anche tra la fauna degli artropodi del suolo (Minelli *et al.*, 2002; Ruffo e Stoch, 2005). Un esempio per tutti potrebbe essere rappresentato dal coleottero crowsoniellide *Crowsoniella relicta* Pace, 1976, elemento endogeo, descritto su pochi esemplari provenienti da una località dei Monti Lepini (Lazio), unico rappresentante conosciuto del genere e della famiglia, raccolto in una sola occasione e mai più rinvenuto.

Va tuttavia considerato che la conservazione della fauna entomologica in generale, e quella del suolo in particolare, implica un serie di problemi, attualmente di non facile soluzione, relativi soprattutto all'elevatissimo numero di specie, alla lacunosità delle informazioni disponibili (tassonomiche, biologiche, ecologiche), alla mancanza di specialisti tassonomi e, non ultima, alla scarsa attrazione che generalmente questi animali suscitano tra i non addetti ai lavori (Ballerio, 2008).

Secondo Decaëns *et al.* (2006), delle oltre 11.000 specie animali e vegetali a rischio di estinzione elencate nella edizione 2004 della Red List IUCN, quelle di invertebrati e vertebrati che fanno parte della fauna del suolo sarebbero solo 97, l'1% del totale. Di queste, gli artropodi, ed in particolare gli insetti, sarebbero poco più della metà (55%).

Orgiazzi *et al.* (2016: fig. 2) elencano 13 categorie di potenziali minacce alle tre componenti della biodiversità del suolo (micororganismi, fauna, funzioni), ordinandole in quattro classi (potenzialità alta, moderata, bassa, non classificata). Di queste categorie, almeno per quanto riguarda la componente animale, lo sfruttamento antropico è l'unica considerata tra le minacce ad alta potenzialità (1 categoria su 13; 7,7% del totale). Altre categorie, come declino della materia organica, cambiamenti di uso del suolo, inquinamento radioattivo, cambiamenti climatici e specie invasive, sono invece considerate a moderata potenzialità (5 su 13; 38,6%). Bassa potenzialità è infine assegnata all'uso di OGM (1 su 13; 7,7%). Risulta quindi rilevante osservare come, alla fine, tra le categorie di potenziale minaccia alla conservazione della biodiversità animale nel suolo, ben sei di esse (46,0%), vale a dire frammentazione degli habitat, inquinamento industriale, salinizzazione, compattazione, erosione ed impermeabilizzazione del suolo (soil sealing), rimangono ancora non classificate. In altre parole, non si sa nulla.

L'impermeabilizzazione del suolo risulta essere particolarmente importante per gli effetti che può produrre sulla funzionalità del suolo e sulla sua biodiversità. L'Agenzia Europea per l'Ambiente (European Environment Agency, 2011) definisce tale fenomeno come il rivestimento della superficie del suolo con materiali artificiali (e.g., cemento, asfalto, pietra) a

seguito della costruzione di edifici, strade e altre infrastrutture.

L' impermeabilizzazione del suolo, fenomeno la cui intensità è differente secondo il tipo di uso del suolo e la densità della popolazione umana locale, impedendo lo scambio di energia, acqua e gas tra ciò che sta sopra e ciò che sta sotto la superficie del suolo, riduce drasticamente, se non addirittura impedisce, le funzioni naturali e i servizi ecosistemici che il suolo fornisce (Burghardt, 2006; Scalenghe e Marsan, 2009). L'impermeabilizzazione del suolo porta inoltre a consumo di suolo, a sua volta inteso come la variazione da una copertura non artificiale (suolo non consumato) ad una copertura artificiale (suolo consumato), legata a dinamiche insediative, come ad esempio lo *sprawl* urbano (Munafò, 2016).

Desta quindi preoccupazione dal punto di vista della conservazione della biodiversità animale in Italia, ed in particolare della fauna del suolo, il fatto che, stando a stime del 2012, la quota di territorio nazionale con copertura artificiale sia progressivamente passata dal 2,5% della metà degli anni '50 del Novecento, al 7,0% del 2015, valore quest'ultimo di quasi tre punti percentuali superiore alla media riscontrata nell'Unione Europea, pari al 4,3% (Munafò, 2016).

Tale fenomeno si è manifestato soprattutto nell'Italia settentrionale, dove le regioni con valori percentuali più elevati (almeno fino al 2015) risultano essere Lombardia e Veneto (> 10%), mentre al Sud la regione maggiormente interessata è la Campania (7-10%) (Munafò, 2016). Benché limitatamente (2,3%), il consumo di suolo in Italia si manifesta anche nelle aree protette e, tra i parchi nazionali, le maggiori percentuali di suolo artificiale sono state riscontrate nel Parco Nazionale del Vesuvio (Campania), nel Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena (Sardegna) e nel Parco Nazionale del Circeo (Lazio) (Munafò, 2017).

Confrontando le carte della distribuzione del consumo di suolo in Italia (Munafò, 2016: fig. 8.3, suolo consumato a livello comunale anno 2015), con quelle della distribuzione della biodiversità animale nel nostro Paese realizzate nell'ambito del progetto CK map (Ruffo & Stoch, 2005; Stoch, 2008), relativo a 10.000 specie, di cui circa 4.400 rappresentate da artropodi del suolo s.l. (44%), è possibile rilevare, almeno in prima approssimazione e soprattutto in alcuni settori dell'Italia continentale e peninsulare (e.g., regioni nord-orientali, regioni sud-orientali, alcuni ambiti costieri), una parziale sovrapposizione tra le aree a maggior pressione antropica e le aree in cui si concentra la maggiore incidenza delle specie minacciate sul totale (Fig. 1).

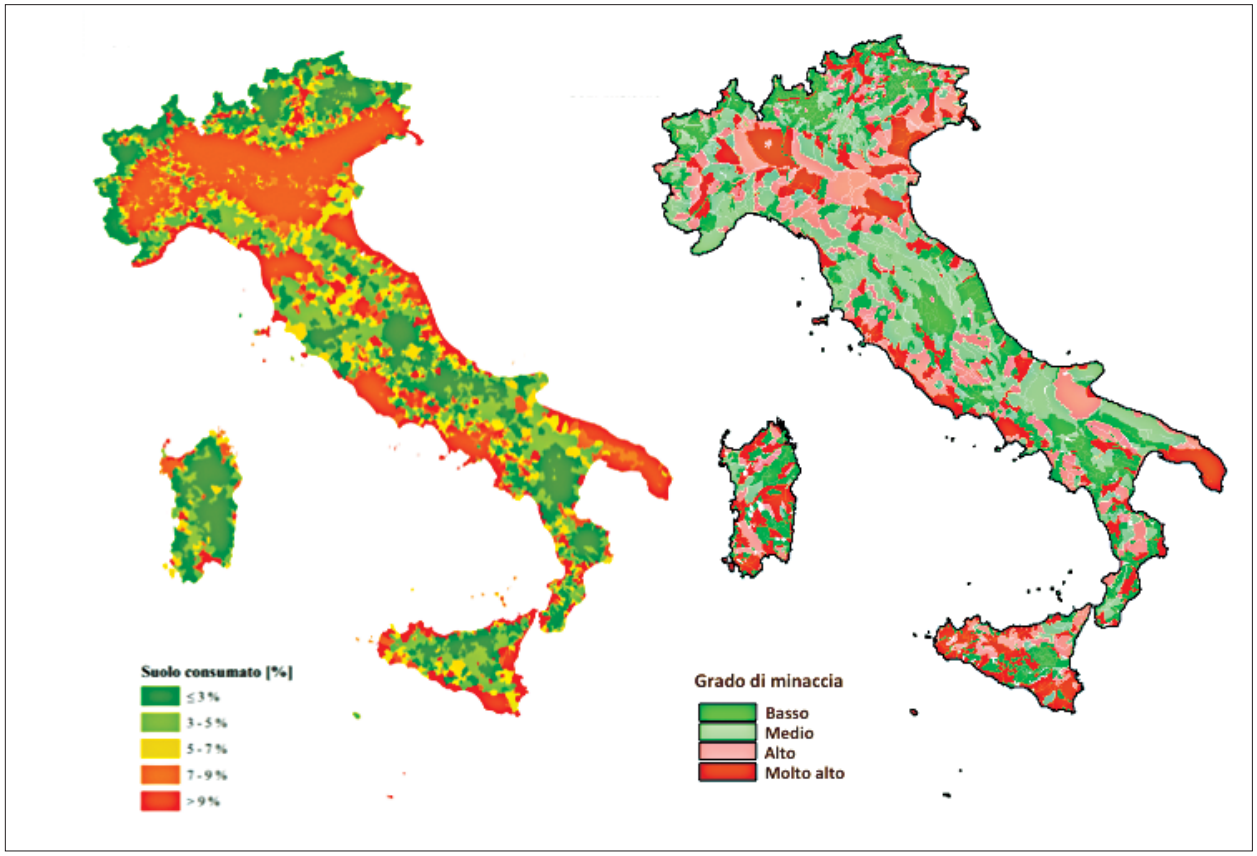

Fig. 1 – Confronto tra la distribuzione del consumo di suolo a livello comunale in Italia (a sinistra, fonte Munafò, 2016) e aree in cui si concentra la maggiore incidenza di specie animali minacciate sul totale (a destra, fonte Stoch, 2008).

Tale valutazione, ancorché generica e qui presentata a titolo puramente speculativo, andrebbe comunque approfondita, supportandola con un più ampio e meglio selezionato set di dati. Appare quindi evidente come, per una maggiore precisione di analisi e una più informata elaborazione di politiche di conservazione, sia oggi più che mai necessario incrementare non solo le conoscenze sulla (micro)distribuzione geografica e sull'autoecologia delle specie animali del nostro Paese, ma anche quelle sulla tassonomia e la biodiversità, in particolare per quei gruppi più strettamente legati al comparto suolo, sviluppando e sostenendo progetti in questo senso.

Far crescere la consapevolezza dell'importanza del suolo e della necessità di proteggerlo, soprattutto tra le nuove generazioni, è perciò un obbligo imprescindibile non solo per il valore scientifico, naturalistico che esso ha, ma anche per il suo significato di patrimonio culturale generale e di risorsa per il territorio (COSTANTINI e L'ABATE, 2009; AA. VV., 2012).

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Michele Munafò, ISPRA, Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia, e Fabio Stoch, per aver concesso l'uso delle immagini in Figura 1.

RIASSUNTO

La biodiversità, intesa come la varietà e la variabilità di organismi viventi nei vari ecosistemi del Pianeta, costituisce una risorsa fondamentale per l'uomo. Gli artropodi, ed in particolare gli insetti, sono la componente più significativa di questa varietà. Una considerevole porzione di questa fauna vive nel suolo, lo strato più superficiale della crosta terrestre definito da una complessa combinazione di materia minerale, organica, gas e liquidi. Oltre che essere l'ambiente d'elezione di numerosi organismi, i quali concorrono alla sua formazione, il suolo svolge diverse altre fondamentali funzioni ecosistemiche, in relazione alla crescita delle piante, alla depurazione dell'acqua, alla regolazione dell'atmosfera terrestre. Esso è quindi essenziale per la vita sulla Terra. Il suolo è attualmente oggetto di grande attenzione da parte del mondo scientifico, sia perché considerato una frontiera della biodiversità, poiché gli organismi in esso presenti sono in gran parte sconosciuti, sia perché soggetto ad un forte degrado, a causa della sempre maggiore antropizzazione del territorio. Nell'ambito delle attività culturali che istituzionalmente svolge, l'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia ha organizzato a Firenze (16 giugno 2017) una Tavola Rotonda dal titolo "*Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi*". Con questa iniziativa si è inteso fornire un quadro generale dei principali gruppi di artropodi che vivono nel suolo, sulle comunità che formano, sul loro significato e sulla possibilità d'uso che esse offrono per la valutazione dello stato di salute di questo importante comparto, con particolare riguardo al nostro Paese ed all'Europa più in generale, anche in relazione ad altre discipline come la Selvicoltura. Alcune considerazioni introduttive sul valore e sul significato degli artropodi del suolo dal punto di vista della loro ecologia, biodiversità e conservazione costituiscono l'oggetto di questa nota.

BIBLIOGRAFIA

AA. VV., 2012 – *L'uomo e il suolo: una storia infinita*. - Environmental Quality, Qualità ambientale book, (1) 3, 121 pp.

ADAMS W.M., AVELING R., BROCKINGTON D., DICKSON B., ELLIOTT J., HUTTON J., ROE D., VIRA B., WOLMER W., 2004 – *Biodiversity conservation and the eradication of poverty*. - Science, 306 (5699): 1146-1149.

BAGYARAJ D.J., NETHRAVATHI C.J., NITIN K.S., 2016 – *Soil biodiversity and arthropods: Role in soil fertility*. - In: Economic and ecological significance of arthropods in diversified ecosystems, Chakravarthy A.K., Sridhara S. Eds. Springer, Singapore, pp. 17-51.

BALLERIO A., 2008 – *Insetti da proteggere: la tutela entomologica in Italia*. - Quad. Staz. Ecol. civ. Mus. St. nat. Ferrara, 18: 21-35.

BRANDMAYR P., PIZZOLOTTO R., 2015 – *Gli insetti come bioindicatori*. - Atti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Rendiconti, 62: 63-80.

BURGHARDT W., 2006 – *Soil sealing and soil properties related to sealing*. - Geological Society, London, Special Publications, 266(1), 117-124.

COIFFAIT H., 1958 – *Les Coléoptères du sol*. - Suplt à Vie et Milieu N° 7. Hermann, Paris, 204 pp.

COSTANTINI E.A., L'ABATE G., 2009 – *The soil cultural heritage of Italy: Geodatabase, maps, and pedodiversity evaluation*. - Quaternary International, 209 (1): 142-153.

CREAMER R.E., HANNULA S.E., VAN LEEUWEN J.P., STONE D., RUTGERS M., SCHMELZ R.M., DE RUITER P.C., BOHSE HENDRIKSEN N., BOLGER T., BOUFFAUD M.-L., BUEE M., CARVALHO F., COSTA D., DIRILGEN T., FRANCISCO R., GRIFFITHS B.S., GRIFFITHS R., MARTIN F., MARTINS DA SILVA P., MENDES S., MORAIS P.V., PEREIRA C., PHILIPPOT L., PLASSART P., REDECKER D., RÖMBKE J., SOUSA J.P., WOUTERSE M. LEMANCEAU P., 2016 – *Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe*. - Applied Soil Ecology, 97: 112-124.

DECAËNS T., 2010 – *Macroecological patterns in soil communities*. - Global Ecology and Biogeography, 19: 287-302.

DECAËNS T., JIMÉNEZ J.J., GIOIA C., MEASEY G.J., LAVELLE P., 2006 – *The values of soil animals for conservation biology*. - European Journal of Soil Biology, 60: 807-819.

DUMONT H.J., 2005 – *Biodiversity: a resource with a monetary value?* - Aquatic Biodiversity II. Springer Netherlands (pp. 11-14).

DELAMARE-DEBOUTTEVILLE C., 1951 – *Les dépendances du sol et les sols suspendus. Considération sur les facteurs historiques en biocénotique*. – Ann. biol., 27: 267-278.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2011– *Urban soil sealing in Europe*. - European Environment Agency, 9 pp.

FAO-UNESCO, 1974 – *Soil map of the world. 1: 5 000 000, Legend*. - FAO-Unesco, Volume I, 59 pp.

GOBAT J.M., ARAGNO M., MATTHEY W., 1998 – *Le Sol vivant. Bases de pédologie biologie des sols*. - Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.

HABER W., 2007 – *Energy, Food, and Land. The Ecological Traps of Humankind.* - Env. Sci. Pollut. Res. 14 (6): 359-365.

HÅGVAR S., 1998 – *The relevance of the Rio-Convention on biodiversity to conserving the biodiversity of soils*. - Applied Soil Ecology, 9: 1-7.

ISAIA M., BONA F., BADINO G., 2007 – *Ragni e bioindicazione: esperienze a confronto in Piemonte*. - Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol, 83: 159-163.

IUSS WORKING GROUP WRB, 2015 – *World Reference Base*

for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. - World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

Jeffery S., Gardi C., Jones A., Montanarella L., Marmo L., Miko L., Ritz K., Peres G., Römbke J., van der Putten W. H. (Eds), 2010 – *European Atlas of Soil Biodiversity*. - European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Lazarova S., Elshishka M., Peneva V., Biserkov V., 2011 – *Soil biodiversity in a changing environment*. - Proceedings International Conference 100 years Bulgarian Soil Science, 16-20 May 2011, Sofia, 746-749.

Maleque M.A., Maeto K., Ishii H.T., 2009 – *Arthropods as bioindicators of sustainable forest management, with a focus on plantation forests*. - Applied Entomology and Zoology, 44 (1): 1-11.

Mancabelli A., 2015 – *Il suolo*. - In: La fauna del suolo, tassonomia, ecologia e metodi di studio dei principali gruppi di invertebrati terrestri italiani, Latella L., Gobbi M. (Eds). Quaderni del Museo delle Scienze, Trento, 3: 9-17.

Menta C., 2008 – *Guida alla conoscenza della biologia e dell'ecologia del suolo*. - Oasi Alberto Perdisa, Bologna, 265 pp.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005 – *Ecosystem and Human Well being: a framework for assessment*. - Island Press, Washington, 245 pp.

Minelli A., Chemini C., Argano R., Ruffo S. (Eds), 2002 – *La Fauna in Italia*. - Touring Editore, Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territoro, Roma, 448 pp.

Minelli A., Ruffo S., La Posta S., 1993-1995 – *Checklist delle specie della fauna italiana*. - Ministero Ambiente, Comitato Scientifico per la Fauna d'Italia, Edagricole, Bologna, voll. 1-110.

Mora C., Tittensor D.P., Adl S., Simpson A.G.B,. Worm B., 2011 – *How many species are there on Earth and in the Ocean?* - PLoS Biol, 9(8): e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127

Munafò M. (Ed.), 2016 – *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2016.* - Ispra Rapporti 248/2016: 119 pp. + 21 schede http://admin.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2016

Munafò M. (Ed.), 2017 – *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2017.* - Ispra Rapporti 266/2017: 186 pp. http://www.isprambiente.gov.it/files2017/pubblicazioni/rapporto/copy_of_RapportoConsumoSuolo2017_0615_web_light.pdf

Orgiazzi A., Panagos P., Yigini Y., Dunbar M.B., Gardi C., Montanarella L., Ballabio C., 2016 – *A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity*. - Science of the Total Environment, 545: 11-20.

Paoletti M.G., Bressan M., Edwards C.A., 1996 – *Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance*. - Critical Reviews in Plant Sciences, 15(1): 21-62.

Parisi V., 1974 – *Biologia e Ecologia del suolo. Tecniche di Ricerca*. - Boringhieri, Torino, 161 pp.

Parisi V., 2001 – *La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi*. - Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense", 37: 97-106.

Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E., 2005 – *Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy*. - Agriculture, Ecosystems & Environment, 105 (1): 323-333.

Pulleman M., Creamer R., Hamer U., Helder J., Pelosi C., Pérès G., Rutgers M. , 2012 – *Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services - an overview of European approaches*. - Current Opinion in Environmental Sustainability, 4: 529-538.

Richter D.D., Markewitz D., 1995 – *How deep is soil?*. - BioScience, 45 (9): 600-609.

Robinson D.A., Panagos P., Borrelli P., Jones A., Montanarella L., Tye A., Obst C.G., 2017 – *Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment*. - Scientific reports, 7, 6706: 1-14.

Ruffo S., Stoch F. (Eds), 2005 – *Checklist e distribuzione della fauna italiana*. - Mem. Mus. Civ. St. Nat. Verona, 2. s., Sc. della vita, 16: 1-307 + CD Rom

Scalenghe R., Marsan F.A., 2009 – *The anthropogenic sealing of soils in urban areas*. - Landscape and urban planning, 90 (1): 1-10.

Soil Survey Staff, 1975 – *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. - Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436, 754 pp.

Soil Survey Staff, 2014 – *Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA*. - Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, 360 pp.

Stoch F., 2008 – *La fauna italiana dalla conoscenza alla conservazione. The Italian fauna, from knowledge to conservation*. - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione per la Protezione della Natura, Roma, 37 pp.

Van Straalen N.M., 1997 – *Community structure of soil arthropods as a bioindicator of soil health*. - In: Biological indicators of soil health (No. 04; QH541. 5. S6, P3.), Pankhurst C., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. (Eds), Wallingford, UK: Cab International, pp. 235-264.

Van Straalen N.M., 1998 – *Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities*. - Applied Soil Ecology, 9 (1): 429-437.

Vigna Taglianti A., Zapparoli M., 2007 – *La fauna del suolo: diversità e significato* - Estratto da: La vita nel suolo. Roma 22 Marzo 2007. I Georgofili, Quaderni 2007 - V, Sezione Centro-Ovest. Felici Editore, pp. 53-69.

Wallwork J.A. , 1970 – *Ecology of soil animals*. - McGraw-Hill, London.

Wilson E.O., 1987 – *The little things that run the world: the importance and conservation of invertebrates*. - Conservation Biology, 1: 344-346.

World Reference Base, 1998 – World reference base for soil resources**. -** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 83-90

BIOLOGIA E BIOGEOGRAFIA DEGLI ISOPODI TERRESTRI (CRUSTACEA, ISOPODA, ONISCIDEA)

STEFANO TAITI (*)

(*) *Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Italia Museo di Storia Naturale dell'Università di Firenze, Sezione di Zoologia "La Specola", Via Romana 17, 50125 Firenze, Italia.* E-mail: stefano.taiti@ise.cnr.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Biology and biogeography of terrestrial isopods (Crustacea, Isopoda, Oniscidea)

Terrestrial isopods (commonly called woodlice) belong to the suborder Oniscidea of the order Isopoda and represent the only group of Crustacea fully adapted to live on land. With more than 3,700 species presently known, they are the reachest suborder among the Isopoda. They originated from marine ancestors and represent a key taxon to study the conquest of the land among arthropods with unique morphological, physiological and behavioral adaptations for terrestriality, such as the water conducting system to avoid dessiccation, the pleopodal lungs for aerial respiration, and different ecomorphological stategies to avoid predation. The Oniscidea have a world-wide distribution and occur in any kind of environment, from littoral to high mountains, from forests to deserts, and in all subterranean habitats. According to recent phylogenetic reconstructions five sections of Oniscidea are recognised: Diplocheta, Tylida, Microcheta, Synocheta and Crinocheta. The Crinocheta represent the richest group in biodiversity with 30 out of 37 families of Oniscidea presently known. The distributon of the suborder is briefly discussed.

KEY WORDS: Oniscidea, morphology, adaptation, ecology, distribution.

INTRODUZIONE

Gli isopodi terrestri rappresentano il sottordine Oniscidea, l'unico completamente terrestre degli 11 sottordini degli Isopoda (WoRMS, 2018). Sono volgarmente chiamati porcellini di terra o di Sant'Antonio (in inglese woodlice, in francese cloportes, in tedesco Land Asseln). La loro origine è stimata nel Paleozoico superiore (Permo-Carbonifero), anche se i fossili più antichi conosciuti sono datati al Cretaceo inferiore (BROLY *et al*., 2013). Gli Oniscidea rappresentano un ottimo gruppo animale per studiare i processi di terrestrializzazione in un contesto evolutivo, in quanto presentano numerosi adattamenti unici per la vita sulla terra.

GENERALITÀ SUGLI ISOPODI TERRESTRI

Nella catena alimentare gli Oniscidea sono principalmente dei decompositori, nutrendosi in gran parte di materiale vegetale morto e talvolta anche di resti animali. Si trovano comunemente sotto le pietre, i tronchi d'albero abbattuti, fra la lettiera del bosco, ma anche sulle coste sabbiose e rocciose, fra l'erba dei prati, sui cespugli e le chiome degli alberi o in ambienti fortemente antropizzati come i giardini, le case e le cantine. Inoltre gli isopodi terrestri costituiscono una fonte di cibo per molti predatori, sia vertebrati (uccelli, toporagni, lucertole, rospi, ecc.) sia invertebrati (soprattutto coleotteri adefagi, ragni, scorpioni, pseudoscorpioni e chilopodi). Fra i ragni alcune specie del genere *Dysdera* Latreille, 1804 si nutrono esclusivamente di isopodi terrestri (ŘEZÁČ *et al.,* 2008). Come tutti gli altri sottordini di Isopoda, costituiti da forme marine e di acqua dolce, gli Oniscidea presentano un corpo segmentato appiattito dorso-ventralmente e suddiviso in tre regioni (Fig. 1, A): capo (o cephalon), torace (o pereion) ed addome (o pleon). Le loro dimensioni variano da poco più di 1 mm di lunghezza di certi Trichoniscidae a circa 60 mm di *Tylos granulatus* (Tylidae), ma la maggior parte delle specie non supera i 20 mm. Il cephalon è in realtà un cefalotorace, in quanto formato dalla fusione dei segmenti ancestrali del cephalon vero e proprio con il primo segmento toracico. Il cephalon porta un paio di occhi sessili composti da un numero variabile di ommatidi: nella maggior parte delle specie epigee questo numero va da 10 a 25, ma vi sono specie con moltissimi ommatidi (alcune centinaia, come nelle specie del genere *Ligia*) e forme con occhi ridotti o assenti (soprattutto nelle specie cavernicole, endogee, mirmecofile e termitofile). Contrariamente a tutti gli altri isopodi che presentano due

– Pubblicato aprile 2018

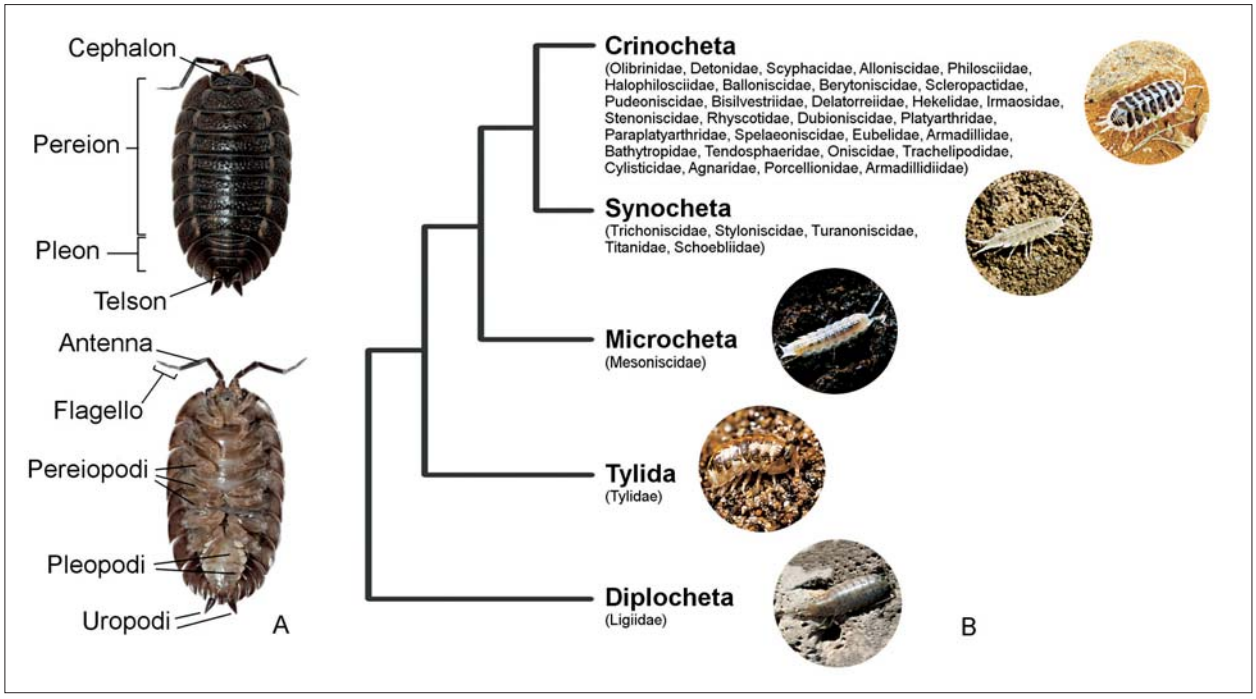

Fig. 1 – A) Isopode terrestre dal dorso e dal ventre; B) Cladogramma dei gruppi di Oniscidea (modificato da Erhard, 1998).

paia di antenne ben sviluppate sul capo, negli Oniscidea il primo paio, le antennule, è molto ridotto, da uno a tre segmenti, mentre il secondo paio, le antenne, sono ben sviluppate e costituite da un peduncolo di cinque articoli e da un flagello terminale formato da un numero di segmenti che varia da più di 10 delle forme più primitive (come nel genere *Ligia,* a due segmenti delle forme più evolute (ad esempio nei Porcellionidae e negli Armadillidiidae). Il cephalon porta inoltre tutte le appendici boccali: un paio di mandibole, di mascellule, di mascelle e di mascellipiedi. Il pereion è costituito da sette segmenti ognuno dei quali porta un paio di zampe (pereiopodi) ben sviluppate, atte alla deambulazione e talvolta allo scavo. I pereiopodi sono appendici uniramose costituite da sei segmenti: basipodite, ischiopodite, meropodite, carpopodite, propodite e dattilopodite (dal prossimale al distale). Il pleon è costituito da cinque segmenti e dal telson, che in realtà è un pleotelson in quanto formato dalla fusione del sesto segmento ancestrale del pleon con il telson vero e proprio. Il pleon porta cinque paia di pleopodi, appendici biramose costituite da un esopodite e da un endopodite, appiattite, ed adibite in gran parte alla funzione respiratoria (vedi dopo). Nei maschi le prime due paia di pleopodi sono trasformati in organi copulatori, in particolare gli endopoditi che sono allungati e servono per il trasferimento delle spermateche che escono dall'apofisi genitale negli ovidutti femminili. Il telson è di forma molto variabile, arrotondato, triangolare, trapezoidale o a clessidra, e porta un paio di appendici (gli uropodi) costituiti da tre segmenti: un protopodite sul quale sono inseriti un esopodite ed un endopodite.

Le affinità degli Oniscidea con gli altri sottordini di isopodi non sono ancora stabilite con certezza in quanto lavori di vari autori arrivano a conclusioni diverse. Brusca & Wilson (1991) hanno proposto come "sister group" i Calabozoidea, mentre Tabacaru & Danielopol (1996) i Valvifera. Manca ancora un'analisi filogenetica certa su basi molecolari.

Secondo i principi della sistematica filogenetica basata su caratteri morfologici, gli Oniscidea risultano essere un gruppo monofiletico (Schmalfuss, 1989; Erhard, 1998) con numerose sinapomorfie, fra le quali le maggiori sono: l'antennula ridotta a tre, due o un segmento; primi pleopodi sessualmente dimorfici; tergiti provvisti di squamosetole; presenza di un sistema di conduzione dell'acqua (vedi dopo) (Schmidt, 2008). Secondo queste ricostruzioni filogenetiche si possono distinguere cinque sezioni (Fig. 1, B): Diplocheta, Tylida, Microcheta, Synocheta e Crinocheta (da quella più ancestrale alla più derivata). I Diplocheta comprendono solo la famiglia Ligiidae, i Tylida solo i Tylidae e i Microcheta solo i Mesoniscidae, mentre i Synocheta e i Crinocheta, includono rispettivamente cinque e 30 famiglie.

La monofilia degli Oniscidea è stata messa in discussione con analisi molecolari da Michel-Salzat & Bouchon (2000) che considerano *Ligia* e *Tylos* più vicini agli isopodi marini Valvifera e Sphae-

romatidea che non al resto degli Oniscidea. Recentemente, anche LINS *et al.* (2017), sempre su basi molecolari, considerano il gruppo parafiletico, in quanto il sottordine Phreatoicidea sarebbe il "sister group" dei Synocheta e Crinocheta, con i Ligiidae e Tylidae alla base del clade suddetto. Analisi molecolari più accurate sono necessarie per accertare la parafilia o la monofilia del gruppo.

ADATTAMENTI ALLA VITA TERRESTRE

Con l'esclusione delle calotte polari, gli Oniscidea hanno colonizzato ogni tipo di ambiente, dalle rive del mare fino alle quote più elevate (> 4.500 m), dalle foreste agli ambienti più aridi quali subdeserti e deserti. Gli isopodi terrestri sono derivati certamente da antenati marini, anche se non è ancora ben chiaro da quali, e nel passaggio dall'ambiente acquatico a quello terrestre hanno messo a punto complessi adattamenti morfologici, fisiologici e comportamentali per evitare la perdita d'acqua, la predazione, la competizione e per superare il problema della respirazione aerea. Le forme più primitive di Oniscidea sono rappresentate da specie anfibie del genere *Ligia* che vivono sui litorali marini di gran parte delle terre emerse ed esemplificano la transizione dal mare alla terra per questi crostacei.

Per limitare al massimo la perdita di acqua e la predazione, la gran parte degli isopodi terrestri di ambienti epigei preferiscono ambienti ad alto grado di umidità relativa ed hanno adottato particolari strategie comportamentali, quali ad esempio l'attività quasi esclusivamente notturna e, in zone temperate, la riduzione dell'attività nei freddi mesi invernali e nei caldi mesi estivi. In genere, i maschi sono più attivi durante la stagione dell'accoppiamento, mentre le femmine riducono la loro attività nel periodo di incubazione delle uova. Anche fenomeni di aggregazione presenti in diverse specie contribuiscono a limitare la perdita di acqua e alla sopravvivenza in condizioni difficili (HORNUNG, 2011).

Il problema del disseccamento è stato superato con la messa a punto di un complesso sistema di conduzione dell'acqua (HOESE, 1981; 1982a). Esistono due tipi principali di sistemi di conduzione dell'acqua: un sistema aperto ed un sistema chiuso. Nel sistema aperto l'acqua viene assorbita da una fonte esterna per capillarità unendo le seste e settime zampe dove sono presenti dei solchi longitudinali e squamette (Fig. 2, A). L'acqua si distribuisce poi su tutto il corpo ed in particolare sui pleopodi dove avviene la maggior parte della respirazione. Il sistema chiuso rappresenta invece un metodo di riciclo dei liquidi di escrezione. L'acqua con disciolta l'ammoniaca escreta dai nefridi mascellari viene convogliata verso la parte posteriore del corpo attraverso dei solchi bordati da squamette presenti ai lati nella parte ventrale del corpo (Fig. 2, B). Durante questo percorso l'ammoniaca evapora e l'acqua, ritornata pura, viene usata per la respirazione nei pleopodi. Il sistema chiuso è presente negli Oniscidea inferiori, dalla *Ligia* ai Synocheta, che sono ancora legati ad ambienti molto umidi, mentre il sistema chiuso è a carico degli Oniscidea superiori, i Crinocheta, che abitano ambienti più aridi.

Il passaggio da una respirazione acquatica tipica di gran parte dei crostacei ad una respirazione aerea ha comportato degli adattamenti evolutivi notevoli negli Oniscidea. La respirazione è in gran parte a carico degli esopoditi dei pleopodi. Nelle forme più primitive i pleopodi funzionano come branchie ed hanno bisogno quindi di una presenza costante di acqua. Questo tipo di respirazione è presente in tutti i gruppi che vivono in ambienti molto umidi (ambienti litorali, la lettiera delle foreste, ambienti endogei e cavernicoli), quali i Ligiidae, i Mesoniscidae, i Synocheta ed alcuni Crinocheta. In molti

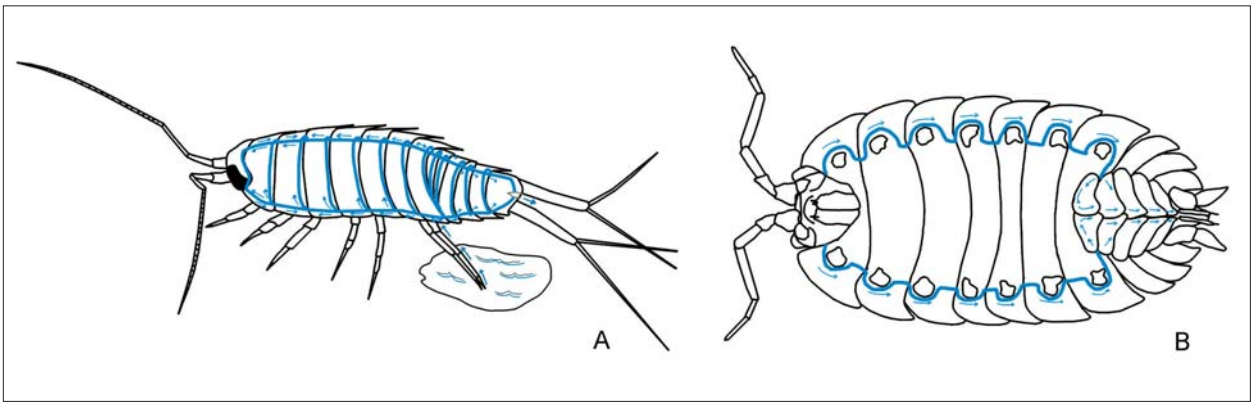

Fig. 2 – Schema del sistema di conduzione dell'acqua: A) aperto (tipo *Ligia*); B) chiuso (tipo *Porcellio*) (modificato da Hoese, 1981, 1982a con il metodo di Montesanto, 2015).

Crinocheta, adattati ad ambienti più aridi, la respirazione è a carico di strutture specializzate degli esopoditi dei pleopodi che prendono il nome di polmoni pleopodali o pseudotrachee. I polmoni sono presenti in genere su tutti gli esopoditi (Fig. 3, A) o sulle prime due paia di esopoditi (Fig. 3, B) e sono ben visibili negli animali vivi per la loro colorazione più chiara. Più raramente sono presenti sulle prime tre paia di esopoditi. Si possono distinguere tre tipi principali di polmoni: aperti, chiusi polispiracolari e chiusi monospiracolari. Nei polmoni aperti la superficie respiratoria è completamente esterna e costituita da pieghe della cuticola che risulta di spessore minore rispetto al resto dell'appendice (Fig. 3, C). Nei polmoni chiusi invece sono presenti dei veri alberi respiratori all'interno dell'esopodite: in quelli polispiracolari ci sono diversi alberi che comunicano all'esterno tramite spiracoli (Fig. 3, D) mentre in quelli monospiracolari è presente un unico albero respiratorio che si apre all'esterno con un singolo spiracolo (Fig. 3, E) (HOESE, 1982b; FERRARA *et al*., 1994; TAITI *et al*., 1998; SCHMIDT & WÄGELE, 2001, PAOLI *et al*., 2002). In alcune specie di Eubelidae che vivono in ambienti desertici e subdesertici (ad esempio nel genere *Periscyphis*) i tubuli respiratori del polmone monospiracolare non rimangono confinati all'interno dell'esopodite ma penetrano anche nella cavità interna del corpo per un lungo tratto (FERRARA *et al*., 1997). Quando c'è un polmone chiuso in genere è presente sulla superficie esterna intorno agli spiracoli e nella prima parte interna dell'albero respiratorio una struttura a verruche o a celle poligonali, che prende il nome di area perispiracolare e che ha probabilmente la funzione di mantenere il giusto grado di umidità necessario per la respirazione. Il polmone aperto è presente ad esempio in specie di Trachelipodidae, Cylisticidae, alcuni Eubelidae ed Armadillidae, tutte specie che abitano ambienti umidi come ad esempio la lettiera delle foreste. Il polmone chiuso è presente in gran parte dei Crinocheta che abitano ambienti più secchi. Quello monospiracolare è molto più comune di quello polispiracolare. Spesso tutti i tre tipi di polmoni si ritrovano nella stessa famiglia (ad esempio negli Eubelidae ed Armadillidae) a dimostrazione che l'evoluzione degli apparati respiratori negli Oniscidea è avvenuta più volte indipendentemente (FERRARA *et al*., 1994; TAITI *et al*., 1998).

Come in tutti i crostacei Peracarida, anche negli isopodi terrestri le uova fertilizzate vengono depositate in un marsupio ventrale la cui parete ventrale è cortituita da oostegiti lamellari e quella dorsale dagli sterniti dei primi cinque pereioniti (HORNUNG, 2011). Nel marsupio avviene lo sviluppo embrionale e dei primi stadi larvali. Nelle forme più primitive che vivono in ambienti molto umidi (ad esempio in *Ligia*) il marsupio è di tipo anfibio, cioè aperto anteriormente e posteriormente, per cui si ha un flusso di acqua convogliato dal sistema di conduzione dell'acqua di tipo aperto. Nei Crinocheta che

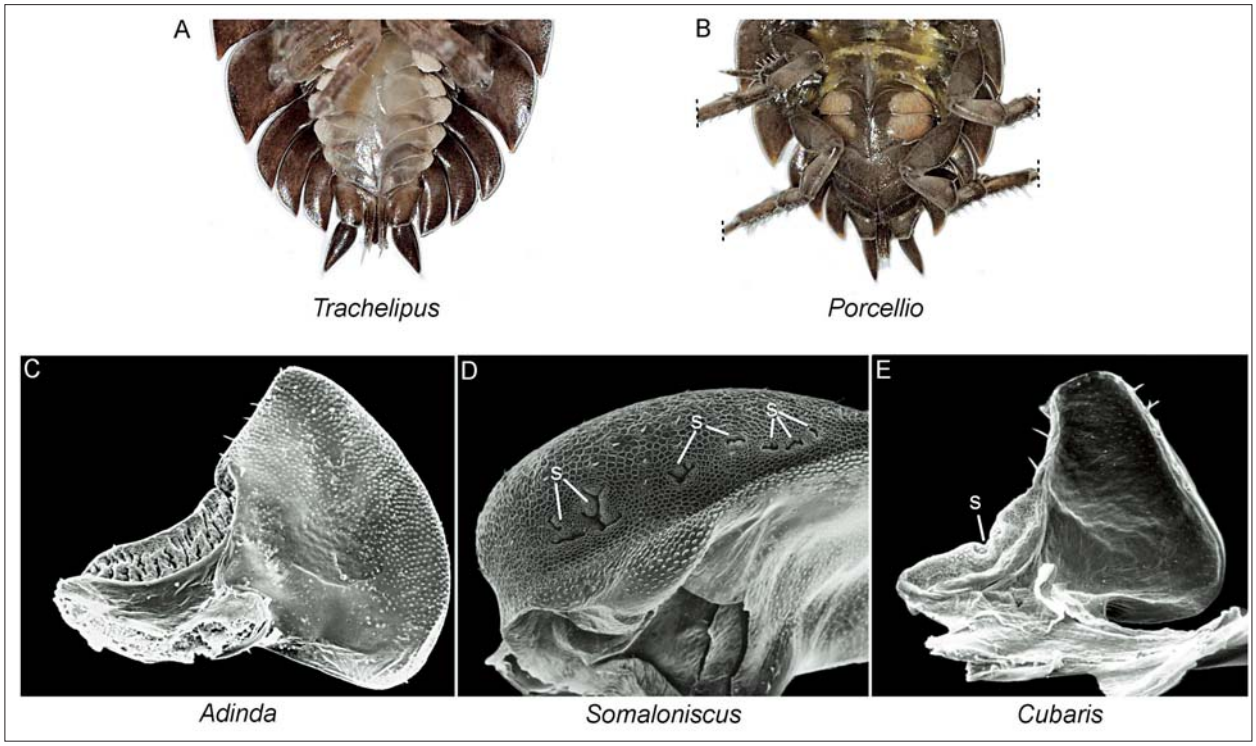

Fig. 3 – A) Pleon di un isopode con cinque paia di polmoni; B) Pleon con due paia di polmoni; C) Polmone aperto; D) Polmone chiuso polispiracolare; E) Polmone chiuso monospiracolare. S = spiracolo.

vivono in ambienti più aridi, il marsupio è di tipo terrestre, cioè chiuso, e non in connessione al sistema di conduzione dell'acqua. All'interno di questo tipo di marsupio ci sono delle strutture digitiformi, i cosiddetti cotiledoni, che si originano dagli sterniti e che forniscono nutrimento e ossigeno per lo sviluppo embrionale. Il numero e la disposizione dei cotiledoni variano a seconda delle famiglie e sembrano correlati con il grado di aridità dell'ambiente. La famiglia con il più alto numero di cotiledoni attualmente noto è quella degli Armadillidae (LEWIS, 2011).

Numerosi sono gli Oniscidea che si sono adattati a vivere in ambienti molto aridi, quali deserti, subdeserti e steppe, per esempio alcuni *Porcellio* (Porcellionidae), specie dei generi *Periscyphis*, *Somaloniscus*, *Koweitoniscus* (Eubelidae) e specie del genere *Hemilepistus* (Agnaridae). Una specie di quest'ultimo genere, *H. reaumurii*, che vive in ambiente subdesertico del Nord Africa e del medio Oriente, si è adattata alla vita in ambiente molto arido adottando un comportamento sociale, con formazione di coppie stabili che scavano profondi nidi nel terreno dove la coppia si rifugia durante le ore calde della giornata e da dove esce a foraggiare solo al mattino e alla sera. La coppia ha cura della propria prole, riconosce i propri piccoli ed è molto aggressiva con quelli di altre coppie se questi cercano di entrare nel proprio nido (LINDSENMAIR, 2007).

Per difendersi dal disseccamento e dai numerosi predatori, sia vertebrati (uccelli, toporagni, rospi ecc.) che invertebrati (soprattutto coleotteri adefagi, ragni, scorpioni e chilopodi), gli Oniscidea hanno adottato diverse strategie. Si ritrovano almeno cinque categorie ecomorfologiche (Fig. 4): "runners", "clingers", "creepers", "rollers" e "spiny forms" (SCHMALFUSS, 1984). I "runners" sono forme molto veloci, con corpo liscio e dotate di lunghi pereiopodi, che, se disturbate, corrono via velocemente in cerca di un rifugio (per esempio specie di Ligiidae, Trichoniscinae e Philosciidae). Al contrario, i "clingers" si muovono lentamente, hanno corpo allargato e pereiopodi relativamente corti e robusti con i quali aderiscono fortemente al substrato quando in pericolo (per esempio specie di *Trachelipus* e *Porcellio*). I "creepers" sono specie che abitano ambienti sotterranei ed edafici (suolo, interstizi di ambienti rocciori, MSS e grotte), di piccole dimensioni (< 5 mm), con corpo convesso e provvisto di coste o tubercoli dorsali, zampe corte e movimenti lenti. I "rollers" presentano corpo molto convesso e quando disturbati si arrotolano su se stessi formando una pallina più o meno perfetta, strategia che prende il nome di volvazione. Due sono i modi principali di volvazione, ossia tenendo le antenne all'esterno del corpo (volvazione esoantennata), come nei Cylisticidae e nei Tendosphaeridae, o all'interno del corpo (volvazione endoantennata) come nei Tylidae, Armadillidiidae e in gran parte degli Eubelidae ed Armadillidae. Le "spiny forms" sono specie volvazionali che vivono in foreste tropicali, molte sono arboricole e presen-

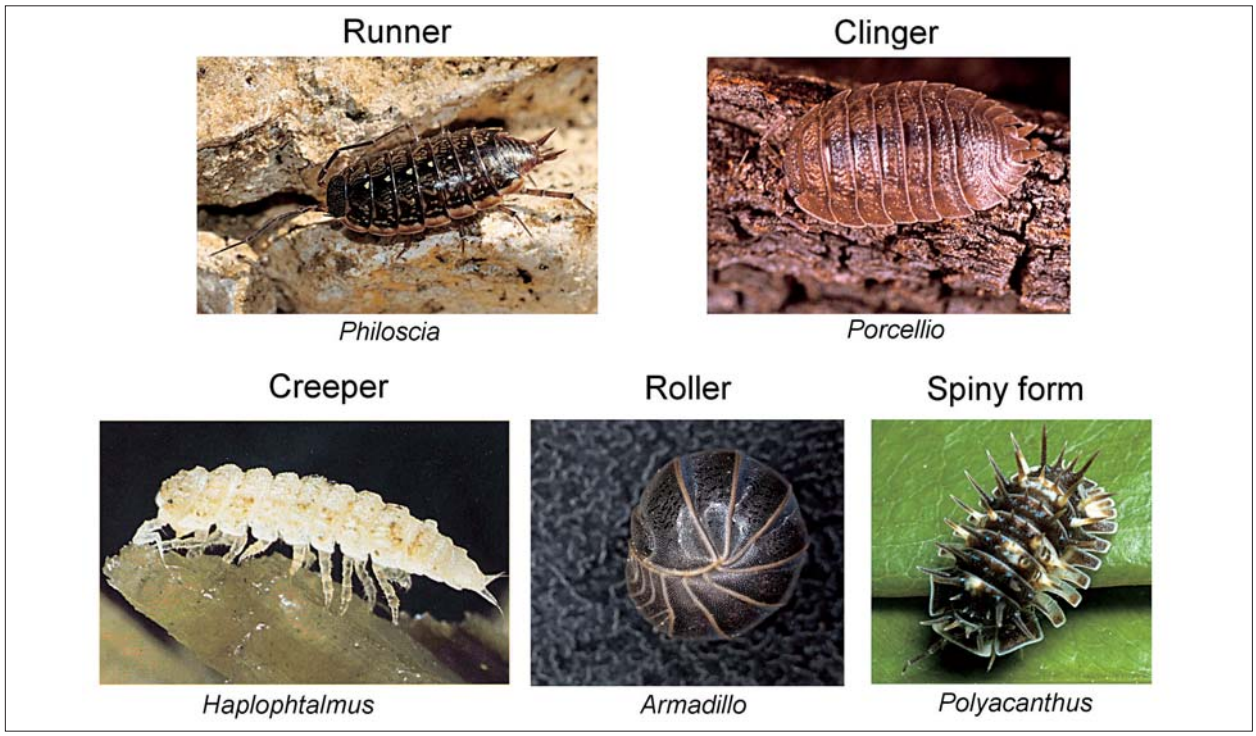

Fig. 4 – Categorie ecomorfologiche negli Oniscidea (secondo Schmalfuss, 1984).

tano il dorso provvisto di lunghe spine, come alcune specie di Eubelidae ed Armadillidae. Tutte le altre forme che non rientrano in queste cinque categorie sono state incluse da SCHMALFUSS (1984) nel gruppo "non-conformists" che comprende le specie mirmecofile (ad esempio specie del generi *Platyarthrus* ed *Exalloniscus*), termitofile (ad esempio le famiglie Titanidae e Schoebliidae) e forme scavatrici (specie di *Leptotrichus* ed *Hemilepistus*). A queste si possono aggiungere anche le specie acquatiche che vivono temporaneamente o permanentemente nelle acque sia superficiali (come *Haloniscus searlei* dei laghi salati dell'Australia meridionale) che sotterranee (come numerose specie stigobie di Trichoniscidae, Styloniscidae, Olibrinidae e Philosciidae) (TAITI & HUMPHREYS, 2001; TAITI & FERRARA, 2004; TAITI & XUE, 2012). È quasi certo che tutte queste forme siano secondariamente acquatiche, derivate cioè da specie terrestri e morfologicamente adattate a questo ambiente. Un'ulteriore categoria deve essere aggiunta a quelle citate precedentemente: i "jumpers". Infatti, alcune specie di Philosciidae che vivono in lettiera in aree tropicali sono capaci di saltare quando disturbate, alla stessa stregua dei collemboli, anche se ancora non è stato descritto come questo possa avvenire. Questo particolare comportamento è stato osservato in *Ischioscia variegata* a Panama (WILLIAMS, 1941; VANDEL, 1952) e in specie di *Burmoniscus* del Sud-Est asiatico (S. Taiti e L. Bartolozzi, oss. pers.).

Molte specie di isopodi terrestri si sono adattati a vivere in ambienti sotterranei (TAITI, 2004): più di 300 specie sono troglobie strette, molte altre hanno abitudini troglofile, e molte specie si rinvengono in ambiente endogeo. I caratteri adattativi presentati dagli Oniscidea troglobi sono simili a quelli di molti altri artropodi cavernicoli, come riduzione o assenza dell'apparato oculare e del pigmento del corpo, allungamento di tutte le appendici, soprattutto antenne e pereiopodi, riduzione del metabolismo e del numero di uova. Isopodi terrestri troglobi e stigobi sono presenti in 16 famiglie, ma la maggior parte sono concentrati nelle famiglie Trichoniscidae e Styloniscidae.

DIVERSITÀ E BIOGEOGRAFIA

Fino ad oggi sono state descritte più di 3.700 specie di Oniscidea (SCHMALFUSS, 2003; SFENTHOURAKIS & TAITI, 2015; WORMS, 2018), un numero molto inferiore alla reale consistenza del gruppo, come dimostrano i numerosi nuovi taxa che vengono continuamente descritti sia da aree tropicali che temperate, Italia compresa. Come per tutti gli organismi, la distribuzione degli Oniscidea è dettata da fattori storici, sia paleogeografici sia paleoclimatici, ed ecologici. Data la loro bassa capacità di dispersione, la maggior parte delle specie presentano distribuzioni limitate con molte forme endemiche di aree ristrette. Sono pochissime infatti le specie, tutte di origine euro-mediterranea, che sono state introdotte con le attività umane in gran parte del mondo. Fra queste si possono ricordare *Porcellionides pruinosus*, *Agabiformius lentus*, *Porcellio laevis*, *P. scaber* ed *Armadillidium vulgare*. Altre specie hanno oggi una distribuzione pantropicale, come ad esempio *Trichorhina tomentosa*, *T. heterophthalma*, *Rhyscotoides parallelus*, *Nagurus cristatus*, *N. nanus*, *Cubaris murina* e *Venezillo parvus*, che si ritrovano spesso anche nelle serre di molti giardini botanici europei. Anche a livello di genere, pochissimi sono quelli che presentano una distribuzione mondiale. Fra questi vanno annoverati alcuni generi litorali come ad esempio *Ligia* (Fig. 5, A) e *Tylos* che sono distribuiti su quasi tutte le coste rocciose e/o sabbiose del globo, anche se con specie diverse.

Pochissime sono anche le famiglie che hanno una distribuzione globale: fra queste si possono annoverare i Philosciidae, anche se la maggior parte dei generi e specie è presente in area tropicale e subtropicale. Fra i Synocheta, due sono le famiglie principali: i Trichoniscidae che hanno una distribuzione olartica (Fig. 5, B), e gli Styloniscidae con distribuzione tipicamente gondwaniana (Fig. 5, C). Fra i Crinocheta, le famiglie più ricche di specie sono tutte a distribuzione gondwaniana, quali gli Scleropactidae nella Regione Neoartica ed Orientale (Fig. 5, D), gli Eubelidae nella Regione Afrotropicale e Orientale (Fig. 5, E) e gli Armadillidae nella Regione Neoartica, Afrotropicale, Orientale ed Australiana (Fig. 5, F). In quest'ultima famiglia un solo genere, *Armadillo*, è presente nell'area mediterranea. Nella Regione Paleartica, le famiglie più ricche di specie sono rappresentate dai Porcellionidae e dagli Armadillidiidae, che costituiscono insieme circa il 16% di tutte le specie di Oniscidea (SFENTHOURAKIS & TAITI, 2015), in particolare con i generi *Porcellio* (Fig. 5, G) ed *Armadillidium* (Fig. 5, H).

Le aree a più alta biodiversità per quanto riguarda gli isopodi sono presenti nel Mediterraneo (Penisola iberica, Penisola italiana ed isole, Penisola Balcanica e Grecia), in Sud Africa, Australia e, ai tropici, in Brasile. Bisogna tenere presente però che gran parte delle faune tropicali sono ancora poco conosciute: un esempio fra tutti è dato dal Madagascar, dove ricerche accurate negli ultimi decenni hanno quadruplicato le specie presenti nell'isola (S. Taiti, dati inediti).

In Europa si assiste ad un marcato gradiente latitudinale: nell'Europa settentrionale è presente un

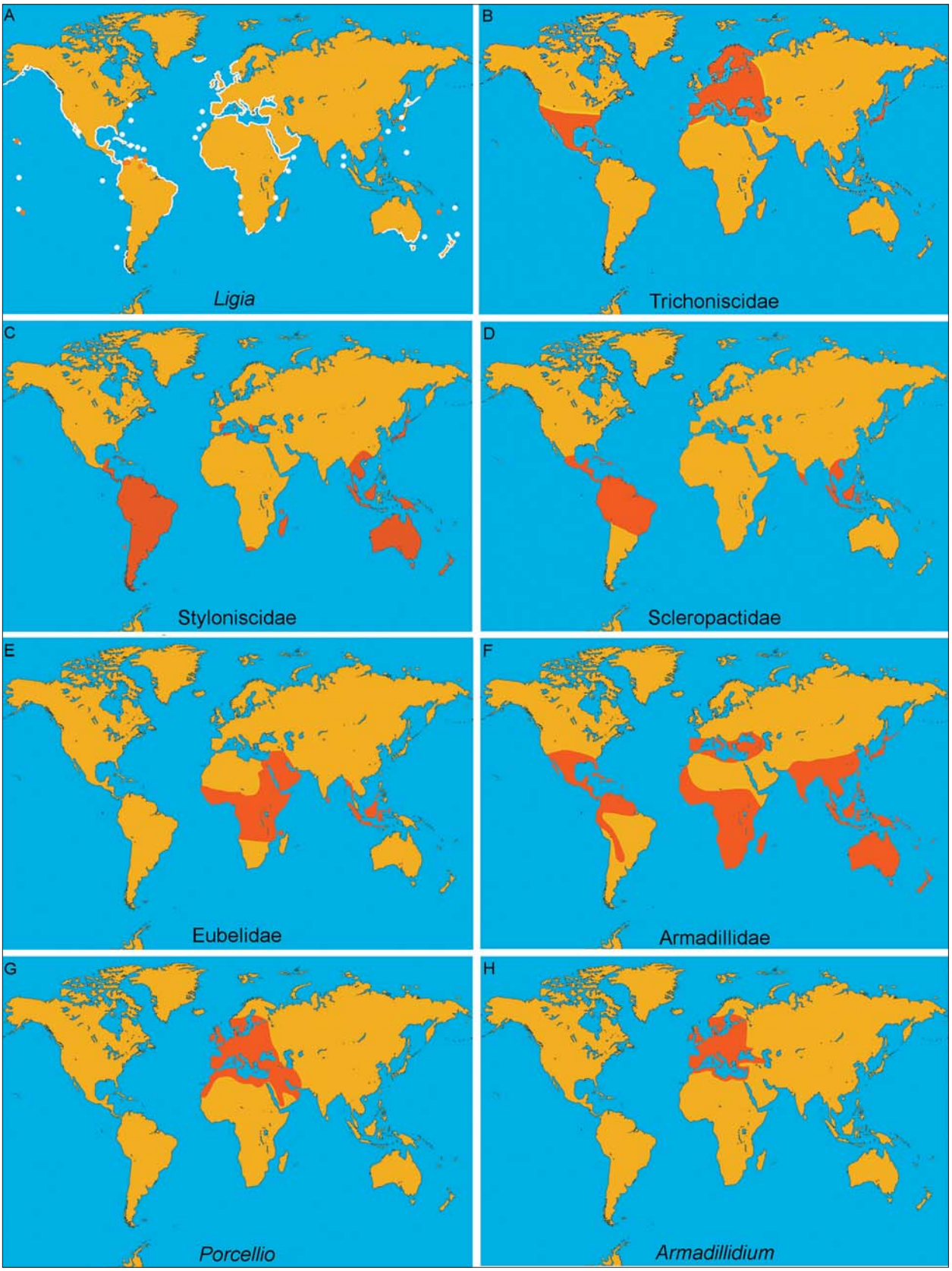

Fig. 5 – A) Distribuzione del genere *Ligia* (Ligiidae), ad esclusione della specie pantropicale *L. exotica*; B) Distribuzione della famiglia Trichoniscidae; C) Distribuzione della famiglia Styloniscidae; D) Distribuzione della famiglia Scleropactidae; E) Distribuzione della famiglia Eubelidae; F) Distribuzione della famiglia Armadillidae; G) Distribuzione delle specie autoctone del genere *Porcellio* (Porcellionidae); H) Distribuzione delle specie autoctone del genere *Armadillidium* (Armadillidiidae).

numero molto basso di specie (circa 30-40), numero che aumenta procedendo verso il Mediterraneo. In Italia sono al momento conosciute 364 specie, circa il 10% di tutte le specie di Oniscidea note, con un altissimo grado di endemicità (circa 60%), soprattutto a carico di alcune famiglie quali i Trichoniscidae, Cylisticidae ed Armadillidiidae.

RINGRAZIAMENTI

I miei più vivi ringraziamenti vanno al Dott. Giuseppe Montesanto, Pisa, per il suo prezioso aiuto nella composizione delle figure.

BIBLIOGRAFIA

BROLY P., DEVILLE P., MAILLET S., 2013 – *The origin of terrestrial isopods (Crustacea: Isopoda: Oniscidea)*. - Evol. Ecol., 27(3): 461-476.

BRUSCA R., WILSON G., 1991 – *A phylogenetic analysis of the Isopoda with some classificatory recommendations*. - Mem. Queensland Mus., 31: 143–204.

ERHARD F., 1998 – *Phylogenetic relationships within the Oniscidea (Crustacea, Isopoda)*. - Israel J. Zool., 44: 303-309.

FERRARA F., PAOLI P., TAITI S., 1994 – *Philosciids with pleopodal lungs? The case of the genus* Aphiloscia *Budde-Lund, 1908 (Crustacea: Isopoda: Oniscidea), with a description of six new species*. - J. nat. Hist., 28: 1231-1264.

FERRARA F., PAOLI P., TAITI S., 1997 – *An original respiratory structure in the xeric genus* Periscyphis *Gerstaecker, 1873 (Crustacea: Oniscidea)*. - Zool. Anz., 235: 147-156.

HOESE B., 1981 – *Morphologie und Funktion des Wasserleitungssystems der terrestrischen Isopoden (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea)*. - Zoomorphology, 98: 135-167.

HOESE B., 1982a – *Der* Ligia*-Typ des Wasserleitungssystems bei terrestrischen Isopoden und seine Entwicklung in der Familie Ligiidae (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea)*. - Zool. Jahrb., Abt. Anat. Ontogenie Tiere, 108: 225-261.

HOESE B., 1982b – *Morphologie und Evolution der Lungen bei den terrestrischen Isopoden (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea)*. - Zool. Jahrb., Abt. Anat. Ontogenie Tiere, 107: 396-422.

HORNUNG E., 2011 – *Evolutionary adaptation of oniscidean isopods to terrestrial life: Structure, physiology and behavior*. - Terr. Arthropod Rev., 4: 95-130.

LEWIS F., 1991 – *The relationship between broodpouch colyledons, aridity and advancement*. In: The Biology of Terrestrial Isopods III: Proceedings of the Third International Symposium on the Biology of Terrestrial Isopods. Poitiers, France, Juchault P. & Mocquard J. Ed., pp. 81-88.

LINS L., HO S., LO N., 2017 – *An evolutionary timescale for terrestrial isopods and a lack of molecular support for the monophyly of Oniscidea (Crustacea: Isopoda)*. - Org. Divers. Evol., 17(4): 813-820.

LINSENMAIR K.E., 1994 – *Reproductive behaviour and chemical communication in the monogamous desert isopod* Hemilepistus reaumuri *and some other subsocial isopods*. - Ethol. Ecol. Evol., 3: 3-4.

MICHEL-SALZAT A., BOUCHON D., 2000 – *Phylogenetic analysis of mitochondrial LSUrRNA in oniscids*. - C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. III, Sciences de la Vie, 323: 827-837.

MONTESANTO G., 2015 – *A fast GNU method to draw accurate scientific illustrations for taxonomy*. - ZooKeys, 515: 191-206.

PAOLI P., FERRARA F., TAITI S., 2002 – *Morphology and evolution of the respiratory apparatus in the family Eubelidae (Crustacea, Isopoda, Oniscidea)*. - J. Morphol., 253: 272-289.

ŘEZÁČ M, PEKÁR S, LUBIN Y., 2008 – *How oniscophagous spiders overcome woodlouse armour*. - J. Zool., 275: 64-71.

SCHMALFUSS H., 1984 – *Eco-morphological strategies in terrestrial isopods*. - Symp. zool. Soc. Lond., 53: 49-63.

SCHMALFUSS H., 1989 – *Phylogenetics in Oniscidea*. - Monitore zool. ital., N. S., Monogr. 4: 3-27.

SCHMIDT C., 2008 – *Phylogeny of the terrestrial Isopoda (Oniscidea): a review*. - Arthropod Syst. Phylo., 66: 191-226.

SCHMIDT C., WÄGELE J., 2001 – *Morphology and evolution of respiratory structures in the pleopod exopodites of terrestrial Isopoda (Crustacea, Isopoda, Oniscidea)*. - Acta Zool., 82: 315-330.

SFENTHOURAKIS S., TAITI S., 2015 – *Patterns of taxonomic diversity among terrestrial isopods*. In: Trends in Terrestrial Isopod Biology, Taiti S., Hornung E., Štrus J., Bouchon D. Ed. - ZooKeys, 515: 13-25.

TABACARU I., DANIELOPOL D., 1996 – *Phylogénie des isopodes terrestres*. C. R. Acad. Sci., Ser. III, Sciences de la Vie, 319: 71-80.

TAITI S., 2004 – *Crustacea: Isopoda: Oniscidea (woodlice)*. In: Encyclopedia of Caves and Karst Science, Gunn J. Ed., Routledge, New York, pp. 265-267.

TAITI S., FERRARA F., 2004 – *The terrestrial Isopoda (Crustacea: Oniscidea) of the Socotra Archipelago*. - Fauna Arabia, 20: 211-325.

TAITI S., HUMPHREYS W., 2001 – *New aquatic Oniscidea (Crustacea; Isopoda) from groundwater calcretes of Western Australia*. - Rec. west. Australian Mus., Suppl. 64:133-151.

TAITI, S., PAOLI P., FERRARA F., 1998 – *Morphology, biogeography, and ecology of the family Armadillidae (Crustacea, Oniscidea)*. - Israel J. Zool., 44: 291-301.

TAITI S., XUE Z., 2012 – *The cavernicolous genus* Trogloniscus nomen novum*, with descriptions of four new species from southern China (Crustacea, Oniscidea, Styloniscidae)*. - Trop. Zool., 25:183-209.

VANDEL A., 1952 – *Étude des isopodes terrestres récoltés au Vénézuela par le Dr. G. Marcuzzi suivie de considérations sur le peuplement du Continent de Gondwana*. – Mem. Mus. civ. Stor. nat. Verona, 3: 59-203.

WILLIAMS E.C., 1941 – *An ecological study of the floor fauna of the Panama Rain Forest*. – Bull. Chicago Acad. Sci., 6 (4): 63-124.

WORMS, 2018 – *Isopoda*. http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1131 consultato il 10.II.2018.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 91-103

LA CONSERVAZIONE DELL'ARANEOFAUNA IN ITALIA E IN EUROPA

FILIPPO MILANO (*) - PAOLO PANTINI (**) - STEFANO MAMMOLA (*) - MARCO ISAIA (*)[1]

(*) *Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università di Torino*
(**) *Museo Civico di Scienze Naturale "E. Caffi", Bergamo*
[1]Corresponding author: marco.isaia@unito.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Spider conservation in Italy and Europe

Spiders are an important group of terrestrial invertebrates, that colonized virtually all available habitats on Earth. Despite their ecological importance and their diversity – so far more than 47000 spider species have been described, – spiders are still underrepresented in conservation policies and conservation biology, especially compared to other invertebrate groups. Considering the international legislation, only one species (*Macrothele calpeiana*) is listed in the Bern Convention and in the Habitats Directive and only 20 species are reported in the Convention on International Trade in Endangered Species (CITES), none of which is naturally occurring in Europe. In addition, the risk of extinction of 199 species have been assessed by the International Union of Conservation of Nature (IUCN), 10 of which occurs in Europe. We report a brief overview on spider conservation in Europe, including an outline on the available European Red Lists. We provide a particular focus on the conservation of spiders in Italy, with reference to the species cited by the international legislation (*Macrothele calpeiana*), the Italian regional legislation (*Dolomedes plantarius* and *Argyroneta aquatica*) and the IUCN Red List (*D. plantarius, Hasarius adansoni, Vesubia jugorum* and *Pimoa delphinica*). In view of the remarkable diversity of the Italian fauna, we conclude that the current conservation of spiders in Italy is largely inadequate.

KEY WORDS: Araneae, IUCN, Red List, legislation, extinction risk

ARANEOFAUNA E CONSERVAZIONE

Nel contesto attuale, la conservazione della biodiversità assume un ruolo fondamentale nel limitare l'impatto dei cambiamenti antropogenici sugli ecosistemi e sugli organismi biologici. Tuttavia, la conoscenza della diversità biologica globale e del tasso di scomparsa delle specie è ancora molto limitata, in particolar modo quella inerente gli invertebrati. Rispetto ad altri organismi, vertebrati *in primis*, gli invertebrati sono interessati da un tasso di estinzione potenzialmente più alto e dalla presenza relativa di un maggiore numero di specie minacciate (CARDOSO *et al.*, 2011). Ciò nonostante, i programmi di conservazione dedicati agli invertebrati, siano essi implementati a livello regionale, nazionale o internazionale, sono relativamente scarsi. Ad ulteriore conferma, la gran parte degli studi inerenti gli effetti ecologici del cambiamento climatico, interessa primariamente gruppi ben conosciuti e poco cospicui dal punto di vista tassonomico, a discapito di microrganismi e invertebrati, che dominano la biodiversità globale in termini di ricchezza di specie e di biomassa (CARDOSO *et al.*, 2011).

I ragni (Arachnida, Araneae) sono uno dei più importanti gruppi di invertebrati terrestri per abbondanza, diversità, ruolo ecologico e storia evolutiva (CARDOSO *et al.*, 2011; JOCQUÉ *et al.*, 2013). Si tratta di un gruppo fortemente diversificato, le cui origini vengono fatte risalire al Devoniano (SELDEN *et al.*, 1991; SHEAR *et al.*, 1989). Essi sono stati rinvenuti ovunque sulla Terra, dalle isole dell'Artico alle regioni desertiche. Sono particolarmente abbondanti nelle aree ricche di vegetazione, ma sono tuttavia presenti anche in ecosistemi estremi a bassa produttività quali deserti di sabbia, grotte e ambienti cacuminali. Non è un'esagerazione affermare che i ragni abbiano conquistato tutte le possibili nicchie ecologiche terrestri inclusa l'acqua dolce (TURNBULL, 1973). Essi sono inoltre organismi fondamentali nella protezione degli agroecosistemi da organismi nocivi (KING e HARDY, 2013), e la loro tela e il loro veleno costituiscono un'importante fonte di ispirazione per la bioingegneria (HEIM *et al.*, 2009) e la medicina (CORZO e ESCOUBAS, 2003; KING e HARDY, 2013; SOLLOD *et al.*, 2005). Le interazioni tra ragni e ambiente, e in particolare le risposte che le diverse specie mostrano di fronte al cambiamento climatico, sono state indagate in maniera approfondita soltanto negli ultimi decenni, connotando i ragni come organismi modello molto stimolanti per questo tipo di studi (KREHENWINKEL e TAUTZ, 2013; LEROY *et al.*, 2013, 2014; MAMMOLA *et al.*, 2017a; MAMMOLA e ISAIA, 2017).

Rispetto ad altri *taxa* di invertebrati, i ragni figurano tra i gruppi meno studiati, e, di conseguenza, meno considerati in materia di conservazione. Sebbene rivestano un ruolo ecologico importante negli ecosi-

– Pubblicato aprile 2018

stemi terrestri e risentano sensibilmente dell'impatto dell'attività umana sugli equilibri naturali, essi hanno da sempre ricevuto poca attenzione da parte della comunità scientifica internazionale impegnata nella conservazione biologica, e ancor meno da quella europea e quella italiana.

A titolo di esempio, delle 4458 specie di ragni presenti in Europa (Nentwig *et al.*, 2017), soltanto per una decina è stata condotta una valutazione del rischio di estinzione secondo i criteri della *International Union for Conservation of Nature* (IUCN). Per fornire un termine di paragone con altri gruppi di invertebrati a livello europeo, poco più del 90% dei lepidotteri diurni mediterranei sono valutati secondo i criteri IUCN (Numa *et al.*, 2016), una quota che sale ulteriormente nel caso degli odonati, con il 97% di specie valutate in Europa (134 su 138 specie totali, Kalkman *et al.*, 2010).

I ragni nella legislazione internazionale

Ad oggi, l'ordine Araneae annovera più di 47000 specie nel mondo (World Spider Catalog - WSC, 2017), 4458 delle quali presenti in Europa (Nentwig *et al.*, 2017). Una biodiversità notevole, la cui complessità è ancora scarsamente conosciuta, e i cui meccanismi di risposta alla pressione antropica rimangono pressoché ignoti. A fronte di tale ricchezza, gli sforzi a livello internazionale per la tutela e la conservazione dell'araneofauna appaiono ampiamente inadeguati e limitati ad un numero esiguo di specie, menzionate in atti normativi di carattere conservazionistico generale (Convenzione di Berna, Direttiva Habitat, CITES) e nella Lista Rossa delle specie minacciate della IUCN.

Convenzione di Berna

La Convenzione di Berna, o Convenzione per la conservazione della vita selvatica e dei suoi biotopi in Europa (*Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats*) elaborata nel 1979 e resa effettiva nel 1982, è il primo atto di legislazione internazionale che pone l'attenzione sulla conservazione dell'araneofauna.

Macrothele calpeiana (Walckenaer, 1805) (Araneae, Macrothelidae) è l'unica specie di ragno che figura formalmente tra quelle "rigorosamente protette" (Appendice II). Si tratta di una specie endemica della porzione meridionale della penisola iberica, unico rappresentante europeo insieme alla congenerica *M. cretica* Kulczynski, 1903, della famiglia Macrothelidae. Secondo il testo della Convenzione, la frammentazione e la distruzione dei boschi di quercia da sughero in Spagna, ai quali *M. calpeiana* si ritiene significativamente associata, ne ha determinato l'inclusione tra le specie rigorosamente protette.

Direttiva Habitat

Oltre a figurare in Convenzione di Berna, *Macrothele calpeiana* è l'unica specie di ragno menzionata nella Direttiva 92/43/CEE "Habitat", approvata dalla Commissione Europea nel 1992 con lo scopo di promuovere la salvaguardia della biodiversità mediante la conservazione degli habitat naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche. Nello specifico, la specie è riportata nell'Allegato IV tra le specie animali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa.

CITES

Firmata a Washington nel 1973 ed entrata in vigore a partire dal 1975 con lo scopo di regolamentare e monitorare il commercio internazionale delle specie selvatiche, la Convenzione sul commercio internazionale delle specie di fauna e flora selvatiche minacciate di estinzione (*Convention on International Trade in Endangered Species*, CITES) si occupa del commercio di esemplari vivi o morti, o parti di essi, o prodotti da essi derivanti, al fine di impedire lo sfruttamento commerciale delle specie in pericolo di estinzione. Per quanto riguarda i ragni sono elencate in Appendice II *Aphonopelma albiceps*, *A. pallidum* e tutte le specie ascritte al genere *Brachypelma*, che attualmente ammontano a 18 (WSC, 2017). Per queste specie, il commercio è permesso solo su autorizzazione dell'organo di gestione preposto, mediante rilascio di un permesso di esportazione, mentre non si rende necessario il rilascio di licenze d'importazione. Si tratta di specie di migali centro e nordamericane appartenenti alla famiglia Theraphosidae, tutte di grandi dimensioni, particolarmente apprezzate come animali da terrario per via delle vivaci colorazioni e del temperamento generalmente docile. *Brachypelma smithi* (F.O. Pickard-Cambridge, 1897), fu la prima specie ad essere inserita, nel 1985, in CITES. Si tratta di un migalomorfo di notevoli dimensioni, diffuso nelle regioni desertiche del Messico. Successivamente a causa dell'aumento della richiesta di migali come animali da compagnia e del conseguente crescente interesse commerciale per questi animali, a partire dal 1994 altri *taxa* sono entrati in convenzione CITES anche se il numero di specie che beneficia di protezione internazionale appare di gran lunga inferiore rispetto al reale numero di specie sfruttate commercialmente.

La Lista Rossa IUCN

L'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) è la prima organizzazione mondiale ad essersi occupata di conservazione delle specie e ad oggi rappresenta una delle principali autorità in materia di ambiente e sviluppo sostenibile, nonché la prima organizzazione internazionale

ad interessarsi di conservazione dei ragni. L'*IUCN Invertebrate Red Data Book* (Wells *et al.,* 1983) riporta per la prima volta un elenco di specie di ragni protetti (sei specie ascrivibili alle famiglie Theraphosidae, Linyphiidae e Lycosidae), accompagnato da una valutazione del loro stato di conservazione. Qualche anno dopo, la stessa IUCN pubblica la prima Lista Rossa di animali minacciati (*IUCN Red List of Threatened Animals*, IUCN Conservation Monitoring Service, 1986) nella quale il numero di specie valutate sale a 18.

La Lista Rossa IUCN rappresenta l'approccio più comprensivo e obiettivo alla valutazione dello *status* di conservazione e dei rischi di estinzione delle specie. Essa costituisce quindi un indicatore critico dello stato di salute della biodiversità globale. Sebbene non rappresenti un riferimento legislativo e di per sé non conferisca protezione legale, l'inserimento di una specie in una categoria di rischio della Lista Rossa IUCN evidenzia la necessità di mettere in atto misure di tutela, conservazione e monitoraggio del rischio di estinzione nel tempo.

Ad oggi, il numero di specie elencate nella Lista Rossa IUCN delle specie minacciate è pari a 199: tre sono valutate come estinte (*Extinct*), 133 rientrano all'interno in una delle categorie di minaccia (*Critically endangered, Endangered, Vulnerable*) e delle restanti 63, 48 sono considerate a rischio minore (*Near Threatened* e *Least Concern*) e per 15 mancano dati sufficienti a operarne una corretta valutazione (*Data Deficient*). Le principali fonti di pressione sono rappresentate dalla perdita, degradazione e trasformazione dell'habitat, dall'introduzione di specie aliene invasive e, in misura minore, dal cambiamento climatico.

Gran parte delle specie incluse nella Lista Rossa IUCN è distribuita in Africa sub-sahariana, e più della metà si rinviene negli ecosistemi insulari delle Isole Seychelles. Questo peculiare sbilanciamento geografico è riconducibile all'alacre opera di valutazione della fauna delle Seychelles da parte di Gerlach (2014). Delle 199 specie citate dalla Lista Rossa IUCN, quelle presenti in Europa sono soltanto 10; di queste, cinque necessitano di aggiornamenti rispetto all'ultima valutazione operata, risalente al 1996.

In tempi recenti, un interessante strumento sviluppato per agevolare la valutazione delle specie secondo i criteri IUCN, è stato messo a disposizione dei biologi conservazionisti (Cardoso *et al.,* 2016). Il profilo di conservazione delle specie (*species conservation profile*), è un *template* pubblicato dalla rivista *Biodiversity Data Journal* che facilita l'elaborazione dei parametri necessari alla corretta valutazione del rischio di estinzione delle specie, e un più speditivo inserimento dei dati nel sistema *online* SIS (*IUCN Species Information Service Toolkit*), dedicato alla revisione e ufficializzazione della valutazione. L'idea alla base di questo strumento è quella di incrementare il numero di specie valutate a fronte del basso numero di valutazioni ad oggi realizzate. Per quanto concerne l'Europa, grazie a questo strumento nel corso di meno di due anni è stato pubblicato il profilo di conservazione di tutte le 56 specie endemiche di Madeira e delle Isole Selvagge (Portogallo) (Cardoso *et al.,* 2017), per una rara specie di grotta delle Azzorre (Borges *et al.,* 2016) e per due specie endemiche delle Alpi Occidentali (Mammola *et al.,* 2016c, 2017b).

Le specie riportate in Lista Rossa IUCN presenti sul territorio italiano sono due: *Hasarius adansoni* (Audouin, 1826), specie cosmopolita fortemente adattabile inserita nella categoria a rischio minore (*Least Concern*) (Gerlach, 2014) e *Dolomedes plantarius* (Clerck, 1757), specie legata in modo significativo alle aree umide, valutata come *Vulnerable* (World Conservation Monitoring Centre, 1996) in relazione al progressivo degrado dell'habitat in cui vive. Per altre due specie presenti in Italia, *Vesubia jugorum* (Simon, 1881) e *Pimoa delphinica* Mammola, Hormiga & Isaia, 2016, sono stati pubblicati i profili di conservazione delle specie redatti secondo i criteri IUCN (Mammola *et al.,* 2016c, 2017b). La valutazione di *V. jugorum* è già stata implementata nel sistema *online* SIS, e verrà formalmente inclusa in Lista Rossa nel 2018. Per quanto riguarda *P. delphinica,* la valutazione del rischio e l'assegnazione della relativa categoria è in corso d'opera.

I ragni nella legislazione a carattere nazionale in Europa

A livello europeo la conservazione dei ragni è promossa dalla compilazione di Liste Rosse di carattere sovranazionale, nazionale o regionale, redatte o meno sulla base dei criteri IUCN. In accordo con la terminologia IUCN, nella maggior parte dei casi si tratta di Liste Rosse redatte secondo criteri specificamente indicati dalla IUCN per ambiti territoriali circoscritti, indicate di seguito come "Liste Rosse Regionali IUCN". In alcuni casi tuttavia, diversi Stati hanno pubblicato Liste Rosse sulla base di criteri non strettamente riconducibili alle linee guida IUCN, indicate di seguito genericamente come "Liste Rosse". In parallelo, alcuni stati si sono forniti di specifici atti normativi inerenti la protezione della natura, che coinvolgono in sparuti casi anche i ragni. Forniamo qui di seguito una panoramica non esaustiva delle misure conservazionistiche implementate nei principali paesi europei.

Le Liste Rosse in Europa

Il primo Stato a fornirsi di una Lista Rossa è la Germania, con la pubblicazione nel 1984 della "*Rote Liste der Spinnen (Araneae)*" (Harms, 1984). Ad oggi la Lista Rossa tedesca riporta la valutazione di 971 specie, a fronte delle 992 segnalate per il territorio nazionale (Blick *et al.*, 2016). A corredo della Lista Rossa, compaiono poi varie liste delle specie minacciate relative ai diversi *Länder* tedeschi (Blick e Scheidler, 2003; Buchholz *et al.*, 2010; Finch, 2004; Hiebsch e Tolke, 1996; Kielhorn, 2017; Lemke *et al.*, 2013; Martin, 2012; Nährig *et al.*, 2003; Platen *et al.,* 1999; Sacher e Platen, 2004; Sander *et al.,* 2001).

Nel Regno Unito il primo atto normativo sulla conservazione degli invertebrati risale al 1981, con l'approvazione del *Wildlife and Countryside Act*, promulgato in sostituzione dei *Protection of Birds Acts* del 1954 e del 1967 e del *Conservation of Wild Creatures and Wild Plants Act* del 1975. Il *Wildlife and Countryside Act* garantisce, tra le altre cose, la protezione delle specie autoctone, in particolar modo di quelle ritenute minacciate, e al tempo stesso il controllo e la limitazione sull'introduzione di specie alloctone. Nell'elenco delle specie sono riportate due specie appartenenti all'ordine Araneae: *Dolomedes plantarius* (Clerck, 1757) ed *Eresus kollari* Rossi, 1846 [= *Eresus niger* (Petagna, 1787)]. Tuttavia solo nel 1991 la fauna araneica viene considerata all'interno del *British Red Data Book* (Bratton, 1991), con l'inclusione di 86 specie, ognuna delle quali fornita di una relativa scheda informativa e inserita in una categorizzazione precedente alla redazione delle Categorie e Criteri IUCN. Di queste specie, 22 vengono incluse nella categoria *Endangered*, 26 nella categoria *Rare* e sette nella categoria *Insufficiently Known*. Diverse specie di ragni sono riportate anche all'interno *dell'UK Biodiversity Action Plan* (UK BAP), pubblicato tra il 1994 e il 1999 in risposta alla Convenzione sulla Diversità Biologica (CBD, *Convention on Biological Diversity*) del 1992 e successivamente aggiornato nel 2007, all'interno del quale vengono descritte le risorse biologiche del Regno Unito e vengono forniti dei piani dettagliati per la loro conservazione (Biodiversity Reporting and Information Group, 2007; UK Biodiversity Steering Group, 1999). Ad oggi, tutte le 664 specie note in Gran Bretagna sono state valutate secondo i criteri IUCN (Harvey *et al.,* 2017; Merrett *et al.,* 2014).

Per quanto riguarda la Francia, non esiste una lista ufficiale riportante lo stato di conservazione delle specie di ragni, e l'unica specie sottoposta a protezione è *Caribena versicolor* (Walckenaer, 1837) appartenente alla famiglia Theraphosidae, protetta nel territorio d'oltremare francese di Martinica dalla legge nazionale francese sulla protezione della natura del 10 luglio 1976.

Per il Belgio, è presente una lista delle specie minacciate che valuta le 604 specie note per la regione delle Fiandre (Maelfait *et al.,* 1998) secondo un approccio che integra i criteri IUCN e quelli implementati in Germania per la definizione del rischio di estinzione. A livello nazionale, è presente una legge del 1980 in materia di conservazione della fauna selvatica, che riporta quattro specie: *Argiope bruennichi* (Scopoli, 1772), *Argyroneta aquatica* (Clerck, 1757), *Atypus affinis* Eichwald, 1830 e *Dolomedes fimbriatus* (Clerck, 1757).

In Repubblica Ceca è stato valutato lo stato di conservazione secondo i criteri IUCN per tutte le 879 specie di ragni note per il Paese, tra cui 27 specie sono state incluse nella categoria *Regional Extinct* (RE), 92 nella categoria *Critically Endangered*, 115 nella categoria *Endangered*, 155 nella categoria *Vulnerable*, e 121 nella categoria *Least Concern* (Řezáč *et al.*, 2015).

Segue la Slovacchia, con 423 specie a fronte di un numero complessivo di 952 note per il territorio nazionale, valutate secondo criteri IUCN adattati alla situazione locale (Gajdoš e Svatoň, 2001; Nentwig *et al.*, 2017).

La Polonia conta 267 specie valutate in Lista Rossa Regionale IUCN (Staręga *et al.,* 2002).

Esiste inoltre una Lista Rossa Regionale IUCN di ragni a carattere sovranazionale, che interessa l'intera catena montuosa dei Carpazi, e che valuta le specie della fauna dei diversi Paesi interessati, quali Repubblica Ceca, Ungheria, Polonia, Ucraina, Romania e Serbia. La lista riporta 1067 specie di ragni, circa il 22% della diversità europea (Gajdoš *et al.,* 2014).

L'Austria al momento manca di una Lista Rossa riguardante i ragni. É tuttavia presente una Lista Rossa della fauna araneica della Carinzia, il più meridionale tra i *Bündenslander* dell'Austria, nella quale sono state valutate 186 specie su 611 note per la regione, circa il 30% (Komposch e Steinberger, 1999).

La situazione appare diversa per i Paesi della penisola scandinava, con una percentuale nettamente minore di specie valutate rispetto al numero di specie totali note. La Norvegia ad esempio elenca in Lista Rossa Regionale IUCN 67 specie (Henriksen e Hilmo, 2015) e la Svezia 44 (Westling, 2015). La Finlandia riporta in Lista Rossa, soltanto 38 specie (Rassi *et al.,* 1992).

Non appare migliore la situazione nei Paesi che si affacciano sul Mediterraneo che, nonostante la maggiore ricchezza in numero di specie rispetto ai Paesi dell'Europa centrale e settentrionale, riportano un numero ancor più basso di specie. Per la Spagna ad esempio, la "*Lista Roja de Invertebrados Actualizada"*, redatta secondo i criteri IUCN da Verdù e Galante (2009), riporta soltanto 10 specie, su un totale di 1213

specie presenti sul territorio nazionale (Cardoso e Morano, 2010).

La conservazione dei ragni in Italia

In assenza di atti normativi specifici nazionali, le uniche specie sottoposte formalmente a protezione sono *Macrothele calpeiana,* citata dalla Convenzione di Berna e dalla Direttiva Habitat, e *Argyroneta aquatica* e *Dolomedes plantarius*, citati dalla normativa regionale lombarda sulla tutela e la conservazione della piccola fauna.

Nessuna delle specie riportate in CITES è presente in Italia in ambiente naturale.

Le specie presenti in Italia citate dalla Lista Rossa IUCN sono *Dolomedes plantarius* (*Vulnerable*), *Hasarius adansoni* (*Least Concern*) e due specie di prossima inclusione in Lista Rossa IUCN: *Vesubia jugorum*, il cui inserimento nella categoria *Endangered* è già stato approvato, e *Pimoa delphinica*, attualmente in fase di valutazione.

A livello nazionale non esiste alcun riferimento normativo alla conservazione delle specie autoctone di ragni. L'unico testo di legge che cita in modo diretto i ragni è la Legge 213 del 1° agosto 2003, riguardante il divieto di commercio e detenzione di aracnidi ritenuti potenzialmente pericolosi per l'uomo, in grado cioè di "*arrecare, con la loro azione diretta, effetti mortali o invalidanti per l'uomo o che comunque possono costituire pericolo per l'incolumità pubblica*". Mancando tuttavia un regolamento attuativo e un elenco allegato di specie ritenute pericolose, la legge si delinea fortemente lacunosa e inadeguata allo scopo prefissato, oltre che facilmente prestabile a interpretazione non oggettiva e confusione negli organi preposti al controllo che la rendono, di conseguenza, sostanzialmente inapplicabile.

L'unico riferimento a "specie minacciate" di ragni italiani si ritrova nel "Contributo per un 'Libro Rosso'" di Groppali e Priano (1992), che riporta un elenco di 27 specie, corredato da un parere sullo stato di conservazione che si traduce in sei categorie di minaccia (*vulnerabile, minacciata, rarissima, rara, endemica, parzialmente minacciata*) assegnate "*sulla base della letteratura disponibile, sulle informazioni fornite da numerosi studiosi e sulle conoscenze personali degli autori"*. Come specificato nella prefazione, lo scopo degli autori è stato quello di fornire una base conoscitiva preliminare, da approfondire in un secondo tempo alla luce dell'acquisizione di ulteriori dati ed informazioni, così da poter fornire per ognuna delle specie indicate una futura valutazione oggettiva del rischio di estinzione secondo i criteri IUCN.

A livello regionale poche sono le leggi preposte alla protezione della fauna invertebrata (Ballerio, 2008), e solo per la Regione Lombardia si trovano riferimenti normativi espliciti ai ragni. Con la Legge Regionale 31 marzo 2008, n. 10 "Disposizioni per la tutela e la conservazione della piccola fauna, della flora e della vegetazione spontanea" la Regione Lombardia si propone di salvaguardare la piccola fauna e la flora tutelandone le specie, le popolazioni e gli individui, e proteggendone i relativi habitat (Art. 1 comma 2a). Secondo questa legge nel termine "piccola fauna" rientrano l'insieme delle specie animali autoctone della Lombardia con l'esclusione dei vertebrati omeotermi e dei pesci (Art. 2 comma 1).

Gli appositi elenchi sono approvati dalla Giunta regionale, che verifica e aggiorna con periodicità di norma triennale quello delle comunità e delle specie di invertebrati da proteggere (Art. 1 comma 3) ovvero le comunità di invertebrati minacciate di estinzione o comunque a rischio di rarefazione e le tutela vietando l'alterazione e la distruzione dei loro habitat (Art. 3 comma 1). La Regione tutela inoltre tutte le specie endemiche lombarde (Art. 3 comma 2) e qui già è possibile individuare diverse specie, come riportato da Isaia *et al.* (2007). Per tali specie sono vietate la cattura e la detenzione a qualsiasi fine, l'uccisione volontaria, il danneggiamento dei nidi, la distruzione degli stadi larvali e l'alterazione dell'habitat. Gli interventi agronomici, forestali e di gestione naturalistica sono di norma permessi se non costituiscono una seria minaccia per la conservazione delle loro popolazioni.

L'elenco delle comunità e delle specie da proteggere è stato pubblicato con D.g.r. 24 luglio 2008 - n. 8/773, tra le 15 specie di invertebrati di interesse regionale figurano *Argyroneta aquatica* e *Dolomedes plantarius*. Sono inoltre indicati in modo generico gli invertebrati troglobi e gli invertebrati dei prati aridi, di brughiera e delle oasi xerotermiche tra i quali vi sono certamente numerose specie di Araneae.

Di rilievo è la presenza, a livello subregionale, di una Lista Rossa dei ragni minacciati per la provincia autonoma di Bolzano - Alto Adige, che rappresenta "*un elenco di specie che vivono in biotopi minacciati e dovrebbe essere presa come base di partenza per ulteriori indagini*" (Noflatscher, 1994). Tale Lista Rossa, oltre a proporre una classificazione delle specie in categorie di minaccia, fornisce un riferimento alle cause di minaccia, ai biotopi e alle esigenze ecologiche delle diverse specie riportate.

Le specie *target*

Riportiamo per le sei specie sopra citate alcune informazioni inerenti lo stato delle conoscenze in Italia e alcune informazioni generiche sulla loro morfologia, ecologia, distribuzione e conservazione (Fig. 1).

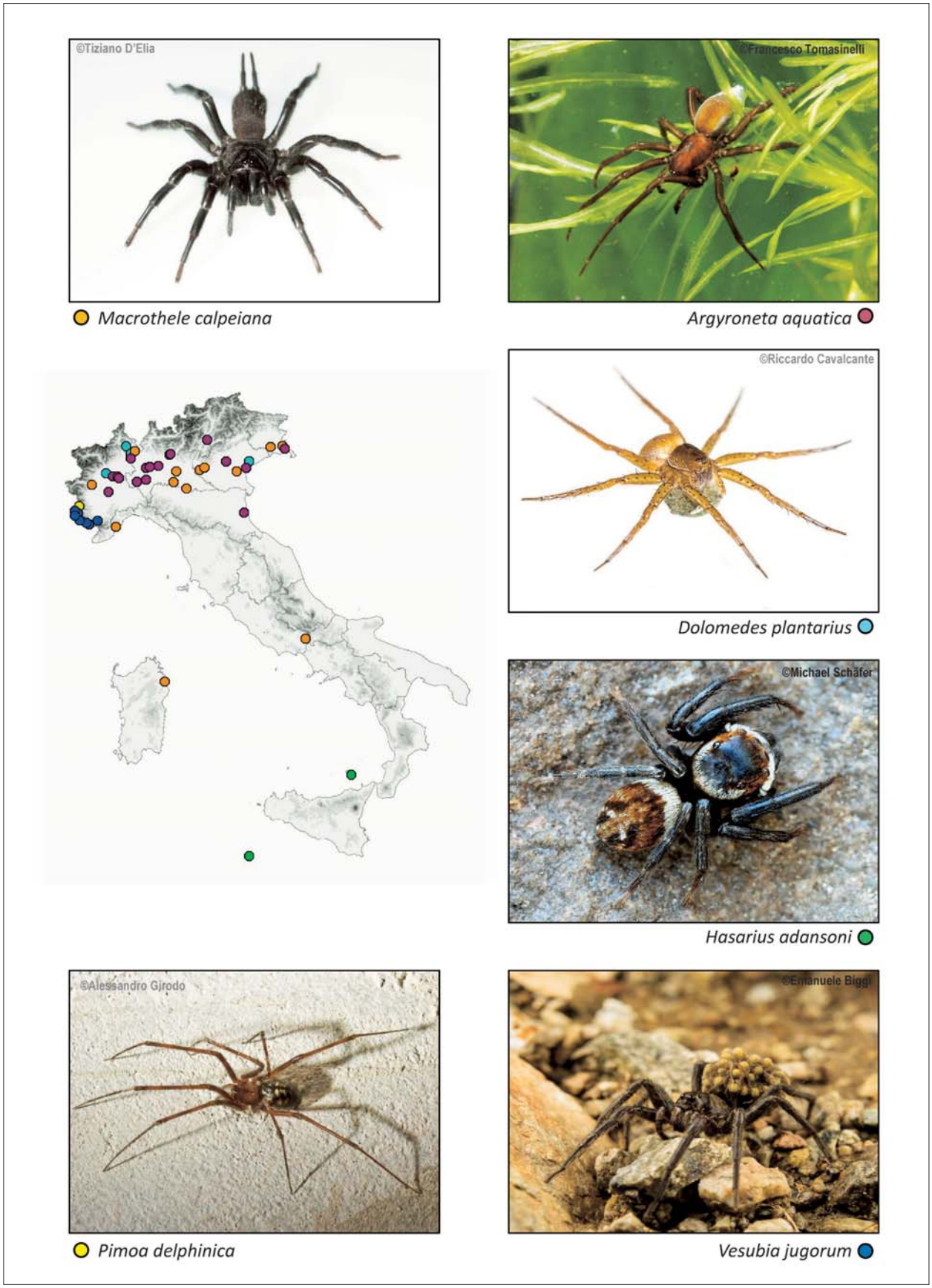

Fig. 1 – Le specie di ragni *target* della conservazione in Italia: *Macrothele calpeiana* (Walckenaer, 1805) [Crediti fotografici: Tiziano D'Elia]; *Argyroneta aquatica* (Clerck, 1757) [Crediti fotografici: Francesco Tomasinelli – www.ispoda.net]; *Dolomedes plantarius* (Clerck, 1757) [Crediti fotografici: Riccardo Cavalcante]; *Hasarius adansoni* (Audouin, 1826) [Copyright Michael Schäfer – www.KleinesGanzGross.de]; *Vesubia jugorum* (Simon, 1881) [Crediti fotografici: Emanuele Biggi – www.anura.it]; *Pimoa delphinica* Mammola, Hormiga & Isaia, 2016 [Crediti fotografici: Alessandro Girodo – www.flickr.com/photos/alessandrogirodo].

***Macrothele calpeiana* (Walckenaer, 1805)**
Protetta dalla Convenzione di Berna
e dalla Direttiva Habitat.

Specie nominale del genere *Macrothele*, *M. calpeiana* è uno dei più grandi ragni d'Europa, con una dimensione corporea media di 35 mm (Arnedo e Ferrández, 2007). Gli individui sono caratterizzati da una colorazione nero-bruna con numerose strie scure sul carapace che si irradiano dalla fovea e con sfumature bruno-violacee sull'opistosoma più chiaro. La specie si contraddistingue per la presenza di lunghe ed evidenti filiere posteriori laterali (Snazell, 1986) e per la costruzione di caratteristiche tele a imbuto tra fessure, pietre e cortecce, con la porzione aerea che si estende a formare una piattaforma di cattura (Gallon, 1994).

M. calpeiana presenta una distribuzione frammentata, pressoché limitata alla regione sudorientale della Penisola iberica, dove si rinviene per lo più in pinete e in boschi di quercia da sughero di gran parte dell'Andalusia, della porzione meridionale dell'Extremadura, Gibilterra e Ceuta (Arnedo e Ferrández, 2007; Ferrández e Ferrández de Céspedes, 2001).

L'originaria inclusione di *M. calpeiana* nell'Appendice II della Convenzione di Berna è basata sulla sua stretta associazione con i boschi di quercia da sughero, ambienti sottoposti a un rapido tasso di distruzione a seguito del disboscamento e dello sviluppo urbano. Lo stretto legame con questi boschi della Spagna meridionale, ne ha suggerito la vulnerabilità a fronte di una possibile degradazione dell'habitat (Collins e Wells, 1987; Snazell, 1986; Snazell e Allison, 1989).

Tuttavia, nel corso del tempo, sono state mosse numerose critiche in merito alla vulnerabilità della specie e al presunto ruolo di bioindicatore dei boschi di *Quercus suber* (van Helsdingen, 1993a; van Helsdingen e Decae, 1992). Successive ricerche condotte per valutare lo stato di conservazione della specie, hanno confermato che *M. calpeiana* è ampiamente diffusa anche in habitat antropizzati, un dato che mette in discussione la presunta ristrettezza delle sue esigenze ecologiche (Ferrández e Ferrández de Céspedes, 1996, 2001). Gli stessi autori suggeriscono però che in relazione alla distribuzione fortemente frammentata sarebbero comunque opportune misure di conservazione atte a limitare l'isolamento genetico delle popolazioni naturali. La frammentazione della distribuzione di *M. calpeiana* sarebbe il risultato di una dinamica di espansione e regressione della specie in relazione alla storia paleoclimatica della regione di cui è endemica, e sarebbe correlata con la ridotta capacità di dispersione degli individui (Arnedo e Ferrández, 2007; Jiménez-Valverde e Lobo, 2007; Santos Lobatón, 1996).

Recentemente, la specie è stata osservata ben al di fuori del suo areale, con individui isolati rinvenuti nel resto della Spagna (Bellvert e Arnedo, 2016; Corral e Ferrández, 2007), in Nord Africa (Ferrández e Ferrández de Céspedes, 2001), e in diversi Paesi europei, tra cui Italia, Svizzera, Belgio e Olanda (Bellvert e Arnedo, 2016; Jiménez-Valverde *et al*., 2011; Pantini e Isaia, 2008; Pantini *et al.*, 2016). La tendenza della specie a costruire la tela e trovare riparo negli anfratti del terreno, alla base dei tronchi e tra le radici (Santos Lobatón, 1996), permette di individuare nell'esportazione di olivi ornamentali dalla Spagna l'agente veicolante della diffusione in aree lontane dal *range* geografico della specie (Corral e Ferrández, 2007; Ferrández e Ferrández de Céspedes, 2001; Pantini e Isaia, 2008). Le rilevanti dimensioni degli individui contribuirebbero alla loro sopravvivenza durante il trasporto, aumentandone la tolleranza alle variazioni di temperatura e umidità (Kobelt e Nentwig, 2008).

In Italia, la prima segnalazione accertata della specie risale al 2004, con l'individuazione di un esemplare maschio rinvenuto in un giardino privato nei pressi di Verona. Successivamente, nel 2007, la presenza di un altro esemplare è stata riportata in ambiente urbano nella provincia di Bergamo (Pantini e Isaia, 2008). Da allora, le segnalazioni per la specie si sono fatte via via più frequenti sul territorio nazionale, con ritrovamenti in Piemonte, Liguria, Friuli Venezia Giulia, Lazio e Sardegna (Pantini e Isaia, 2010; Pantini *et al.,* 2016).

Sebbene non vi siano prove di acclimatazione della specie in Italia, l'impatto ecologico di *M. calpeiana* sulle nuove località nelle quali è stata rinvenuta, nonché la diffusione della specie al di fuori del suo areale originario, destano preoccupazioni, in particolar modo in riferimento agli effetti del morso, decisamente doloroso ma non considerato pericoloso per l'uomo, e alla possibilità di colonizzazione delle aree verdi pubbliche e private e il conseguente incontro con l'uomo (Pantini e Isaia, 2008).

***Argyroneta aquatica* (Clerck, 1757)**
Protetta dalla Legge Regionale lombarda
sulla tutela e la conservazione della piccola fauna.

Come suggerisce il nome, *Argyroneta aquatica*, comunemente nota come ragno palombaro, è la sola specie dell'ordine Araneae a condurre l'intero ciclo biologico sott'acqua (Seymour e Hetz, 2011). Gli individui presentano prosoma e arti bruni, mentre l'opistosoma è ricoperto da una fitta peluria grigia. La specie è caratterizzata da un insolito dimorfismo

sessuale, con gli esemplari di sesso maschile di dimensioni maggiori rispetto alle femmine. La specie predilige acque calme, ricche di vegetazione e caratterizzate da un'elevata presenza di prede, principalmente larve di invertebrati acquatici (Mammola *et al.*, 2016a; Seymour e Hetz, 2011).

La specie costruisce una tela orizzontale tra la vegetazione acquatica, dove trasporta delle bolle d'aria che raccoglie mediante periodiche emersioni in superficie, che fanno curvare la tela conferendole la caratteristica forma a campana (Masumoto *et al.,* 1998a). La presenza di setole idrofobiche su opistosoma e porzione ventrale del prosoma permette al ragno di trattenere intorno al corpo uno strato d'aria, che ne consente la respirazione in immersione e il trasporto delle riserve d'aria sott'acqua, conferendo agli individui un caratteristico riflesso argenteo, da cui il nome del genere *Argyroneta* (dal Greco άργυρος = argento) (Foelix, 2011; Levi, 1967; Messner e Adis, 1995).

L'areale italiano della specie è incentrato sulla Pianura Padana, dove è nota ad oggi in 19 località, di cui circa la metà riferite a dati bibliografici antecedenti gli anni '50 e non più riconfermati (Mammola *et al.,* 2016a).

A livello normativo, *A. aquatica* figura solamente nella Legge Regionale lombarda sulla tutela e la conservazione della piccola fauna. Si ritiene che la specie sia particolarmente sensibile all'inquinamento delle acque e alle modificazioni delle aree umide (Masumoto *et al.*, 1998b; Seyyar *et al*., 2010). Modelli distributivi su scala europea, basati su scenari di cambiamenti climatici e di uso del suolo previsti per il 2050, predicono la perdita di gran parte degli habitat idonei in tutto il bacino del Mediterraneo, compresa la Pianura Padana (Leroy *et al.,* 2014).

Dolomedes plantarius **(Clerck, 1757)**

Protetta dalla Legge Regionale lombarda sulla tutela e la conservazione della piccola fauna e iscritta in Lista Rossa IUCN (Vulnerable).

Ragno di grossa taglia (dimensioni corporee prossime ai 20-25 mm) appartenente alla famiglia Pisauridae, è l'unico rappresentante del genere *Dolomedes* in Europa insieme a *D. fimbriatus*, da cui non è facilmente distinguibile, tanto da venir frequentemente considerato in passato come una sua varietà o sottospecie (Duffey, 1995; Smith, 2000).

La specie è significativamente legata alle aree umide, e dipende dall'acqua per molti aspetti della sua biologia, dalla nutrizione al corteggiamento alla riproduzione. Gli esemplari cacciano sulla superficie degli specchi d'acqua, e la riproduzione ha luogo tra la vegetazione riparia, dove la femmina depone le uova in una caratteristica *nursery web.*

Sebbene Bonnet (1930) ritenesse che la specie fosse ampiamente diffusa in tutta la regione paleartica, studi successivi hanno evidenziato come le sue popolazioni siano fortemente in declino e minacciate in gran parte dell'Europa occidentale, centrale ed orientale (Duffey, 1995; Leroy *et al.*, 2013; van Helsdingen, 1993b).

La scomparsa degli ambienti umidi, l'isolamento dovuto a modificazioni della rete idrologica superficiale e il progressivo inquinamento delle acque, hanno determinato una drastica riduzione nell'areale e nella dimensione delle popolazioni di *D. plantarius*, che si è dimostrato estremamente sensibile ai cambiamenti e ai disturbi dell'habitat (Duffey, 1995; Leroy *et al.*, 2013).

La specie, già sottoposta a protezione nel Regno Unito, dove è inserita all'interno della *Schedule* 5 del *Wildlife and Countryside Act* del 1981, valutata come *Endangered* all'interno del *British Red Data Book* (Bratton, 1991) e riportata tra le specie e gli habitat prioritari all'interno *dell'UK Biodiversity Action Plan* (UK Biodiversity Steering Group, 1999), è stata sottoposta a valutazione IUCN e iscritta in Lista Rossa nella categoria *Vulnerable* nel 1996, e da allora non più aggiornata.

La specie è stata recentemente oggetto di studi di modellistica ecologica che ne hanno evidenziato una possibile riduzione del *range* bioclimatico in relazione a differenti scenari di dinamiche di riscaldamento globale (Leroy *et al.*, 2013). Le ridotte capacità dispersive della specie e la discontinuità dell'habitat rendono complessa la conservazione di questa specie in Europa meridionale. La situazione italiana si pone tra le più problematiche in considerazione dei risultati dei modelli predittivi, che prevedono la comparsa di aree idonee in Europa settentrionale e la drastica riduzione di quelle a sud delle Alpi. L'effetto barriera della catena alpina, aumenta ulteriormente il rischio di estinzione locale, in ragione della verosimile incapacità della specie di spostarsi in aree idonee a nord delle Alpi. Ad oggi, la specie in Italia è segnalata in poche località di Piemonte (Leroy *et al.*, 2013), Veneto (Hansen, 2002), Lombardia (Pavesi 1873, 1879), Toscana (di Caporiacco, 1936) e Sardegna (Kraus, 1955), sia in ambienti umidi lotici che lentici.

Hasarius adansoni **(Audouin, 1826)**

Specie iscritta in Lista Rossa IUCN (Least Concern).

Originaria dell'Africa e ampiamente introdotta in ambiente urbano in America, Europa e Sudest asiatico, *Hasarius adansoni* è una specie cosmopolita e fortemente adattabile (Gerlach, 2014; WSC, 2017). Nel suo areale d'origine, la specie è diffusa in ambienti

planiziali, ove si ritrova in un'ampia varietà di habitat, da boschi semi-naturali fino ad interni di abitazioni.

Gli individui presentano una dimensione corporea di circa 6-7 mm; i maschi sono caratterizzati dal carapace di colore nero con un'ampia banda bianca trasversale posteriore, occhi anteriori disposti su una banda color ruggine, pedipalpi neri ricoperti da setole bianche sulla tibia allungata, opistosoma color ruggine e banda bianca sul margine anteriore; la femmina appare più chiara e con disegni meno contrastanti, con prosoma bruno-arancione e opistosoma marrone (Gerlach, 2014; Prószyński e Deeleman-Reinhold, 2010).

Lo stato di conservazione della specie è stato valutato sulla base delle Categorie e Criteri della Lista Rossa IUCN. La specie risulta priva di una significativa minaccia attuale o prevista per il prossimo futuro, non appare sottoposta a declino o a fluttuazioni, ed è per questo inserita nella categoria a rischio minimo *Least Concern*, non necessitando di conseguenza di specifiche azioni di conservazione (Gerlach, 2014). In Italia la specie è alloctona, con popolazioni stabili note per l'isola di Pantelleria (Alicata e Cantarella, 1986) e per l'isola di Lampedusa (Roewer, 1960; Pesarini, 1995).

Vesubia jugorum (Simon, 1881)

In attesa di pubblicazione in Lista Rossa IUCN (Endangered).

Specie descritta da Simon nel 1881 sulla base di un esemplare femmina proveniente da Saint-Martin-Vésubie, comune della regione francese della Provenza-Alpi-Costa Azzurra. Successivamente Tongiorgi (1968, 1969) ridescrisse la femmina e fornì la descrizione del maschio, insieme alle prime informazioni circa la biologia e l'habitat.

Vesubia jugorum è un licoside endemico con distribuzione limitata ai versanti italiani e francesi delle Alpi Marittime e delle Cozie meridionali e alle Alpi Liguri. La specie è legata ad ambienti rocciosi al di sopra dei 2300 m di quota, con un limitato numero di segnalazioni riportato in letteratura (Mammola *et al.*, 2016c). Si tratta di un ragno di notevoli dimensioni, tra i più grandi dell'araneofauna italiana. Le femmine arrivano a misurare circa 15-20 mm di lunghezza del corpo. Gli individui presentano prosoma bruno scuro segnato da strie nere che si irradiano a raggiera dalla fovea, opistosoma grigio scuro dorsalmente e bruno-rossastro ventralmente delimitato da file di macchie gialle ventrali convergenti posteriormente verso le filiere. Gli arti sono bruno-rossicci uniformi, talvolta striati longitudinalmente, più chiari in corrispondenza delle articolazioni (Tongiorgi, 1969).

La specie è attiva principalmente nelle ore crepuscolari o notturne durante la stagione estiva, dalla seconda metà di giugno fino alla metà di settembre. Mentre le femmine e gli individui immaturi sono reperibili durante tutta l'estate, i maschi sono attivi principalmente da luglio ad agosto (Mammola *et al.*, 2016c). Durante il giorno gli individui sono osservabili sulle rocce, tra i detriti e soprattutto sotto le pietre.

Studi basati sull'idoneità bioclimatica della specie (Isaia *et al.*, 2016), realizzati tramite modellizzazioni spaziali, hanno ricostruito la distribuzione passata di *V. jugorum* e predetto quella futura sulla base di differenti scenari climatici. Lo studio ha confermato l'ipotesi di una pregressa distribuzione della specie incentrata a nord dell'attuale areale, estesa nelle valli più settentrionali dell'arco alpino occidentale, durante l'ultimo periodo interglaciale (*Last Interglacial*) tra 140000 e 120000 anni fa. Al contrario, le condizioni climatiche più fredde dell'Ultimo Massimo Glaciale (*Last Glacial Maximum*) circa 22000 anni fa, nel Pleistocene, avrebbero determinato uno spostamento verso sud dell'areale con conseguente riduzione rispetto all'attuale, nelle aree più meridionali dell'arco alpino (Alpi Liguri e Appennino Settentrionale) non coperte dai ghiacciai. Il modello è stato inoltre utilizzato per ottenere previsioni future, basate su differenti scenari climatici nelle emissioni di gas serra, in grado di valutare la sensibilità della specie al cambiamento climatico. Tali previsioni mostrano significativi cambiamenti nella distribuzione potenziale della specie, con un generale spostamento del suo *range* bioclimatico verso aree più settentrionali. Al tempo stesso, questo spostamento corrisponderebbe a un generale declino dello stato di conservazione delle popolazioni delle Alpi Marittime (Isaia *et al.*, 2016).

L'esigua estensione dell'areale della specie e la sua riduzione prevista per il prossimo futuro, hanno richiesto la necessità di fornire una valutazione del rischio di estinzione (Mammola *et al.*, 2016c). Mediante l'applicazione delle Categorie e dei Criteri della Lista Rossa IUCN, la specie è stata valutata *Endangered* secondo il criterio B, basato sulla dimensione nella distribuzione geografica della specie (IUCN, 2001). La valutazione è stata accettata ed è attualmente in fase di formalizzazione.

Pimoa delphinica Mammola, Hormiga & Isaia, 2016

In corso di valutazione per l'iscrizione in Lista Rossa IUCN.

Precedentemente classificata sotto il nome di *Pimoa rupicola* (Simon, 1884), questa specie nel 2016 è stata separata dalle altre specie europee del

genere *Pimoa* sulla base di differenze morfologiche e genetiche. Si tratta di un ragno di dimensioni medie (circa 1 cm di lunghezza del corpo), con una livrea scura ed una caratteristica *silhouette* dalle zampe lunghe e affusolate. *P. delphinica* è una specie stenoendemica dell'alta Val Varaita (Alpi Cozie), attualmente nota in una decina di località a cavallo tra l'alta Val Varaita e l'adiacente Valle di Bellino, a quote comprese tra 1200 e 2200 m (Mammola *et al*., 2016b). Si tratta di una specie con spiccata affinità per l'ambiente sotterraneo, che si rinviene nella zona prospiciente l'ingresso di cavità naturali ed artificiali, quali miniere e fortificazioni militari dismesse. Il limitato areale distributivo della specie rappresenta un piccolo enclave all'interno del più ampio areale della congenerica *P. graphitica* Mammola, Hormiga & Isaia, 2016, con la quale verosimilmente entra in competizione (Mammola *et al.*, 2016b).

Alla luce della rarità della specie, e della sua distribuzione ristretta, la specie è stata oggetto di una recente valutazione dello stato di conservazione (Mammola *et al.*, 2017b). L'analisi ha rivelato come gli habitat colonizzati dalla specie non siano oggetto di minaccia diretta da parte dell'uomo – fatto salvo che per l'ipotetico disturbo arrecato alle popolazioni sotterranee da parte di speleologi ed escursionisti. Dati biogeografici e genetici, d'altro canto, suggeriscono come cambiamenti climatici passati, avvenuti sia durante l'ultimo glaciale che in periodi antecedenti, abbiamo determinato marcate contrazioni negli areali distributivi delle specie alpine ascritte al genere *Pimoa* (Mammola *et al*., 2015, 2016b). Dati molecolari suggeriscono inoltre l'esistenza di *inbreeding* genetico tra questa specie e la congenerica *P. graphitica*, specialmente nelle zone di contatto tra gli areali delle due specie. É quindi possibile ipotizzare come futuri cambiamenti climatici, in sinergia con fenomeni di impoverimento genetico, possano portare alla riduzione numerica ed estinzione di alcune popolazioni. La specie è attualmente in fase di valutazione secondo i Criteri IUCN, al fine di determinarne l'effettivo stato di minaccia.

Conclusioni

Alla luce della situazione in cui verte la conservazione della fauna araneica in Italia, si delinea la necessità di incrementare gli sforzi volti a definire lo *status* conservazionistico delle diverse specie. Dal punto di vista normativo, appare evidente la lacuna legislativa in materia, considerato il fatto che soltanto la Lombardia cita i ragni nella legislazione regionale e considerando la sproporzione rispetto ad altri gruppi di invertebrati. Ad ulteriore conferma del confuso quadro sulla tutela delle specie di ragni in Italia, è emblematico e contraddittorio il fatto che due delle sei specie interessate da misure conservazionistiche presenti in Italia siano alloctone.

Dal punto di vista scientifico si rende necessaria la valutazione del rischio di estinzione delle specie presenti in Italia secondo i criteri e i parametri IUCN, con particolare riguardo per le specie endemiche e per quelle legate in modo significativo agli ecosistemi sensibili al disturbo antropico.

A fronte della straordinaria ricchezza specifica del territorio – l'Italia è il Paese con il maggior numero di specie di ragni in Europa (Pantini e Isaia, 2017) – appare ancora più riprovevole la mancanza di una Lista Rossa IUCN, strumento basilare per avviare concreti obiettivi conservazionistici volti a conoscere e preservare l'inestimabile valore della biodiversità araneica italiana.

Ringraziamenti

Si ringraziano i fotografi per la gentile concessione delle fotografie illustrate in Fig. 1.

BIBLIOGRAFIA

Alicata P., Cantarella T., 1986 – *I salticidi (Araneae) di Salina (Eolie): un esempio di fauna invasiva*. - Animalia, 13 (1-3): 185-195.

Arnedo M.A., Ferrández M.A., 2007 – *Mitochondrial markers reveal deep population subdivision in the European protected spider* Macrothele calpeiana *(Walckenaer, 1805) (Araneae, Hexathelidae)*. - Conserv. Genet., 8 (5): 1147-1162. doi:10.1007/s10592-006-9270-2

Ballerio A., 2008 – *Insetti da proteggere: la tutela entomologica in Italia*. - Quaderni della Stazione di Ecologia del Museo civico di Storia naturale di Ferrara, 18: 21-35.

Bellvert A., Arnedo M.A., 2016 – *Threatened or Threatening? Evidence for Independent Introductions of* Macrothele calpeiana *(Walckenaer, 1805) (Araneae: Hexathelidae) and First Observation of Reproduction Outside its Natural Distribution Range*. - Arachnology, 17 (3): 137-141. doi: 10.13156/arac.2006.17.3.137

Biodiversity Reporting and Information Group, 2007 – *Report on the Species and Habitat Review*. UK Standing Committee, Petersborough, 172 pp.

Blick T., Finch O.-D., Harms K.H., Kiechle J., Kielhorn K.-H., Kreuels M., Malten A., Martin D., Muster C., Nährig D., Platen R., Rödel I., Scheidler M., Staudt A., Stumpf H., Tolke D., 2016 – *Rote Liste und Gesamtartenliste der Spinnen (Arachnida: Araneae) Deutschlands*. - Naturschutz und Biologische Vielfalt, 70 (4): 383- 510.

Blick T., Scheidler M., 2003 – *Rote Liste gefährdeter Spinnen (Arachnida: Araneae) Bayerns*. - Bayerische Landesamt für Umweltschutz, 166: 308-321.

Bonnet P., 1930 – *La mue, l'autotomie, et la régénération chez les araignées avec une étude des* Dolomedes

d'Europe. - Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 59: 237-700.

Borges P., Crespo L., Cardoso P., 2016 – *Species conservation profile of the cave spider* Turinyphia cavernicola *(Araneae, Linyphiidae) from Terceira Island, Azores, Portugal*. - Biodivers. Data J., 4: e10274. doi: 10.3897/BDJ.4.e10274

Bratton, J.H., 1991 – *British Red Data Books: 3, Invertebrates other than insects*. Joint Nature Conservation Commitee, Peterborough.

Buchholz S., Hartmann V., Kreuels M., 2010 – *Rote Liste und Artenverzeichnis der Webspinnen – Araneae – in Nordrhein-Westfalen*. - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 3: 1-25.

Cardoso P., Crespo L., Silva I., Borges P., Boieiro M., 2017 – *Species conservation profiles of endemic spiders (Araneae) from Madeira and Selvagens archipelagos, Portugal*. - Biodivers. Data J., 5: e20810. doi: 10.3897/BDJ.5.e20810

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. doi: 10.1016/j.biocon.2011.07.024

Cardoso P., Morano E., 2010 – *The Iberian spider checklist (Araneae)*. - Zootaxa, 2495: 1-52.

Cardoso P., Stoev P., Georgiev T., Senderov V., Penev L., 2016 – *Species Conservation Profiles compliant with the IUCN Red List of Threatened Species*. - Biodivers. Data J., 4: e10356. doi: 10.3897/BDJ.4.e10356

Collins N.M., Wells S.M., 1987 – *Invertebrates in need of special protection in Europe*. European Committee for the Conservation of Nature and Natural Resources. Nature and Environment series, No. 35. Council of Europe, Strasbourg, pp. 162.

Corral J.H., Ferrández M.A., 2009 – *Aparece una población de araña negra de los alcornocales en Alicante.* - Quercus, 280: 52.

Corzo G., Escoubas P., 2003 – *Pharmacologically active spider peptide toxins*. - Cell. Mol. Life Sci., 60: 2409-2426. doi: 10.1007/s00018-003-3108-6

di Caporiacco L., 1936 – *Saggio sulla fauna aracnologica del Casentino, Val d'Arno Superiore e Alta Val Tiberina*. - Festschr. Strand, 1: 326-369.

Duffey E., 1995 – *The distribution, status and habitats of* Dolomedes fimbriatus *(Clerck) and* D. plantarius *(Clerck) in Europe*. In: Růžička V. Ed., Proceedings of the 15th European Colloquium of Arachnology, České Budějovice, Institute of Entomology, pp. 54–65.

Ferrández M.A., Ferrández de Céspedes G., 1996 – *Macrothele calpeiana*. In: Inventario de los invertebrados incluidos en los Anejos de la directiva 92/43/CEE del Consejo. Memoria final, Icona, Madrid, 60 pp.

Ferrández M.A., Ferrández de Céspedes G., 2001 – *Arachnida*. In: Los Invertebrados no Insectos de la "Directiva Hábitat" en España, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección Genaral de la Conservación de la naturaleza, pp. 133-144.

Finch O.-D., 2004 – *Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Webspinnen (Araneae) mit Gesamtartenverzeichnis*. Inform. d. Naturschutz Nieders. Suppl. 5: 1-20.

Foelix R., 2011 – *Biology of Spiders*. Third Edition. Oxford University Press.

Gajdoš P., Moscaliuc L.A., Rozvałka R., Hirna A., Majkus Z., Gubányi A., Heltai M.G., Svatoň J., 2014 – *Red List of Spiders (Araneae) of the Carpathian Mts.* In: Carpathian Red List of Forest Habitats and Species Carpathian List of Invasive Alien Species, Kadlečík J. Ed., The State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Banská Bystrica, Slovakia, pp. 118-171.

Gajdoš P., Svatoň J., 2001 – *Červený (Ekosozologický) zoznam pavúkov (Araneae) Slovenska*. In: Červený zoznam rastlín a živočíchov Slovenska, Baláž D., Marhold K., Urban P. Eds., Ochr. Prír. 20 (Suppl.): 48-81.

Gallon R.C., 1994 – *Observations on* Macrothele calpeiana *(Walckenaer, 1805) in southern Iberia*. - J. Br. Tarantula Soc., 1: 1-12.

Gerlach J., 2014 – *Hasarius adansoni*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T196248A2443143. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T196248A2443143.en. Downloaded on 13 December 2017.

Groppali R., Priano M., 1992 – *Invertebrati non troglobi minacciati della fauna Italiana*. In: Pavan M. Ed., Contributo per un "Libro rosso" della fauna e della flora minacciate in Italia. Ist. di Entomologia dell'Univ. di Pavia, 183-424.

Hansen H., 2002 – *Segnalazioni 21-40 Arachnida Araneae*. - Boll. Mus. civ. St. Nat. Venezia, 53: 268-272.

Harms K.H., 1984 – *Rote Liste der Spinnen (Araneae)*. In: Rote Liste der gefahrdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. 4. Aufl., Blab J., Nowak E., Trautmann W., Sukopp H. (Hrsg.). - Naturschutz aktuell, Greven, 1: 123-126.

Harvey P., Davidson M., Dawson I., Fowles A., Hitchcock G., Lee P., Merrett P., Russell-Smith A., Smith H., 2017 – *A review of* the *scarce and threatened spiders (Araneae) of Great Britain: Species Status No. 22.* NRW Evidence Report No. 11, Natural Resources Wales, Bangor, 101 pp.

Heim M., Keerl D., Scheibel T., 2009 – *Spider silk: from soluble protein to extraordinary fiber.* - Angewandte Chemie International Edition, 48 (20): 3584-3596. doi:10.1002/anie.200803341

Henriksen S., Hilmo O., 2015 – *Norsk rødliste for arter 2015*. Artsdatabanken, Norge, 193 pp.

Hiebsch H., Tolke D., 1996 – *Rote Liste Weberknechte und Webspinnen*. Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege. Landesamt für Umwelt und Geologie Freistaat Sachsen., 11 S.

Isaia M., Milano F., Mammola S., 2016 – *Threatening the giant: the response of* Vesubia jugorum *(Araneae, Lycosidae) to climate change.* In: Cushing, P. Ed., Program and Abstracts. 20th Congress of Arachnology, Golden, Colorado, USA, July 2-9, 2016. Denver Museum of Nature & Science Reports, 3, 230 pp.

Isaia M., Pantini P., Beikes S., Badino G., 2007 – *Catalogo ragionato dei ragni (Arachnidia, Aranea) del Piemonte e della Lombardia.* Memorie dell'Associazione Naturalistica Piemontese, Vol. IX.

IUCN, 2001 – *IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1*. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

IUCN Conservation Monitoring Centre, 1986 – *1986 IUCN Red List of Threatened Animals*. Cambridge, UK.

Jiménez-Valverde A., Decae A. E., Arnedo M.A., 2011 – *Environmental suitability of new reported localities of the funnelweb spider* Macrothele calpeiana*: an assessment using potential distribution modelling with presence only techniques*. - J. Biogeogr., 38 (6): 1213-1223. doi:10.1111/j.1365-2699.2010.02465.x

Jiménez-Valverde A., Lobo J.M., 2007 – *Potential distribution of the endangered spider Macrothele calpeiana (Walckenaer, 1805) (Araneae, Hexathelidae)*

and the impact of climate warming. - Acta Zoologica Sinica, 53: 865-876.

Jocqué R., Alderweireldt M., Dippenaar-Schoeman A., 2013 – *Biodiversity. An African perspective*. In: Spider Research in the 21st Century trends and perspective. Penney D. Ed., Siri Scientific Press, Manchester, pp. 18-57.

Kalkman V.J., Boudot J.P., Bernard R., Conze K.J., De Knijf G., Dyatlova E., Ferreira S., Jović M., Ott J., Riservato E., Sahlén G., 2010 – *European Red List of Dragonflies*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Kielhorn U., 2017 – *Rote Liste und Gesamtartenliste der Spinnen (Araneae) und Gesamtartenliste der Weberknechte (Opiliones) von Berlin*. In: Rote Listen der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere von Berlin, Der Landesbeauftragte für Naturschutz und Landschaftspflege/Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Hrsg.): 59 S. doi: 10.14279/depositonce-5859

King G.F., Hardy M.C., 2013 – *Spider-venom peptides: structure, pharmacology, and potential for control of insect pests.* - Annu. Rev. Entomol., 58 (1): 475-496. doi 10.1146/annurev-ento-120811-153650

Kobelt M., Nentwig W., 2008 – *Alien spider introductions to Europe supported by global trade*. - Divers. Distrib., 14 (2): 273-280. doi: 10.1111/j.1472-4642.2007.00426.x

Komposch C., Steinberger K.-H., 1999 – *Rote Liste der Spinnen Kärntens (Arachnida: Araneae)*. In: Rote Listen gefährdeter Tiere Kärntens, Holzinger W.E., Ildner P.M., Rottenburg T., Wieser C. (Hrsg.). Naturschutz in Kärnten, Klagenfurt, 15: 567-618.

Kraus O., 1955 – *Spinnen von Korsika, Sardinien und Elba (Arach., Araneae).* - Senckenbergiana biologica, 36(5/6): 371-394.

Krehenwinkel H., Tautz D., 2013 – *Northern range expansion of European populations of the wasp spider* Argiope bruennichi *is associated with global warming–correlated genetic admixture and population-specific temperature adaptations*. - Mol. Ecol., 22: 2232-2248. doi: 10.1111/mec.12223

Lemke M., Reinke H.D., Vahder S., Irmler U., 2013 – *Die Spinnen Schleswig-Holsteins Rote Liste*. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, 90 S.

Leroy B., Bellard C., Dubos N., Colliot A., Vasseur M., Courtial C., Bakkenes M., Canard A., Ysnel F., 2014. – *Forecasted climate and land use changes, and protected areas: the contrasting case of spiders.* - Divers. Distrib., 20: 686-697. doi: 10.1111/ddi.12191

Leroy B., Paschetta M., Canard A., Bakkenes M., Isaia M., Ysnel F., 2013 – *First assessment of effects of global change on threatened spiders: Potential impacts on* Dolomedes plantarius *(Clerck) and its conservation plans*. - Biol. Conserv., 161: 155-163. doi: 10.1016/j.biocon.2013.03.022

Levi H.W., 1967 – *Adaptations of respiratory systems of spiders*. - Evolution, 21: 571–583. doi: 10.1111/j.1558-5646.1967.tb03412.x

Maelfait J.P., Baert L., Janssen M., Alderweireldt M., 1998 – *A Red List for the spiders of Flanders*. - Bull. Inst. R. Sci. Nat., Entomologie, 68: 131-142.

Mammola S., Cavalcante, R., Isaia M., 2016a – *Ecological preference of the diving bell spider* Argyroneta aquatica *in a resurgence of the Po plain (Northern Italy) (Araneae: Cybaeidae)*. - Fragmenta Entomologica, 48 (1): 9-16.

Mammola S., Hormiga G., Arnedo M.A., Isaia M., 2016b – *Unexpected diversity in the relictual European spiders of the genus* Pimoa *(Araneae, Pimoidae)*. - Invertebr. Syst., 30: 566-587. doi: 10.1071/IS16017

Mammola S., Goodacre S.L., Isaia M., 2017a – *Climate change may drive cave spiders to extinction*. - Ecography, 40: 1-10. doi: 10.1111/ecog.02902

Mammola S., Hormiga G., Isaia M., 2017b – *Species conservation profile of the stenoendemic cave spider* Pimoa delphinica *(Araneae, Pimoidae) from the Varaita valley (NW-Italy)*. - Biodivers. Data J., 5: e11509. doi: 10.3897/BDJ.5.e11509

Mammola S., Isaia M., 2017 – *Rapid poleward distributional shifts in the European cave-dwelling* Meta *spiders under the influence of competition dynamics*. - J. Biogeog., 44 (12): 2789-2797. doi: 10.1111/jbi.13087

Mammola S., Isaia M., Arnedo M., 2015 – *Alpine endemic spiders shed light on the origin and evolution of subterranean species*. - PeerJ 3: e1384. doi: 10.7717/peerj.1384

Mammola S., Milano F., Cardoso P., Isaia M., 2016c – *Species conservation profile of the alpine stenoendemic spider* Vesubia jugorum *(Araneae, Lycosidae) from the Maritime Alps*. - Biodivers. Data J., 4:e10527. doi: 10.3897/BDJ.4.e10527

Martin D., 2012 – *Rote Liste der Spinnen (Araneae) Mecklenburg-Vorpommern*. Ministerium für Landschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, 66 S.

Masumoto T., Masumoto T., Yoshida M., Nishikawa Y., 1998a – *Time budget of activity in the water spider* Argyroneta aquatica *(Araneae: Argyronetidae) under rearing conditions*. - Acta Arachnol., 47: 125–131. doi: 10.2476/asjaa.47.125

Masumoto T., Masumoto T., Yoshida M., Nishikawa Y., 1998b – *Water conditions of the habitat of the water spider* Argyroneta aquatica *(Araneae; Argyronetidae) in Mizoro pond*. - Acta Arachnol., 47: 121-124.

Merrett P., Russell-Smith A., Harvey P., 2014 – *A revised checklist of British spiders*. - Arachnology, 16: 134-144. doi: 10.13156/arac.2014.16.4.134

Messner B., Adis J., 1995 – *Es gibt nur fakultative Plastronatmer unter den tauchenden Webespinnen. Deutsche Entomol. Zeitschr.,* 42 (2)*:* 453-459. doi: 10.1002/mmnd.19950420215

Nährig D., Harm K.H., Kiechle J., Rausch H., Schwaller W., Spelda J., 2003 – *Rote Liste und Checklisten der Spinnentiere (Arachnida) Baden-Württembergs*. - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Naturschutz-Praxis, Artenschutz 7.

Nentwig W., Blick T., Gloor D., Hänggi A., Kropf C., 2017 – *Spiders of Europe*, www.araneae.unibe.ch, version 12.2017, accessed on 13.12.2017.

Noflatscher M.-T., 1994 – *Lista Rossa dei Ragni (Arachnida: Araneidi) minacciati dell'Alto Adige*. In: Lista Rossa delle specie animali minacciate in Alto Adige, Ripartizione tutela del paesaggio e della natura, Bolzano: 352-375.

Numa C., van Swaay C., Wynhoff I., Wiemers M., Barrios V., Allen D., Sayer C., López Munguira M., Balletto E., Benyamini D., Beshkov S., Bonelli S., Caruana R., Dapporto L., Franeta F., Garcia-Pereira P., Karaçetin E., Katbeh-Bader A., Maes D., Micevski N., Miller R., Monteiro E., Moulai R., Nieto A., Pamperis L., Pe'er G., Power A., Šašić M., Thompson K., Tzirkalli E., Verovnik R., Warren M., Welch H., 2016 – *The status and distribution of Mediterranean butterflies*. IUCN, Malaga, Spain, x + 32 pp.

Pantini P., Isaia M., 2008 – *New records for the Italian spider fauna (Arachnida, Araneae).* - Arthropoda Selecta, 17 (1-2): 133-144.

Pantini P., Isaia M., 2010 – *Errata et Corrigenda. Pantini P., Isaia M., 2008. – New records for the Italian spider fauna (Arachnida, Araneae).* - Arthropoda Selecta 19 (4): 264.

Pantini P., Isaia M., 2016 – *Checklist of the Italian spiders. Version April 2016*. http://www.museoscienzebergamo.it/web/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=96&Itemid=94

Pantini P., Isaia M., 2017 – *Checklist of the Italian spiders. Version May 2017*. http://www.museoscienzebergamo.it/web/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=96&Itemid=94

Pantini P., Isaia M., Mazzoleni F., Oneto C., 2016 – *Nuovi dati sui ragni di Lombardia (Arachnida, Araneae).* - Rivista del Museo civico di Scienze naturali "E. Caffi" di Bergamo, 29: 21-44.

Pavesi P., 1873 – *Enumerazione dei ragni dei dintorni di Pavia*. - Atti della Società italiana di Scienze Naturali, Milano, 16 (1): 68-78.

Pavesi P., 1879 – *Saggio di una fauna aracnologica del Varesotto*. - Atti della Società italiana di Scienze Naturali, Milano, 21: 789-817.

Pesarini C., 1995 – *Araneae*. - Naturalista Siciliano, 19 (Suppl.): 51-62.

Platen R., von Broen B., Herrmann B., Sacher P., 1999 – *Gesamtartenliste der Webspinnen, Weberknechte und Pseudoskorpione des Landes Brandenburg (Arachnida: Araneae, Opiliones, Pseudoscorpiones) mit Angabe zur Häufigkeit und Ökologie*. Landesamt Brandenburg - Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, 8 (2): 1-25.

Prószyński J., Deeleman-Reinhold C.L., 2010 – *Description of some Salticidae (Araneae) from the Malay Archipelago. I. Salticidae of the Lesser Sunda Islands, with comments on related species*. - Arthropoda Selecta, 19 (3): 153-188.

Rassi P., Kaipiainen H., Mannerkoski I., Stahls G., 1992 – *Report on the monitoring of threatened animals and plants in Finland.* Ympäristöministeriö, Helsinki, 328 pp.

Řezáč M., Kůrka A., Růžička V., Heneberg P., 2015 – *Red List of Czech spiders: 3rd edition, adjusted according to evidence-based national conservation priorities*. - Biologia, 70 (5): 645-666. doi: 10.1515/biolog-2015-0079

Roewer C.F., 1960 – *Araneina*. In: Zavattari E., Biogeografia delle isole Pelagie. - Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei XL 4 (11): 412-418.

Sacher P., Platen R., 2004 – *Rote Liste der Webspinnen (Arachnida: Araneae) des Landes Sachsen-Anhalt*. - Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 39: 190-197.

Sander F.W., Malt S., Sacher P., 2001 – *Rote Liste der Webspinnen (Arachnida: Araneae) Thüringens*. Naturschutzreport Heft 18/2001, S. 55–63.

Santos Lobatón M.C., 1996 – *Estudio sobre Macrothele calpeiana Walckenaer, 1805 (Araneae, Hexathelidae) en dos pinares de la provincia de Cadiz (España)*. - Aracnología, 24: 1-10.

Selden P.A., Shear W.A., Bonamo P.M., 1991 – *A spider and other arachnids from the Devonian of New York, and reinterpretations of Devonian Araneae*. - Palaeontology, 34: 241-281.

Seymour R.S., Hetz S.K., 2011 – *The diving bell and the spider: the physical gill of* Argyroneta aquatica. - J. Exp. Biol., 214: 2175–2181. doi: 10.1242/jeb.056093

Seyyar O., Demir H., Kar M., Duman F., 2010 – Argyroneta aquatica *(Clerck, 1757) (Araneae: Cybaeidae) as a biological indicator for environmental pollution of Sultan Marsh National Park, Turkey.* - Acta Zool. Bulg., 62(1): 107–112.

Shear W.A., Palmer J.M., Coddington J.A., Bonamo P.M., 1989 – *A Devonian spinneret: early evidence of spiders and silk use*. - Science, 246: 479-481. doi:10.1126/science.246.4929.479

Smith H., 2000 – *The status and conservation of the fen raft spider (*Dolomedes plantarius*) at Redgrave and Lopham Fen National Nature Reserve*. - England. Biol. Conserv. 95, 153–164. doi: 10.1016/S0006-3207(00)00030-6

Snazell R.G., 1986 – *The spider genus* Macrothele *Ausserer in Spain (Araneae, Dipluridae)*. - Bull. Br. Arachnol. Soc., 17: 80-83.

Snazell R.G., Allison R., 1989 – *The genus* Macrothele *Ausserer (Araneae; Hexathelidae) in Europe*. - Bull. Br. Arachnol. Soc., 8: 6-72.

Sollod B.L., Wilson D., Zhaxybayeva O., Gogarten J.P., Drinkwater R., King G.F., 2005 – *Were arachnids the first to use combinatorial peptide libraries?* - Peptides, 26: 131-139. doi: 10.1016/j.peptides.2004.07.016

Staręga W., Błaszak C., Rafalski J., 2002 – *Araneae*. In: Czerwona Lista Zwierząt Ginących i Zagrożonych w Polsce, Głowaciński Z. Ed., Polska Akademia Nauk, Instytut Ochrony Przyrody, Kraków, pp. 133-140.

Tongiorgi P., 1968 – *Su alcuni ragni italiani della famiglia Lycosidae*. - Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 16: 107-112.

Tongiorgi P., 1969 – Vesubia jugorum *(Simon) un ragno licoside endemico delle Alpi Marittime*. - Atti della Società Toscana di Scienze Naturali - Memorie Serie B, 75: 255-264.

Turnbull A.L., 1973 – *Ecology of the true spiders (Araneomorphae)*. - Annu. Rev. Entomol., 18: 305-348.

UK Biodiversity Steering Group, 1999 – *Tranche 2 Action Plans: volume IV - Invertebrates*. English Nature, Petersborough, 254 pp.

van Helsdingen P.J., 1993a – *Can* Macrothele calpeiana *(Walckenaer) (Araneae, Hexathelidae) be used as a bioindicator.* - Bulletin de la Société neuchâteloise des sciences naturelles, 116: 253-258.

van Helsdingen P.J., 1993b – *Ecology and distribution of* Dolomedes *in Europe (Araneida: Dolomedidae).* - Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat., 26 (345): 181-187.

van Helsdingen P.J., Decae A., 1992 – *Ecology, distribution and vulnerability of* Macrothele calpeiana *(Walckenaer) (Araneae, Hexathelidae).* - Tijdschr. Entomol., 135: 169-178.

Verdú J.R., Galante E. (Eds.), 2009 – *Atlas de los Invertebrados Amenazados de España (Especies En Peligro Crítico y En Peligro)*. Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 340 pp.

Wells S.M., Pyle R.M., Collins N.M., 1983 – *The IUCN Invertebrate Red Data Book.* IUCN, Gland.

Westling A. (Ed.), 2015 – *Rödlistade arter i Sverige 2015*. ArtDatabanken, Uppsala, 209 pp.

World Conservation Monitoring Centre, 1996 – *Dolomedes plantarius*. The IUCN Red List of Threatened Species 1996. e.T6790A12806270. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T6790A12806270.en. Downloaded on 13 December 2017.

World Spider Catalog, 2017 – *World Spider Catalog*. Natural History Museum Bern, online at http://wsc.nmbe.ch, version 18.0, accessed on 13.12.2017. doi: 10.24436/2

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 105-111

GLI ACARI ORIBATEI: UN GRUPPO NEGLETTO DI ARTROPODI EDAFICI. POSSONO ESSERCI DI AIUTO?

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 "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Oribatid mites: a neglected group of soil arthropods. Can they help us?

The definition "neglected species" is a term without any systematic or biological meaning. Although all small animal species that live hidden or far from our eyes don't seem to possess any appeal they make up the rich mosaic of fauna which populates both large ecosystems and small biotopes. In this context I would like to consider oribatid mites, one of the most species-rich components of terrestrial ecosystems, that unfortunately is unknown to most part of the people, as a good tool to access the soil quality. To study species composition, distribution patterns of individuals within communities, physiological adaptations and behavioral strategies of these animals can represent a useful and economic instrument of investigation in quantifying qualitative and quantitative effects that environmental factors (natural, induced, stochastic) exert on communities structures evaluating their ability to reconstitute the communities after a disturbance.

KEY WORDS: Oribatid mites, deterministic and stochastic processes, fires, bioaccumulation, Population dynamics

INTRODUZIONE

All'interno del termine "biodiversità" troviamo racchiuso l'immenso patrimonio biologico costituito da tutte le forme di vita animali e vegetali che si è formato nel corso dell'evoluzione della Terra. Tutti conoscono il ghepardo, il panda, la balena ma che dire delle altre specie che ricevono poca attenzione dai media e dal pubblico in generale? La domanda presentata nel titolo di questo contributo vuole essere provocatoria, ma al tempo stesso intellettualmente forte, in quanto è volta a considerare il valore ecologico di quelle specie che nell'immaginario collettivo non hanno valore alcuno. La definizione di "specie neglette" ha sostituito nella letteratura scientifica la più semplicistica definizione di "fauna minore". Questo termine, senza alcun significato sistematico o biologico, racchiude quel complesso di specie animali di piccole dimensioni che non sembrano possedere nessun appeal ma che compongono il ricchissimo mosaico della fauna che popola sia i grandi ecosistemi sia i piccoli biotopi svolgendo un ruolo fondamentale per il loro funzionamento. Molto spesso, inoltre, queste specie rappresentano un utile strumento scientifico di indicazione dello stato e dell'evoluzione degli ambienti, sia naturali che degradati. L'importanza scientifico-gestionale della fauna minore sta sempre più evidenziando il suo potenziale e ormai da alcuni anni le regioni italiane si sono dotate di leggi specifiche per difenderla proteggendo anche gli habitat trofici, di riproduzione e di svernamento di specie autoctone di anfibi, rettili, chirotteri, piccoli mammiferi insettivori e uccelli. Tuttavia continua ad esserci una negligenza di fondo quando vediamo che tra gli invertebrati mai nessuna indicazione viene fornita riguardo all'incredibile numero di specie che possiamo trovare nel suolo, che con la loro azione creano e mantengono le condizioni che permettono alle piante di crescere, agli animali di nutrirsi e alla società umana di ricavare materie prime fondamentali.

Sebbene comprendere come un numero così grande di specie animali possa coesistere in un ambiente così apparentemente omogeneo come il suolo (ANDERSON, 1975) sia ancora un problema aperto per zoologi ed ecologi, questa fauna racchiude un elevato potenziale descrittivo e di bioindicazione della qualità di questo ecosistema. L'analisi della composizione specifica e della distribuzione degli individui all'interno delle comunità, gli adattamenti fisiologici, le strategie comportamentali che questi animali, spesso a piccola o piccolissima scala, sono in grado di mettere in atto in funzione del procedere di una successione ecologica rappresentano un utile ed economico strumento di indagine per quantificare gli effetti, qualitativi e quantitativi, che fattori ambientali (naturali, indotti, stocastici) possono esercitare sulla

– Pubblicato aprile 2018

struttura e sulla capacità di ricostituire le comunità dopo un disturbo. In questo 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 specie che di individui. Gli oribatei, che hanno conosciuto una spettacolare radiazione adattativa che li ha portati a colonizzare tutti gli ambienti terrestri (ma anche acquatici), presentano spesso 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. Utilizzare le informazioni ecologiche che questi artropodi riescono a fornirci significa usare un sistema economico ed efficace per: a) descrivere un habitat e la sua evoluzione, b) seguire gli effetti sull'ambiente di un disturbo ambientale, c) valutare le relazioni tra diversità e stabilità ambientale (Loreau e Mazancourt, 2013).

Evoluzione degli ambienti forestali

Un primo esempio esplicativo in grado di spiegare quanto introdotto può essere quello di una recente ricerca condotta dagli zoologi e botanici del Dipartimento di Scienze della Vita dell'Università di Siena che ha riguardato un esteso campionamento nelle pinete costiere mediterranee. Una parte di questi campionamenti si sono concentrati nella Foresta Demaniale del Circeo. Quest'area di forma rettangolare di circa 3.300 ha che si estende nella zona orientale del Parco Nazionale del Circeo (Fig. 1a) rappresenta l'unico lembo residuo dell'antica selva di Terracina (ubicata nella vasta regione paludosa detta "palude pontina") che in occasione dei grandi lavori di bonifica della pianura pontina dei primi anni '30, su proposta dell'Amministrazione forestale dell'epoca, non fu tagliata (Padula, 1985). Tutta l'area, situata su una serie di dune continentali risalenti al Paleolitico superiore, è caratterizzata da una marcata disomogeneità nella fisionomia forestale, prodotto di fenomeni naturali e di interventi antropici, che attualmente si palesa nella presenza di larghe parcelle di territorio che già il Piano di gestione della foresta del 1969 definisce aree a "vegetazione antropica" (Padula, 1985). Queste aree sono costituite in parte da rimboschimenti di pino domestico (*Pinus pinea*) e di eucalipti che si intercalano a boschi di cerro (*Quercus cerris*) e farnetto (*Quercus frainetto*) con lecci (*Quercus ilex*) e sughere (*Quercus suber*) (AA.VV., 2011). Il primo obbiettivo della ricerca è stato quella di individuare le aree dove più intensi sono stati effettuati gli impianti a *P. pine*a e dove sono risultate più evidenti le differenze nella copertura arborea ed arbustiva legate al passaggio/calpestio di uomini e piccoli o grandi mammiferi. Successivamente, per verificare se i patterns delle comunità di acari oribatei fossero in grado di intercettare questo aspetto dell'eterogeneità

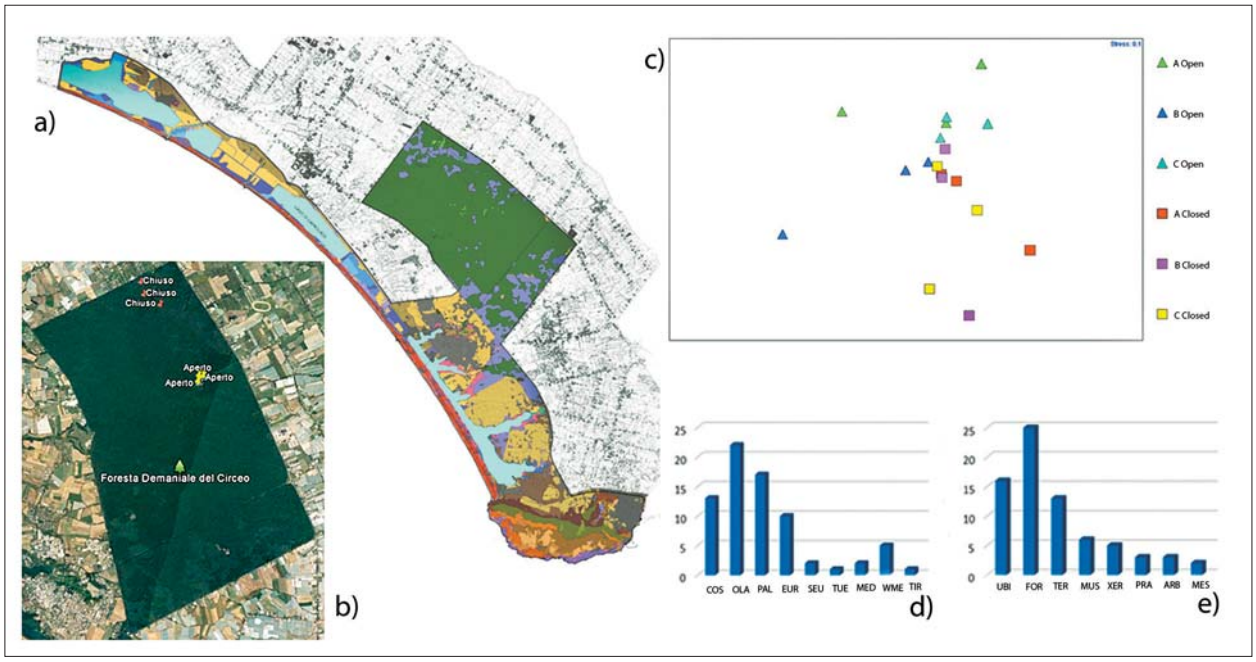

Fig. 1 – a) Mappa del Parco Nazionale del Circeo; b) Siti di campionamento divisi in aree chiuse e aree aperte; c) Ordinamento dei campioni ottenuto con il non-metric Multidimensional Scaling (n-MDS); d) Istogramma raffigurante la corologia delle specie campionate: Cosmopolita (COS); Oloartico (OLA); Paleartico (PAL); Europeo (EUR), Sudeuropeo (SEU), Turanico-europeo (TUE), mediterraneo (MED), mediterraneo occidentale (WME), tirreniche (TIR). e) Istogramma raffigurante l'autoecologia delle specie campionate: ubiquitarie (UBI), forestali (FOR), termofile (TER), muscicole (MUS), xerofile (XER), prato (PRA), arboricole (ARB), mesofile (MES).

ambientale, sono stati selezionati due siti di studio all'interno di aree con dominanza di pino domestico ma con diverso livello di copertura arborea, che per convenzione sono state definite come "aree aperte" e "aree chiuse" (Fig. 1b).

Sebbene le due aree indagate siano realmente molto vicine tra di loro, l'ordinamento effettuato tramite il non-metric Multidimensional Scaling (n-MDS) ha mostrato come le oribatocenosi siano capaci di discriminare i siti testati in maniera netta (Fig. 1c), evidenziando come porzioni limitate di territorio con caratteristiche vegetazionali, ambientali e microclimatiche diverse possono esprimere comunità edafiche differenti. L'aspetto interessante che emerge da questa ricerca è che il maggior contributo al nostro ordinamento (ottenuto utilizzando la procedura SIMPER) sembra essere stato fornito da specie a larghissimo areale distributivo (Fig. 1d), un contingente i cui rappresentanti, generalmente, non mostrano una decisa caratterizzazione ecologica. In questo caso la presenza di specie forestali (Fig 1e) che sembrano richiedere condizioni più mesofile, suoli poco sciolti, acidi, ricchi di acqua e sostanza organica come *Odontocepheus elongatus*, *Micreremus brevipes*, *Eupelops subuliger* e *Melanozetes mollicomus* sembra esclusiva delle aree con maggior copertura arborea, quelle che, probabilmente, si avvicinano di più alle condizioni originarie della foresta planiziale. Tutto questo sembra confermare le ipotesi di Anzalone *et al.,* (1997) il quale afferma, nel suo lavoro sulla flora vascolare del Parco Nazionale del Circeo, che il carattere di mediterraneità nella foresta planiziaria è mitigato dall'influenza edafica legata ai resti delle Paludi Pontine in grado di rendere possibile la presenza di alcuni elementi mesofili, probabili relitti di clima più freddo e umido.

La capacità di bioaccumulare elevate concentrazioni di metalli pesanti consente agli acari oribatei di esprimere comunità strutturate anche in suoli fortemente stressati

In questi ultimi anni un numero crescente di ricercatori sta focalizzando i propri sforzi per valutare quali effetti può esercitare la presenza di livelli crescenti di contaminazione da metalli pesanti sulla composizione e sulla dinamica delle comunità edafiche. I poligoni di tiro, e in particolare quelli di tiro al piattello, possono rappresentare una situazione particolarmente esplicativa del problema soprattutto perché sperimentalmente perfetti in quanto il maggior contaminate (in genere Pb metallico) si deposita al suolo su un'area ristretta seguendo gradienti di concentrazione legati alla balistica del tiro. Questa particolare distribuzione dei contaminanti consente di definire dei disegni di campionamento ottimali da cui ricavare dati utili in grado di fornire indicazioni sulle risposte delle comunità edafiche in funzione di crescenti concentrazioni di metallo pesante. Uno studio intrapreso dal nostro gruppo di ricerca nell'area di raccolta delle munizioni in un poligono di tiro al piattello vicino a Siena (Fig. 2a) ha evidenziato come le concentrazioni di Pb nel suolo raggiungono valori elevatissimi, comparabili a quelli rilevabili in aree minerarie (Stone *et al.*, 2001) e ben oltre i limiti consentiti dalla legge italiana (D.M. 25 October 1999 n. 471), confermando

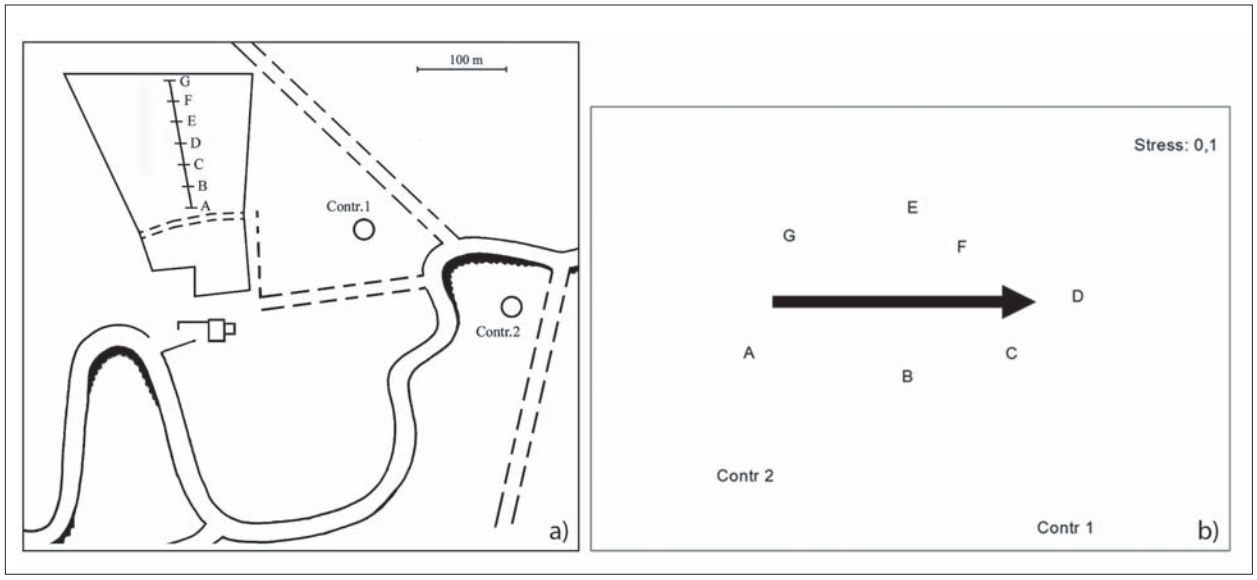

Fig. 2 – a) Area di campionamento: A–G siti identificati dal transetto all'interno dell'area di raccolta delle munizioni; Concentrazioni di Pb (µg/g) determinate nei suoli delle nove stazioni di indagine (A= 223 µg/g; B= 268 µg/g; C= 212 µg/g; D= 915 µg/g; E= 1898 µg/g; F= 1576 µg/g; G= 624 µg/g; Contr.1= 82.5; Contr.2= 80.5 µg/g); Contr. 1 e Contr. 2 siti di controllo non contaminati. b) Ordinamento effettuato con il non-metric Multidimensional Scaling (n-MDS). La freccia indica il gradiente di inquinamento.

come l'andamento delle loro concentrazioni sia legato alla traiettoria delle munizioni. L'ordinamento dei siti effettuato con il n-MDS (Fig. 2b) ha mostrato come questi si dispongano in funzione del gradiente spaziale delle concentrazioni di Pb con la contaminazione che sembra aver sortito effetti più qualitativi che quantitativi sulle oribatocenosi. La generalizzata semplificazione delle loro comunità (35 specie), evidenziata da una evidente diminuzione di individui di alcune specie sensibili (o la loro assenza), sembra essere stata compensata dalla consistente presenza di specie ubiquiste, insensibili o metallo tolleranti (*Tectocepheus sarekensis, T. velatus*, *Scheloribates pallidulus*, *Punctoribates punctum*,) associate alla presenza di entità xerofile tipiche di aree aperte e spesso disturbate (*Ceratozetes laticuspidatus*, *Zygoribatula exarata*) (MIGLIORINI *et al.*, 2005a). La capacità di alcune specie di acari oribatei di sopravvivere e molto spesso di esprimere popolazioni abbondanti in aree fortemente contaminate da metalli pesanti sembra essere correlata, similmente ad altri gruppi edafici di saprofagi, alla capacità di mettere in atto meccanismi fisiologici sia di detossificazione (TRIEBSKORN e KOHLER, 1996) sia di sequestro e localizzazione intracellulare di metalli pesanti sotto forma di granuli intracellulari elettrondensi (EDGs) (LUDWIG *et al.*, 1992; ALBERTI *et al.*, 2003). Durante una serie di studi ultrastrutturali da noi effettuati su esemplari di *Xenillus tegeocranus* (Fig. 3a) raccolti nel bacino minerario delle colline Metallifere (Toscana Meridionale), abbiamo osservato la presenza di numerosi EDGs di struttura concentrica, simili agli sferiti rilevabili nell'intestino di collemboli, diplopodi e dipluri (HOPKIN, 1989; KOHLER, 2002; PIGINO *et al.*, 2005), nell'epitelio ventricolare mentre nella parte apicale delle ghiandole proventricolari sono stati osservati granuli di aspetto omogeneo e scuro. La composizione chimica dei granuli osservati, determinata utilizzando la microanalisi a raggi X, ha evidenziato che, in questi suoli caratterizzati da elevatissime concentrazioni di Fe, solo i granuli omogenei delle ghiandole proventricolari (Fig. 3b) sembrano essere implicati nell'accumulo di questo metallo mentre gli EDGs concentrici intestinali accumulano essenzialmente Zn, Mn, Cu (Fig. 3c) (PIGINO *et al.*, 2006). Accumulare metalli pesanti sotto forma di granuli intracellulari sembra essere un adattamento fisiologico vincente e largamente condiviso tra i componenti della fauna

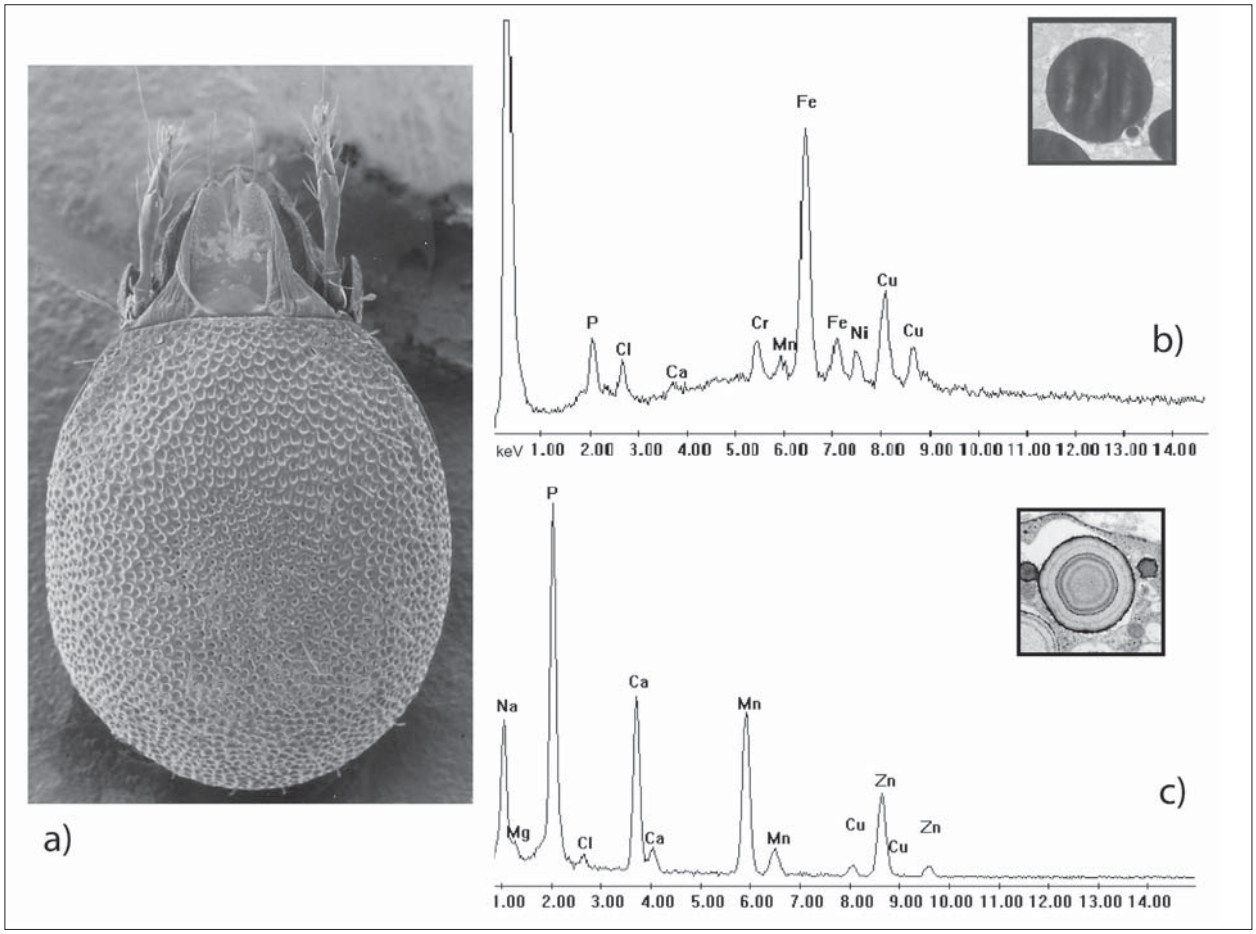

Fig. 3 – a) Esemplare di Xenillus tegeocranus; Composizione dei granuli intracellulari elettrondensi concentrici b) e omogenei c) in individui raccolti in aree contaminate utilizzando la Microanalisi a raggi X.

del suolo. Tuttavia, sebbene molti esapodi riescono ad espellere questo materiale tossico durante la muta, gli acari non sono in grado di mettere in atto questo tipo di escrezione. A tale proposito ALBERTI e COONS (1999) e LUDWIG *et al.* (1992) invocano l'azione delle ghiandole proventricolari quali organi multifunzionali implicati nella produzione di enzimi digestivi, nell'escrezione e nella detossificazione. In questi organi vengono attuati meccanismi di escrezione olocrina (HUMBERT, 1974), che vedono la degenerazione e l'espulsione di intere cellule o apocrina, come osservato da ALBERTI *et al.* (2003), in cui solo la parte della cellula in cui si accumulano gli sferiti viene scaricata dall'epitelio nel lume intestinale.

AMBIENTI FRAMMENTATI: LA RISPOSTA DELLE COMUNITÀ DI ACARI ORIBATEI

Molti ecosistemi sono soggetti a disturbi ambientali che si succedono con frequenza e modalità variabili. Gli incendi, la siccità, le inondazioni, il taglio dei boschi, le pratiche agricole frammentano l'habitat, inducono variazioni nelle proprietà locali dei suoli e nella disponibilità delle risorse, guidano i pattern delle zoocenosi edafiche influenzandone le interazioni intra e interspecifiche (RANTALAINEN *et al.*, 2004). In molti ecosistemi mediterranei il fuoco rappresenta un fattore di disturbo ricorrente che fa assumere alla macchia mediterranea la sua tipica fisionomia caratterizzata da un mosaico di aree dominate da arbusti, aree dominate da erbe e aree dominate da boschi. Ciascuna di queste situazioni ambientali, differendo nelle condizioni microclimatiche, nella qualità, nella quantità e nella distribuzione della materia organica lungo il profilo del suolo, è capace di guidare l'evoluzione della maggior parte degli organismi che in essa vivono (MARTÍN-PINTO *et al.*, 2006). Sebbene la sensibilità al fuoco sia diversa nei diversi gruppi di organismi edafici le differenze nella capacità di dispersione, la fenologia e le strategie riproduttive rappresentano i fattori chiave che consentono loro di sopravvivere e ricolonizzazione aree di ambienti frammentati ed ecologicamente instabili. Al fine di studiare le relazioni esistenti tra gli incendi e la capacità di ripristinare le comunità edafiche è stata intrapreso uno studio, nella Riserva Naturale "Castel Volturno" (CE), per valutare gli effetti di una sequenza di incendi controllati di diversa intensità (parcelle di macchia mediterraneo sottoposte ad incendio superficiale e profondo) (Fig. 4a), sulla dinamica delle popolazioni di acari oribatei utilizzando dati raccolti rispettivamente 245, 364 e 728 giorni dopo il fuoco (MIGLIORINI *et al.*, 2005b).

Utilizzando i dati ottenuti dai campionamenti è stato effettuato un ordinamento dei siti tramite il n-MDS (Fig. 4b). L'evidente dipendenza dall'intensità degli incendi e dal tempo trascorso dall'inizio del disturbo possono essere interpretate nella diversa capacità dei vari taxa di sopravvivere e di ricostituire le loro popolazioni dopo il disturbo (MARAUN e SCHEU, 2000). È ormai noto che gli effetti del fuoco sono più evidenti negli abitanti degli strati più superficiali mentre gli

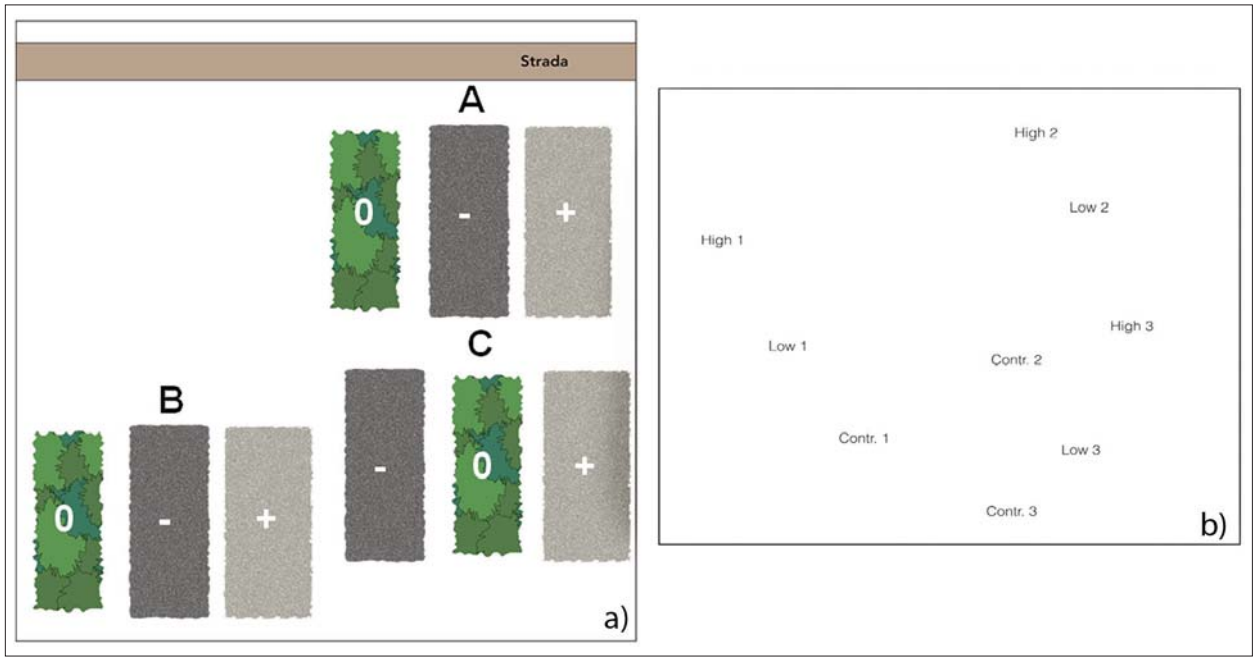

Fig. 4 – a) Disegno sperimentale e siti di campionamento all'interno dell'area di studio. - = incendi di bassa intensità; + = incendi di alta intensità; 0 = controlli. A-B-C = aree di campionamento. b) Ordinamento effettuato con il non-metric Multidimensional Scaling (n-MDS) basato sulla matrice di similarità ottenuta applicando l'indice di Bray-Curtis alle abbondanze medie di acari oribatei raccolti nelle tre date di campionamento ed aggregati per intensità di incendio (High1, High2, High3; Low1, Low2, Low3; Contr.1, Contr.2, Contr.3).

animali che vivono più in profondità riescono a sopravvivere (STAMOU, 1998). Piccoli oribatei euedafici come *Ctenacarus araneola, Aphelacarus acarinus*, *Sphaerochthonius splendidus*, *Phyllozetes emmae, Bursoplophora tyrrhenica*, *Liochthonius strenzkei*, *Sellnickochthonius immaculatus* sono risultati costantemente presenti durante l'intero periodo dei campionamenti a cui si è associato un progressivo e sempre più deciso aumento di individui, nelle aree sottoposte ad incendi profondi dopo due anni dall'evento, di specie euritopiche come *Zygoribatula glabra* e *Punctoribates punctum*. Questi due elementi, tipici di aree aperte e di ambienti di transizione (KOVÁČ *et al.*, 2001), grazie al loro maggior potere di dispersione sono capaci di colonizzare una vasta gamma di habitat oltre ad essere in grado di mettere in atto meccanismi riproduttivi partenogenetici in grado di incrementare la consistenza numerica dei genotipi meglio adattati (MARAUN e SCHEU, 2000). Possiamo quindi affermare che il disturbo ambientale, contribuendo a generare l'eterogeneità spaziale in alcune aree, tende a ridurre la densità delle specie sensibili o a portare alla loro estinzione (α-diversità), consentendo, in tal modo, la colonizzazione da parte specie opportunistiche che sono in grado di sostituire le prime guidando il turnover di specie tra habitat (β-diversità).

I meccanismi che regolano la capacità di ricostituire le comunità in ambienti frammentati rappresentano ancora oggi un problema teorico irrisolto soprattutto dopo che HUBBELL nel 2001, contraddicendo l'interpretazione classica basata sulla scelta di nicchia, ipotizzò, con la sua Teoria Neutrale, che le comunità vengono costantemente saturate e ogni individuo che muore viene sostituito "casualmente" da una qualsiasi specie considerata funzionalmente equivalente. Molti anni sono ormai trascorsi e nessun ricercatore crede che il mondo sia neutrale e le specie (o gli individui) ecologicamente equivalenti, tuttavia l'opera di Hubbell sta ultimamente assumendo un ruolo importante tra tutti i ricercatori che studiano le dinamiche di popolazione. Il Modello Neutrale può rappresentare, per gli ecologi, uno strumento di lavoro in grado di fornire una robusta ipotesi nulla utile a capire se l'eterogeneità ambientale è in grado di guidare i pattern di β diversità. Secondo LEGENDRE e DE CACERES (2013) è possibile creare equivalenti neutrali partendo dalla matrice dati originale da cui ricavare una distribuzione di β diversità (simulata) da confrontare con i valori di β diversità calcolati con i dati reali. In pratica questo modello concettale postula che le dinamiche reali potranno divergere o convergere rispetto ai valori simulati partendo dal Modello Neutrale. I risultati ottenuti dal nostro gruppo di ricerca sembrano supportare questa ipotesi generale. Il metodo permette di individuare i cambiamenti nella β diversità in aree caratterizzate da evidente eterogeneità ambientale (naturale o indotta), mentre vengono rilevati pattern consistenti con la neutralità quando è presente una omogeneizzazione spaziale delle proprietà dei suoli a prescindere dalla presenza di disturbo (MAASS *et al.*, 2014). Tuttavia, sebbene intrigante, il metodo non è in grado di fornire indicazioni sui fattori e le variabili coinvolte né sui i meccanismi che guidano le dinamiche delle comunità edafiche. Benché non sia possibile escludere l'azione esclusiva di uno dei due meccanismi, deterministico o stocastico, la spiegazione attualmente più plausibile sembra essere il coinvolgimento di entrambi, quali fattori in grado di in grado di operare a varia scala agendo in maniera determinante nella composizione e nella struttura delle comunità edafiche "locali".

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

All'interno di quell'infinito "mondo nascosto" che è la fauna del suolo, gli acari oribatei si confermano un utile strumento di analisi e valutazione ambientale. Questi piccoli artropodi, sconosciuti alla maggior parte degli uomini, riescono a fornire indicazioni sull'origine dei popolamenti animali, a discriminare ambienti naturali da quelli disturbati, a distinguere un disturbo e intercettare la sua intensità ma sono anche di valido aiuto nelle ricerche e nello sviluppo di modelli teorici. E' auspicabile un allargamento delle conoscenze relative a questo gruppo animale e a tutti i componenti della fauna del suolo per sensibilizzare larghe fasce della popolazione, ma anche molti amministratori, che spesso risultano essere completamente ignare della presenza di questi animali in un distretto ambientale oscuro ai più ma indispensabile per la sopravvivenza di tutti noi.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 2011 – *Piano del Parco Nazionale del Circeo. Relazione Generale. Tomo 1 - Analisi*. Ente Parco Nazionale del Circeo.

ALBERTI G., COONS L.B., 1999 – *Acari: Mites*. In: Harrison F.W. & Foelix R.F Ed., Microscopic Anatomy of Invertebrates. Vol. AC. Chelicerate Arthropoda . Wiley & Sons, Chichester, pp. 515-1215.

ALBERTI G., SENICZAK A., SENICZAK S., 2003 – *The digestive system and fat body of an early-derivative oribatid mites,* Archegozetes longisetosus *Aoki (Acari: Oribatida, Trhypochthoniidae)*. – Acarologia, 43: 151-222.

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.

ANZALONE B., LATTANZI E., LUCCHESE F., PADULA M., 1997 – *Flora vascolare del Parco Nazionale del Circeo (Lazio)*. - Webbia: Journal of Plant Taxonomy and Geography, 51: 251-341.

HOPKIN S.P., 1989 – *Ecophysiology of Metals in Terrestrial Invertebrates*. Elsevier Applied Science, New York.

HUBBELL, S.P., 2001 – *The unified neutral theory of biodiversity and biogeography*. Princeton University Press, Princeton.

HUMBERT W., 1974 – *Localisation, structure et genése des concrétion minérales dans le mésentéron des Collemboles Tomoceridae (Insecta, Collembola).* - Z. Morph. Tiere, 78: 93-109.

KOHLER H.-R., 2002 – *Localization of metals in cells of saprophagous soil arthropods (Isopoda, Diplopoda, Collembola).* - Microsc. Res. Tech., 56: 393-401.

KOVÁČ L., L'UPTÁČIK P., MIKLISOVA D., MATI R., 2001 – *Soil Oribatida and Collembola communities across a land depression in an arable field.* - Eur. J. Soil Biol., 37: 285-289.

LEGENDRE P., DE CACERES M., 2013 – *Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning.* - Ecol. Lett., 16: 951-963.

LOREAU M., DE MAZANCOURT C., 2013 – *Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms.* – Ecol. Lett., 16: 106-115.

LUDWIG M., KRATZMANN M., ALBERTI G., 1992 – *Observations on the proventricular glands ('organes racemiformes') on the oribatid mites* Chamobates borealis *(Acari, Oribatida): an organ of interest for studies on adaptation of animals to acid soils.* - Exp. Appl. Acarol., 15: 49–57.

MAASS S., MIGLIORINI M., MATTHIAS C., RILLIG M.C., CARUSO T., 2014 – *Disturbance, neutral theory, and patterns of beta diversity in soil communities.* - Ecol. Evol., 4: 4766-4774.

MARAUN M., SCHEU S., 2000 – *The structure of oribatid mite communities (Acari, Oribatida): patterns, mechanisms and implication for future research.* - Ecography, 23: 374-383.

MARTÍN-PINTO P., VAQUERIZO H., PEÑALVER F., OLAIZOLA J., ORIA-DE-RUEDA J.A., 2006 – *Early effects of a wildfire on the diversity and production of fungal communities in Mediterranean vegetation types dominated by* Cistus ladanifer *and* Pinus pinaster *in Spain.* - Forest Ecol. Manag., 225: 296-305.

MIGLIORINI M., PIGINO G., CARUSO T., FANCIULLI P.P., LEONZIO C., BERNINI F., 2005a – *Soil communities (Acari Oribatida; Hexapoda Collembola) in a clay pigeon shooting range.* - Pedobiologia, 49: 1-13.

MIGLIORINI M., PIGINO G., AVANZATI A.M., SALOMONE N., BERNINI F., 2005b – *Experimental fires in Mediterranean environment: effects on oribatid mite communities*. In: G. Weigmann, G. Alberti, A. Wohltmann and S. Ragusa Ed. Phytophaga - Acarine biodiversity in the natural and human sphere - Proceedings of 5th Symposium of the European Association of Acarologists Berlino. Luxograph, Palermo, Italy. 271-278.

PADULA M., 1985 – *Aspetti della vegetazione del Parco Nazionale del Circeo*. - Webbia, 39: 1, 29-110.

PIGINO G., MIGLIORINI M., PACCAGNINI E., BERNINI F., LEONZIO C., 2005 – *Fine structure of the midgut and Malpighian papillae in* Campodea (Monocampa) quilisi *Silvestri, 1932 (Hexapoda, Diplura) with special reference to the metal composition and physiological significance of midgut intracellular electron-dense granules*. - Tissue Cell, 37: 223-232.

PIGINO G., MIGLIORINI M., PACCAGNINI E., BERNINI F., 2006 – *Localisation of heavy metals in the midgut epithelial cells of* Xenillus tegeocranus *(Hermann, 1804) (Acari: Oribatida).* - Ecot. Env. Saf., 64: 257-263.

RANTALAINEN M.-L., KONTIOLA L., HAIMI J., FRITZ H., SETÄLÄ H., 2004 – *Influence of resource quality on the composition of soil decomposer community in fragmented and continuous habitat.* - Soil Biol.Bioch., 36: 1983-1996.

STAMOU G.P., 1998 – *Arthropods of mediterranean-type ecosystems*. In: Cloudsley-Thompson Ed., Adaptation of Desert Organisms. Sprinter-verlag Berlin, Heidelberg.

STONE D., JEPSON P., KRAMARZ P., LASKOWSKI R., 2001 – *Time to death response in carabid beetles to multiple stressors along a gradient of heavy metal pollution*. - Environ. Pollut., 113: 239–244.

TRIEBSKORN R., KOHLER H.-R., 1996 – *The impact of heavy metals on the gray garden slug,* Deroceras reticulatum *(Muller): metal storage, cellular effects and semi-quantitative evaluation of metal toxicity.* - Environ. Pollut., 93: 327–343.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 113-120

CENTIPEDE COMMUNITIES (CHILOPODA) OF FOREST SOILS ACROSS EUROPE: ABUNDANCE, SPECIES RICHNESS AND SPECIES COMPOSITION

LUCIO BONATO (*) (°) - ALESSANDRO MINELLI (*) - MARZIO ZAPPAROLI (**)

(*) *Department of Biology, Università degli Studi di Padova, Via U. Bassi 58b, 35131 Padova - Italy*
(**) *Department for Innovation in Biological, Agro-food and Forest systems (DIBAF), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo - Italy*
(°) Corresponding author: lucio.bonato@unipd.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Centipede communities (Chilopoda) of forest soils across Europe: abundance, species richness and species composition

Centipedes are abundant and diverse predators in the soil biocenoses of temperate forests, however basic ecological features of their communities are poorly investigated. We summarize the most reliable estimates of centipede abundance, number of coexisting species and taxonomic composition of centipede communities, obtained in >100 sites across the European forests. Investigations have been so far biased towards northern and central Europe, and are especially scarce in the southern major peninsulas. On average, higher densities of centipedes have been reported from forests in the Alps, Bohemian mountains and Dinarides (usually some hundreds of indd/m^2, exceptionally surpassing 850 indd/m^2), while the lowest values were found in Scandinavia and north-eastern Europe (usually few tens of indd/m^2). The highest numbers of species coexisting in a community (detected within 2 ha at most) were reported from beechwoods in northern Dinarides (mainly 15-24 species, up to 28), whereas lower and lower numbers were found moving north and north-east (up to 17 in northern Carpathians and 13 in German-Polish lowlands) and lower but variable numbers in the southern peninsulas (up to 21 in the Apennines and 19 in the Balkans). Centipede communities in all European forests comprise two major eco-morphological guilds: regularly epigeic species (mainly Lithobiidae, above all *Lithobius* and *Eupolybothrus*) and more strictly endogeic species (diverse Geophilomorpha, mainly Geophilinae, but also *Cryptops*). Major differences in species composition are found between central-northern Europe, the most western European regions and especially the two peninsulas south of the Alps and the Carpathians.

Key Words: biocenosis, density, soil fauna, syntopy, taxonomic diversity.

Centipede communities in forest soils: state of knowledge

Centipedes (Chilopoda) are a major component of the predatory guild in the biocenoses of the soil and leaf litter of all temperate forests. Their contribution is substantial in terms of density of individuals (e.g.: Albert, 1979; Petersen & Luxton, 1982), biomass (e.g., Scheu *et al.*, 2003), taxonomic richness and ecological diversity (e.g., Voigtländer, 2011). However, in comparison with other groups of predators like carabid beetles and spiders, centipedes in the forest soils have been much less investigated with regards to basic ecological properties of their communities. In general, estimating abundance, local species richness and taxonomic structure of the centipede assemblages in the forest ecosystems has been hindered by the cryptic habits and low density of most species (e.g.: Grgič & Kos, 2003, 2005; Tuf *et al.*, 2006; Jabin *et al.*, 2007), the generally low throughput of the sampling methods commonly employed for soil invertebrates and the high differences between methods in the catchability of different species (reviewed by Tuf, 2015).

While some centipede species crawl regularly on the ground, exiting soil crevices especially at night during the mild and humid seasons, other species are strictly endogeic, i.e. they live permanently inside the soil, most often in the upper layers but also migrating to deeper ones under unfavourable climatic conditions (e.g.: Rendoš *et al.*, 2012; Tuf *et al.*, 2017). As a consequence, pitfall trapping is effective only on the regularly epigeic species of centipedes, while it is almost ineffective for species that are strictly endogeic. On the other hand, extracting centipedes from standard samples of soil and leaf litter (either manually or by means of devices like Berlese, Tullgren or Winkler extractors) is usually found poorly efficient, so that large volumes of soil, multiple replicates and long-time sessions are required to approximate an exhaustive sampling of a local centipede community. As a consequence, these methods are often complemented or even substituted with the direct searching of centipedes by hand and eye, by exploring potential refuges on the

– Pubblicato aprile 2018

ground, under stones or logs, and/or by sifting leaf litter and/or by digging in the soil (e.g.: Blackburn *et al.*, 2002; Zapparoli & Peroni, 2011; Voigtländer & Decker, 2014; Tuf, 2015). However, such methods require greater effort in terms of human work and are hard to standardize.

As a matter of fact, the surveys carried on so far on the centipede communities of different forest sites have been broadly heterogeneous in the methods employed and the effort applied. As a consequence, their results are hardly comparable. Additionally, the centipede communities that have been more thoroughly investigated within Europe are mainly concentrated in the northern broadleaf and coniferous woods, especially across the lowlands and uplands between northern France, through Germany, to Poland (above all: Blandin *et al.*, 1985; Wytwer, 1990; Voigtländer, 1995; Scheu & Poser, 1996; Leśniewska *et al.*, 2008; Dunger & Voigtländer, 2009) but also in some mountain areas between Alps, Bohemian mountains and northern Carpathians (above all: Székelyhidy & Loksa, 1979; Korsós & Dányi, 2002; Tuf, 2003; Jabin *et al.*, 2007; Wytwer & Tajovský, 2009), rarely in other parts of Europe (e.g., Grgič & Kos, 2003, 2005; Bachvarova *et al.*, 2015; Baini & Zapparoli, 2015).

We provide here a synthesis of the information acquired throughout Europe on some basic features of centipede communities in forest habitats, such as overall centipede abundance (in terms of density of individuals), local species richness (i.e., the number of species coexisting in a single community), and major geographical pattern of variation of species composition across Europe.

Other major issues of centipede community ecology are out of our scope, but it should be acknowledged that the overall geographical variation of centipede communities at the continental scale is strongly influenced by the fine-scale variation of many factors, including local microclimate, general structure and density of the tree cover (e.g., Stašiov & Svitok, 2014), depth of the leaf litter (e.g., David *et al.*, 1991; Iorio, 2014), soil texture (e.g.: Lock *et al.*, 2001; Kula & Lazorík, 2016), human management and wood exploitation (e.g.: Jabin *et al.*, 2004; Grgič & Kos, 2005; Baini *et al.*, 2012), age and successional stage of the forest (e.g., Tuf, 2000, 2003; Leśniewska *et al.*, 2005; Salmon *et al.*, 2006; Dunger & Voigtländer, 2009).

Centipede abundance

Local abundance of centipedes has been estimated in tens of forest sites of northern and central Europe (Fig. 1), mainly through Scandinavia, German-Polish lowlands, German uplands, Bohemian mountains and northern Carpathians. Most of the diversity of pedological substrates, forest composition, management and successional conditions has been sampled in northern and central Europe. Conversely, centipede abundance has been estimated only in a few forest sites in southern Europe.

Centipede abundance has been usually measured in terms of density of specimens, rarely in terms of biomass, and almost always referred to unit of surface area. Usually only the upper soil layers have

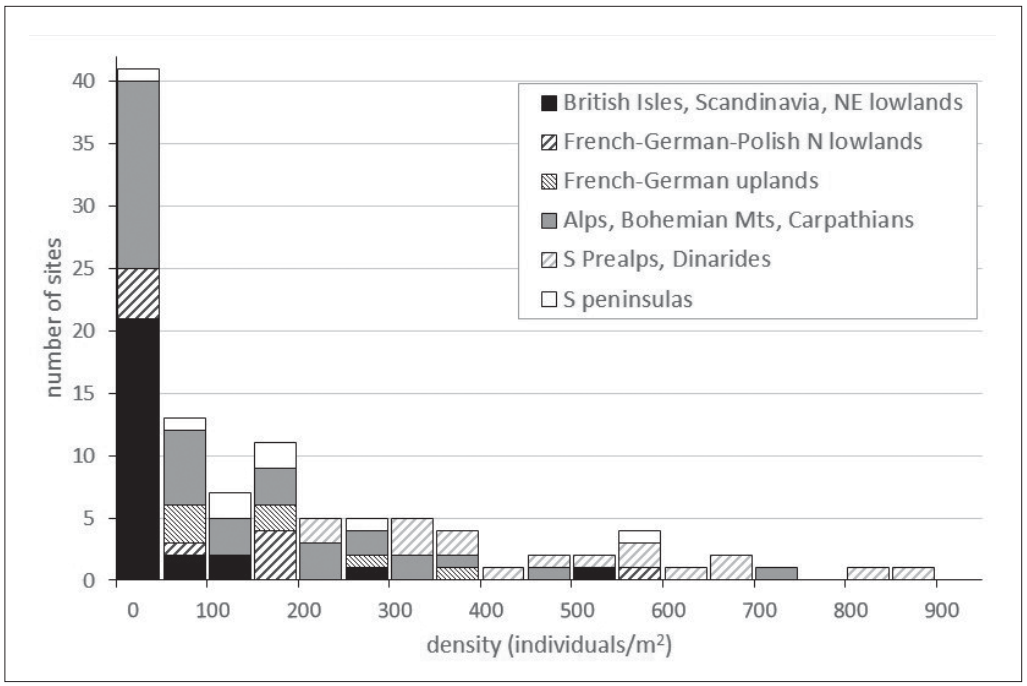

Fig. 1 – Frequency distribution of the density of Chilopoda estimated in 106 European forest sites, distinguished for major geographical regions. Data are from 44 publications, since 1931 to 2016.

been sampled, so that reported densities are expected to be underestimated. Moreover, values reported by different studies are hardly comparable because they were based on different sampling designs throughout the seasonal fluctuations of populations.

Based on published estimates (Fig. 1), in forest sites of Scandinavia and nearby lowlands of north-eastern Europe centipede densities are usually in the order of a few tens of individuals/m^2 (e.g., Huhta & Koskenniemi, 1975; Wytwer, 2000; Zenkova, 2016). In the lowlands and uplands between Great Britain, across northern France and Germany, to western Poland, higher densities have been found on average, around a few hundreds of individuals/m^2 (e.g., Fründ, 1987; Poser, 1988, 1990; Scheu & Poser, 1996), however much variable and sometimes surpassing 500 individuals/m^2 (e.g.: a few sites in Great Britain and northern France; Albert, 1977, 1978; Blandin *et al*., 1980, 1985; Geoffroy *et al*., 1981). In the forest soils of major mountain chains across temperate Europe, centipede densities usually reach some hundreds of individuals/m^2, but sometimes remarkably higher values: up to ca. 700 individuals/m^2 have been estimated in oakwoods in the Bohemian mountains (Pižl & Tajovský, 1998) and up to 850-900 individuals/m^2 in beechwoods in northern Dinarides (Kos, 1996; Grgič & Kos, 2003). The few data available from sites in the European southern peninsulas are around hundreds of individuals/m^2, also for the relic patches of woodlands in the Po Plain (Minelli, 1982; Paoletti, 1988).

Species richness

Counts of species have been reported in the literature from many different forest sites, however they have been obtained with a diverse array of methods, through different amounts of sampling effort and applied to areas of variable extent. To evaluate and compare the most reliable estimates of local species richness, i.e. the amount of species that coexist in a single community, we took into account only counts obtained from sampling in relatively narrow and uniform plots (to minimize the effect of spatial variation of communities), only through methods allowing the effective capture of both the species that are regularly active on the ground and those that are strictly endogeic (see above), and based on more numerous samples (to reduce the expected underestimation due to sampling error) (Fig. 2).

Among the many forest plots thoroughly investigated in the French-German-Polish lowlands and the German uplands, encompassing diverse soil and vegetation types, usually around 10 centipede species are found coexisting, between 7 and 13. Higher numbers reported for some sites, up to around 20 species (e.g., Leśniewska *et al*., 2008), are hardly comparably because of the lack of information on the extent and heterogeneity of the sampling plots. In northern regions, lower species richness is usually found in the British Isles, north-western France and the entire Scandinavia, with an apparent decreasing trend towards the coldest and most continental areas of north-eastern Europe. Conversely, in the forests covering the major moun-

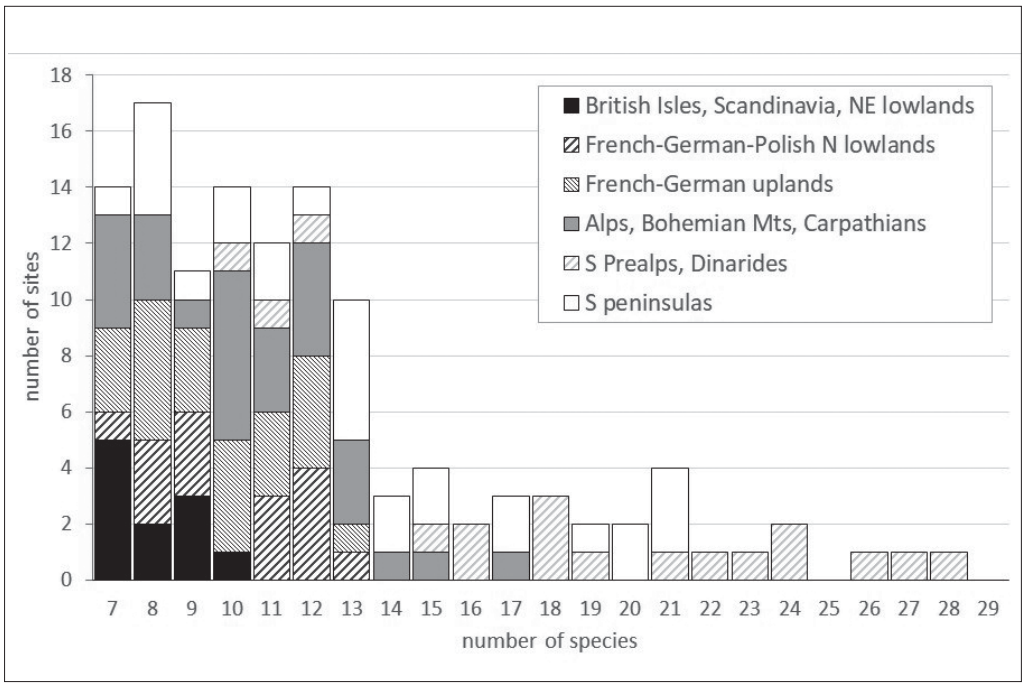

Fig. 2 – Frequency distribution of the number of species of Chilopoda recorded in 108 European forest sites. Only counts based on samples of ≥50 individuals collected within an area < 2 ha have been considered. Counts based on pitfall trapping have been considered only when complemented by other methods. Data are from 48 publications, since 1956 to 2016.

tains of central Europe (Alps, Bohemian mountains, Carpathians), the local species richness is frequently slightly higher, but much variable due to fine-scale geomorphological and climatic diversity in these areas: usually between 7 and 13 species, but up to 15 in sites of the Bohemian mountains and up to 17 in sites of northern Carpathians (Leśniewska, 2000; Tuf, 2015). Remarkably higher values have been found in forest sites in northern Dinarides: mostly 15-24 species, but up to 28 in a beechwood plot (Grgič & Kos, 2003). In the southern European peninsulas, variable numbers of species have been reported: usually more than 8 species but up to around 20 species, e.g. 21 species in oak-woods and beechwoods in central Apennines (Zapparoli & Peroni, 2011) and 19 species in a site in the Balkans (Bachvarova *et al*., 2015). Lower values of richness are found in relic forest stands in the Po Plain: often 9-13 species (Minelli, 1982; Paoletti, 1988).

Species composition

In all centipede communities inhabiting forest soils throughout Europe, most of the coexisting species group in two major guilds that are remarkably different in some functional traits.

One eco-morphological guild comprises fast-running centipedes that are regularly active, at night at least, on the forest ground. They rely on vision, besides other sensorial functions, and their integument is moderately sclerotized so that they usually appear more or less dark brown, on their dorsal surface at least. Their body is distinctly flattened and only moderately elongate, antennae and legs are remarkably elongate. All species belonging to this group are representative of Lithobiidae. Most species are in the genus *Lithobius* but, in the forest soils of southern Europe, there are also species of a few other genera like *Eupolybothrus* and *Harpolithobius*.

The other eco-morphological guild comprises more slowly crawling centipedes that live almost exclusively in the crevices of the soil and the leaf litter, and are strictly or by large endogeic. They are blind and their integument is much less sclerotized. Their body is remarkably narrow and elongate, antennae and legs are proportionally short. Almost all species belonging to this group are representative of Epimorpha (Geophilomorpha and Scolopendromorpha) and encompass multiple lineages, above all the 'Geophilinae' (sensu Bonato *et al*., 2014; especially in the genus *Geophilus*) but also Linotaeniinae (*Strigamia*), Schendylidae (*Schendyla*) and Cryptopidae (*Cryptops*). In some European regions they include also Dignathodontinae (*Henia*), Himantariidae (*Haplophilus* and *Stigmatogaster*) and Dicellophilidae (*Dicellophilus*). Also a few *Lithobius* species belong in this guild.

Both eco-morphological guilds are represented in all European forest communities with a similar number of species and, when estimated, usually comparable values of abundance. The taxonomic composition of the communities, however, differ greatly across Europe.

Scandinavia. In the boreal forests of Scandinavia, centipede communities usually comprise only a few species of *Lithobius* in the regularly epigeic guild and a few species of *Geophilus* in the strictly endogeic guild. Among the *Lithobius* species, the most frequent are *L. curtipes* (ca. 1 cm long, almost exclusive of forest habitats), *L. erythrocephalus* (similar in size but paler and inhabiting also non-forest habitats) and *L. tenebrosus* (ca. 1.5 cm long, yellowish brown, frequently found also inside tree stumps and logs). Among the *Geophilus* species, the most frequent include *G. flavus* (ca. 4 cm long, pale but distinctly darker on the anterior tip of the body) and *G. proximus* (similar in size but uniformly pale, parthenogenetic in the most northern areas).

North-western Europe. In the woodlands of the British Isles and the Atlantic parts of northern France, other *Lithobius* species are frequent among the regularly epigeic centipedes, especially *L. crassipes* (ca. 1 cm, frequently found also in open habitats) and *L. variegatus* (larger, surpassing 2 cm, relatively pale with distinctly darker patches and banded legs). Among the endogeic species, the most widespread include *Geophilus alpinus* (very pale and slender, ca. 4 cm long, inhabiting deeper levels in the soil), *G. easoni* (brown and less slender, ca. 5 cm long, frequent also close to the surface) and *G. truncorum* (pale and distinctly smaller, less than 2 cm, frequently dwelling under rotting wood on the ground), but also the himantariid *Haplophilus subterraneus* (up to 7 cm, broad especially posteriorly and stout at both the anterior and posterior tips). Common inhabitants of the leaf litter are also a couple of species of *Strigamia*, including the strictly forest-dwelling *S. acuminata* (ca. 2 cm, reddish, distinctly tapering anteriorly). Widespread in the forest soils are also a few species of *Cryptops*, including *C. parisi*. These scolopendromorphs are uniformly yellowish, with posterior legs elongate and modified as grasping appendages. They are mainly endogeic, but they also frequently move on the surface, where they run fast.

Central European lowlands and uplands. Multiple species of *Lithobius* usually coexist in the forest soils through the French-German-Polish lowlands and the German Central Uplands. To the best of our knowledge, up to 9 species of *Lithobius* have been found together in the same forest plot (Fründ, 1987). Besides the species occurring also in the northern regions (see above), other widespread and abundant species of similar size (less than 1.5 cm long) are *L. agilis* (especially in the leaf litter), *L. calcaratus* (darker, occurring also in open habitats), *L. macilentus* (almost exclusive of woodlands) and *L. mutabilis* (especially in the upper soil layers). Frequent species are also the larger *L. piceus* (up to 2 cm long, regularly active also on tree trunks) and *L. forficatus* (up to 3 cm, euryecious), and the smaller *L. microps* (usually less than 1 cm, with swollen posterior legs).

Among the endogeic centipedes, the most widespread and abundant species include *Geophilus electricus* (4-5 cm, very slender) and *Schendyla nemorensis* (ca. 2 cm, slender but with the most posterior legs swollen), together with species occurring also in northern regions like *Geophilus alpinus*, *G. flavus* and *Cryptops* species (see above).

Central European mountains. The centipede communities inhabiting the forest soils of major mountain regions across continental Europe (from the Alps, through the Bohemian mountains, to the Carpathians) are partially similar to those in the adjacent northern regions. However, they are enriched by additional species representative of diverse evolutionary lineages. In particular, widespread species are also *Lithobius burzenlandicus* s.l. (less than 1 cm long, paler) and, among the regularly epigeic centipedes, *L. castaneus* (up to 2.5 cm, darker). Up to 9 species of lithobiids are reported coexisting in some forest soil communities, e.g. in the Bohemian mountains (Tuf, 2015).

Among the endogeic centipedes, up to 6 species or even more have been found together, in some sites in the Bohemian mountains and the Carpathians (Székelyhidy & Loksa, 1979; Wytwer & Tajovský, 2009; Tuf, 2015). The most frequent and widespread are species of *Cryptops*, *Geophilus* and *Strigamia* (see above), but also *Schendyla carniolensis* (very similar to the more northern *S. nemorensis*; see above).

Western mountains. The most frequent centipede species in the forest communities of the Massif Central, Pyrenees and Cantabrian mountains are exclusively or mainly present in these western regions, both among the epigeic and the endogeic guilds. They include *Lithobius pilicornis* (2-3 cm, frequent also in open montane habitats) and *L. tricuspis* (1-1.5 cm; strictly in forests), some pale and slender species of *Geophilus* like *G. pyrenaicus* (up to 3 cm) and *G. ribauti* (less than 2 cm), and the geophilid *Eurygeophilus pinguis* (ca. 2 cm long, unusually broad and stout at both the anterior and posterior ends).

Southern Prealps and Dinarides. Across the southern part of the Alpine chain and the Dinarides, other more thermophilous species of centipedes replace those common in the montane forest communities or add to them. Up to 14 regularly epigeic species have been found in syntopy, in some beechwoods of the northern Dinarides (Kos, 1996; Grgič & Kos, 2003). The most frequent include species of *Lithobius* such as *L. aeruginosus* and *L. lapidicola* (both up to 1 cm long, pale), but also a couple of species of *Eupolybothrus*, namely *E. grossipes* (larger, 4-5 cm long, more thermophilous) and *E. tridentinus* (smaller, ca. 2 cm, restricted to fresher sites). Among the centipedes that are prevalently endogeic, up to 16 species have been found in syntopy, in some beechwoods of the northern Dinarides (Kos, 1996; Grgič & Kos, 2003). The most frequent include the mecistocephalid *Dicellophilus carniolensis* (5-6 cm, orange with darker anterior tip, mainly dwelling in the leaf litter) and a number of geophilids like *Clinopodes carinthiacus* (2-3 cm, quite slender), *Pleurogeophilus mediterraneus* (3-4 cm, with the most posterior legs remarkably elongate), some species of *Stenotaenia* (mainly 2-3 cm, very pale, inhabiting deeper soil layers) and species of *Strigamia* like *S. transsilvanica* (similar to and frequently coexisting with *S. acuminata*; see above).

Italian Peninsula. In forest soils along the Apennines and other areas of the Italian peninsula, up to 11 regularly epigeic species have been recorded as syntopic (e.g., Zapparoli & Peroni, 2011), representative of both *Lithobius* and *Eupolybothrus*. Among the most frequent species are *L. castaneus* (strictly in woodlands; see above), *L. tylopus* (ca. 1-1.5 cm long, also in open habitats) and *E. fasciatus* (ca. 3 cm long; mainly in woodlands).

Among the prevalently endogeic centipedes, up to 14 species have been recorded as syntopic (Zapparoli & Peroni, 2011). The most widespread and usually abundant are *Clinopodes flavidus* (similar to *C. carinthiacus* mentioned above, but larger, ca. 5 cm long), *Henia vesuviana* (4-5 cm, darker on the dorsal side, distinctly swollen, with very short legs), *Stenotaenia sorrentina* (ca. 2 cm, very pale) and *Stigmatogaster gracilis* (5-6 cm; very elongate and narrow, stout at both the anterior and posterior tips, with very short legs).

Southern Balkan peninsula. In the woodlands south of the Carpathians, through Balkans, Rhodopes and the Greek mountains, centipede communities include a large proportion of species exclusive to the region. The regularly epigeic ones include species of *Eupolybothrus* like *E. transsylvanicus* (ca. 4-5 cm long, dark reddish), species of *Lithobius* like *L. nigripalpis*, *L. viriatus* (both similar to *L. piceus*; see above) and *L. peregrinus* (ca. 2 cm long), but also species of *Harpolithobius* (ca. 1-1.5 cm long, with anterior legs remarkably large) and *Pleurolithobius patriarchalis* (with unusual sexual dimorphism at the posterior tip of the body; not only in woodlands, but also in open habitats).

The endogeic guild includes multiple species, with variously narrow ranges, above all representatives of *Cryptops*, *Clinopodes, Henia*, *Schendyla* and *Stenotaenia* . Among the most commonly found are *Cryptops anomalans* (ca. 4 cm, larger but very similar to other European congeners; see above), *Clinopodes flavidus* (see above) and *Henia illyrica* (paler but similar to the above mentioned *H. vesuviana*).

Mediterranean part of the Iberia. In the relatively poor centipede communities of the submediterranean woodlands of the Iberian Peninsula, the epigeic guild is dominated by some species of *Lithobius*. Among the most frequent is *L. variegatus* (usually darker than the populations living in north-western Europe; see above). Some Mediterranean woodlands are also inhabited by the scolopendromorph *Theatops erythrocephalus* (ca. 4 cm, with the ultimate legs modified as strong pincers) and *Scolopendra cingulata* (remarkably larger, reaching 10 cm in length), which are however more frequent in the surrounding open habitats.

The endogeic centipedes of the forest soils include *Geophilus carpophagus* (similar to *G. easoni*, see above, but generally larger and greyish) and *Dignathodon microcephalus* (ca. 2 cm long, distinctly narrower anteriorly).

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to many colleagues for providing information and to Emiliano Peretti for helping in assembling published data.

RIASSUNTO

I Chilopodi sono predatori ampiamente rappresentati nelle biocenosi del suolo delle foreste temperate, tuttavia le caratteristiche ecologiche di base delle loro cenosi sono ancora poco note. In questo lavoro sono sintetizzate le informazioni più attendibili disponibili in letteratura relativamente ai valori di abbondanza, numero di specie e composizione tassonomica delle comunità di Chilopodi delle foreste europee. Tali informazioni sono relative a oltre cento siti ma le indagini finora svolte hanno riguardato soprattutto l'Europa settentrionale e centrale, mentre sono particolarmente scarse nelle penisole meridionali. Mediamente, le maggiori densità di individui sono state riscontrate nelle Alpi, nei rilievi della Boemia e nelle Alpi Dinariche (di solito alcune centinaia di ind./m^2, eccezionalmente >850 ind./m^2), valori più bassi sono stati invece osservati in Scandinavia e in Europa nord-orientale (di solito poche decine di ind./m^2). Le cenosi più ricche di specie sono state segnalate in faggete delle Alpi Dinariche settentrionali (generalmente con 15-24 specie, fino a 28), valori sempre più bassi sono stati invece rilevati verso nord e verso nord-est (al massimo 17 specie nei Carpazi settentrionali, e 13 specie nel bassopiano germanico-polacco); bassi, benché variabili, sono anche i valori di ricchezza osservati nelle penisole meridionali (al massimo 22 specie negli Appennini, e 19 specie nei Balcani). Le comunità di Chilopodi delle foreste europee sono generalmente costituite da due *guild* eco-morfologiche: quella delle specie regolarmente epigee (principalmente rappresentata da Lithobiidae, soprattutto *Lithobius* ed *Eupolybothrus*) e quella delle specie più strettamente endogee (diversi Geofilomorfi, principalmente Geophilinae, ma anche Scolopedromorfi del genere *Cryptops*). Per quanto riguarda la composizione in specie delle comunità di Chilopodi, le maggiori differenze sono state riscontrate tra l'Europa centro-settentrionale, le regioni europee più occidentali e, soprattutto, i settori a sud delle Alpi e dei Carpazi.

REFERENCES

ALBERT A.M., 1977 – *Biomasse von Chilopoden in einem Buchenaltbestand des Solling*. - Verhandl. Ges. Ökol., 1976: 93-101.

ALBERT A.M., 1978 – *Bodenfallenfänge von Chilopoden in Wuppertaler Wäldern (MB 4708/09)*. - Jahr. Naturwiss. Ver. Wuppertal, 31: 41-45.

ALBERT A.M., 1979 – *Chilopoda as part of the predatory macroarthropod fauna in forests: abundance, life-cycle, biomass and metabolism*. In: Myriapod Biology, Camatini M. Ed., Academic Press, London, pp. 215-231.

BACHVAROVA D., DOYCHINOV A., DELTCHEV CH., STOEV P., 2015 – *Habitat distribution of myriapods (Chilopoda, Diplopoda) in the town of Shumen and the Shumen Plateau (NE Bulgaria)*. - Arthr. Selecta, 24: 169-184.

BAINI F., PITZALIS M., TAITI S., VIGNA TAGLIANTI A., ZAPPAROLI M., BOLOGNA M.A., 2012 – *Effects of reforestation with* Quercus *species on selected arthropod assemblages (Isopoda Oniscidea, Chilopoda, Coleoptera Carabidae) in a Mediterranean area*. - Forest Ecol. Manag., 286: 183-191.

BAINI F., ZAPPAROLI M., 2015 – *Centipede assemblages in semi-natural and reforested sites: comparing data from a Mediterranean area (Myriapoda: Chilopoda)*. - Vie Milieu, 65: 157-168.

BLACKBURN J., FARROW M., ARTHUR W., 2002 – *Factors influencing the distribution, abundance and diversity of geophilomorph and lithobiomorph centipedes*. - J. Zool., 256: 221-232.

BLANDIN P., CHRISTOPHE T., GARAY I., GEOFFROY J.-J., 1980 – *Les arachnides et myriapodes prédateurs en forêt tempérée*. In: Actualités d'écologie forestière: sol, flore, faune, Pesson P., Ed., Gauthier-Villars, pp. 477-506.

Blandin P., Flogaitis E., Arbeille J., Geoffroy J-.J., 1985 – *Les variations interannuelles des macroarthropodes édaphiques dans une forêt temperée*. - Bull. Ecol., 16: 273-283.

Bonato L., Drago L., Murienne J., 2014 – *Phylogeny of Geophilomorpha (Chilopoda) inferred from new morphological and molecular evidence*. - Cladistics, 30: 485-507.

David J.F., Ponge J.F., Arpin P., Vannier G., 1991 – *Reaction of the macrofauna of a forest mull to experimental perturbations of litter supply*. - Oikos, 61: 316-326.

Dunger W., Voigtländer K., 2009 – *Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil eco-subsystem development in post-mining sites of eastern Germany - a review*. - Soil Org., 81: 1-51.

Fründ H.-C., 1987 – *Räumliche Verteilung und Koexistenz der Chilopoden in einem Buchen-Altbestand*. - Pedobiology, 30: 19-29.

Geoffroy J.J., Christophe T., Molfetas S., Blandin P., 1981 – *Étude d'un écosystème forestier mixte. III. Traits généraux du peuplement de macroarthropodes édaphiques*. - Rev. Ecol. Biol. Sol, 18: 39-58.

Grgič T., Kos I., 2003 – *Centipede diversity in patches of different development phases in an unevenly-aged beech forest stand in Slovenia*. - Afr. Invert., 44: 237-252.

Grgič T., Kos I., 2005 – *Centipede diversity in differently structured forests in Slovenia.* - Peckiana, 4: 49-56.

Huhta V., Koskenniemi A., 1975 – *Numbers, biomass and community respiration of soil invertebrates in spruce forests at two latitudes in Finland*. - Ann. Zool. Fenn., 12: 164-182.

Iorio E., 2014 – *Catalogue biogéographique et taxonomique des chilopodes (Chilopoda) de France métropolitaine*. - Mèm. Soc. Linn. Bordeaux, 15: 372 pp.

Jabin M., Mohr D., Kappes H.,Topp W., 2004 – *Influence of deadwood on density of soil macro-arthropods in a managed oak–beech forest*. - Forest Ecol. Manag., 194: 61-69.

Jabin M., Topp W., Kulfan J., Zach P., 2007 – *The distribution pattern of centipedes in four primeval forests of central Slovakia*. - Biodiv. Cons., 16: 3434-3445.

Korsós Z., Dányi L., 2002 – *Millipedes (Diplopoda) and centipedes (Chilopoda) of the Fertõ-Hanság National Park, Hungary*. In: The fauna of the Fertõ-Hanság National Park, Mahunka S., Ed. Hungarian Natural History Museum, Budapest, pp. 183-190.

Kos I., 1996 – *Centipedes (Chilopoda) of some forest communities in Slovenia*. In: Acta Myriapodologica, Geoffroy J.-J., Mauriès J.-P., Nguyen Duy-Jacquemin M., Eds, Mém. Mus. nat. Hist. nat., Paris, 169: 635-646.

Kula E., Lazorík M., 2016 – *Centipedes, millipedes, terrestrial isopods and their relationships to physical and chemical properties of forest soils*. - Entom. Fenn., 27: 33-51.

Leśniewska M., 2000 – *Centipedes (Chilopoda) communities of three beech forests in Poland*. - Fragm. Faun., 43 Suppl.: 343-349.

Leśniewska M., Koralewska-Batura E., Błoszyk J., 2005 – *Centipede communities in oak-hornbeam forests of different ages and exploitation in Wielkopolska (Poland)*. - Peckiana, 4: 67-77.

Leśniewska M., Leśniewski P., Szybiak K., 2008 – *Effect of urbanization on centipede (Chilopoda) diversity in the Wielkopolska-Kujawy Lowlands of western Poland*. - Biologia, 63: 711-719.

Lock K., De Bakker D., De Vos B., 2001 – *Centipede communities in the forests of Flanders.* – Pedobiology, 45: 27-35.

Minelli A., 1982 – *I chilopodi nell'ambiente dei boschi planiziali padano-veneti*. In: Quaderni sulla struttura delle zoocenosi terrestri. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 4: 125-135.

Paoletti M.G., 1988 – *Soil invertebrates in cultivated and uncultivated soils in Northeastern Italy.* - Redia, 71: 501-563.

Petersen H., Luxton M., 1982 – *A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes*. - Oikos, 39: 287-388.

Pižl V., Tajovský K., 1998 – *Impact of summer flood on soil macrofauna on floodplain forest in Litovelské Pomoravi*. In: Krajina, voda, povodeň. Správa CHKO ČR, Prague, pp. 47-54.

Poser T., 1988 – *Chilopoden als Prädatoren in einem Laubwald*. - Pedobiology, 31: 261-281.

Poser T., 1990 – *The influence of litter manipulation on the centipedes of a beech wood*. In: Proceedings of the 7th International Congress of Myriapodology, Minelli A., Ed., Brill, Leiden, pp. 235-245.

Rendoš M., Mock A., Jászay T., 2012 – *Spatial and temporal dynamics of invertebrates dwelling karstic mesovoid shallow substratum of Sivec National Nature Reserve (Slovakia), with emphasis on Coleoptera*. - Biologia, 67: 1143-1151.

Salmon S., Mantel J., Frizzera L., Zanella A., 2006 – *Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate*. - Forest Ecol. Manag., 237: 47-56.

Scheu S., Albers D., Alphei J., Buryn R., Klages U., Migge S., Platner C., Salamon J.-A., 2003 – *The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces*. - Oikos, 101: 225-238.

Scheu S., Poser G., 1996 – *The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone. Indication for stemflow induced changes in community structure*. - Applied Soil Ecol., 3: 115-125.

Stašiov S., Svitok M., 2014 – *The influence of stand density on the structure of centipede (Chilopoda) and millipede (Diplopoda) communities in the submountain beech forest.* - Folia Oecol., 41: 195-201.

Székelyhidy E.H., Loksa I., 1979 – *Oniscoiden-, Diplopoden- und Chilopoden-Gemeinschaften im Untersuchungsgebiet "Sikfokut-Projekt" (Ungarn)*. - Opusc. Zool., 16 (1976): 151-174.

Tuf I.H., 2000 – *Communities of centipedes in three floodplain forests of various age in Litovelske Pomoravi (Czech Republic)*. - Fragm. Faun., 43 Suppl.: 327-332.

Tuf I.H., 2003 – *Four-year development of a centipede (Chilopoda) community after a summer flood*. - Afr. Invert., 44: 265-276.

Tuf I.H., 2015 – *Different collecting methods reveal different ecological groups of centipedes (Chilopoda)*. - Zoologia, 32: 345-350.

Tuf I.H., Kopecký O., Mikula J., 2017 – *Can montane and cave centipedes inhabit soil?* - Turk. J. Zool., 41: 375-378.

Tuf I.H., Tufová J., Jeřábková E., Dedek P., 2006 – *Diurnal epigeic activity of myriapods (Chilopoda, Diplopoda)*. - Norw. J. Entom., 53: 335-344.

Voigtländer K., 1995 – *Diplopoden und Chilopoden in immissionsgeschädigten Kiefernforsten im Raum Bitterfeld*. - Hercynia, 29: 269-289.

Voigtländer K., 2011 – *Chilopoda - Ecology*. In: Treatise on Zoology - Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda Volume 1, Minelli A., Ed., Brill,Leiden, pp. 309-325.

VOIGTLÄNDER K., DECKER P., 2014 – *Diplopoda and Chilopoda from a special protection area in the Huy mountain range in Saxony-Anhalt, Germany*. - Fragm. Faun., 57: 27-40.

WYTWER J., 1990 – *Chilopoda of linden-oak-hornbeam (Tilio-Carpinetum) and thermophilous oak forests (Potentillo albae-Quercetum) of the Mazovian Lowland* - Fragm. Faun., 34: 73-94.

WYTWER J., 2000 – *Centipede (Chilopoda) communities of some forest habitats of Puszcza Bialowieska in Poland*. - Fragm. Faun., 43 Suppl.: 333-342.

WYTWER J., TAJOVSKÝ K., 2009 – *Changes in centipede assemblages along the vertical and vegetation gradient in the Bieszczady Mts, Poland*. In: Contributions to Soil Zoology in Central Europe III, Tajovský K., Schlaghamerský J. and Pižl V., Eds. Institute of Soil Biology, České Budějovice, pp. 173-179.

ZAPPAROLI M., PERONI M., 2011 – *Centipede assemblages (Chilopoda) in forest habitat of the Anti-Apennines (Central Italy): species composition and quantitative structure*. - Biogeographia, 28 (2007): 327-341.

ZENKOVA I.V., 2016 – *Myriapods (Myriapoda) occurring on plains and in mountain ecosystems on the Kola Peninsula (Russia)*. - Acta Soc. Zool. Bohem., 80: 87-99.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 121-126

L'IMPORTANZA DEI PROTURI NELL'AMBITO DELLE BIOCENOSI DEL SUOLO: STATO DELLE CONOSCENZE

LORIS GALLI (*) - MATTEO ZINNI (*)

(*) *Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Corso Europa 26, I-16132 Genova;* autore corrispondente*:* Loris Galli - loris.galli@dipteris.unige.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

The importance of Protura in the soil biocenosis: state of knowledge

The current knowledge on Protura are too scarce, fragmentary and heterogeneously distributed throughout the World to get a reliable detailed biogeographical and ecological panorama. In the present paper an overview about some aspects of Protura ecology based on literature and on original data of the authors is outlined. In particular, information about phenology, feeding ecology, ecological distribution and habitat selection is provided.

KEY WORDS: Habitat, trophic network, Protura, Italy, phenology.

INTRODUZIONE

I Proturi sono un gruppo di Esapodi Entognati rappresentati a livello mondiale da circa 800 specie note (748 nel Catalogo di SZEPTYCKI, 2007) per il quale le conoscenze sono in generale piuttosto scarse e frammentarie. In particolare, l'ecologia di questi artropodi è stata oggetto di un numero limitato di studi specifici e poche altre informazioni sono desumibili da lavori di faunistica o, comunque, non prettamente ecologici. Nel presente contributo verrà quindi delineato un quadro di sintesi relativo allo stato delle conoscenze in proposito, in parte integrato con dati originali degli autori, alcuni dei quali inediti.

FATTORI LIMITANTI

Dal punto di vista morfologico i Proturi risultano animali squisitamente euedafici: depigmentati, anoftalmi, privi di antenne, dotati di organi di senso specializzati (v ad es. HÄDICKE *et al*., 2015). IMADATÉ (1974) evidenzia come essi non abbiano appendici idonee allo scavo e vivano solo in un sottile strato superficiale. Per esempio ad Hokkaido il 90% dei proturi sono stati raccolti nei primi 8 cm di suolo; a profondità superiori ai 12 cm (fino a 38 cm) è stato rinvenuto solo *Hinomotentomon nipponicum*. In proposito più autori hanno ipotizzato, anche per analogia con quanto noto per altri gruppi appartenenti alla pedofauna, l'esistenza di migrazioni verticali legate ai cambiamenti stagionali di umidità e temperatura, valida spiegazione della fenologia del taxon nel suo complesso caratterizzata da minimi nei periodi siccitosi e/o di basse temperature (e.g. BOGDANOVIC & BLESIC, 2006, 2011). Ad esempio GALLI *et al.* (2012) nell'ambito di uno studio annuale nella sughereta di Bergeggi (SV, Liguria) hanno evidenziato un trend caratterizzato da un picco di abbondanza minima in agosto-settembre e uno di massima in marzo-aprile, dal quale è stato possibile ricavare una relazione lineare negativa tra logaritmo del numero di Proturi e temperatura media. Tuttavia BALKENHOL (1994) con uno studio mirato in proposito ha potuto evidenziare migrazioni verticali scarse e non statisticamente significative. La dipendenza della numerosità dei popolamenti da temperatura e disponibilità d'acqua, pertanto, potrebbe essere legata a fenomeni di criptobiosi o estivazione/ibernazione.

Per quel che riguarda, invece, l'influenza sui proturi delle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, ben poco è noto. RAW (1956), per esempio, ha evidenziato la correlazione tra l'abbondanza di alcune specie e il calcio scambiabile e/o il pH. SALMON *et al*. (2006, 2008), invece, hanno analizzato la densità dei gruppi di artropodi nei suoli di foreste a diversi stadi di maturazione: è emersa una correlazione (anche per i Proturi) con il tipo di humus (con preferenza per mull e amphimull) e, conseguentemente, il pH. In uno studio inedito da noi condotto sulla pedofauna di tre massicci montuosi

– Pubblicato aprile 2018

dell'entroterra genovese caratterizzati da una differente roccia madre (M. Antola – Calcari, M. Penna – flysch, M. Zatta – silt e arenarie) sono stati selezionati per ogni monte un castagneto e una faggeta ceduati e pressochè coetanei, con la stessa pendenza, esposizione e all'incirca alla stessa quota (tra 900 e 970 m i castagneti, tra 1170 e 1280 le faggete). È emersa una relazione lineare negativa (Log-Log trasformata) tra densità proturi/m² e pH ($a = -10.4$, $b = 10.7$, $r^2 = 0.7328$, p(uncorr) = 0.03).

Habitat

Ben poco si sa sulla selezione degli habitat da parte dei Proturi. Per esempio nell'ambito della nostra ricerca sopracitata è emersa una maggiore abbondanza di questi artropodi nelle faggete rispetto ai castagneti ($\chi^2 = 63.504$, 3 d.f., $p << 0.01$), legata ai valori di pH più elevati di questi ultimi a parità di roccia madre.

In generale le esigenze ambientali delle singole specie sono poco note, anche se è opinione comune che non vi sia uno stretto legame specie-habitat. Si sa che ci sono specie più generaliste (che normalmente sono anche quelle a più ampia diffusione geografica) ed altre più selettive, ma, salvo il caso (specioso) di specie note solo per la località tipo e mai più rinvenute, non sono note specie legate ad un singolo habitat. Ad esempio, solo in Italia *Eosentomon transitorium* (ined.) ed *Acerentomon italicum* (Galli *et al*., 2015) sono stati raccolti, rispettivamente, in 23 e 16 habitat differenti tra i 0 e i 2000 m s.l.m.[1]

D'altro canto, alcuni habitat (abetine, lecceta, querceti) risultano preferiti dai Proturi rispetto ad altri (pineta, ambienti prativi). Per esempio in ambiente di lecceta in Italia sono state raccolte 22 specie (ined.), ovvero oltre il 50% delle specie note per il nostro territorio (Galli *et al*., 2011).

La ricchezza sito-specifica mediamente si attesta intorno alle 5-6 specie, con un massimo noto di 23 per un bosco di roverelle su calcari marnosi a 390 m s.l.m a Leopoldsberg nel Wienerwald (Christian & Szeptycki, 2004)[2].

In molti lavori di faunistica sono citate specie di Proturi rilevate in zone verdi urbane: ad es. nei parchi cittadini italiani sono state raccolte 5 specie, tutte relativamente comuni o, comunque, ad ampia distribuzione. In proposito, per la fauna del Giappone (Nakamura, 2014), ampiamente studiata con metodi di raccolta standardizzati, ci sarebbero due "stock" principali di Proturi: quello meridionale e quello settentrionale. Le specie dello stock meridionale sarebbero ecologicamente più tolleranti, essendo in grado di sopportare disturbi ambientali quali quelli legati all'inurbamento.

Posizione nelle reti trofiche

Sturm (1959) fu il primo a descrivere per *Acerentomon* sp. e *Eosentomon transitorium* un'alimentazione a base di ife delle ectomicorrize (EM) legate al faggio (*Fagus sylvatica*). Da allora le evidenze in tal senso si sono fatte sempre più frequenti. Ad esempio Stumpp (1990) ha descritto, per le foreste di abete rosso (*Picea abies*) della Germania, dinamiche di popolazione dei Proturi correlate all'abbondanza di ectomicorrize (EM). Ad analoghi risultati è pervenuta Minor (2008) nel suo studio condotto nelle foreste neozelandesi. Sterzyńska *et al.* (2012) hanno registrato nelle foreste delle piane alluvionali in Ukraina come diversità e abbondanza dei Proturi aumentassero passando dai primi stadi successionali, dove inondazioni regolari promuovono le micorrize arbuscolari, a quelli più maturi, dove sono più comuni le EM. Malmström & Tryggve (2011), inoltre, a un anno di distanza da esperimenti di taglio circolare superficiale degli alberi (*tree-girdling*) in foreste di *Picea abies* e *Pinus sylvestris* nel nord della Svezia (procedura che blocca il flusso di carboidrati alle radici e ai funghi associati e quindi inibisce la crescita e la sopravvivenza a lungo termine delle EM) hanno osservato una diminuzione significativa dell'abbondanza di proturi. D'alta parte, Machida & Takahashi (2004) hanno osservato, in condizioni di allevamento, individui di *Baculentulus densus* cibarsi di ife "sparse" nella lettiera di coltura e anche in base ad altre osservazioni (v. ad es. Balkenhol, 1994) la dieta dei Proturi sembrerebbe legata alle ife fungine in genere e non in modo così specifico alle micorrize ectotrofiche.

Trattasi quindi in ogni caso di organismi consumatori primari alla base delle reti trofiche dei suoli, potenziale preda di piccoli Aracnidi e Miriapodi predatori. A tal proposito, Hansen *et al.* (2010) hanno messo in luce come *Acerentulus confinis* (specie ad ampia diffusione) in risposta al contatto con altri artropodi rilascia un filamento appiccicoso secreto dalle grosse ghiandole (comuni a tutte le specie) che sboccano nell'ottavo urotergite: si tratta presumibilmente di una strategia difensiva atta ad immobilizzare le appendici dei predatori.

---

[1] La quota più elevata di raccolta mi risulta essere *Eosentom validum* sul Rwenzori a ca. 4000 m in Uganda (L. Galli).

[2] Il record per l'Italia è di 11 specie sintopiche nella già citata Sughereta di Bergeggi.

Abbondanza in natura

I Proturi non sono in generale particolarmente comuni, ma sono abbastanza diffusi da risultare presenti in natura in una buona percentuale dei campioni di suolo, benché spesso con un numero d'individui piuttosto basso. Per esempio, elaborando un data-set inedito relativo a 32 siti della Liguria, su un totale 405 campioni di suolo da 1000/2000 cc i proturi sono risultati presenti in 163 campioni (40.2 %). Complessivamente sono stati estratti 1.550 individui su un totale di 114.216 Artropodi (1.4%). La loro densità media è risultata essere 337.8 ± 589.7 per mq (su una densità totale di 21762.5 ± 17702 artropodi/mq), con un massimo di 2790 proturi/mq nella lecceta del parco urbano genovese di Villa Duchessa di Galliera. Trattasi di valori medi compatibili con quelli noti in letteratura (cfr ad es. Salmon *et al*., 2008; Gagnarli *et al*., 2015; Menta *et al*., 2015), mentre per quel che concerne le densità massime, sono piuttosto frequenti numerosità superiori ai 5-10000 individui/mq (Axelsson *et al*., 1973; Huhta & Koskenniemi, 1975; Gunnarsson, 1980; Stumpp, 1990) con un picco di 91400 proturi/mq riportato per boschi norvegesi di Abete rosso in fase di ricrescita dopo forti tempeste primaverili (Krauss & Funke, 1999).

Per quel che concerne la loro distribuzione numerica, Raw (1956) nelle aree prative da lui esaminate ha evidenziato una significativa tendenza all'aggregazione. L'analisi del nostro data-set di 405 campioni liguri di suolo ci ha portati ad ottenere la distribuzione di frequenza riportata in Fig. 1.

Abbiamo applicato ai risultati in termini di frequenze di proturi nei singoli campioni il *J* index (Ives, 1988, 1991)

$$J = \{[\sum ni(ni - 1)]1/Nm\} - 1$$

Con *ni* nr individui campione *i*, *m* media degli *ni*, *N* nr totale individui.

In pratica, quando $J < 0$, la distribuzione è uniforme; se $J = 0$, la distribuzione è casuale; con $J > 0$ la distribuzione è aggregata. Il nostro risultato è stato di $J = 7.64$, con una differenza statisticamente significativa ($\chi^2 = 2816$, 10 d.f., $p << 0.01$) rispetto a una distribuzione di Poisson avente la stessa media *m* (4.64 proturi/campione). Anche nel nostro caso, pertanto, su differenti habitat la distribuzione dei Proturi è risultata aggregata.

Fenologia e sex ratio

Su 4550 proturi italiani determinati a livello specifico abbiamo condotto un'analisi di fenologia e sex ratio delle specie più abbondanti. In Tab. 1 è analizzato il rapporto numerico maschi/femmine. Emergono valori significativamente differenti dall'unità (in tutti i casi inferiori) per tutte le specie dominanti e subdominanti di Acerentomata eccetto quattro (*Acerentulus gisini*, *A. traegardhi*, *Acerentomon affine* e *A. balcanicum*)[3]; invece, la sex ratio otte-

[3] *Proturentomon minimum* sembrerebbe essere una specie partenogenetica: l'unico maschio noto in letteratura è quello raccolto sul Maglić Plateau a 1890 m di quota (Bosnia Erzegovina) il 24 maggio 1968 (Nosek, 1973) e, secondo Szeptycki (2007), tutti i vecchi dati su questa specie necessitano conferma.

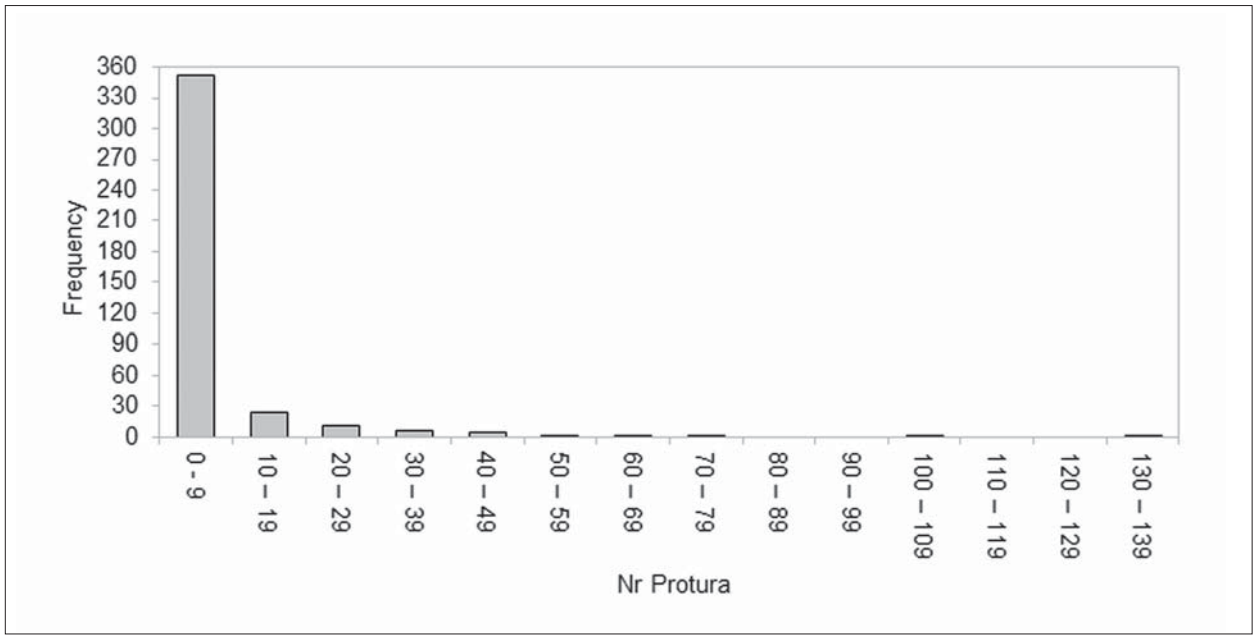

Fig. 1 – Distribuzione di frequenza dei Proturi in 405 campioni estratti dai suoli di 32 siti liguri con diversi tipi di habitat.

Tab. 1 – Sex ratio calcolate per le specie dominanti e subdominanti in Italia. ♂♂ = n° maschi, ♀♀ = n° femmine, Sex ratio ♂♂/♀♀, χ^2 e relativi p values per le differenze di Sex ratio da 1.

Specie	♂♂	♀♀	Sex ratio	χ^2 (1 d.f)	p
Proturentomon minimum	0	20	0	20	<<0,01
Acerentulus apuliacus	4	20	0,20	10,667	<0,01
Acerentulus confinis	147	229	0,64	17,883	<<0,01
Acerentulus exiguus	9	13	0,69		
Acerentulus gisini	4	10	0,40		
Acerentulus shrubovychae	5	17	0,29	6,5455	<0,05
Acerentulus traegardhi	15	14	1,07		
Acerentomon affine	63	75	0,84		
Acerentomon balcanicum	25	31	0,81		
Acerentomon doderoi	84	112	0,75	4	<0,05
Acerentomon gallicum	64	135	0,47	25,332	<<0,01
Acerentomon italicum	527	686	0,77	20,866	<<0,01
Acerentomon maius	371	469	0,79	11,433	<<0,01
Acerentomon meridionale	67	122	0,55	16,005	<<0,01
Acerentomon microrhinus	119	186	0,64	14,718	<<0,01
Acerella muscorum	5	28	0,18	16,03	<<0,01
Acerella tiarnea	59	155	0,38	43,065	<<0,01
Eosentomon delicatum	39	29	1,34		
Eosentomon noseki	50	49	1,02		
Eosentomon transitorium	204	192	1,06		

nuta per le specie di Eosentomata non differisce significativamente da 1. GUNNARSSON (1980), tuttavia, nei querceti del Sud della Svezia ha registrato per *Eosentomon germanicum* una numerosità delle femmine pari a circa il doppio rispetto a quella dei maschi.

Per quel che concerne la fenologia, sfortunatamente il numero di esemplari in stadi giovanili (da pre-larva a pre-imago) è piuttosto basso ed è stato possibile delineare una fenologia esclusivamente per cinque specie dominanti (Fig. 2). Va osservato che la distribuzione delle raccolte nel corso dell'anno è pressochè uniforme (Fig. 2A), con un valore significativamente più basso della media solo in dicembre ($\chi^2 = 34.5$, 11 d.f., $p < 0.01$): pertanto, a parte eventuali picchi minimi in detto mese, le fluttuazioni numeriche mensili degli individui si possono considerare corrispondenti a reali dinamiche di popolazione in natura.

Acerentomon gallicum e *A. maius* presentano un andamento di popolazione con due picchi sia di adulti che di "giovani" durante la primavera-estate e la metà dell'autunno. In Germania, BALKENHOL (1994) per *A. gallicum* ha registrato tre picchi di popolazione (marzo, luglio e novembre), gli ultimi due dei quali coincidenti con i nostri, con massimi di giovani in marzo-aprile e novembre. Il trend di *A. italicum*, con "giovani" rinvenibili tutti i mesi in Liguria e Toscana, ma solo durante la primavera-estate nelle restanti regioni del Nord Italia è stato già descritto in GALLI *et al.* (2015). In *A. microrhinus* è individuabile un solo picco durante la tarda estate-inizio autunno. Infine, *Eosentomon transitorium* presenta due massimi di "giovani" in marzo e da giugno ad agosto (mentre gli adulti presentano un terzo picco in ottobre, quando non sono stati raccolti "giovani"). In generale, ben poco si sa sulla fenologia delle singole specie, soprattutto in relazione alla difficoltà di reperire ed identificare le prime forme giovanili (pre-larva, larva I e larva II): per un inquadramento approfondito sulle dinamiche di popolazione e relative fenologie di alcune specie di proturi, benché estranee al nostro contesto biogeografico, si rimanda a IMADATÉ (1974).

BIBLIOGRAFIA

AXELSSON B., LOHM U., LUNDKVIST H., PERSSON T., SKOGLUND J., WIRÉN A., 1973 – *Effects of nitrogen fertilization on the abundance of soil fauna populations in a Scots pine stand.* - Stockholm, Royal College of Forestry Research Notes, No. 14.

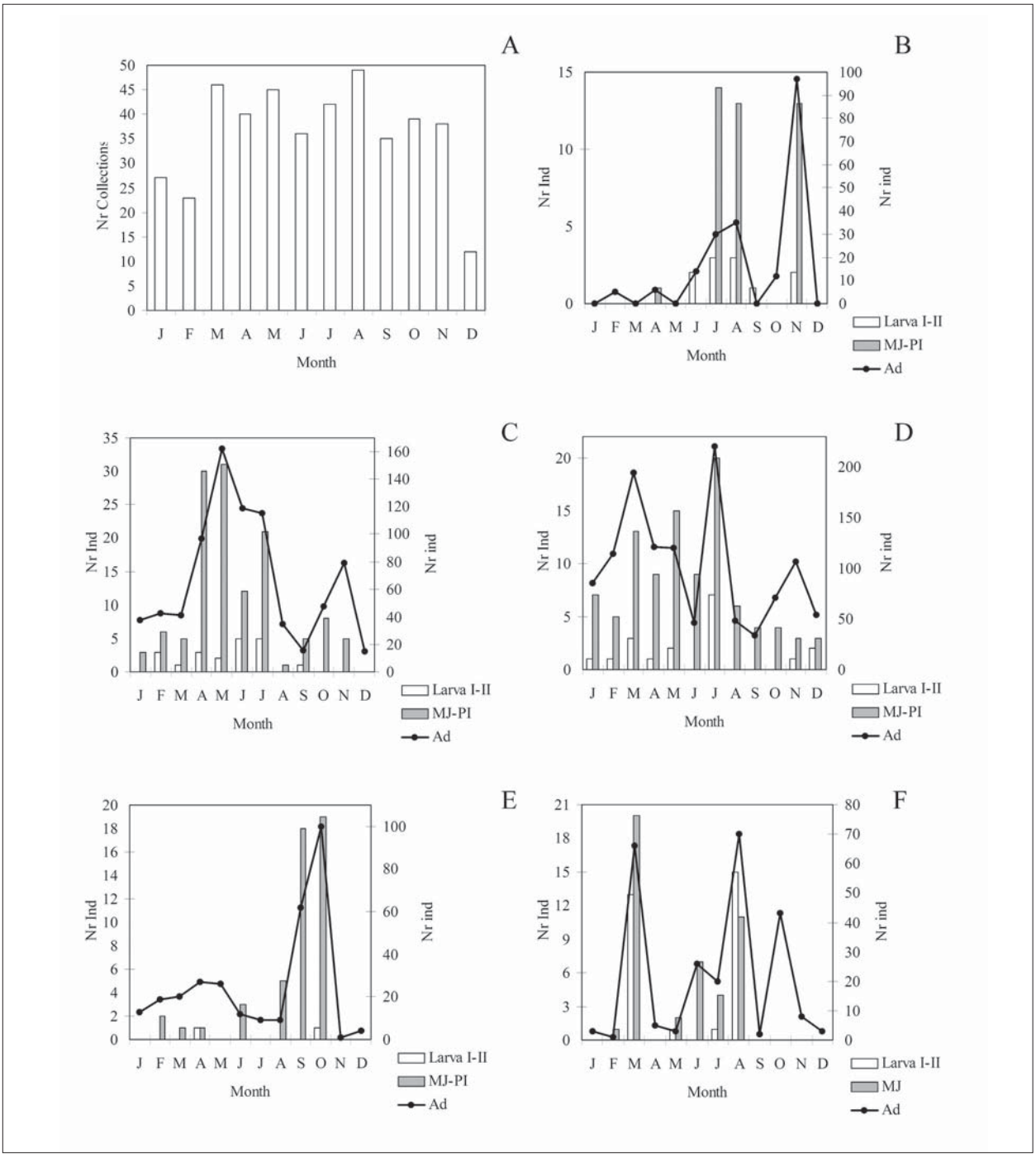

Fig. 2 – Fenologia di cinque specie dominanti di Proturi in Italia: A) distribuzione mensile delle raccolte, B) *Acerentomon gallicum*, C) *Acerentomon maius*, D) *Acerentomon italicum*, E) *Acerentomon microrhinus*, F) *Eosentomon transitorium*.

BALKENHOL B., 1994 – *Die Besiedlung verinselter Waldflachen (Feldgeholze) mit Araneen, Carabiden und Proturen*. Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor der Naturwissenschaften am Fachbereich Biologie/Chemie der Universitat Osnabruck, 199 + 15 pp.

BOGDANOVIĆ A.M., BLESIC B., 2006 – *Investigation of soil Apterygota (Insecta) in Memorial Park Šumarice (Kragujevac)*. - Kragujevac J. Sci., 28: 77-81.

BOGDANOVIĆ A.M., BLESIC B., 2011 – *Seasonal dynamics of Protura (Insecta) in an oak forest in Kragujevac (Serbia).* - Kragujevac J. Sci., 33: 77-82.

CHRISTIAN E., SZEPTYCKI A., 2004 – *Distribution of Protura along an urban gradient in Vienna*. – Pedobiologia, 48: 445-452.

GAGNARLI E., GOGGIOLI D., TARCHI F., GUIDI S., NANNELLI R., VIGNOZZI N., VALBOA G., LOTTERO M.R., CORINO L., SIMONI S., 2015 – *Case study of microarthropod communities to assess soil quality in different managed vineyards*. - SOIL, 1: 527–536.

GALLI L., BARTEL D., CAPURRO M., PASS G., SARÀ A., SHRUBOVYCH J., SZUCSICH N., 2015 – *Redescription and review of the most abundant conehead in Italy:*

Acerentomon italicum *Nosek, 1969 (Protura: Acerentomidae)*. - Ital. J. Zool., 83 (1): 43-58.

Galli L., Capurro M., Shrubovych J., Torti C., 2012 – *Phenology of Protura in a northwestern Italian forest soil (Hexapoda: Protura)*. - Acta Zool. Cracov., vol. 55 (1): 33-43.

Galli L., Capurro M., Torti C., 2011 – *Protura of Italy, with a key to species and their distribution*. - ZooKeys, 146: 19-67.

Gunnarsson B., 1980 – *Distribution, abundance and population structure of Protura in two woodland soils in southwestern Sweden*. - Pedobiologia, 20: 254–262.

Hädicke C.W., Blank S.M., Pohl H., Müller C.H.G., Sombke A., 2015 – *Sensing the world without antennae and eyes: external structure and distribution of sensilla in* Eosentomon pinetorum *Szeptycki, 1984 and on the protarsus of* Acerentomon franzi *Nosek, 1965 (Hexapoda: Protura)*. - Soil Organisms, 87 (1): 29-49.

Hansen J.A., Bernard E.C., Moulton J.K., 2010 – *A defensive behavior of* Acerentulus confinis *(Berlese) (Protura: Acerentomidae)*. - Proc. Entomol. Soc. Wash., 112 (1): 43-46.

Huhta V., Koskenniemi A., 1975 – *Numbers, biomass and community respiration of soil invertebrates in spruce forests at two latitudes in Finland*. - Ann. Zool. Fenn., 12: 164-182.

Imadaté G., 1974 – *Protura (Insecta). Fauna japonica*. - Keigaku Publishing Co., Tokyo, 351 pp.

Ives A.R., 1988 – *Covariance, coexistence and the population dynamics of two competitors using a patchy resource*. - J. Theor. Biol., 133: 345-361.

Ives A.R., 1991 – *Aggregation and coexistence in a carrion fly community*. - Ecological Monographs, 61: 75-94.

Krauss J., Funke W., 1999 – *Extraordinary high density of Protura in a windfall area of young spruce plants*. - Pedobiologia, 43: 44-46.

Machida R., Takahashi I., 2004 – *Rearing technique for proturans (Hexapoda: Protura)*. - Pedobiologia, 48: 227-229.

Malmström A., Tryggve P., 2011 – *Responses of Collembola and Protura to tree girdling – some support for ectomycorrhizal feeding*. - Soil Organisms, 83 (2): 279-285.

Menta C., Tagliapietra A., Caoduro G., Zanetti A., Pinto S., 2015 – *Ibs-Bf and Qbs-Ar Comparison: Two Quantitative Indices Based on Soil Fauna Community*. - EC Agri-culture, 2.5: 427-439.

Minor M.A., 2008 – *Protura in native and exotic forests in the North Island of New Zealand*. - New Zeal. J. Zool., 35: 271-279.

Nakamura O., 2014 – *Habitat preference of species of the family Eosentomidae (Hexapoda: Protura) in Kanto district, central Japan*. - Bull. Saitama Mus. Nat. Hist. [N.S.], 8: 15-18.

Nosek J., 1973 – *European Protura*. - Genève, Muséum d'Histoire Naturelle. 345 pp.

Raw F., 1956 – *The Abundance and Distribution of Protura in Grassland*. - J. Anim. Ecol., 25 (1): 15-21.

Salmon S., Artuso N., Frizzera L., Zampedri L., 2008 – *Relationships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation*. - Soil Biol. Biochem., 40: 1707-1715.

Salmon S., Mantel J., Frizzera L., Zanella A., 2006 – *Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate*. - Forest Ecol. Manag., 237: 47–56.

Sterzyńska M., Orlov O., Shrubovych J., 2012 – *Effect of Hydrologic Disturbance Regimes on Protura Variability in a River Floodplain.* - Ann. Zool. Fennici, 49: 309-320.

Stumpp J., 1990 – *Zur Ökologie einheimischer Proturen (Arthropoda: Insecta) in Fichtenforsten*. - Zoologische Beiträge, NF, 33: 345-432.

Sturm H., 1959 – *Die Nahrung der Proturen. Beobachtungen an* Acerentomon doderoi *Silv. und* Eosentomon transitorum *Berl*. - Naturwissenschaften, 46: 90-91.

Szeptycki A., 2007 – *Catalogue of the world Protura*. - Acta Zool. Cracov., 50B (1): 1-210.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 127-134

ASPETTI BIOLOGICI ED ECOLOGICI DEI COLLEMBOLI NELLA FAUNA DEL SUOLO

PIETRO PAOLO FANCIULLI (*)

(*) *Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, via Aldo Moro 2, 53100 Siena;* paolo.fanciulli@unisi.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Biological and ecological aspects of Collembola in the soil fauna

Collembola are among the most abundant hexapod of the soil mesofauna; some aspects of their biology are discussed, such as the role they play in the soil communities and their possible use as bioindicators of soil quality and land use. Karyology and sex determination mechanisms and the presence of polytene chromosomes in some specie are also reconsidered and discussed in the light of their evolutionary significance. The reproductive biology with regard to the morphology and ultrastructure of the spermatophores and spermatozoa were deeply investigated in the last few years; peculiarities regarding the winding process of the springtail spermatozoa, the extracellular cavity and of the extra-acrosomal appendix are discussed and functionally correlated to each other.

KEY WORDS: Soil community, karyology, sex determination, spermatophore, winding spermatozoa.

INTRODUZIONE

I collemboli sono una Classe di piccoli esapodi ubiquitari presenti sulla terra da più di 400 milioni di anni (HIRST & MAULIK, 1926). Essi si sono adattati a molti habitat edafici terrestri e in molti di essi sono diventati il gruppo dominante o sub-dominante. Diverse peculiarità caratterizzano i collemboli permettendone un rapido e sicuro riconoscimento; fra queste la presenza dell'organo post antennale, il torace primitivamente senza le ali e l'addome con soli 6 segmenti; ventralmente portano il tubo ventrale sul primo segmento addominale ed il retinacolo sul 3°; quest'ultimo permette l'aggancio ed il posizionamento ventrale della furca, l'organo del salto, carattere tipico del gruppo.

La maggior parte degli specialisti riconosce i Collemboli come una Classe degli Hexapoda suddivisa in 4 ordini (Poduromorpha, Entomobryomorpha, Symphypleona e Neelipleona) e circa 30 famiglie. Il numero di specie finora descritte è di circa 8000, distribuite in circa 650 generi. Il numero è tuttavia per difetto e si stima che possa essere vicino a 50000 secondo ODEGAARD (2000) e HOPKIN (2002).

In questa breve rassegna riassumerò alcuni aspetti della biologia dei collemboli poco noti e riguardano la loro importanza come indicatori biologici della qualità del suolo, la determinazione del sesso, la morfologia degli spermatozoi, temi che, negli ultimi anni, sono stati oggetto di approfondite ricerche del mio gruppo di ricerca.

RUOLO DEI COLLEMBOLI NEGLI ECOSISTEMI TERRESTRI E LORO IMPORTANZA COME BIOINDICATORI

I collemboli, insieme agli acari oribatei, sono il gruppo di artropodi più abbondanti della mesofauna del suolo. Il loro ruolo principale è legato ai processi di biodegradazione della materia organica, e nella disseminazione e il controllo dei funghi e batteri (HOPKIN, 1997; SABATINI & INNOCENTI, 2001; TEBBE *et al.*, 2006; WOLFARTH *et al.*, 2013). I collemboli rappresentano un gruppo fondamentale, necessario al mantenimento degli equilibri della catena alimentare nel suolo. La maggior parte delle specie preferisce ambienti forestali umidi, sebbene diverse si siano adattate ad ambienti particolari e solitamente considerati ostili quali i deserti (GREENSLADE, 1981), i circoli polari (GREENSLADE, 1995), gli ambienti psammicoli (THIBAUD, 2007) e quelli alofili (DALLAI *et al*., 2010). L'ubiquità generale dei collemboli nasconde, a volte, una loro profonda differenziazione; infatti, nonostante una base di specie comune a molti ambienti, molte altre ne determinano composizioni specifiche e particolari che variano fra un ambiente e l'altro (PONGE *et al*., 2006). La caratterizzazione di specie che possano essere utilizzate quali indicatori delle differenze fra ambienti differenti o, come indicatori della qualità dei vari ambienti terrestri è stato, ed è ancora lo scopo di numerose ricerche. Studi in proposito hanno evidenziato variazioni nelle comunità di collemboli al variare delle condizioni del suolo e della vegetazione (PONGE, 1993; HÅGVAR, 1982; CHA-

– Pubblicato aprile 2018

GNON et al., 2000) o come si modificano in seguito all'uso di pesticidi (CHELINHO *et al.,* 2014; VAN STRAALEN, 2002; VAN DEN BRINK, 2008) o al cambio d'uso del suolo (PONGE *et al.,* 2003). Diverse specie di collemboli sono state utilizzate per test ecotossicologici e la specie partenogenetica *Folsomia candida* è quella che ha trovato il più largo impiego tanto da essere utilizzata come specie standard per i saggi letali e sub-letali (ISO 11267:1999) (FILSER *et al.,* 2014; FOUNTAIN & HOPKIN, 2005). Un metodo veloce e semplice per valutare e confrontare la qualità di ambienti differenti è stato messo a punto da PARISI (2001). Il metodo QBS artropodi (Qualità Biologica del Suolo) si basa sulle forme biologiche dei microartropodi del suolo; ad ogni forma viene dato un valore EMI (Indice Ecomorfologico) indice del suo livello di adattamento alla vita nel suolo; la somma dei valori conduce ad un indice sintetico che stima la qualità dell'ambiente studiato. Un indice più specifico si può ottenere considerando solo i valori EMI dei collemboli (QBSc) per i quali è però necessaria una buona conoscenza delle forme biologiche di base del gruppo.

CARIOLOGIA, CROMOSOMI POLITENICI E DETERMINAZIONE DEL SESSO NEI COLLEMBOLI

I primi studi sulla cariologia dei collemboli risalgono a più di un secolo fa con le note di CLAYPOLE (1898), LÉCAILLON (1901) e WILLEM (1900) su tre specie di collemboli; successivamente TUZET & MANIER (1956), SAURE & BRUMMER-KORVENKONTIO (1958) e SAITOU & CHIBA (1959), fornirono dati cariologici su circa una ventina di specie, principalmente Entomobryomorpha e solo alcune fra i Poduromorpha e i Symphypleona. Ulteriori dati furono pubblicati negli anni 60 e 70 da NUÑEZ (1962), BRUMMER-KORVENKONTIO & SAURE (1969), KIAUTA (1970) e SABATINI & FRATELLO, (1974). Correlazione fra dati cariologici e caratteri morfologici degli adulti e il loro habitat furono proposti da FRATELLO & SABATINI (1979) mentre HEMMER (1990), utilizzando la tecnica del bandeggio C, incrementò il numero delle specie studiate a più di 90 e suggerì interessanti indicazioni riguardo la variabilità e l'eterogeneità genetica osservati.

Un discorso a parte merita la scoperta e lo studio dei cromosomi politenici nei collemboli. Sicuramente più studiati e conosciuti nei ditteri, in particolare nelle specie di *Drosophila*, i cromosomi politenici rappresentano stadi particolari di cromosomi in interfase costituiti dalla replicazione di migliaia di catene di DNA. La politenia è presente in particolare in tessuti e organi con un'intensa attività sintetica (ad esempio nelle ghiandole salivari) e sono stati osservati soprattutto nei Ditteri, nei Collemboli, nei protozoi ciliati, in certi tessuti di mammiferi e nelle cellule del sacco embrionale delle piante angiosperme (ZHIMULEV *et al.*, 2004). La presenza di cromosomi politenici nei collemboli fu evidenziata da PRABHOO (1961) in una specie di *Womersleya*, senza fornire alcuna descrizione della loro struttura. Un'analisi approfondita in tal senso fu effettuata da CASSAGNAU (1966, 1968, 1974, 1976) il quale ne evidenziò le caratteristiche morfologiche e strutturali. Nei collemboli i cromosomi politenici sono presenti nelle specie con apparato boccale pungente-succhiatore, come nella famiglia Neanuridae (Sottofam. Pseudachorutinae e Neanurinae) (Fig. 1A). Fra gli pseudachorutini la politenia non è ancora pienamente strutturata, con cromosomi grandi ma flocculenti e con poche bande; fra i neanurini invece diverse specie nei generi *Bilobella* (Fig. 1B), *Neanura*, *Lobella*, *Lathriopyga* e *Cansilianura* mostrano una politenia ben strutturata, paragonabile a quella dei ditteri. Rispetto a questi ultimi, tuttavia, alcune differenze sono macroscopicamente manifeste come la mancanza di appaiamento somatico fra gli omologhi. Il cromosoma politenico dei collemboli è caratterizzato dalla presenza di grandi espansioni che CASSAGNAU (1968) definì "écharpes hétérochromatiques", le quali comprendono fino a circa 1/4 - 1/3 della lunghezza totale e circa 6-7 volte più largo del resto delle braccia eucromatiche. Queste regioni, secondo CASSAGNAU (1968), sono costituite da ß-eterocromatina e corrisponderebbero alla regione centromerica del cromosoma. Studi successivi sui cromosomi politenici dei collemboli hanno considerato aspetti legati alla loro variabilità strutturale. Eterozigosi nel bandeggio fra i cromosomi omologhi, diverso contenuto di α eterocromatina e polimorfismo strutturale come probabile risultato di vari riarrangiamenti cromosomici, sono stati osservati in popolazioni geografiche di diverse specie. DALENS (1979) CASSAGNAU (1968, 1976), CASSAGNAU *et al.* (1979), DALLAI (1979), DALLAI & FANCIULLI (1982), DEHARVENG (1982), DEHARVENG & LEE (1984) e FANCIULLI *et al*. (1991), offrono molteplici esempi di questa variabilità. I differenti livelli di polimorfismo e di contenuto di eterocromatina potrebbero essere il risultato di strategie adattive che le specie hanno adottato in relazione al tipo di pressione selettiva cui sono state sottoposte; ad esempio un alto polimorfismo conferirebbe alla popolazione un altrettanto grande campo di potenzialità adattativa in ambienti che fluttuano velocemente, mentre un alto contenuto di eterocromatina conferirebbe un'alta stabilità genetica in specie che

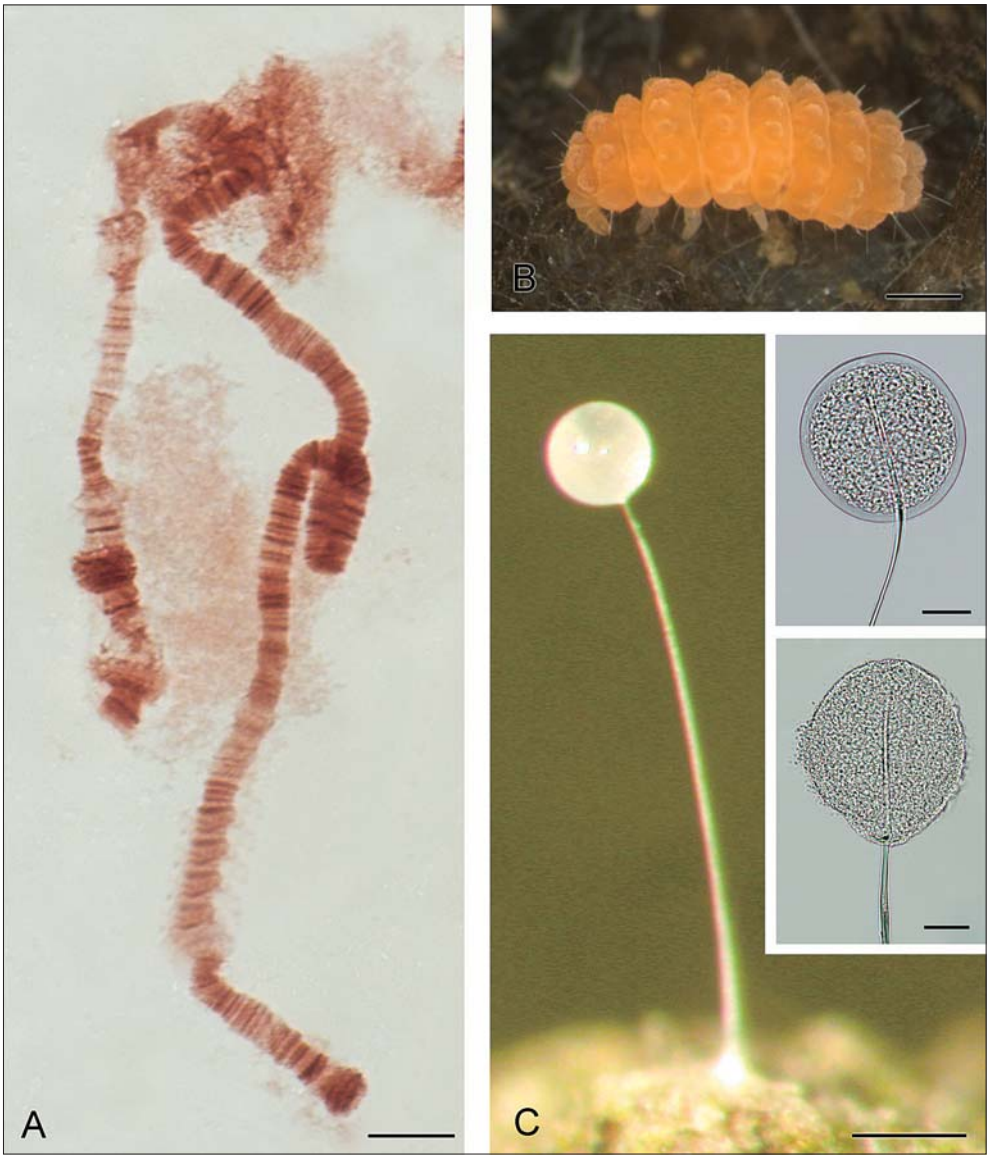

Fig. 1 – A) Cromosoma politenico n° 1 di *Lathriopyga longiseta* (barra ingr. 10μm); B) Immagine di un esemplare di *Bilobella aurantiaca* (barra ingr. 0,5mm); C) Spermatofora di *Orchesella villosa* (barra ingr. 50μm), inserto in alto ingrandimento della goccia spermatica di *Orchesella villosa* (barra ingr. 20μm); inserto in basso ingrandimento della goccia spermatica di *Allacma fusca* (barra ingr. 30μm).

hanno raggiunto una condizione di equilibrio vivendo in ambienti sostanzialmente stabili. Un'ulteriore interessante ipotesi scaturita dall'osservazione di un elevato livello di polimorfismo fra popolazioni della stessa specie è che queste potrebbero rappresentare specie criptiche, geneticamente isolate, pur conservando lo stesso fenotipo (DALLAI, 1979; DALLAI e FANCIULLI, 1982; FANCIULLI *et al*., 1991).

Dallo studio sul numero e la morfologia dei cromosomi in diverse specie di collemboli è emerso che le differenze fra maschi e femmine erano poco evidenti o assenti; in taluni casi, tuttavia, si poteva stabilire che il sesso eterozigotico era quello maschile (♀XX/♂XY e ♀XX/♂X0) (HEMMER 1990; KIAUTA, 1970; NUNEZ, 1962). La maggior parte degli studi sono stati condotti su specie di Poduromorpha o Entomobryomorpha, mentre quasi nulla era noto sui Symphypleona. Questi furono studiati da DALLAI *et al*. (1999, 2000, 2001, 2004) e dimostrarono che la determinazione del sesso nelle specie di Symphypleona era stabilita mediante l'eliminazione post zigotica di una coppia di cromosomi sessuali. Nelle specie di Symphypleona il sistema di determinazione sessuale può essere riassunto come ♀XXXX/♂XX00. Gli autori giunsero a stabilire tale peculiare modalità di determinazione del sesso con osservazioni di microscopia elettronica sulla spermatogenesi di specie di Poduromorpha-Entomobryomorpha (i vecchi Arthropleona) e di

Symphypleona. Mentre nei primi la meiosi si svolge normalmente, nelle specie di Symphypleona, invece, la prima divisione meiotica è "asimmetrica", e da origine a uno spermatocita secondario normale e un altro che è chiaramente anomalo. Quest'ultimo è costituito da un nucleo con cromatina molto condensata, circondato da un sottilissimo strato di citoplasma. Questa cellula non continuerà con le fasi successive della spermatogenesi e sarà eliminata (Fig. 2A). Osservazioni citogenetiche hanno chiarito gli eventi durante la meiosi di queste specie. Come specie di riferimento furono inizialmente utilizzate *Allacma fusca* e *Sminthurus viridis* (Sminthuridae) (DALLAI *et al*., 1999); dalle preparazioni di gonadi maschili si osservò che entrambe avevano un numero cromosomico 2n=10 ma durante la prima meiosi i cromosomi, chiaramente univalenti, si distribuivano asimmetricamente in due gruppi di n=6 e n=4 (Fig. 2B). I cromosomi delle cellule con n=4 si raggruppavano precocemente a formare nuclei compatti negli spermatociti secondari che venivano eliminati, mentre quelle con n=6 cromosomi proseguono con la seconda meiosi fino alla formazione di spermatozoi con 6 cromosomi. Corrispondenti analisi citologiche sulle femmine di queste specie non mostrano nulla di anomalo, la meiosi procede normalmente ed allo stadio di zygotene profasico si osservano 6 bivalenti da cui si deduce che nelle femmine 2n=12 cromosomi. Da queste osservazioni si possono trarre diverse considerazioni, le più significative sono: a) dal momento che sia i gameti maschili e femminili portano entrambi 6 cromosomi, tutti gli zigoti hanno inizialmente 2n=12 e tale numero persisterà se l'embrione svilupperà una femmina. Se invece lo zigote darà origine ad un maschio una coppia di cromosomi sessuali sarà eliminata, presumibilmente alla prima divisione dello zigote, da qui la "determinazione sessuale post zigotica" dei collemboli Symphypleona. b) L'eliminazione cromosomica post-zigotica crea nel maschio uno sbilanciamento fra i cromosomi omologhi per cui, durante la meiosi, proseguiranno nello sviluppo solo le cellule con un set aploide completo (n=6), mentre le altre (n=4) saranno eliminate. Come conseguenza di questa eliminazione la spermatogenesi è aberrante, con la riduzione del 50% degli spermatozoi; c) DALLAI *et al.* (1999, 2000, 2001, 2004) dimostrarono che in tutte le specie di Symphypleona analizzate era presente la spermatogenesi aberrante con meiosi asimmetrica (5 Famiglie, 9 generi, 11 specie). In tal senso si può ritenere la determinazione sessuale con eliminazione cromosomica post-zigotica una sinapomorfia dei Symphypleona rispetto agli altri ordini di Collemboli.

Resta da chiarire cosa determina la perdita o meno dei cromosomi nello zigote. Modelli di determinazione del sesso con eliminazione cromosomica sono conosciuti in diversi organismi, specialmente negli insetti (GEMPE & BEYE, 2011; GODAY & ESTEBAN, 2011; SANCHEZ, 2008, 2014; WHITE, 1973) ed avvengono a volte con meccanismi di eliminazione cromosomica molto complicati come nelle specie di Sciaridae e Cecydomyiidae (Diptera). Per queste specie sono stati proposti meccanismi d'imprinting in uno dei genitori il quale determina quale/i dei cromosomi sessuali saranno eliminati. Probabilmente un fattore materno si accumula nel citoplasma durante l'oogenesi che controlla e dirige l'eliminazione dei cromosomi X durante lo sviluppo dello zigote (SANCHEZ, 2014). Considerando la forte similitudine fra l'eliminazione cromosomica nei collemboli e quanto avviene nei ditteri Cecydomyiidae e Sciaridae si può ipotizzare un meccanismo simile di imprinting genetico anche per i collemboli.

Inoltre, dal momento che probabilmente è la femmina a decidere la sorte sessuale dello zigote, sarà questa a quantificare il rapporto sessi della popolazione potendolo variare, come preliminarmente osservato da DALLAI *et al.* (2000, 2001), verso il sesso femminile. È presumibile che ciò possa aumentare il livello di outbreeding in popolazioni di collemboli poco vagili. Considerando che gli spermatozoi sono trasferiti mediante spermatofore queste possono essere deposte in numero elevato anche da pochi maschi e fecondare invece un numero elevato di femmine oltretutto controbilanciando l'effetto apparentemente negativo della perdita del 50% degli spermatozoi durante la spermatogenesi aberrante. Il rapporto sessi sbilanciato, insieme alla capacità tutta femminile di determinare e controllare sia il sesso e il loro rapporto, appaiono quasi come un'anticipazione verso il raggiungimento della partenogenesi, condizione ben nota fra i collemboli (HOPKIN, 1997; CHERNOVA *et al.*, 2010).

LA RIPRODUZIONE NEI COLLEMBOLI: MORFOLOGIA E PECULIARITÀ DELLE SPERMATOFORE E DEGLI SPERMATOZOI

La riproduzione nei collemboli presenta una serie di peculiarità uniche fra gli esapodi, sia comportamentali e nelle modalità di trasferimento dei gameti maschili. Questi ultimi, rispondendo probabilmente a tali esigenze, hanno acquisito una forma e struttura molto singolare (DALLAI *et al.*, 2003, 2004, 2008, 2009; FANCIULLI *et al*., 2012, 2017). Gli spermatozoi sono trasferiti dal maschio alla femmina mediante spermatofore (Fig. 1C). Nella maggior parte dei casi il maschio deposita una o più sperma-

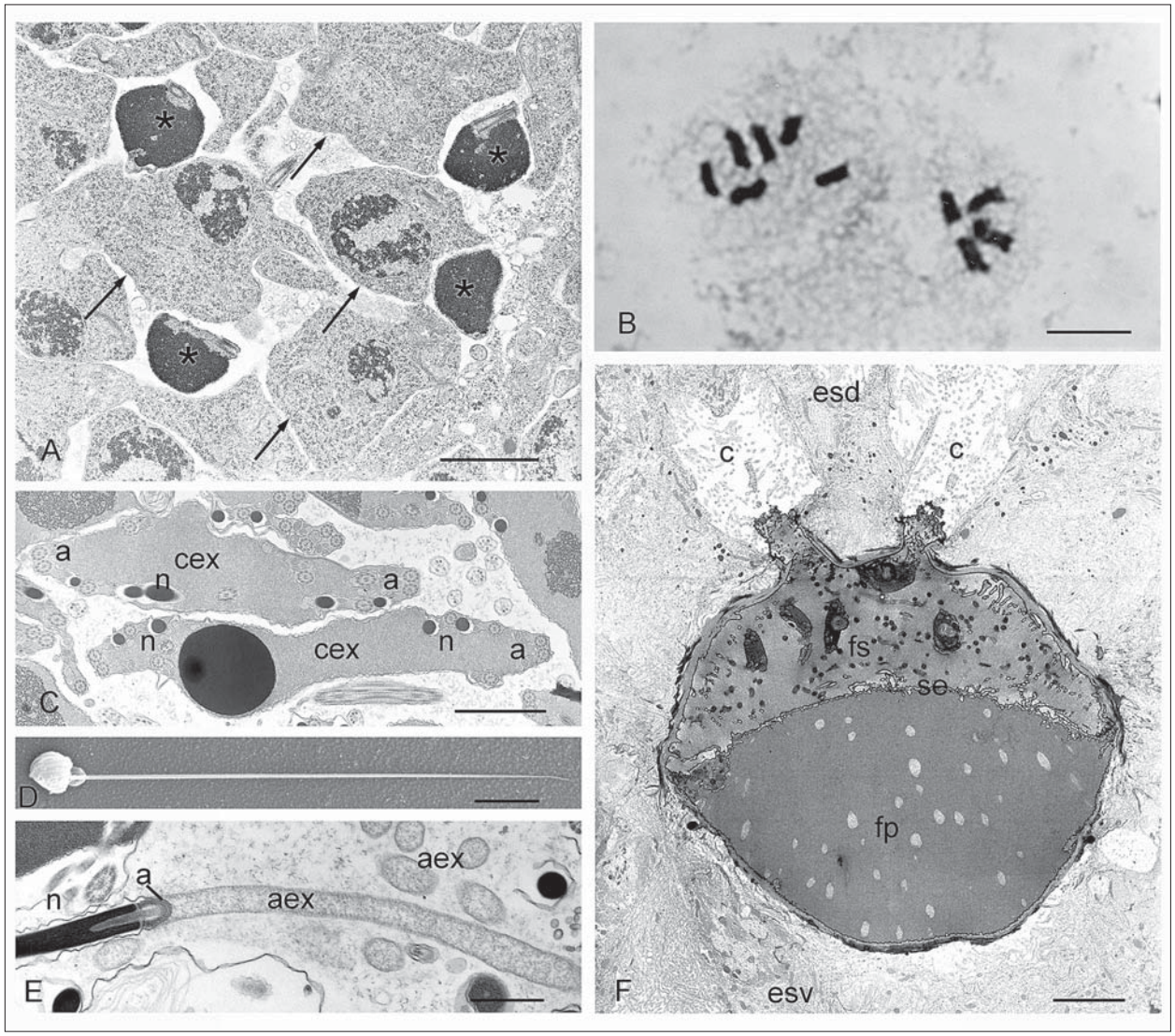

Fig. 2 – A) Sezione trasversale di spermatociti secondari funzionali (frecce) e aberranti (asterischi) di *Sminthurus viridis* (barra ingr. 2µm). B) Anafase della prima divisione meiotica di un maschio di *Allacma fusca*; notare la divisione asimmetrica con n=6 (spermatociti funzionali) e n=4 (spermatociti aberranti) (barra ingr. 5µm). C) Sezione trasversale di spermatozoi maturi di *Allacma fusca*; (a, assonema; n, nucleo; cex, cavita extracellulare ripiena di secreto) (barra ingr. 1µm). D) SEM dello spermatozoo di Allacma fusca con la lunga appendice extra-acrosolmale (barra ingr. 5µm). E) Sezione longitudinale dello spermatozoo di *Bourletiella hortensis* con l'appendice extra-acrosomale in sezione longitudinale e trasversale (aex) (a, acrosoma; n, nucleo) (barra ingr. 1µm). F) Sezione trasversale del dotto eiaculatore di *Orchesella villosa* diviso dal setto (se) in una parte dorsale in cui scorre il fluido spermatico (fs) e una ventrale in cui scorre il fluido del peduncolo della spermatofora (fp); esd, epitelio secretorio dorsale con le cisterne extracellulari delle cellule secernenti (c); esv, epitelio secretorio ventrale (barra ingr. 5µm).

tofore sul substrato che poi la femmina raccoglierà. Il trasferimento può essere effettuato in maniera differente fra i membri della classe; i maschi dei Poduromorpha e Entomobryomorpha solitamente depongono le spermatofore secondo un comportamento dissociato, indipendentemente dalla presenza della femmina; quest'ultima le individuerà e raccoglierà guidata da segnali chimici (tipo feromoni) emessi dalla spermatofora stessa (ZIZZARI *et al*., 2017). Il comportamento fra i Symphypleona, invece, può essere sia dissociato che associato, ovvero in presenza di femmine; in quest'ultimo caso a volte si instaura fra i due partner un corteggiamento più o meno sofisticato (BETSCH-PINOT, 1977; KOZLOWSKI & AOXIANG, 2006; GOLOSCHAPOVA, 2006). La spermatofora è quindi un elemento essenziale nella biologia riproduttiva dei collemboli. La morfologia e le modalità di produzione sono state studiate da DALLAI *et al.* (2009) e FANCIULLI *et al*., 2012. Differenze nella morfologia, numero di spermatofore prodotte e numero di spermatozoi sono state studiate e confrontate nelle due specie *Allacma fusca* (Symphypleona, Sminthuridae) e *Orchesella villosa* (Entomobryomorpha, Entomobryidae). La morfologia di base delle spermatofore nelle due specie è simile, essendo

entrambe costituite da un peduncolo con una base che la fissa al substrato e l'estremità apicale che porta una goccia contenente gli spermatozoi. Le dimensioni nelle due specie, tuttavia, sono nettamente differenti; la spermatofora di *A. fusca* è più alta e con la goccia apicale molto più grande di *O. villosa* (*A. fusca* 690µm X 120µm; *O. villosa* 320µm X 60µm); osservazioni al TEM evidenziano inoltre una notevole differenza nella morfologia esterna della goccia spermatica; *O. villosa* ha un rivestimento protettivo esterno ben strutturato che è assente in *A. fusca,* quest'ultima espone praticamente all'aria gli spermatozoi immersi in una secrezione. Anche il numero medio di spermatozoi contenuti nelle due spermatofore è differente, e appare inversamente correlato alle dimensioni delle due spermatofore. *A. fusca,* con spermatofore decisamente più grandi (120µm di diametro), contiene in media 1/3 degli spermatozoi contenuti nella spermatofora di *O. villosa* (60µm di diametro). Le differenze osservate sono state messe in relazione, oltre che alle diverse dimensioni degli spermatozoi (lunghezza circa 60 µm in *O. villosa*; circa 110 in *A. fusca*), anche al ridotto numero di spermatozoi in *A. fusca* come effetto della spermatogenesi aberrante tipica dei Symphypleona.

Nella formazione delle spermatofore un ruolo cruciale è svolto dal dotto eiaculatore e dalla struttura dell'apertura genitale maschile. Queste strutture sono state studiate in dettaglio in *Orchesella villosa* da Fanciulli *et al.* (2012). La parte iniziale del dotto eiaculatore consiste di una valvola il cui compito è di evitare il reflusso ed, al tempo stesso, di separare il secreto che servirà per la edificazione del peduncolo della spermatofora, dal fluido spermatico. Infatti, dopo la valvola, il dotto eiaculatore si divide, per mezzo di un diaframma, in due parti (Fig. 2F). Nella parte superiore scorre il fluido spermatico, mentre in quella inferiore scorre la secrezione che formerà il peduncolo. La struttura degli epiteli dorsale e ventrale del dotto è in entrambi di tipo secretorio ma le cellule secretrici sono impegnate in secrezioni differenti. La parte distale del dotto, ricca di cellule muscolari, termina con una serie di aperture e lamine cuticolari il cui compito è dirigere nella maniera corretta la fuoriuscita della secrezione ventrale per la costruzione del peduncolo della spermatofora. Il maschio di *Orchesella* quando produce la spermatofora, piega l'addome per porre l'apertura genitale sul substrato e, forzando i muscoli distali del dotto eiaculatore, emette una goccia di secreto che, sollevando l'addome, viene "filata" a formare il peduncolo. Questa secrezione inizialmente liquida a contatto con l'aria solidifica; come atto finale, all'apice del peduncolo viene posta la goccia spermatica.

La goccia spermatica apicale deve essere in grado di contenere il maggior numero di cellule germinali; per questo, in tutti i collemboli la spermiogenesi che modella la forma finale dello spermatozoo ha portato alla formazione di uno spermio arrotolato attorno ad una cavità extracellulare ripiena di secreto (Dallai *et al*., 2004) (Fig. 2C). La spermiogenesi inizia con la formazione di un manicotto citoplasmatico nello spermatidio, proprio sotto il nucleo, che si allunga in direzione posteriore originando una cavità extracellulare che è riempita da secrezioni prodotte dall'epitelio testicolare che, probabilmente, saranno utilizzate dagli spermi nella spermateca della femmina. In questa fase il nucleo e l'assonema iniziano ad avvolgersi nella sottile lamina citoplasmatica che circonda la cavità extracellulare, originando uno spermatozoo dalla forma lenticolare e appiattita. La forma arrotolata dello spermatozoo minimizza il volume, consentendone l'immagazzinamento di un numero maggiore nella spermatofora; inoltre la forma arrotolata inibisce temporaneamente la mobilità dello spermatozoo, che sarà riacquisita nella spermateca quando, srotolandosi, assumerà la classica forma filiforme (Dallai *et al*., 2008).

La forma arrotolata permette agli spermi di transitare immobile attraverso i dotti genitali maschili e di raggiungere la spermatofora; la forma è mantenuta grazie a particolari specializzazioni presenti nella membrana che circonda la cavità extracellulare. Dallai *et al.* (2003) hanno studiato queste specializzazioni con tecniche di microscopia elettronica classica (TEM) e di freeze fracture. Alcune di queste specializzazioni ricordano superficialmente le giunzioni di tipo gap e la loro funzione potrebbe essere simile a queste, nel senso che attraverso di esse potrebbero passare i segnali necessari allo srotolamento dello spermatozoo. Lo spermatozoo trasporta materiale prodotto dall'epitelio testicolare e immagazzinato nella cavità extracellulare; altro materiale, probabilmente con funzione simile, è trasportato sotto forma di una lunga appendice extra-acrosomale adesa all'acrosoma dello spermatozoo (Dallai *et al*., 2003, 2004) (Fig. 2 D-E). Confusa in passato con il flagello dello spermatozoo (Mayer, 1957), la sua natura e struttura è stata ben caratterizzata da Fanciulli *et al.* (2017). L'appendice è una struttura molto lunga, sottile e rastremata, a volte lunga quasi quanto lo spermatozoo srotolato (Dallai *et al*., 2009). La sua formazione inizia nel testicolo e deriva, come il materiale della cavità extracellulare, da secrezioni dell'epitelio testicolare. Si tratta di una struttura secreta esternamente e in continuità con l'acrosoma, di natura glicoproteica, come si evince dall'analisi mediante immunoblot e colorazioni con specifiche lectine. Osservazioni con tecniche di deep-etching evidenziano fini particolari

ultrastrutturali; lo spessore appare costituito da file di particelle sovrapposte che si organizzano in una struttura bistratificata con complessità differente nelle specie esaminate. Questa può apparire sotto forma di una struttura paracristallina come negli Entomobryidae oppure come un insieme di strutture ovoidali cave nei Symphypleona. Quando gli spermatozoi raggiungono la spermateca e si srotolano, essi liberano sia la secrezione immagazzinata nella cavità extracellulare, che quella contenuta nella lunga struttura extra-acrosomale; questi materiali saranno utilizzati dagli spermi per la loro attività.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio i Proff. Romano Dallai e Antonio Carapelli per i preziosi consigli ed il Dr. David Mercati per l'assistenza tecnica.

BIBLIOGRAFIA

BETSCH-PINOT M.C., 1977 – *Les parades sexuelles primitives chez les Collemboles Synphypléones*. -Rev. Ecol. Biol. Sol, 14: 15-19.

BRUMMER-KORVENKONTIO M. & SAURE L., 1969 – *Further observations on the chromosomes relations in female Collembola.* - Aquilo. Ser. Zoologica, 9: 50-54.

CASSAGNAU P., 1966 – *Présence de chromosomes géants dans les glandes salivaires des* Neanura *(Collemboles suceurs)*. - C.R. Acad. Sc. Paris, 262: 168-170.

CASSAGNAU P., 1968 – *Sur la structure des chromosomes salivaires de* Bilobella massoudi *(Collembola, Neanuridae)*. - Chromosoma, 24: 42-58.

CASSAGNAU P., 1974 – *Les chromosomes polytenes de* Neanura monticola *Cassagnau (Collemboles). I. Polymorphisme ecologique du chromosome X*. - Chromosoma, 46: 343-363.

CASSAGNAU P., 1976 *La variabilité des chromosomes polytènes chez* Bilobella aurantiaca *Caroli (Collembola: Neanuridae) et ses rapports avec la biogéographie et l'ècologie de l'espèce.* - Arch. Zool. exp. gen., 117: 511-572.

CHAGNON M., PARÉ D., HÉBERT C., 2000 – *Relationships between soil chemistry, microbial biomass and the collembolan fauna of southern Québec sugar maple stands.* – Ecoscience, 7: 307-316.

CHELINHO S., DOMENE X., CAMPANA P., ANDRÉS P., RÖMBKE J., SOUSA J., *et al*., 2014 – *Toxicity of phenmedipham and carbendazim to* Enchytraeus crypticus *and* Eisenia andrei *(Oligochaeta) in Mediterranean soils*. - J. Soils Sediments, 14: 584-599.

CLAYPOLE M., 1898 – *The embryology and oogenesis of* Anurida maritima. - J. Morph., 14: 219-300.

DALENS H., 1979 – *Cline de surcharge en heterochromatine et diversification du type chromosomique aragonais chez le collembole Neanuridae* Bilobella aurantiaca. - C.R. Acad. Sc. Paris, 288: 883-885.

DALLAI R., 1979 – *Polytene chromosomes of some* Bilobella aurantiaca *(Collembola) Italian populations.* - Boll. Zool., 46: 231-249.

DALLAI R., FANCIULLI P.P., 1982 – *I cromosomi politenici di alcune popolazioni di* Lathriopyga longiseta *(Insecta Collembola) della Toscana meridionale*. - Redia, 65: 9-28.

DALLAI R., FANCIULLI P.P., FRATI F., 1999 – *Chromosome elimination and sex determination in springtails (Insecta, Collembola)*. - J. Exp. Zool., 285: 215-225.

DALLAI R., FANCIULLI P.P., FRATI F., 2000 – *Aberrant spermatogenesis and the peculiar mechanism of sex determination in Symphypleonan Collembola (Insecta)*. - J. Hered., 91: 351-358.

DALLAI R., FANCIULLI P.P., CARAPELLI A., FRATI F., 2001 – *Aberrant spermatogenesis and sex-determination in Bourletiellidae (Hexapoda, Collembola) and their significance.* - Zoomorphology, 120: 237–245.

DALLAI R., FANCIULLI P.P., FRATI F., PACCAGNINI E., LUPETTI P., 2003 – *Membrane specializations in the spermatozoa of collembolan insects.* - J. Struct. Biol., 142: 311-318.

DALLAI R., FANCIULLI P.P., FRATI F., PACCAGNINI E., LUPETTI P., 2004 – *Sperm winding in Collembola.* - Pedobiologia, 48: 493-501.

DALLAI R., ZIZZARI Z.V., FANCIULLI P.P., 2008 – *The ultrastructure of the spermathecae in the Collembola Symphypleona.* - J. Morphology, 269: 1122-1133.

DALLAI R., ZIZZARI Z.V., FANCIULLI P.P., 2009 – *Different sperm number in the spermatophores of* Orchesella villosa *(Geoffroy) (Entomobryidae) and* Allacma fusca *(L.) (Sminthuridae)*. - Arthr. Struct. Dev., 38: 227-234.

DALLAI R., CICCONARDI F., FANCIULLI P.P., 2010 – *Insecta Collembola.* - Biol. Mar. Mediterr., 17: 538-544

DEHARVENG L., 1982 – *Polymorphism of polytene chromosomes in* Bilobella aurantiaca *(Insecta: Collembola). Study on a populations from Sierra de Gredos (Central Spain)*. - Chromosoma, 85: 201-214.

DEHARVENG L., LEE B.L., 1984 – *Polytene Chromosomal Variability of* Bilobella aurantiaca *(Collembola) from Sainte Baume Population (France).* - Caryologia, 37:1-2, 51-67

FANCIULLI P.P., FRATI F., DALLAI R., 1991 – *The polytene chromosomes of Cansilianura malatestai (Insecta, Collembola)*. - Caryologia, 44: 11-20.

FANCIULLI P.P., ZIZZARI Z.V., FRATI F., DALLAI R., 2012 – *The ultrastructure of the ejaculatory duct in the springtail Orchesella villosa (Geoffroy) (Hexapoda, Collembola) and the formation of the spermatophore.* - Tissue and Cell, 44: 32-46.

FANCIULLI P.P., MENCARELLI C., MERCATI D., DALLAI R., LUPETTI P., 2017 – *The peculiar extra-acrosomal structure of the Collembola (Hexapoda) spermatozoa.* - Micron, 101: 114-122.

FILSER J., WIEGMANN S., SCHRÖDER B., 2014 – *Collembola in ecotoxicology - Any news or just boring routine?* - Appl. Soil Ecol., 83: 193-199.

FOUNTAIN M., HOPKIN S.P., 2005 – Folsomia candida *(Collembola): a standard soil arthropod*. - Ann. Rev. Entomol., 50: 201-222.

FRATELLO B., SABATINI M.A., 1979 – *Karyotypes and habitat interrelations among soil Arthropoda: Collembola and Protura.* - Boll. Zool., 46: 251-259.

GEMPE T., BEYE M., 2011 – *Function and evolution of sex determination mechanisms, genes and pathways in insects.* – Bioessays, 33: 52-60.

GODAY C., ESTEBAN M.R., 2011 – *Chromosomes elimination in sciarid flies.* - Bioessays, 23: 242-250.

GOLOSCHAPOVA N.P., POTAPOV M.B., CHERNOVA N.M., 2006 – *Sexual behaviour in Isotomidae (Collembola)*. - Pedobiologia, 50: 111-116.

GREENSLADE P., 1981 – *Survival of Collembola in arid*

environments: observations in South-Australia and the Sudan. - J. Arid Env., 4: 219-228.

GREENSLADE P., 1995 - *Collembola from the Scotia Arc and Antarctic Peninsula including descriptions of two new species and notes on biogeography.* - Polskie Pismo Entomologiczne, 64: 305-319.

HAGVAR S., 1982 – *Collembola in Norwegian coniferous forest soils. I. Relations to plant communities and soil fertility.* - Pedobiologia, 24: 255-296.

HEMMER W., 1990 – *Karyotype differentiation and chromosomal variability in springtails (Collembola, Inscta).* - Biol. Fert. Soils, 9: 119-125.

HIRST S., MAULIK S., 1926 – *On some arthropod remains from the Rhynie Chert (Old Red Sandstone).* – Geol. Mag., 63: 69-71.

HOPKIN S.P., 1997 – *Biology of the springtails (Collembola, Insecta).* Oxford University Press, New York, pp 330.

HOPKIN S.P., 2002 – *Collembola*. Encyclopedia of Soil Science: 207-210.

KIAUTA B., 1970 – *Review of the germ cell chromosome number and data on two species new to cytology.* - Genen Phaenen., 4: 89-99.

KOZLOWSKI M.W., AOXIANG S., 2006 – *Ritual behaviors associated with spermato-phore transfer in* Deuterosminthurus bicinctus *(Collembola: Bourletiellidae).* - J. Ethol., 24: 103-110.

LÉCAILLON A., 1901 – *Recherches sur l'ovaire des Collemboles.* - Arch. Anat. Micr., 4: 471-610.

MAYER H., 1957 – *Zur Biologie und Ethologie einheimischer Collembolen.* - Zoologische Jahrbücher Abteilung Für Systematik Ökologie und Geographie, 85: 501-570.

NUÑEZ O., 1962 – *Cytology of Collembola*. - Nature (London), 194: 946-947.

ØDEGAARD F., 2000 – *How many species of arthropods? Erwin's estimate revised.* - Biol. J. Linn. Soc., 71: 583-597.

PARISI V., 2001 – *La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi*. - Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense", 37: 105-114.

PONGE J.F, 1993 – *Biocenoses of Collembola in atlantic temperate grass-woodland ecosystems.* - Pedobiologia, 37: 223-244.

PONGE J.F., GILLET S., DUBS F., FEDOROFF E., HAESE L., SOUSA J.P. LAVELLE P., 2003 – *Collembolan communities as bioindicator of land use intensification.* - Soil Biol. Biochem., 35: 813-826.

PONGE J.F., DUBS F., GILLET S., SOUSA J.P., LAVELLE P., 2006 – *Decreased biodiversity in soil springtail communities: the importance of dispersal and landuse history in heterogeneous landscapes*. - Soil Biol. Biochem., 38: 1158-1161.

PRABHOO N.R., 1961 – *A note on giant chromosomes in the salivary glands of* Womersleya *sp. (Collembola, Insecta).* - Bull. Entomol., Madras, 2: 21-22.

SABATINI M.A., FRATELLO B., 1974 – *Analisi cariologica di tre specie Onychiuridi (Collembola, Insecta).* - Rend. Accad. Naz. Lincei, ser VIII, 57: 255-258.

SABATINI M. A., INNOCENTI G., 2001 – *Effects of Collembola on plant-pathogenic fungus interactions in simple experimental systems.* - Biol. Fert. Soils, 33: 62-66.

SAITOH K., CHIBA S., 1959 – *Notes on the chromosomes of a springtail, Tomocerus minutus Tullberg (Collembola, Insecta).* – Jap. J. Genet., 34: 105-106.

SÁNCHEZ L., 2008 – *Sex-determining mechanisms in insects.* - Int. J. Dev. Biol., 52:1059-1075.

SÁNCHEZ L., 2014 – *Sex-Determining Mechanisms in Insects Based on Imprinting and Elimination of Chromosomes.* - Sex. Dev., 8: 83-103.

SAURE L., BRUMMER-KORVENKONTIO M., 1958 – *Über die Meiose und die Chromosomen zahlen einiger Collembolen.* - Ann. Acad. Sci. Fenn. IV Biol., 39: 4-14-

TEBBE C.C., CZARNETZKI A.B., THIMM T., 2006 – *Collembola as habitat for microorganisms, 133-149.* In: Soil Biology, vol. 6, Manual for Soil Analysis (König H., Varna A. eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

THIBAUD J.-M., 2007 – *Recent advances and synthesis in biodiversity and biogeography of arenicolous Collembola.* - Ann. Soc. Entomol. Fr., 43: 181-185.

TUZET O., MANIER J.F., 1956 – *Contribution a l'étude de la spermiogenése des aptèrygotes entotrophe:* Orchesella villosa *L., Entomobrya du groupe nivalis L.,* Entomobrya *du groupe nigrocincta Denis,* Sminthurus viridis *(L.) (Collemboles) et* Campodea monspessulana *Condé (Diploure).* Ann. Sci. Nat. Zool., 11:15-32.

VAN DEN BRINK P.J., 2008 – *Ecological risk assessment: from book-keeping to chemical stress ecology.* - Environ. Sci. Technolo., 42: 8999-9004.

VAN STRAALEN N.M., 2002 – *Assessment of soil contamination – a functional perspective.* - Biodegradation, 13: 41-52.

WHITE M.J.D., 1973 – *Animal cytology and evolution,* 3d edit. London: Cambridge University Press

WILLEM V., 1900 – *Recherches sur les Collemboles et les Thysanoures.* - Mém.Acad. Roy. Sci. Belg., 58: 1-144.

WOLFARTH F., SCHRADER S., OLDENBURG E., WEINERT J., 2013 – *Nematode-collembolan-interaction promotes the degradation of Fusarium biomass and deoxynivalenol according to soil texture*. - Soil Biol. Biochem., 57: 903-910.

ZHIMULEV I.F., BELYAEVA E.S., SEMESHIN V.F., KORYAKOV D.E., DEMAKOV S.A., DEMAKOVA O.V., POKHOLKOVA G.V., ANDREYEVA E.N., 2004 – *Polytene chromosomes: 70 years of research.* - Int. Rev. Cytol., 241: 203-275.

ZIZZARI Z.V., ENGL T., LORENZ S., VAN STRAALEN N.M., ELLERS J., GROOT A.T., 2017 – *Love at first sniff: a spermatophore-associated pheromone mediates partner attraction in a collembolan species.* - An. Behav., 124: 221-227.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 135-140

UNO SGUARDO AI COLEOTTERI DEL SUOLO

ROBERTO POGGI (*)

(*) *Conservatore onorario del Museo Civico di Storia Naturale "G. Doria", Via Brigata Liguria 9, 16121 Genova*; rpoggi@comune.genova.it

Lettura tenuta durante la Tavola rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia. Firenze, 16 giugno 2017.

A look at the soil beetles

Some of the more significant genera of Italian endogean Coleoptera are shortly recorded and figured.

KEY WORDS: Coleoptera, soil.

Se si escludono le specie strettamente fitofaghe, è difficile individuare Coleotteri che, almeno in un periodo della loro vita, non entrino in rapporto col suolo, in modo più o meno significativo. Il massimo adattamento si riscontra naturalmente nelle specie endogee, che trovano il loro habitat ottimale negli orizzonti più profondi, spesso indipendentemente dalla composizione chimica del substrato roccioso, e che in genere sono caratterizzate da atterismo, anoftalmia, depigmentazione, riduzione delle dimensioni corporee e aspetto talora filiforme.

Il livello di conoscenza delle specie italiane di Coleotteri si può definire buono (con gli oltre 12.000 taxa segnalati sull'intero territorio nazionale), ma nell'ambito dei gruppi a costumi endogei l'inventariazione delle specie è ben lungi dall'essere completata e si può essere facili profeti nell'affermare che in tale campo le scoperte si intensificheranno nel futuro, anche grazie ad un più diffuso utilizzo di appropriate tecniche di raccolta, quali il lavaggio del terreno o il trappolamento in MSS (Milieu Souterrain Superficiel).

Passando brevemente in rassegna sistematica le famiglie che più frequentemente si rinvengono nel suolo profondo, è d'obbligo iniziare con i Crowsoniellidae, famiglia che comprende solo *Crowsoniella relicta* Pace, 1976, unico rappresentante italiano del sottordine Archostemata, rinvenuta nei Monti Lepini nel 1975 e mai più ritrovata in seguito, malgrado ripetute indagini svolte in zona da vari ricercatori.

Tra i Carabidae si possono citare gli Scaritinae Clivinini (*Reicheia* Saulcy, 1862, *Typhloreicheia* Holdhaus, 1924, *Dimorphoreicheia* Magrini, Fancello & Leo, 2003 e *Alpiodytes* Jeannel, 1957) e i Trechinae Bembidiini (*Anillus* Jacquelin du Val, 1851, *Rhegmatobius* Jeannel, 1937, *Scotodipnus* Schaum, 1860, *Binaghites* Jeannel, 1937, *Hypotyphlus* Jeannel, 1937 e *Microtyphlus* Linder, 1863); va comunque sottolineato che si possono rinvenire occasionalmente in ambiente endogeo anche rappresentanti di Trechini (ad es. sia qualche specie di *Trechus* Clairville, 1806 normalmente edafica che alcuni taxa più specializzati di *Boldoriella* Jeannel, 1928, *Doderotrechus* Vigna Taglianti, 1968 o *Duvalius* Delarouzée, 1859), che sconfinano talora dal livello ipogeo superficiale o profondo a quello endogeo, ad ulteriore dimostrazione che i limiti tra i vari ambienti sono spesso ben meno rigidi di quanto si voglia immaginare nelle schematizzazioni inventate dall'uomo.

La famiglia degli Staphylinidae (ormai estesa a comprendere anche quelle che sino a pochi anni fa erano considerate famiglie autonome, ossia Pselaphidae e Scydmaenidae, oggi divenute Pselaphinae e Scydmaeninae) annovera al suo interno il maggior numero di forme endogee rispetto agli altri gruppi di Coleotteri, soprattutto in considerazione del fatto che ad essa afferiscono i numerosi Leptotyphlinae, di cui al momento sono state descritte circa 170 specie italiane riferite a numerosi generi, quali *Cephalotyphlus* Coiffait, 1955, *Cyrtotyphlus* Dodero, 1900, *Entomoculia* Croissandeau, 1891, *Leptotyphlus* Fauvel, 1874, *Mesotyphlus* Coiffait, 1955, *Metrotyphlus* Coiffait, 1959, ecc., pur senza dimenticare gli Euaesthetinae, con il genere *Octavius* Fauvel, 1873, gli Osoriinae, con *Bacillopsis* Normand, 1920, *Cylindropsis* Fauvel, 1885 e *Leptotyphlopsis* Scheerpeltz, 1931, i Paederinae con *Scotonomus* Fauvel, 1873, i Phloeocharinae con *Phloeocharis* Mannerheim, 1830 (in particolare il sottogenere *Scotodytes* Saulcy, 1865) e gli Aleocharinae con *Typhlocyptus* Saulcy, 1878.

Tra gli Scydmaeninae a costumi totalmente o parzialmente endogei vanno citati i generi *Cephennium* Müller & Kunze, 1822 (in particolare il sottogenere

– Pubblicato aprile 2018

Geodytes Saulcy, 1864), *Eudesis* Reitter, 1881, *Pseudoeudesis* Binaghi, 1948 e *Leptomastax* Pirazzoli, 1855, mentre tra gli Pselaphinae si possono ricordare ad es. alcuni rappresentanti dei generi *Mayetia* Mulsant & Rey, 1875, *Trogaster* Sharp, 1874, *Trogasteropsis* Dodero, 1918, *Imirus* Reitter, 1885, *Paramaurops* Jeannel, 1948, *Tychobythinus* Ganglbauer, 1896 e *Pselaphostomus* Reitter, 1909.

Per quanto riguarda i Leiodidae Leptodirini, non sono pochi i taxa endogei, ad esempio appartenenti ai generi *Bathysciola* Jeannel, 1910 e *Pholeuonidius* Jeannel, 1911, mentre occasionalmente sconfinano in ambiente endogeo specie ipogee superficiali o profonde dei generi *Parabathyscia* Jeannel, 1908, *Boldoria* Jeannel, 1924, *Pseudoboldoria* Ghidini, 1937, *Insubriella* Vailati, 1990, *Monguzziella* Vailati, 1993, ecc.

Generi con specie a costumi endogei sono presenti anche tra i Bothrideridae Anommatinae (*Anommatus* Wesmael, 1835), gli Zopheridae Colydiinae (*Lyreus* Aubé, 1861 e *Langelandia* Aubé, 1842), i Pythidae (*Osphyoplesius* Winkler, 1915) e i Salpingidae Agleninae (*Aglenus* Erichson, 1845).

Infine per quanto si riferisce ai Curculionidae, vanno ricordati vari taxa di Entiminae (come *Baldorhynchus* Di Marco & Osella, 2002 e i sottogeneri di *Otiorhynchus* Germar, 1822: *Lixorrhynchus* Reitter, 1914 e *Troglorhynchus* F. Schmidt, 1854) e di Molytinae, come *Alaocyba* Perris, 1869, *Raymondionymus* Wollaston, 1873, *Raymondiellus* Ganglbauer, 1906, *Derosasius* Ganglbauer, 1906, *Ferreria* Alonso-Zarazaga & Lyal, 1999, *Torneuma* Wollaston, 1860, *Paratyphloporus* F. Solari, 1937, ecc.

Per gran parte delle foto che corredano questo articolo sono debitore agli autori citati di volta in volta nelle didascalie e che ringrazio per avermi permesso l'utilizzo delle loro immagini, che intendono semplicemente esemplificare la morfologia di una selezione di generi che comprendono specie endogee, anche se i taxa presentati non lo sono talora in senso veramente stretto; le foto non sono alla stessa scala, per cui la lunghezza di ogni soggetto è riportata in mm tra parentesi nelle didascalie. Sono infine grato all'amico Achille Casale per alcuni utili suggerimenti.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Coiffait H., 1955 – *Chassez l'endogé!* - L'Entomologiste, Paris, 11 (5-6): 114-118.

Coiffait H., 1958 – *Les Coléoptères du sol* - Vie et Milieu, suppl. 7, Ed. Hermann, Paris (n. 1260), 204 pp.

Giachino P. M., Vailati D., 2010 – *The subterranean environment. Hypogean life, concepts and collecting techniques / L'ambiente sotterraneo. Vita ipogea, concetti e tecniche di raccolta* - World Biodiversity Association Handbooks 3, Verona, 129 pp.

Latella L., Gobbi M. (a cura di), 2008 – *La fauna del suolo. Tassonomia, ecologia e metodi di studio dei principali gruppi di Invertebrati terrestri italiani* - Quaderni del Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento, 3, 192 pp.

Orousset J., Vincent R., 2015 – *Les Coléoptères du sol - découvertes en Saône-et-Loire* - Terre vive, Société d'études du milieu naturel en Mâconnais, Mâcon, 162: 3-24.

Pace R., 1984 – *La raccolta dei Coleotteri endogei* - L'Informatore del giovane entomologo, Genova, XXV, nn. 108 e 109: 9-18.

Vigna Taglianti A., Zapparoli M., 2007 – *La fauna del suolo: diversità e significato* - I Georgofili, Quaderni 2007-V, Sezione Centro Ovest (La vita nel suolo), Roma: 51-69.

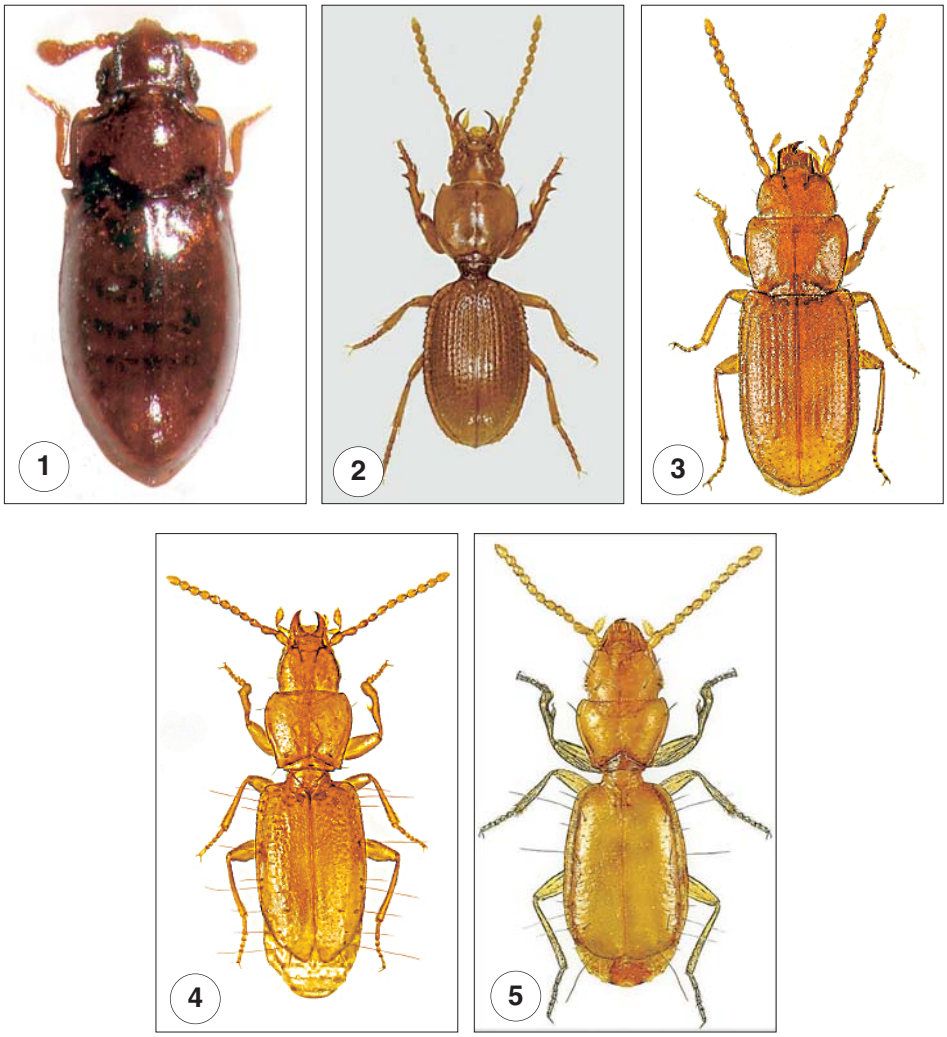

Fig. 1 – *Crowsoniella relicta* Pace, 1976 (1,5 mm) (foto Kirejtshuk in: www.zin.ru/ Animalia/ Coleoptera/rus/crowreli.htm); fig. 2 – *Typhloreicheia henroti* Jeannel, 1957 (3,6 mm) (foto Degiovanni); fig. 3 – *Anillus petriolii* Magrini, 2014 (2,1 mm) (foto Magrini); fig. 4 – *Rhegmatobius bastianinii* Magrini & Casale, 2015 (2,4 mm) (foto Magrini); fig. 5 – *Hypotyphlus degiovannii* Magrini, 2013 (1,4 mm) (foto Magrini).

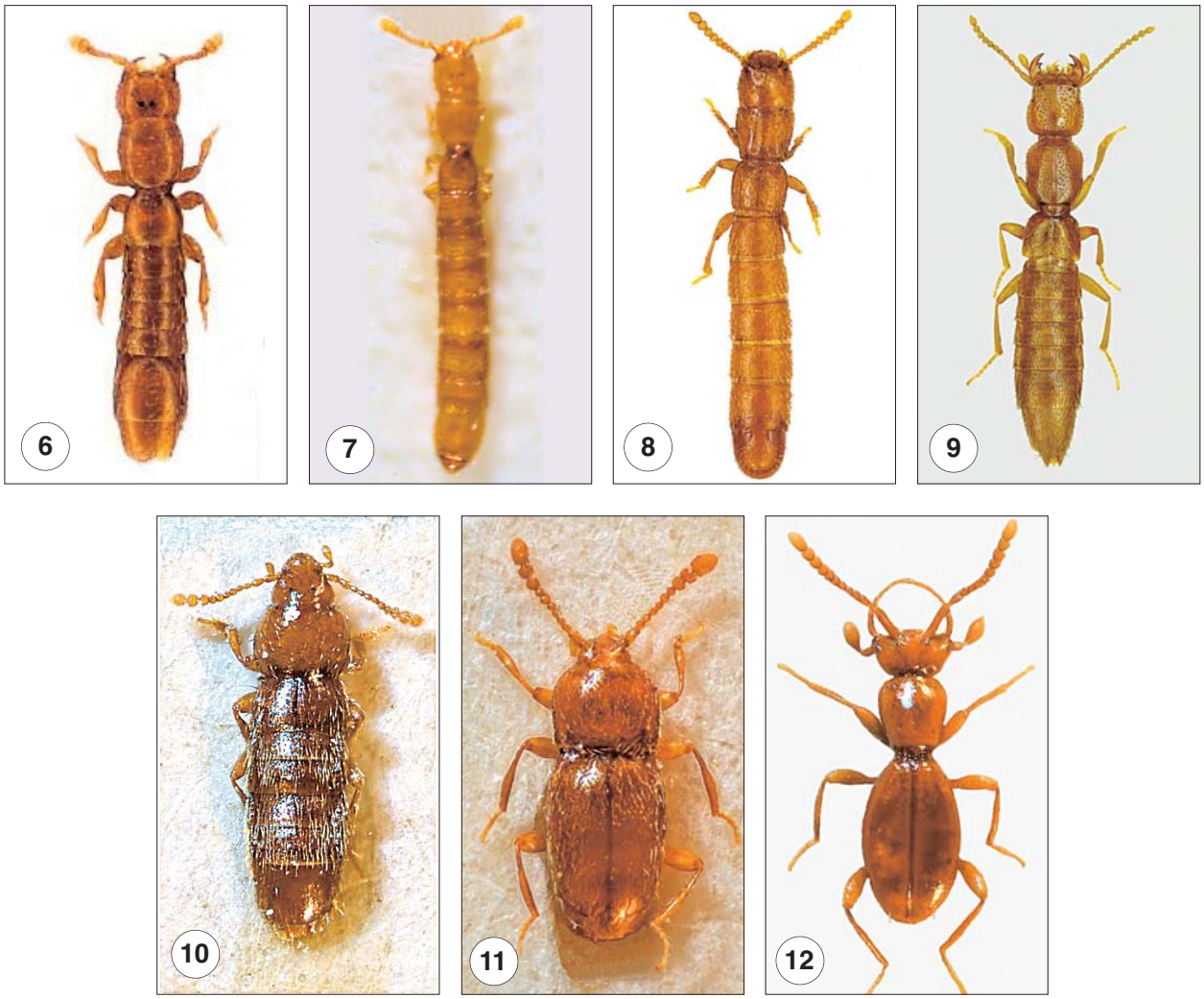

Fig. 6 – *Cyrtotyphlus alfredoi* Colacurcio & Uliana, 2012 (1 mm) (foto Uliana); fig. 7 – *Entomoculia* sp. (1 mm); fig. 8 - *Cylindropsis cilloi* Fancello, 2016 (2,2 mm) (foto Degiovanni); fig. 9 – *Scotonomus sardus* Fagel, 1969 (5 mm) (foto Degiovanni); fig. 10 – *Phloeocharis* (*Scotodytes*) *ichnusae* Dodero, 1900 (1,8 mm); fig. 11 – *Cephennium* (*Geodytes*) sp. (1 mm); fig. 12 – *Leptomastax hypogea* Pirazzoli, 1855 (2 mm).

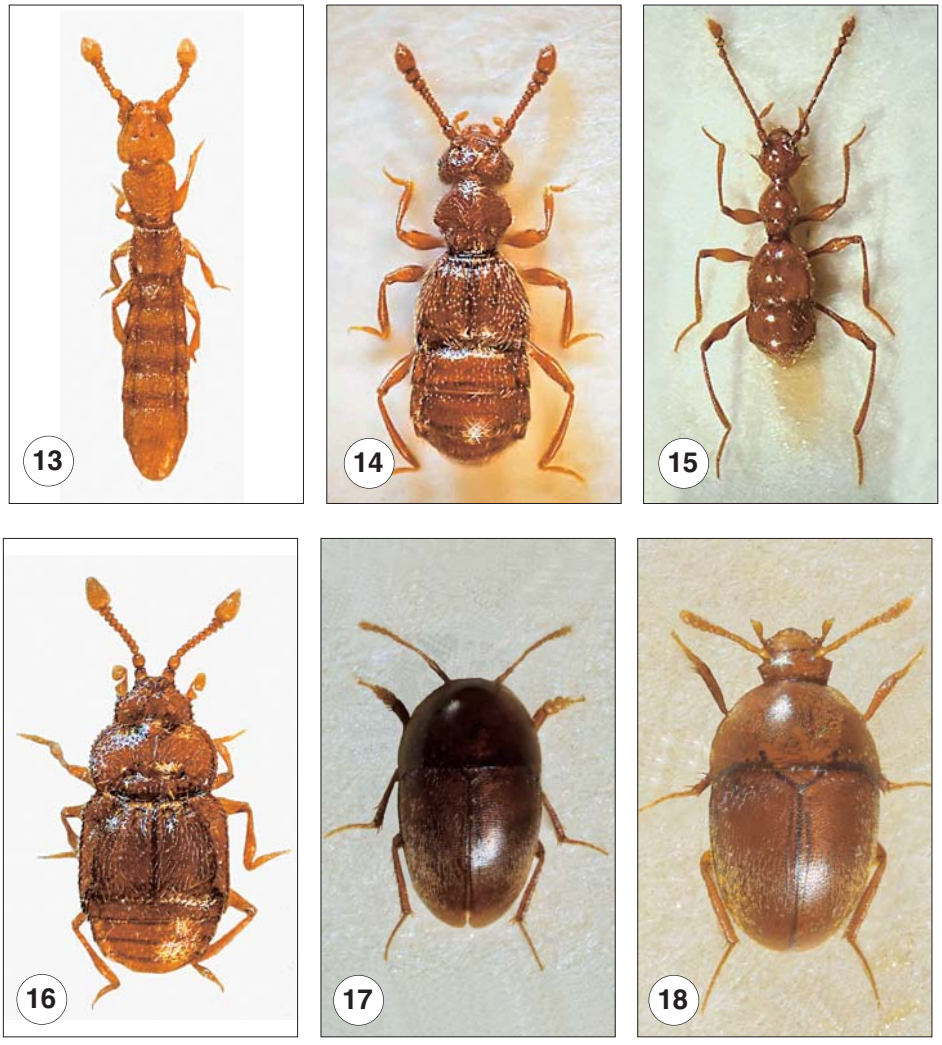

Fig. 13 – *Mayetia* sp. (1 mm); fig. 14 – *Trogaster binaghii* Besuchet, 1969 (2 mm); fig. 15 – *Paramaurops aculeatus* (Dodero, 1919) (2,5 mm) (foto Colacurcio); fig. 16 – *Imirus mirabilis* Poggi, Fancello & Leo, 2008 (1 mm); fig. 17 – *Bathysciola tarsalis* (Kiesenwetter, 1861) (2 mm); fig. 18 – *Parabathyscia wollastoni* (Janson, 1857) (1,7 mm).

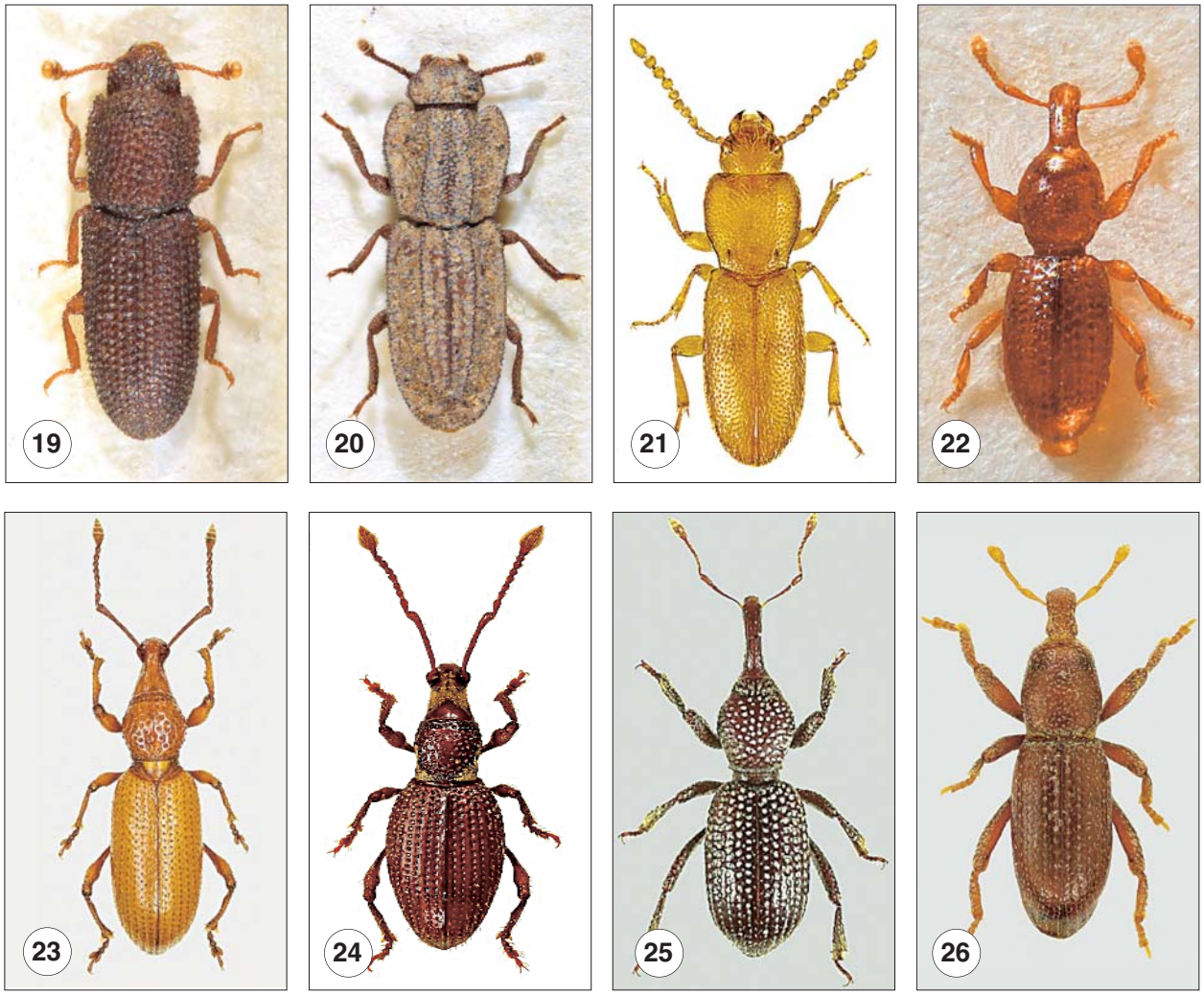

Fig. 19 – *Lyreus septemstriatus* (Fancello & Leo, 1991) (2 mm); fig. 20 – *Langelandia anophthalma* Aubé, 1843 (2,8 mm); fig. 21 – *Osphyoplesius colacurcioi* Magrini & Uliana, 2015 (2,4 mm) (foto Magrini); fig. 22 – *Alaocyba lampedusae* (Dodero, 1916) (1,2 mm) ; fig. 23 – *Otiorhynchus* (*Lixorrhynchus*) *fioronii* Magrini, Meoli, Cirocchi & Abbazzi, 2004 (5,6 mm) (foto Degiovanni); fig. 24 – *Baldorhynchus chiarae* (Monguzzi, 1999) (5,1 mm) (foto Sacco); fig. 25 – *Raymondionymus degiovannii* Magrini & Abbazzi, 2011 (4,5 mm) (foto Magrini); fig. 26 – *Torneuma siculum* Ragusa, 1881 (2,2 mm) (foto Degiovanni).

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 141-147

LE LARVE DEI COLEOTTERI DEL SUOLO

ANDREA DI GIULIO (*)

(*) *Università degli Studi "Roma Tre", Dipartimento di Scienze, Viale G. Marconi, 446, 00146 Roma*.
E-mail: andrea.digiulio@uniroma3.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Soil beetle larvae

Beetles represent one of the major components of soil biodiversity. Most of them act as geophiles, with larvae and pupae strictly hypogeans and adults living outside, coming back to soil only for feeding, hiding and laying eggs. Others are geobionts, their entire lifecycle being accomplished in soil. Larvae are found mostly in decaying organic matter under litter, and show different adaptations to saprophagy, phytofagy, xylophagy, mycophagy, coprophagy, necrophagy, predation, parasitism and parasitoidism. Despite the basic importance of beetle immature stages in soil ecosystems, our knowledge is still scarce and fragmentary from both taxonomic and biological points of view. The reasons of this taxonomic impediment, practical other than cultural, are here discussed.

KEY WORDS: immature beetles, larval taxonomy; identification keys; taxonomic impediment.

INTRODUZIONE

Con circa 370.000 specie descritte (il 40% delle specie note di insetti e circa il 30% di tutte le specie animali) l'ordine Coleoptera rappresenta sotto ogni punto di vista il taxon a maggiore diversità biologica tra tutti gli organismi del nostro pianeta ed è degno di nota il fatto che gran parte di queste specie siano strettamente legate al suolo durante il loro ciclo vitale. Negli ecosistemi terrestri, infatti, in ogni periodo dell'anno, un numero enorme di specie rappresentative di centinaia di famiglie di coleotteri si affollano in lettiera, humus, suolo e ambienti a essi correlati. Le specie più diffuse nell'ambiente ipogeo come adulti e/o larve e pupe sono riconducibili alle famiglie Carabidae, tra gli Adephaga, e Scarabaeidae, Staphylinidae, Elateridae, Silphidae e Cucujidae tra i Polyphaga. Malgrado ciò, relativamente poche specie di coleotteri possono davvero definirsi geobionti (= euedafiche o edafobie), adattate cioè a svolgere il loro intero ciclo vitale all'interno del suolo, senza possibilità di sopravvivere al di fuori di esso. La stragrande maggioranza sono invece specie cosiddette geofile, che svolgono un ruolo importante nel suolo di moltissimi ecosistemi, soprattutto nella lettiera e negli orizzonti più superficiali. Si distinguono generalmente geofili temporanei (= edafoxeni) e geofili periodici (= edafofili): i primi includono specie che si ritrovano nel suolo durante gli stadi di uovo o pupa, durante i periodi di muta e diapausa, oppure che ci arrivano accidentalmente attraverso fessure, nidi e tane dei vertebrati (foleofili); i secondi includono, invece, specie che trascorrono nel suolo tutto lo stadio larvale (es. larve micofaghe, rizofaghe, saprofaghe, xilofaghe, coprofaghe, necrofaghe, predatrici, parassitoidi, parassite), con adulti che svolgono all'esterno le attività di dispersione e riproduzione e tornano nel suolo periodicamente per alimentarsi, proteggersi e deporre le uova.

Come per gli altri insetti olometaboli, lo stadio larvale dei coleotteri rappresenta la fase più critica dello sviluppo. Infatti, i tegumenti sottili ed elastici tipici di questo stadio e le ripetute mute espongono le larve al rischio di disidratazione, stress termici e predazione. Non sorprende quindi che gli stadi del ciclo vitale più legati al suolo siano rappresentati proprio dagli stadi immaturi. Il suolo offre, infatti, protezione, nutrimento, condizioni favorevoli di temperatura e umidità, complessità strutturale ed eterogeneità ambientale, che permettono la sopravvivenza e la convivenza di un numero enorme di organismi, interagenti direttamente o indirettamente all'interno di stabili reti ecologiche.

Tradizionalmente gli specialisti di coleotteri si sono occupati quasi esclusivamente degli adulti, trascurando lo studio degli stadi giovanili o finalizzandone la raccolta e l'allevamento all'emergenza di esemplari appartenenti a specie di particolare pregio estetico, poco comuni o difficili da reperire altrimenti. In generale, le specie che hanno ricevuto un'adeguata attenzione in tutte le fasi del loro ciclo vitale sono quelle d'interesse agrario, forestale, veterinario o medico-sanitario, e quelle legate in vario modo a

– Pubblicato aprile 2018

materiali o attività umane. Infatti, approfondire le conoscenze di base sugli stadi larvali e sul ciclo biologico delle specie dannose è di fondamentale importanza per individuare le fasi in cui intervenire per contenere le infestazioni utilizzando la minor quantità di pesticidi o utilizzando la lotta biologica o integrata.

Soltanto a partire dagli inizi del secolo scorso, alcuni entomologi hanno intrapreso pionieristici studi morfo-anatomici, tassonomici ed ecologici (vedi ad esempio VAN EMDEN, 1942; BÖVING e CRAIGHEAD, 1931; PETERSON, 1948, 1957; CHU, 1949; STEHR, 1987, 1991) su stadi immaturi di varie famiglie di coleotteri, che hanno aperto la strada alle più moderne ricerche sull'argomento.

Sebbene sia ormai ampiamente riconosciuta la fondamentale importanza di studi tassonomici di base sugli stadi di sviluppo per le più diverse applicazioni e sebbene sia aumentato rispetto al passato il numero dei ricercatori specializzati in questo settore dell'entomologia, ancora oggi le ricerche sugli stadi immaturi di coleotteri risultano scarse e inadeguate e le conoscenze finora acquisite appaiono disomogenee e frammentarie, assolutamente non paragonabili a quelle relative allo stadio adulto. I motivi di ciò, esaminati nel presente lavoro, sono molteplici e complessi, da ricercarsi soprattutto in cause di natura pratica oltre che storica, estetica e culturale.

Per quanto riguarda la fauna del suolo (pedofauna o fauna edafica), il problema della difficoltà nell'identificazione tassonomica, noto come "taxonomic impediment", è ancora più grave e coinvolge non soltanto le larve di coleotteri, ma la maggior parte dei gruppi di artropodi, dai chelicerati ai miriapodi, ai crostacei a tutti gli esapodi, in tutte le fasi del loro sviluppo.

CARATTERISTICHE DELLE LARVE DEI COLEOTTERI DEL SUOLO

Le specie di coleotteri che interagiscono col suolo, soprattutto quelle fitofaghe, si comportano principalmente da geofile, con larve e pupe fondamentalmente ipogee e adulti che vivono in superficie, sebbene quest'ultimi possano utilizzare il suolo per cacciare, svernare o deporre le uova (MENTA, 2008). Contrariamente alle larve dei coleotteri euedafici, che si possono trovare anche molto in profondità (euedaphon), fino all'orizzonte B e negli ambienti sotterranei profondi a essi connessi (es. grotte), le larve dei coleotteri geofili si trovano generalmente nella lettiera (quando presente) (orizzonte O, organico, hyperedaphon) e negli strati superficiali (orizzonti A1 e A2, hemiedaphon) o sotto pietre più o meno infossate nel terreno (ambienti sublapidicoli).

Le dimensioni delle larve che si ritrovano nel suolo variano in maniera molto ampia non solo tra le differenti specie di coleotteri, ma anche nel corso del loro sviluppo, che prevede di solito il succedersi di tre età larvali generalmente simili, anche se con differente dimensione relativa di alcune parti del corpo e diversa chetotassi (disposizione di setole e altri organi di senso sul corpo). Le dimensioni maggiori si ritrovano nelle larve di specie geofile, che possono essere classificate nell'ambito della mesofauna (0.2 - 2 mm) alla nascita, della macrofauna (2 - 100 mm) e perfino della megafauna (>100 mm) (es. alcuni Scarabaeidae Cetoniinae e Dynastinae o Cerambycidae), nel corso del loro sviluppo. Le specie edafobie, invece, a causa della finissima porosità e maggiore compattezza degli strati più profondi sono di dimensioni molto ridotte e possiedono larve che rientrano nella mesofauna o addirittura nella microfauna (es. larve di Staphylinidae Leptotyphlinae o Carabidae Trechinae, soprattutto Anillini).

Le tipologie di larve di coleotteri maggiormente diffuse nel suolo sono:

1) *Larve fitosaprofaghe e zoosaprofaghe di tipo scarabeiforme*.
   Si tratta di larve tipiche dei coleotteri scarabeidi e lucanidi, dette anche melolontoidi o cirtosomatiche per la loro caratteristica forte curvatura ventrale a "C" o "U". Poco sclerotizzate, con tegumenti sottili ed elastici, corpulente, tozze, biancastre o incolori, con addome posteriormente ingrossato, capo ipognato marrone-rossiccio o bruno per la forte sclerotizzazione; potente apparato boccale masticatore; mandibole corte e robuste con area molare sviluppata; zampe variamente sviluppate o assenti; pseudopodi addominali e urogonfi assenti.
   Vivono in gallerie scavate in mezzi resistenti (legno, terra ecc.) e si nutrono di materia vegetale o animale in decomposizione. Alcune larve saprofaghe sono specializzate nel colonizzare annessi particolari del suolo (legno, sterco, cadaveri).
   Si ritrovano soprattutto in: Scarabaeoidea, Byrrhidae, Bostrichoidea, Bruchidae, Chrysomelidae, Curculionoidea.
2) *Larve fitosaprofaghe e onnivore di tipo elateriforme.*
   Queste larve sono tipiche dei coleotteri elateridi e sono dette anche ortognate per il loro aspetto rettilineo e filiforme. Si tratta di larve simili alle campodeiformi ma con corpo più allungato, subcilindrico, fortemente sclerotizzato uniformemente, setole corte, urogonfi corti e robusti, zampe corte, prive di pseudozampe addominali, robusto apparato masticatore, brevi antenne, capo generalmente prognato. Si nutrono soprattutto di materia vegetale morta o di vari residui organici.
   Vivono in gallerie scavate alla base delle piante in mezzi resistenti (di solito legno o terra) e sono

presenti in coleotteri Elateroidea (wireworms) e Tenebrionoidea (false wireworms).

3) *Larve fitofaghe e fitosaprofaghe di tipo clavato.*
Larve generalmente apode o con zampe vestigiali, caratterizzate da un corpo di forma clavata, subparallelo o rastremato verso l'apice posteriore; il protorace risulta distintamente espanso e globoso e l'ampia capsula cefalica, parzialmente retratta nel protorace, presenta mandibole corte e robuste atte a triturare. Vivono in gallerie scavate nel legno morto o vivo di cui si nutrono.
Oltre ai Cerambycidae, questa tipologia larvale caratterizza anche i Buprestidae.

4) *Larve predatrici campodeiformi.*
Si tratta di larve dal corpo allungato, subcilindrico o moderatamente appiattito, fusiforme, spesso ben sclerotizzato e privo di zampe addominali, ma con urogonfi terminali generalmente allungati; questi caratteri le fanno somigliare ai dipluri del genere *Campodea* (larve campodeiformi) o a dei tisanuri (larve tisanuriformi o lepismatoidi). Esse possiedono zampe robuste e allungate, gressorie, cursorie o fossorie; mostrano un capo generalmente prognato con robusto apparato masticatore; mandibole aguzze falciformi con area molare ridotta e terebra affilate e/o dentate; antenne brevi.
Queste larve semicriptobionti si muovono attivamente negli spazi interstiziali della lettiera e spesso si ritrovano sotto le pietre. Possono mostrare una predazione specializzata su alcuni gruppi di invertebrati del suolo (es. collemboli, formiche, oligocheti, nematodi, gasteropodi) o una predazione generalista, con dieta di solito simile a quella degli adulti.
I gruppi di coleotteri con larve predatrici nel suolo si possono trovare principalmente nei Carabidae (Adephaga) e negli Staphylinoidea (Polyphaga). È interessante notare che, sebbene questi due gruppi siano molto distanti filogeneticamente e gli adulti siano molto differenti, le loro larve si somigliano, a tal punto che vengono molto spesso confuse.
Sebbene la maggior parte siano fondamentalmente polifaghe, le larve dei Carabidae rappresentano un buon esempio di radiazione adattativa correlata al tipo di alimentazione, alla strategia di cattura delle prede e alla vita in diversi ecosistemi (BRANDMAYR *et al.*, 2005). Il trend generale riguarda la diversificazione degli zoofagi, che riflette l'espansione in tutti i possibili livelli di habitat: fitobionti, epibionti, semicriptobionti e geobionti. Il secondo trend riguarda la specializzazione su un particolare tipo di preda come ad esempio collemboli (Nebriini, Loricerinae), oligocheti (Pterostichinae Molopini), formiche (molti Paussinae, Harpalinae Anthiini, Pseudomorphinae, Lebiinae Graphipterini), gasteropodi polmonati (Carabinae Carabini, Cychrini, Licinini, Scaritini), bruchi di lepidotteri (), anfibi anuri (Claeniini) e la trasformazione dalla zoofagia, attraverso la micetofagia (Rhysodinae), alla fitofagia (Harpalinae, Zabrini, Amarini), quest'ultima soprattutto relativa alla spermofagia su piante erbacee. Alcuni sono parassiti sociali di formiche (Paussini) o parassitoidi su pupe di altri coleotteri (Lebiini, Brachinini). Varie sono anche le strategie di predazione messe in atto dalle diverse specie, che variano dalla caccia libera della maggior parte dei gruppi a quella all'agguato (es. Cicindelinae, molti Paussinae, Pseudomorphinae) fino ai "reversal predators" (larve di Chlaeniini), predatori in veste di prede, le cui colorazioni vivaci attraggono l'attenzione di anfibi anuri ai quali poi si attaccano con le mandibole (generalmente in prossimità della bocca) e consumano lentamente, provocandone la morte.

5) *Larve predatrici onisciformi.*
Si tratta di larve somiglianti a isopodi oniscidi, note anche come cheloniformi o "a disco" per il loro caratteristico corpo accorciato, ovale e distintamente depresso, protetto da tergiti molto dilatati, debordanti sui lati e ben sclerotizzati. A causa delle espansioni tergali, il capo e le zampe appaiono nascoste sotto al corpo. Questa forma si è evoluta in maniera convergente in Carabidae Cychrini, Scydmenidae, Silphidae, Byrrhidae, Corylophidae e Lampyridae, spesso in larve predatrici di gasteropodi polmonati, principalmente come adattamento protettivo per mantenere gli spiracoli funzionali anche durante l'immersione nel muco del mollusco.

6) *Larve aberranti.*
Non mancano larve di aspetto fortemente atipico, a causa di spiccati adattamenti alla foresia (es. Meloidae, Rhipiphoridae), alla fragmosi (Chrysomelidae, Paussinae), allo scavo, al parassitismo sociale (es. larve fisogastre di Staphylinidae e Carabidae mirmecofile o termitofile) o al parassitoidismo (es. Carabidae Brachininae).

7) *Larve di coleotteri edafobi*.
Le larve di coleotteri euedafici sono generalmente caratterizzate dai seguenti adattamenti: miniaturizzazione e/o allungamento e/o schiacciamento del corpo; depigmentazione del corpo e riduzione dello spessore della cuticola con conseguente aumento della mobilità corporea utile al movimento in microfessure; accorciamento delle appendici; riduzione dei fotorecettori fino a completa anoftalmia; semplificazione del sistema sensoriale con specializzazioni; rari adattamenti allo scavo.
Esempi di edafobi si ritrovano principalmente in Carabidae (Trechinae), Staphylinoidea (Pselaphinae), Leiodidae (Cholevinae), Curculionidae e Zopheridae. Purtroppo le larve di coleotteri edafobi sono ancora pochissimo conosciute, basti pensare che negli Pselaphinae sono note larve di appena 19 specie su circa 9100, rappresentative di 15 generi su 1220.

Importanza ecologica delle larve di coleotteri del suolo

Sebbene strutturalmente più semplici degli insetti adulti, principalmente influenzati dalle attività di riproduzione e dispersione, le larve di coleotteri mostrano una serie di adattamenti morfo-funzionali ed eco-etologici estremamente complessi, correlati a raffinate strategie di predazione, fitofagia, parassitismo, mimetismo, difesa, respirazione ecc.

Dal punto di vista ecologico, le larve degli insetti olometaboli costituiscono un elemento fondamentale di tutte le comunità animali terrestri e di acque interne, essendo coinvolte nella trasformazione dell'energia e nel ricircolo dei nutrienti negli ecosistemi. Queste sono infatti utilizzate nelle catene trofiche come cibo da molti invertebrati e vertebrati (soprattutto pesci, anfibi, rettili, uccelli e piccoli mammiferi), o a loro volta sono predatrici o parassite di altri animali o fitofaghe.

Grazie alla loro abbondanza, diversità e biomassa in tutti gli ambienti edafici, le larve dei coleotteri svolgono un ruolo ecologico di primo piano nelle comunità del suolo sotto diversi punti di vista. La loro continua azione di scavo e di perforazione del terreno provoca un aumento della porosità e dell'aereazione del suolo, favorendo direttamente o indirettamente lo sviluppo di organismi decompositori aerobi e una più ricca fauna di invertebrati, che sfrutta le complesse reti di micro- e macrogallerie da esse scavate. Al pari dei lombrichi molte larve sono per questo motivo considerate importanti "ingegneri del suolo".

Inoltre, le larve fitofaghe, fitosaprofaghe e xilofaghe nelle foreste sono fondamentali per la triturazione delle grandi masse di materia vegetale accumulata e di legno morto, attività questa funzionale alla rapida degradazione da parte dei funghi e microrganismi, dei quali, tra l'altro, rappresentano efficaci vettori di dispersione. Lo stesso vale per le larve zoosaprofaghe, coprofaghe o necrofaghe che lavorano i residui animali, accelerandone in maniera diretta o indiretta la completa trasformazione in sostanza organica disponibile.

La componente non trascurabile di larve predatrici, parassite o parassitoidi risulta essere infine molto efficace nel controllo degli organismi della meso- e macrofauna, aumentando la complessità e interconnessione tra i diversi livelli trofici e stabilizzando in definitiva le reti ecologiche degli invertebrati del suolo.

Da quanto detto si intuisce facilmente come una corretta identificazione delle larve sia alla base di qualsiasi indagine ecologica finalizzata al biomonitoraggio ambientale e alla salvaguardia della biodiversità dei più disparati ecosistemi, acquatici o terrestri.

Già da molti anni, gli stadi giovanili di insetti acquatici vengono utilizzati come indicatori biologici nell'ambito di studi di valutazione della qualità delle acque interne sia lentiche che lotiche e dell'impatto ambientale di inquinanti di vario tipo o infrastrutture di varia natura. Gli indici biotici più utilizzati in questi studi, come l'I.B.E. (Indice Biotico Esteso), il B.M.W.P. (Biological Monitoring Working Party), l'I.B.G.N. (Indice Biologique Global Normalisé) e l'A.S.P.T. (Average Score Per Taxon), prendono tutti in considerazione l'importanza di una corretta identificazione degli stadi larvali di vari ordini di insetti olometaboli come ditteri, coleotteri, tricotteri, megalotteri e planipenni, oltre ai taxa emi-, pro- ed eterometaboli quali plecotteri, efemerotteri, odonati ed eterotteri.

Molto più carente è invece lo stato delle conoscenze di base relative agli invertebrati presenti nel suolo, il che ne rende conseguentemente difficile il loro uso nella costruzione di indici biotici per la qualità dei suoli. Per questo motivo, in questi ecosistemi vengono utilizzati indici come il QBS-ar (Qualità Biologica del Suolo, basato sulla presenza di più gruppi di artropodi) e il QBS-c (Qualità Biologica del Suolo, basato sulla presenza dei soli collemboli) (Parisi 2001, Parisi *et al.* 2005; Menta *et al.* 2008), che si fondano sul criterio delle forme biologiche applicate ai microartropodi edafici, con l'intento di dare una valutazione del livello di adattamento alla vita ipogea (Parisi, 1974) e di superare, sotto il profilo operativo, le difficoltà dell'analisi tassonomica a livello di specie (Menta, 2008). Nel calcolo di questi indici, gli esemplari raccolti in un dato campione di suolo vengono, infatti, identificati a livello molto grossolano (ad esempio di classe o ordine) e viene loro attribuito un punteggio prestabilito in relazione al livello di specializzazione, sicché i suoli che ospitano più artropodi più specializzati ricevono un punteggio maggiore. L'idea sottesa è che migliore è lo stato di qualità di un suolo, più ricca e specializzata è la fauna che vi abita. In questi indici la valutazione dei coleotteri, al pari di quella dei collemboli, è complessa a causa della presenza di varie forme biologiche adattate alla vita epigea, emiedafica ed euedafica anche all'interno di uno stesso genere, con una gradualità degli adattamenti alla vita nel suolo (livello di sclerotizzazione dei tegumenti, presenza di occhi, riduzione delle appendici etc.) che va valutata per ogni esemplare. Un discorso a parte viene fatto per le larve di coleotteri che, avendo un'ecologia ben distinta da quella degli adulti, vengono valutate in maniera indipendente e con punteggio addizionale rispetto agli adulti. Purtroppo non si può fare distinzione tra larve di specie edafofile da quelle di specie euedafiche, dal momento che l'identificazione, quando possibile, non è affatto semplice (vedi discussione nel paragrafo "Problemi legati all'identificazione e allo studio delle larve").

La complessità e l'eterogeneità delle comunità che caratterizzano il suolo e le scarse conoscenze ecologiche e tassonomiche sull'argomento, limitano fortemente

l'utilizzo delle larve di coleotteri anche in analisi standardizzate quantitative. Sarebbe necessario invece tener conto di questa fondamentale componente delle comunità animali per studiare dinamiche di popolazione e struttura di comunità, generalmente sottostimate e basate esclusivamente sulla conta degli individui adulti.

Problemi legati all'identificazione e allo studio delle larve

Il crescente interesse per gli stadi larvali in tutti i loro ambiti di studio, sia di base, sia applicati, si scontra però con oggettive difficoltà e problematiche operative, oltre che interpretative, che ne rendono di fatto complicato qualsiasi approccio tassonomico accurato ed esauriente. L'identificazione delle larve di coleotteri raccolte in natura è, infatti, un procedimento molto complesso, ancorché possibile, soprattutto se si voglia arrivare a livello di genere o di specie. Normalmente ci si ferma a un livello tassonomico talmente elevato (ordine, sottordine, famiglia) che risulta di fatto inutilizzabile per studi applicativi che richiedano una determinazione più precisa del materiale.

Di seguito vengono riportate e discusse alcune delle più diffuse problematiche relative all'identificazione e allo studio delle larve. Tali problematiche, sebbene siano più sentite nel caso della fauna edafica, coinvolgono più in generale lo studio degli stadi immaturi di tutti i coleotteri e insetti olometaboli.

Innanzitutto, un ricercatore che voglia dedicarsi a questo settore dell'entomologia, uno specialista che voglia approfondire le conoscenze sugli stadi larvali del suo taxon di elezione, o semplicemente un entomologo che abbia necessità di identificare larve di coleotteri nell'ambito di indagini faunistiche o ecologiche, si trova di fronte ad un primo grave problema, quello cioè della scarsità di studi pregressi e di letteratura disponibile, sia generale che specialistica. Pochissimi sono, infatti, i lavori di sintesi, spesso piuttosto datati, mentre quelli specialistici sono frammentari, scarsamente illustrati, non sempre facilmente accessibili perché pubblicati su riviste minori, in lingue locali e relative soprattutto a taxa di alcune, limitate aree geografiche o di ristretti gruppi tassonomici. Questo è dovuto al fatto che sono pochissimi gli specialisti di morfologia larvale, soprattutto se paragonati a quelli che si occupano di adulti. È infatti molto raro che un entomologo specialista di un taxon sia in grado di dedicarsi anche allo studio delle larve dello stesso.

Le poche chiavi di riconoscimento disponibili, anche le più dettagliate, sono molto difficili da utilizzare per i seguenti diversi problemi oggettivi, che prescindono le capacità e la chiarezza dei singoli autori.

Poiché le conoscenze, anche riguardanti gruppi tassonomici noti o aree ben studiate, sono frammentarie, le chiavi per le larve risultano fortemente incomplete e provvisorie, con conseguente incertezza del fruitore, nel dubbio tra le sue capacità interpretative e la reale presenza del taxon in studio nella chiave utilizzata. Tra l'altro, le descrizioni di nuove larve spesso sconvolgono la struttura di base della maggior parte delle chiavi disponibili.

La scarsità di pubblicazioni sintetiche e aggiornate sull'argomento e la poca comunicazione tra gli specialisti di morfologia larvale generano spesso difformità terminologiche ed equivoci riguardanti la diversa definizione e interpretazione morfologica di parti anatomiche, introducendo elementi di confusione nelle chiavi stesse. Ad esempio l'ultimo articolo della zampa che precede l'unghia in larve di coleotteri polifagi è definito "tibia" da quegli autori che ipotizzano la fusione del tarso con l'unghia, da questi chiamata "tarsungulus" (derivante dalla fusione di tarso+pretarso), mentre è definito "tibiotarsus" da coloro che ipotizzano una fusione del tarso con la tibia mentre l'unghia è considerata semplicemente come "pretarso". Difformità di questo tipo sono ricorrenti anche in studi riguardanti la stessa famiglia di coleotteri. Infatti, una terminologia obsoleta e superata continua in molti casi a essere riproposta in nome di una uniformità storica con quella utilizzata da alcuni specialisti di una particolare famiglia, o semplicemente per mancanza di aggiornamento.

Le chiavi più generali come quelle presentate da Sterr (1991), che includono tutti i possibili gruppi di coleotteri (anche se si fermano al livello di genere o famiglia), appaiono troppo complesse per essere facilmente utilizzate da entomologi non specializzati, perché prevedono una profonda conoscenza dell'anatomia larvale.

Data la grandissima eterogeneità morfologica mostrata dalle larve anche all'interno di uno stesso gruppo e la presenza di fortissime convergenze adattative dovute ad una simile nicchia ecologica (es. fossorie, criptobionti, saprofaghe, predatrici, ecc.), esistono molti problemi di interpretazioni morfo-anatomiche.

Come esempio della convergenza adattativa alla vita edafica, possiamo citare la notevole somiglianza nella forma generale del corpo tra larve di stafilinidi e carabidi, quasi sempre confuse, distinguibili con certezza solo dal numero di segmenti delle zampe (6 nei carabidi e 5 negli stafilinidi).

A causa delle dimensioni ridotte (spesso larve minuscole soprattutto i primi stadi) c'è la necessità di avere a disposizione un'attrezzatura microscopica adeguata per facilitare l'identificazione, nonché la necessità nel corso delle identificazioni di fare continuo ricorso a dissezioni e all'allestimento di preparati microscopici temporanei o permanenti. Questo significa rendere non più utilizzabile un materiale che è di solito estremamente raro e delicato. Ad esempio, la rimozione

di almeno una mandibola e/o mascella e del labbro inferiore è quasi sempre inevitabile per controllare alcuni caratteri fondamentali presenti sui pezzi boccali (es. presenza/assenza di prosteca, area molare, penicillus sulle mandibole, presenza/assenza di galea e lacinia sugli stipiti mascellari o loro eventuale fusione, struttura dell'epifaringe ecc.), un'operazione particolarmente difficile in insetti di piccole o piccolissime dimensioni.

Il riconoscimento viene ulteriormente complicato dal diffuso "polimorfismo larvale", qui inteso come una differenza significativa tra le diverse età larvali nel corso dello sviluppo. Questa variazione può riguardare la semplice variazione nel numero e disposizione delle setole sensoriali (chetotassi), ai differenti rapporti morfometrici tra varie parti anatomiche (caratteri questi molto spesso utilizzati nelle chiavi di identificazione), alla riorganizzazione di tutta la morfologia del corpo (ipermetabolia), come nelle larve di Meloidae che nascono come planidi campodeiformi molto attivi e si trasformano nel corso dello sviluppo in larve fisogastre o scarabeiformi, pressoché immobili, passando attraverso una fase quiescente di ipnoteca, prima di raggiungere lo stadio pupale.

Il fenomeno del polimorfismo larvale, generalmente presente in coleotteri parassiti di insetti sociali, ha una grande valenza biologica nello sviluppare adattamenti differenti per i diversi stadi di sviluppo, ma non è trascurabile come fattore di complicazione nelle chiavi, dal momento che le descrizioni si basano spesso su singoli esemplari di larve appena sgusciate dall'uovo (prima età) o occasionalmente raccolte in natura.

Tra gli altri impedimenti a intraprendere uno studio serio e accurato su larve di coleotteri ci sono senz'altro le notevoli difficoltà nel reperimento degli esemplari, nella maggior parte dei casi derivanti da raccolte occasionali. Le larve tendono generalmente a dissimulare la loro presenza pur rimanendo in strettissima associazione con il loro *pabulum*. Questa elusività comporta una relativa difficoltà di campionamento e rarità apparente degli stadi immaturi, soprattutto se confrontata con quella degli individui adulti.

Molti problemi possono insorgere nelle identificazioni a causa delle cattive condizioni in cui versa il materiale. Si tratta, infatti, di materiale estremamente delicato, poco sclerotizzato e facilmente soggetto a lacerazioni e danneggiamento. Normalmente le larve vengono uccise e conservate direttamente in etanolo 70-80% che provoca un irrigidimento generale del corpo. Dal momento che l'etanolo non penetra immediatamente all'interno della chitina, determina un ritardo nei processi di fissazione che causa una parziale decomposizione dei tessuti, soprattutto in larve di grandi dimensioni. In realtà l'etanolo, a concentrazioni variabili in relazione alle dimensioni delle larve, dovrebbe essere utilizzato soltanto per la conservazione e non per l'uccisione. La scelta delle modalità o delle miscele di uccisione è invece critica per una corretta fissazione e conservazione del materiale. La fissazione in acqua bollente, per un tempo variabile a seconda delle dimensioni della larva, è il metodo più indicato ed utilizzato, anche se poco pratico da effettuare sul campo, mentre la conservazione in alcool, addizionato con altri liquidi specifici che mantengano la mobilità di zampe e pezzi boccali (es. acido acetico) e prevengano i rischi di disidratazione (es. glicerina), una delle maggiori cause di danneggiamento del materiale, dovrebbe essere successiva a questa fissazione.

Probabilmente uno dei maggiori problemi nell'identificazione e in generale nel progredire delle conoscenze sugli stadi larvali è la quasi completa assenza di collezioni di riferimento, in particolare quelle determinate da specialisti. Il materiale proveniente da trappolamenti o da raccolte occasionali o effettuate con metodi standardizzati (es. selettori Berlese di campioni di suolo) viene spesso conservato in generiche provette catalogate come non meglio identificate "larve di insetti" o smistato utilizzando metodi speditivi empirici e poco accurati. In lavori di monitoraggio di comunità di invertebrati, quasi mai vengono effettuate dissezioni o preparazioni microscopiche ed il rischio di commettere errori è elevatissimo. Quanto esposto finora comporta che generalmente le larve di coleotteri, soprattutto quando provenienti da raccolte non esplicitamente indirizzate al loro studio sono male identificate e conservate e finiscono per essere trascurate e spesso dimenticate o disperse.

Un altro fattore da non sottovalutare è che la maggior parte delle larve appaiono come animali depigmentati, piccoli, complicati da studiare e conservare, difficilmente assegnabili ad un rango tassonomico inferiore a quello di famiglia e poco attraenti esteticamente; per questi motivi sono generalmente trascurate dagli entomologi non professionisti che invece forniscono un enorme contributo all'alfa tassonomia degli adulti.

Un'identificazione a livello specifico viene spesso effettuata *ex societate imaginis*, desunta cioé indirettamente dal ritrovamento di adulti in stretta associazione o nelle immediate vicinanze del sito di raccolta. Mentre però questi metodi indiretti possono essere utilizzati con buona affidabilità in ambienti chiusi, isolati o molto ben esplorati dal punto di vista faunistico, come grotte, isole o frammenti forestali, lasciano molti dubbi in zone relativamente poco conosciute.

Uno dei pochi metodi certi per assegnare gli individui immaturi a livello di specie rimane però quello dell'allevamento, che può essere condotto in cattività da ovideposizioni di adulti raccolti in natura, oppure, viceversa, a partire direttamente dagli stadi larvali raccolti in natura e allevati fino allo sviluppo completo dell'individuo adulto. In entrambi i casi, la riuscita

dell'allevamento dipende da moltissimi fattori, essendo relativamente semplice con larve xilofaghe o fitofaghe e molto difficile con larve parassite o parassitoidi.

Altra possibilità di identificazione è invece quella di effettuare analisi molecolari di DNA barcoding su campioni di larve o parti di esse, mediante sequenziamento di marcatori del frammento mitocondriale codificante la subunità I della citocromo ossidasi, COI, e poi comparare le sequenze trovate con quelle note depositate nelle banche dati. Appare evidente che, malgrado l'alta affidabilità di questi metodi molecolari, un simile approccio non possa essere utilizzato se non in alcuni casi particolari e non in analisi routinarie.

In conclusione, da quanto analizzato nei precedenti paragrafi emerge chiaramente come le larve dei coleotteri rappresentino una componente di primaria importanza negli ecosistemi edafici. Il loro ruolo ecologico è estremamente complesso e diversificato e favorisce la stabilizzazione ed il buon funzionamento delle reti trofiche del suolo a tutti i livelli. Per questo motivo le larve rappresentano degli ottimi candidati come bioindicatori per valutare lo stato di salute di questi ecosistemi. Purtroppo, la scarsità di conoscenze tassonomiche e biologiche ne limitano ancora fortemente il loro impiego in studi applicativi.

Ringraziamenti

Ringrazio sentitamente Marzio Zapparoli per l'invito a partecipare alla Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". A Carlo Jacomini va un ringraziamento per aver stimolato in questi ultimi anni il mio interesse per lo studio della fauna del suolo. Ringrazio anche Augusto Vigna Taglianti e Marco Bologna perché devo soprattutto a loro la mia passione per l'affascinante diversità delle larve di coleotteri. Un ringraziamento particolare va infine a Simone Fattorini per i suoi consigli e la revisione critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

Böving A.G., Craighead F.C., 1931 – *An illustrated synopsis of the principal larval forms of the order Coleoptera*. - Entomol. Amer. (n.s.), 11: 1-351.

Brandmayr P., Zetto T., Pizzolotto R., 2005. – *I Coleotteri Carabidi per la valutazione ambientale e la conservazione della biodiversità: Manuale operativo*. - Manuali e Linee Guida / APAT - Vol. 34/2005, 240 pp.

Chu H.F., 1949 – *How to know the immature insects*. - Wm. C. Brown Company, Dubuque, Iowa. 127 pp.

Emden F.I. van, 1942 – *A Key to the Genera of Larval Carabidae (Col.)*. - T. Roy. Ent. Soc. London, 92: 1-99.

Menta C., 2008 – *Guida alla conoscenza della biologia e dell'ecologia del suolo. Funzionalità, diversità biologica, indicatori.* – Gruppo Perdisa Editore/Airplane srl, Bologna, 265 pp.

Menta C., Leoni A., Bardini M., Gardi C., Gatti F., 2008 – *Nematode and microarthropod communities: comparative use of soil quality bioindicators in covered dump and natural soils.* - Environ. Bioindic., 3: 35-46.

Parisi V., 1974 – *Biologia e ecologia del suolo: tecniche di ricerca.* – Bollati Boringhieri, 174 pp.

Parisi V., 2001 – *La qualità biologica del suolo: un metodo basato sui microartropodi.* –Acta naturalia de "L'Ateneo Parmense", 37, nn 3/4: 105-114.

Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E., 2005 – *Microarthropod community as a tool to asses soil quality and biodiversity: a new approach in Italy.* – Agr. Ecos. Env., 105: 323-333.

Peterson A., 1948 – *Larvae of Insects. An Introduction to Nearctic Species. Part 1. Lepidoptera and Plant Infesting Hymenoptera.* - Edwards Brothers, Inc. Ann. Arbor., MI, 315 pp.

Peterson A., 1957 – *Larvae of Insects. An Introduction to Nearctic Species. Part 2. Coleoptera, Diptera, Neuroptera, Siphonaptera, Mecoptera, Trichoptera.* Edwards Brothers, Inc. Ann. Arbor., MI, 416 pp.

Stehr F.W. (Ed.), 1987 – *Immature Insects, Volume 1.* - Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa. 754 pp.

Stehr F.W. (Ed.), 1991 – *Immature insects, Volume 2.* - Kendall/Hunt, Dubuque, Iowa. 975 pp.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 149-155

IL RUOLO DEGLI IMENOTTERI FORMICIDI NELLE COMUNITÀ DEL SUOLO

GIACOMO SANTINI (*) - ALBERTO MASONI (*) - FILIPPO FRIZZI (*)

(*) *Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Firenze,Via Madonna del Piano 6, 50019 Firenze, Italy.*
E-mail: giacomo.santini@unifi.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

The ecological role of ants in soil communities

Ants represent a significant fraction of arthropod fauna in many terrestrial ecosystems. Understanding their ecological role, and understanding their relationships with other organisms is therefore, of the utmost importance for the comprehension of community dynamics in many habitats. Ants may affect local communities through predation, competition, but also modifying soil properties. Furthermore, ants establish mutualistic interactions with many plant parasites, and this interaction may result in a detrimental effect on plants. Finally, ants possess several features, like widespread diffusion, ease of sampling and responsiveness to habitat changes, that make them good candidates as indicators of environmental impact.

KEY WORDS: ants, competition, predation, arthropod communities

INTRODUZIONE

Gli Imenotteri Formicidi costituiscono una frazione rilevante della artropodofauna dei suoli. Le specie conosciute di formiche viventi ammontano a circa 12.500, per un totale di 290 generi distribuiti entro 17 sottofamiglie (BOLTON *et al*., 2006; WARD, 2010), ma si stima che il numero totale possa superare le 25.000 specie. La Mirmecofauna italiana è relativamente ricca e comprende circa 180 specie con 38 generi.

La famiglia Formicidae presenta un'ampia diversificazione locale, riflesso di una elevata capacità adattativa e di una sorprendente abilità nello sfruttamento di un ampio spettro di nicchie trofiche, tanto al suolo quanto sulla vegetazione (HOLLDÖBLER e WILSON, 1990; FISHER, 2010). Questi organismi sono pertanto presenti in ogni tipo di habitat, con l'unica eccezione delle calotte polari e delle zone montane più estreme (HOLLDÖBLER e WILSON, 1990).

Per quanto riguarda la posizione trofica, gli Imenotteri Formicidi possono rivestire ruoli fortemente differenziati e possono comportarsi sia da erbivori, consumando direttamente o indirettamente (es. melata prodotta da Omotteri) sostanze di origine vegetale, da predatori primari o secondari, ma anche, e soprattutto, da onnivori. Infatti, nonostante la presenza di specie fortemente specializzate nella utilizzazione di un tipo di risorsa, come ad esempio le formiche tagliafoglie (es. generi *Atta* e *Acromyrmex*) o le formiche prettamente granivore (es. genere *Messor*), molte specie sono di fatto onnivore e possono passare da una modalità all'altra di nutrimento in dipendenza di condizioni ambientali locali o al fabbisogno della colonia (BLÜTHGEN e FELDHAAR, 2010). Un esempio di occupazione di livelli trofici diversi è riportato nella Fig. 1, che mostra i risultati di una indagine sul ruolo trofico delle specie di Formicidi in un tipico agroecosistema (oliveto, OTTONETTI *et al*., 2008). Come è possibile notare, alcune specie (*Lasius lasioides*, *Crematogaster scutellaris*) hanno una posizione compatibile con un ruolo di predatori carnivori, mentre altre (*Camponotus* spp.) si trovano posizionate ad un livello trofico più basso, indice di un maggior consumo di risorse primarie (in questo caso melata prodotta da Omotteri).

Data questa abilità, l'ubiquità nella distribuzione, l'elevata densità di popolazione che molte specie possono raggiungere e la stabilità temporale delle colonie, non sorprende che i Formicidi costituiscano un elemento chiave nel funzionamento di molti ecosistemi terrestri, esercitando un controllo sulle comunità del suolo (PAUL, 2014).

Di seguito si riporta una breve rassegna delle principali interazione dei Formicidi con altri organismi.

PREDAZIONE

Gli effetti predatori delle formiche sulla artropodofauna sono ben noti e supportati da una vasta letteratura in merito (es. ROBINSON *et al*., 2016). Come predatori, le formiche hanno abitudini relativamente opportunistiche, predando di volta in volta specie

– Pubblicato aprile 2018

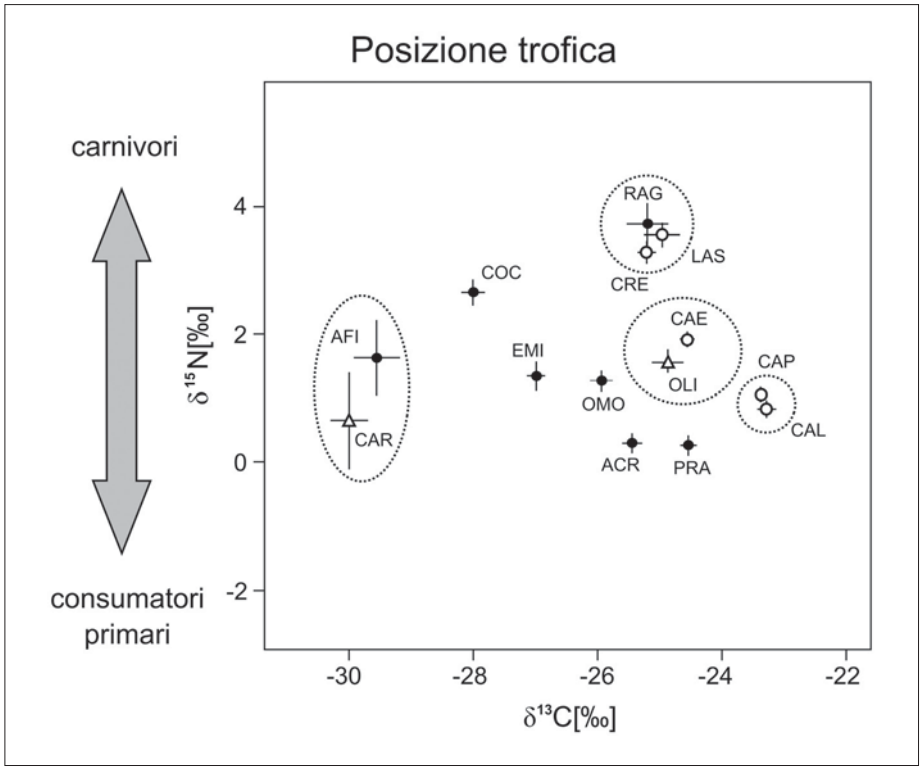

Fig. 1 – Diagramma tra isotopi stabili dell'azoto ($\delta^{15}N$) e del carbonio ($\delta^{13}C$) presenti nei tessuti che mostra un esempio di occupazione di differenti livelli trofici da parte di alcune specie di formiche in relazione a dei produttori primari e ad altri artropodi in un agroecosistema (da Ottonetti *et al*., 2008). Simboli: cerchi bianchi, specie di formiche; cerchi neri, altri artropodi; triangoli bianchi, piante. Sigle: ACR, Acrididi; AFI, Afidi; CAE, *Camponotus aethiops*; CAL, *Camponotus lateralis*; CAP, *Camponotus piceus*; CAR, Cardo (*Carduus* sp.); COC, Coccinellidi; CRE, *Crematogaster scutellaris*; EMI; Emitteri (Eterotteri); LAS, *Lasius lasioides*; OLI, olivo (*Olea europaea*); OMO, Omotteri (*Saissetia oleae*); PRA, Tignola dell'ulivo (*Prays oleae*); RAG, Ragni.

differenti in base alla loro disponibilità. Questo fatto determina un impatto aspecifico e i gruppi di artropodi che subiscono la loro azione predatoria vanno dai Coleotteri (es. Geotrupidi, Curculionidi, Crisomelidi), ai Lepidotteri (es. Geometridi, Coleoforidi, Piralidi) fino a Ditteri, Imenotteri, Psocotteri, ma anche miriapodi e crostacei. Per avere una idea dell'impatto potenziale della predazione da parte di formiche basti considerare alcuni casi esemplificativi. Horstman (1974) ha ad esempio descritto come una colonia di medie dimensioni di *Formica polyctena,* agente su un'area relativamente circoscritta (0.27 ha), possa consumare nel corso di una singola stagione tra i 6 e gli 8 milioni di altri artropodi terrestri (equivalenti a 259 MJ). Similmente, Ronchetti e Groppali (1995) hanno mostrato come in un singolo nido di *Formica lugubris* possano essere trasportate circa 490 differenti prede, appartenenti a 8 diversi ordini di insetti, nel corso di una sola ora. L'attività predatoria è favorita dalle peculiari caratteristiche biologiche dei Formicidi e, tra queste, la formazione di colonie di dimensioni talvolta rilevanti e la capacità di reclutare rapidamente conspecifici sulle risorse utilizzando un sofisticato sistema di comunicazione chimica, giocano sicuramente un ruolo fondamentale. È infatti grazie a queste capacità, e in alcuni casi alla presenza di caste specializzate, che i Formicidi sono capaci di utilizzare prede animali anche di dimensioni notevolmente superiori alle dimensioni del singolo individuo. L'efficienza predatoria delle formiche è alla base della loro utilizzazione nella lotta biologica (es. Offenberg, 2015).

Competizione

La competizione tra specie di formiche è una delle principali forze che determinano la struttura ed il funzionamento delle loro comunità, ed è correntemente definita come 'hallmark of ant ecology' (Hölldobler e Wilson, 1990). La maggior parte delle specie di formiche presenta comportamenti aggressivi verso le altre specie (ma anche verso conspecifici appartenenti ad altre colonie), che possono sfociare in forme di guerra altamente organizzata (Santarlasci *et al*., 2014). Per questo motivo le comunità di formiche sono generalmente strutturate secondo una rigida gerarchia di dominanza, nella quale alcune specie prevalgono sulle altre escludendole dai propri territori o comunque limitandone l'accesso alle risorse. Tipicamente vengono distinti tre differenti livelli gerarchici principali (si vedano Parr e Gibb, 2010; Johansson e Gibb, 2016 per una rassegna della letteratura più recente). Il più basso (*submissive species*) comprende specie che difendono esclusivamente il loro nido, come ad esempio *Formica fusca* e alcune formiche del genere *Leptothorax*. Ad un livello intermedio (*encounter species*) vi sono quelle specie che difendono anche le proprie risorse, come ad es. *Tetramorium caespitum*, *Camponotus herculeanus* o *Camponotus ligniperda*. Al vertice della gerarchia

(*dominant species*) vi sono quelle che difendono dei territori assoluti, rappresentati dal proprio nido e tutta l'area circostante che contiene le risorse di cui la colonia si nutre. Tra queste specie possiamo enumerare sicuramente molte specie del genere *Formica*, come ad es. *Formica exsecta* o *F. sanguinea*, e molte specie del gruppo *F. rufa*. Secondo questo schema, le specie del livello intermedio possono essere soppiantate da quelle di più alto rango, mentre per certi versi è più probabile la coesistenza fra queste ultime e le specie del livello più basso, dato che queste tendono ad adottare comportamenti che le permettono di evitare le prime. Colonie e supercolonie di grandi dimensioni di specie dominanti possono quindi monopolizzare aree molto estese, con superfici di alcuni ettari.

Tuttavia, nonostante la validità generale di questo schema, si possono verificare localmente situazioni molto diverse. In primo luogo, non sempre sono presenti specie che difendono il territorio; in questo caso la presenza di una gerarchia di dominanza si manifesta a livello delle singole risorse, una situazione molto comune in ambienti a clima di tipo Mediterraneo. In secondo luogo le gerarchie di dominanza possono essere localmente modificate dall'azione di una molteplicità di fattori esterni. Negli ambienti di tipo Mediterraneo, ad esempio, un ruolo importante è giocato dalle variazioni di temperatura, la cui azione è mediata dalla diversa tolleranza termica delle diverse specie (Cerdá *et al*., 1997). Altri fattori importanti possono essere la dimensione e il tipo di risorse (Cerdá *et al*., 1998; Sanders e Gordon, 2003) o la presenza di parassiti (LeBrun, 2005). In tutti questi casi, le gerarchie di dominanza possono essere meno rigide e prevedibili e in ambienti molto diversificati si può verificare una partizione spaziale o temporale delle attività, come ad esempio mostrato in Fig 2 (Santini *et al*., 2007). L'azione combinata di questi fattori aumenta quindi la possibilità di coesistenza di un maggior numero di specie, riducendo l'impatto della competizione.

È importante notare come l'effetto della competizione non si esaurisca alla sola interazione tra specie diverse di Formicidi, ma investa molti altri organismi. È questo il caso di alcuni opilioni, ragni, coleotteri (Coccinellidi, Carabidi), per i quali l'effetto negativo della competizione con le formiche è stato ampiamente dimostrato (Cherix e Bourne, 1980; Laakso, 1999; Hawes *et al*., 2002; Reznikova e Dorosheva, 2004). In questi casi, la diminuzione del numero di specie o della abbondanza delle singole specie che si osservano in aree dominate da colonie molto grandi non è dovuta alla predazione ma, piuttosto, all'effetto della competizione per uno stesso tipo di risorsa (Hawes *et al*., 2013, Fig. 3). Sorprendentemente, effetti negativi della competizione con Formicidi sono stati

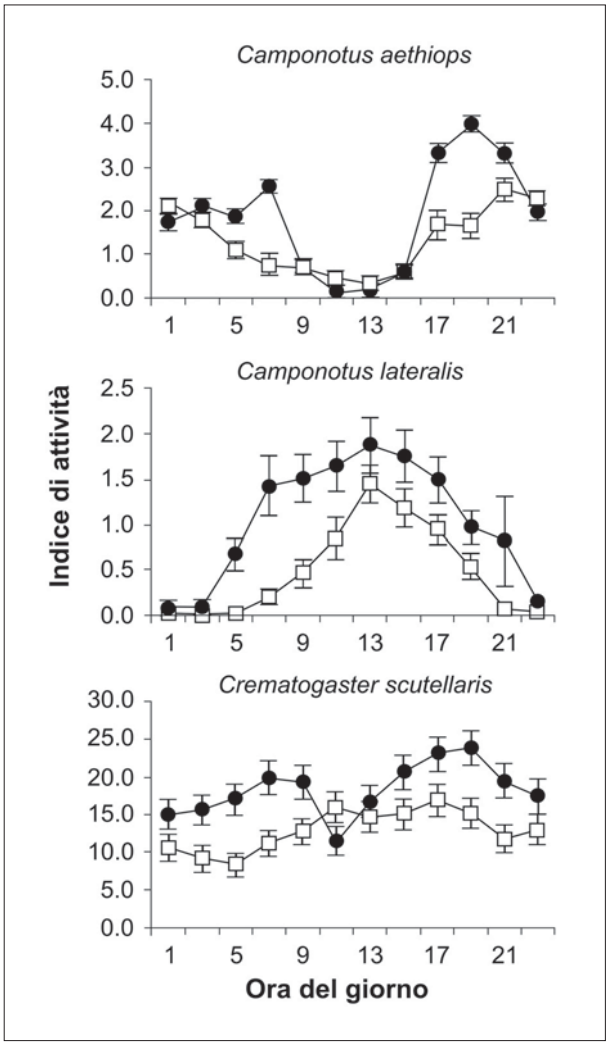

Fig. 2 – Indice di attività di tre specie di Formicidi in relazione all'ora del giorno in due periodi dell'anno, Maggio e Luglio, in un agroecosistema. Cerchi neri e linea continua, Luglio; quadrati neri e linea tratteggiata, Maggio (da Santini *et al*., 2007).

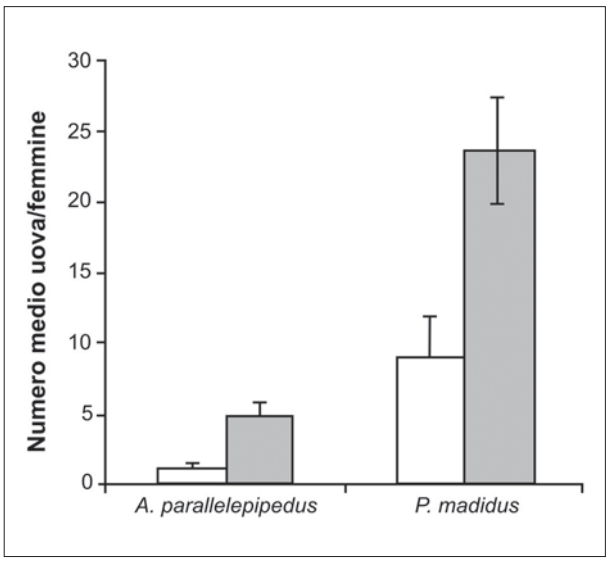

Fig. 3 – Effetto della presenza di *Formica rufa* sulla produzione di prole in due specie di Carabidi, *Abax parallelepipedus* e *Pterostichus madidus*. Barre bianche, aree con presenza di *F. rufa*; barre grigie, aree libere da *F. rufa* (da Hawes *et al*., 2013).

dimostrati addirittura in alcune specie di uccelli insettivori (HAEMIG, 1992, 1994; AHO *et al*., 1999).

MUTUALISMO

Nonostante le formiche siano normalmente considerate come limitanti o dannose per altri organismi, non è possibile comprendere la loro ecologia e l'effetto netto che esse hanno sulle comunità del suolo senza considerare le interazioni mutualistiche con altri gruppi di artropodi. La principale interazione mutualistica stabilita dai Formicidi con altri organismi è di tipo *trofobiotico*: da un lato, le formiche garantiscono protezione (es. Emitteri tra gli insetti) ottenendo in cambio sostanze nutritive sotto forma di melata zuccherina altamente energetica (NESS *et al*., 2010). In alcune specie tropicali, questo tipo di interazione si instaura anche con alcune piante altamente specializzate (mirmecofite), le quali forniscono in cambio un luogo sicuro per la nidificazione. Tuttavia, le interazioni con gli afidi sono le più conosciute e documentate, anche a causa delle notevoli implicazioni che queste hanno in ambito agricolo e forestale, con una letteratura molto vasta a supporto (es. DOMISCH *et al*., 2016 per una rassegna recente). È importante sottolineare due aspetti fondamentali; il primo, è che tali interazioni sono spesso alla base della alimentazione di molte specie e rappresentano il principale apporto energetico in numerosi contesti. La capacità di sfruttare questo canale energetico, particolarmente sviluppata in alcuni gruppi, ha ripercussioni molto forti sulle struttura delle comunità di formiche ed è connessa alle relazioni di dominanza (DAVIDSON, 1998; STYRSKY e EUBANKS, 2007). L'altro aspetto fondamentale è rappresentato dall'impatto netto che le formiche hanno sulle comunità vegetali dato che, se da un lato le formiche possono esercitare un'azione benefica limitando gli insetti fitofagi, dall'altro possono determinare un aumento delle popolazioni di succhiatori, con un effetto netto negativo sulle piante. FOWLER e MAC GARVIN (1985), ad esempio, hanno dimostrato che in un'area dominata da *Formica lugubris,* a fronte di un effetto di controllo sulle popolazioni di alcuni fitofagi, si verifica un aumento esponenziale (fino al 3000%) delle popolazioni di afidi, proprio grazie alla protezione offerta dalle formiche. Questo fatto deve essere preso attentamente in considerazione in tutti i casi in cui si vogliano impiegare i Formicidi come agenti nella lotta biologica.

AZIONE SUL SUOLO

La costruzione di nidi con una rilevante parte ipogea è in grado di alterare le proprietà fisiche e chimiche del suolo, dato anche che in alcuni casi i nidi possono rimanere in sede per alcune decine di anni (FROUZ e JILKOVÁ, 2008). Possiamo quindi affermare che su una scala globale le formiche sono seconde solo ai lombrichi per l'entità della bioturbazione del suolo, e in alcuni casi l'azione può essere nettamente superiore (PATON *et al*., 1995). L'azione di scavo dei nidi e la creazione di camere e gallerie sotterranee interconnesse hanno come primo effetto un aumento del drenaggio e dell'areazione dei suoli. In secondo luogo, si verifica un rimescolamento dei suoli, dato che il materiale degli strati profondi e generalmente poveri di nutrienti, viene portato in superficie, dove si mescola con gli strati più superficiali ricchi di materiale organico (NKEM *et al*., 2000; DORSTAL *et al*., 2005). L'entità di questo rimescolamento può ammontare a diverse centinaia di kg/ha/anno, anche se in alcuni casi eccezionali sono stati descritti valori superiori a 10.000 kg/ha/anno (FROUZ e JILKOVÁ, 2008). L'azione delle formiche non si limita tuttavia a questo, ma risulta determinante anche nell'apporto di nutrienti organici. Come riportato nei paragrafi precedenti, colonie numerose possono portare al nido centinaia di prede nell'arco di una giornata, così come ingenti quantitativi di melata (FROUZ *et al*., 2016). L'apporto massivo di nutrienti organici può quindi avere un effetto profondo sul sistema suolo, anche se l'entità dell'effetto globale dipende dalla quantità di nidi presenti un un'area e dalle dimensioni delle colonie. Ancora una volta, alcuni esempi possono dare una idea della portata di questo fenomeno. In un nido di medie dimensioni di *F. rufa*, ad esempio, possono entrare annualmente 13-16 kg (peso secco) di melata che viene in gran parte utilizzato dalla colonia (FROUZ *et al*., 1997; JILKOVÁ *et al*., 2012), ma una quota variabile, che può arrivare al 10% del totale, rimane inutilizzata e può essere metabolizzata dalle comunità microbiche del suolo. Questo, unito alle particolari condizioni microclimatiche che si possono realizzare all'interno di un nido (regolazione di umidità e temperatura), permette lo sviluppo di comunità di decompositori nettamente diverse, sia qualitativamente che quantitativamente, da quelle che si possono rinvenire nei suoli adiacenti. Tra questi possiamo trovare numerosi batteri, sia eterotrofi che azoto-fissatori, funghi e invertebrati (es. LAAKSO e SETÄLÄ, 1997, 1998). Come conseguenza di queste attività, le aree circostanti di una colonia risultano mediamente arricchite in carbonio, azoto e fosforo, rispetto a quelle più distanti. Analogamente, l'azione esercitata dalle formiche determina un cambiamento significativo nel pH del suolo, con una tendenza generale alla neutralizzazione (aumento pH nei suoli acidi e diminuzione in quelli basici), benché diverse specie possono agire in maniera notevolmente differente (FROUZ e JILKOVÁ, 2008). Non è difficile compren-

dere, quindi, come l'ammontare totale di tali cambiamenti possa avere ricadute importanti sulla vegetazione e sulla fauna del suolo (Frouz *et al*., 2008).

Impiego di imenotteri formicidi nel biomonitoraggio

Le formiche, in particolare quelle che costituiscono colonie nel suolo, sono delle ottime candidate per il ruolo di indicatori di qualità ambientale. Come già affermato, esse presentano spesso un'alta diversità e rappresentano una porzione consistente della biomassa animale in molti sistemi terrestri. Inoltre la capacità di costruire nidi permanenti di lunga durata, fa sì che esse possano essere campionate ripetutamente durante gran parte dell'anno e in anni successivi. Le formiche sono inoltre relativamente semplici da campionare e da riconoscere, almeno in confronto a molti altri gruppi di insetti. I più comuni metodi di campionamento sono le esche, le trappole a caduta, la setacciatura della lettiera, l'estrazione di campioni di suolo tramite Berlese e la raccolta a vista. Tutti questi metodi, tranne la raccolta a vista, sono facilmente standardizzabili.

L'utilizzo di Imenotteri Formicidi come indicatori di qualità ambientale si è diffuso a partire degli anni '90 soprattutto in Australia, dove sono inseriti in protocolli standardizzati di monitoraggio per diversi tipi di disturbo ambientale (es. Majer, 1996; Majer e Nichols, 1998; Andersen, 1995; Hoffman *et al*., 2000; Woinarski *et al*., 2002). Il loro uso si sta tuttavia diffondendo anche in Europa. In generale, le formiche hanno dato prova di essere utilizzabili in molti contesti, che vanno dalle diverse pratiche agricole (es. Ottonetti *et al*., 2010; Wielgoss *et al*., 2014; Masoni *et al*. 2017), il ripristino ambientale (es. Majer, 1997; Andersen e Sparling, 1997; Ottonetti *et al*., 2006) e la contaminazione da metalli pesanti (Grześ, 2009, 2010; Gramigni *et al*., 2013).

RIASSUNTO

Gli Imenotteri Formicidi rappresentano una frazione significativa della fauna artropode in molti ecosistemi terrestri. Comprendere il loro ruolo ecologico e comprendere le loro relazioni con altri organismi è quindi della massima importanza per la comprensione delle dinamiche comunitarie in molti habitat. Le formiche possono influenzare le comunità locali attraverso la predazione, la competizione, ma anche modificando le proprietà del suolo. Inoltre, le formiche stabiliscono interazioni mutualistiche con molti parassiti delle piante provocando un effetto negativo sulle piante stesse. Infine, gli Imenotteri Formicidi possiedono diverse caratteristiche, come l'ampia distribuzione, la facilità di campionamento e la sensibilità ai cambiamenti dell'habitat, che li rendono buoni candidati come indicatori di impatto ambientale.

BIBLIOGRAFIA

Aho T., Kuitunen M., Suhonen J., Jäntti A., Hakkari T., 1999 – *Reproductive success of Eurasian treecreepers,* Certhia familiaris*, lower in territories with wood ants*. - Ecology, 80: 998-1007.

Andersen A.N., 1995 – *Measuring more of biodiversity: genus richness as a surrogate for species richness in Australian ant faunas*. - Biol. Conserv., 73: 39-43.

Andersen A.N., Sparling G.P., 1997 – *Ants as indicators of restoration success: relationship with soil microbial biomass in the Australian seasonal tropics*. - Restor. Ecol., 5: 109-114.

Blüthgen N., Feldhaar H., 2010 – *Food and shelter: how resources influence ant ecology*. - In: Ant ecology, Lach L., Parr C.L. & Abbott K. Eds., Oxford University Press, Oxford, pp. 115-136.

Bolton B., Alpert G., Ward P.S., Naskrecki P. (Eds), 2006 – *Bolton's catalogue of ants of the world.* - Harvard University Press, Cambridge, MA. CD-ROM.

Cerdá X., Retana J., Cros S., 1998 – *Prey size reverses the outcome of interference interactions of scavenger ants*. - Oikos, 1: 99-110.

Cerdá X., Retana J., Cros S., 1997 – *Thermal disruption of transitive hierarchies in Mediterranean ant communities*. - J. Anim. Ecol., 3: 363-374.

Cherix D., Bourne J.D., 1980 – *A field study on a supercolony of the red wood ant* Formica lugubris *Zett. in relation to other predatory arthropodes (spiders, harvestmen and ants)*. - Rev. Suisse Zool., 87: 955-973.

Davidson D.W., 1998 – *Resource discovery versus resource domination in ants: a functional mechanism for breaking the trade-off*. - Ecol. Entomol., 23: 484-490.

Domisch T., Risch A.C., Robinson E.J.H., 2016 – *Wood ant foraging and mutualism with aphids*. - In: Wood ant ecology and conservation, Stockan J.A. & Robinson E.J.H. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 145-176.

Dostál P., Březnová M., Kozlíčková V., Herben T., Kovář P., 2005 – *Ant-induced soil modification and its effect on plant below-ground biomass*. - Pedobiologia, 49: 127-137.

Gramigni E., Calusi S., Gelli N., Giuntini L., Massi M., Delfino G., Chelazzi G., Baracchi D., Frizzi F., Santini G., 2013 – *Ants as bioaccumulators of metals from soils: Body content and tissue-specific distribution of metals in the ant* Crematogaster scutellaris. - Eur. J. Soil Biol., 58: 24-31.

Fisher B.L., 2010 – *Biogeography*. - In: Ant ecology, Lach L., Parr C.L. & Abbott K. Eds., Oxford University Press, Oxford, pp. 18–37.

Fowler S.V., MacGarvin M., 1985 – *The impact of hairy wood ants,* Formica lugubris*, on the guild structure of herbivorous insects on birch,* Betula pubescens. - J. Anim. Ecol., 3: 847-855.

Frouz J., Jilková V., 2008 – *The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae)*. - Myrmecol. News, 11: 191-199.

Frouz J., Jilková V., Sorvari J., 2016 – *Contribution of wood ants to nutrient cycling and ecosystem function*. - In: Wood ant ecology and conservation, Stockan J.A. & Robinson E.J.H. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 207-220.

Frouz J., Santruckova H., Kalcik J., 1997 – *The effect of wood ants (*Formica polyctena *Foerst.) on the transformation of phosporus in a spruce plantation*. - Pedobiologia, 41: 437-447.

Grześ I.M., 2010 – *Ants and heavy metal pollution – a review*. - Eur. J. Soil Biol., 46: 350-355.

Grześ I.M., 2009 – *Cadmium regulation by* Lasius niger*: a contribution to understanding high metal levels in ants*. - Insect Sci., 16: 89-92.

Haemig P.D., 1994 – *Effects of ants on the foraging of birds in spruce trees*. - Oecologia, 97: 35-40.

Haemig P.D., 1992 – *Competition between ants and birds in a Swedish forest*. - Oikos, 3: 479-483.

Hawes C., Evans H.F., Stewart A.J., 2013 – *Interference competition, not predation, explains the negative association between wood ants (*Formica rufa*) and abundance of ground beetles (Coleoptera: Carabidae)*. - Ecol. Entomol., 38: 315-322.

Hawes C., Stewart A., Evans H., 2002 – *The impact of wood ants (*Formica rufa*) on the distribution and abundance of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a Scots pine plantation*. - Oecologia, 131: 612-619.

Hoffmann B.D., Griffiths A.D., Andersen A.N., 2000 – *Responses of ant communities to dry sulfur deposition from mining emissions in semi-arid tropical Australia, with implications for the use of functional groups*. - Austral Ecol., 25: 653-663.

Holldobler B., Wilson E.O., 1990 – *The Ants*. - Belknap Press, Cambridge, MA.

Horstman K., 1974 – *Untersuchungen über den Nahrungserwerb der Waldameisen (*Formica polyctena *Forest.)*. - Oecologia, 15: 187-204.

Jílková V., Šebek O., Frouz J., 2012 – *Mechanisms of pH change in wood ant (*Formica polyctena*) nests*. - Pedobiologia, 55: 247-251.

Johansson T., Gibb H., 2016 – *Interspecific competition and coexistence between wood ants*. - In: Wood ant ecology and conservation, Stockan J.A. & Robinson E.J.H. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 123-143.

Laakso J., 1999 – *Short-term effects of wood ants (*Formica aquilonia *Yarr.) on soil animal community structure*. - Soil Biol. Biochem., 31: 337-343.

Laakso J., Setälä H., 1998 – *Composition and trophic structure of detrital food web in ant nest mounds of* Formica aquilonia *and in the surrounding forest soil*. - Oikos, 2: 266-278.

Laakso J., Setälä H., 1997 – *Nest mounds of red wood ants (*Formica aquilonia*): hot spots for litter-dwelling earthworms*. - Oecologia, 111: 565-569.

LeBrun E.G., 2005 – *Who is the top dog in ant communities? Resources, parasitoids, and multiple competitive hierarchies*. - Oecologia, 142: 643-652.

Majer J.D., 1997 – *Invertebrates assist the restoration process: an Australian perspective*. - In: Restoration ecology and sustainable development, Urbanska K.R., Webb N.R. & Edwards P.J. Eds, Cambridge University Press, United Kingdom, pp. 212-237.

Majer J.D., 1996 – *Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines at Trombetas, Pará, Brazil*. - J. Trop. Ecol., 12: 257-273.

Majer J.D., Nichols O.G., 1998 – *Long-term recolonization patterns of ants in Western Australian rehabilitated bauxite mines with reference to their use as indicators of restoration success*. - J. Appl. Ecol., 35: 161-182.

Masoni A., Frizzi F., Brühl C., Zocchi N., Palchetti E., Chelazzi G., Santini G., 2017 – *Management matters: A comparison of ant assemblages in organic and conventional vineyards*. - Agr. Ecosyst. Environ., 246: 175-183.

Ness J., Mooney K., Lach L., 2010 – *Ants as Mutualists*. - In: Ant ecology, Lach L., Parr C.L. & Abbott K. Eds., Oxford University Press, Oxford, pp. 97-114.

Nkem J.N., de Bruyn L.L., Grant C.D., Hulugalle N.R., 2000 – *The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties*. - Pedobiologia, 44: 609-621.

Offenberg J., 2015 – *Ants as tools in sustainable agriculture*. - J. Appl. Ecol., 52: 1197-1205.

Ottonetti L., Tucci L., Chelazzi G., Santini G., 2008 – *Stable isotopes analysis to assess the trophic role of ants in a Mediterranean agroecosystem*. - Agr. Forest Entomol., 10: 29-36.

Ottonetti L., Tucci L., Frizzi F., Chelazzi G., Santini G., 2010 – *Changes in ground-foraging ant assemblages along a disturbance gradient in a tropical agricultural landscape*. - Ethol. Ecol. Evol., 22: 73-86.

Ottonetti L., Tucci L., Santini G., 2006 – *Recolonization patterns of ants in a rehabilitated lignite mine in central Italy: potential for the use of Mediterranean ants as indicators of restoration processes*. - Restor. Ecol., 14: 60-66.

Parr C.L., Gibb H., 2010 – *Competition and the role of dominant ants*. - In: Ant ecology, Lach L., Parr C.L. & Abbott K. Ed., Oxford University Press, Oxford, pp. 77-96.

Paton T.R., Humphreys G.S., Mitchell P.B. (Eds), 1995 – *Soils: a new global view*. - CRC Press, Boca Raton, IX+213 pp.

Paul E.A., 2014 – *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. - Academic press, Cambridge, MA, XIX+582 pp.

Reznikova Z., Dorosheva H., 2004 – *Impacts of red wood ants* Formica polyctena *on the spatial distribution and behavioural patterns of ground beetles (Carabidae)*. - Pedobiologia, 48: 15-21.

Robinson E.J.H., Stockan J.A., Iason G.R., 2016 – *Wood ants and their interaction with other organisms*. - In: Wood ant ecology and conservation, Stockan J.A. & Robinson E.J.H. Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 177-206.

Ronchetti G., Groppali R. (Eds), 1995 – *Quarantacinque anni di protezione forestale con* Formica lugubris *(Hym.Formicidae). L'esperienza di Monte D'Alpe (Appennino Ligure in provincia di Pavia)*. - Istituto di Entomologia dell'Università di Pavia, Pavia, 271 pp.

Sanders N.J., Gordon D.M., 2003 – *Resource-dependent interactions and the organization of desert ant communities*. - Ecology, 84: 1024-1031.

Santarlasci A., Martelloni G., Frizzi F., Santini G., Bagnoli F., 2014 – *Modeling Warfare in Social Animals: A"Chemical" Approach*. - PloS One, 9: e111310.

Santini G., Tucci L., Ottonetti L., Frizzi F., 2007 – *Competition trade-offs in the organisation of a Mediterranean ant assemblage*. - Ecol. Entomol., 32: 319-326.

Styrsky J.D., Eubanks M.D., 2007 – *Ecological consequences of interactions between ants and honeydew-producing insects*. - P. Roy. Soc. B-Biol. Sci., 274: 151-164.

Ward P.S., 2010 – *Taxonomy, phylogenetics, and evolution*. - In: Ant ecology, Lach L., Parr C. L. & Abbott K. Eds., Oxford University Press, Oxford, pp. 3-17.

Wielgoss A., Tscharntke T., Rumede A., Fiala B., Seidel H., Shahabuddin S., Clough Y., 2014 – *Interaction complexity matters: disentangling services and disservices of ant communities driving yield in tropical agroecosystems*. - P. Roy. Soc. B-Biol. Sci., 281: 20132144.

Woinarski J.C., Andersen A.N., Churchill T.B., Ash A.J., 2002 – *Response of ant and terrestrial spider assemblages to pastoral and military land use, and to landscape position, in a tropical savanna woodland in northern Australia*. - Austral. Ecol., 27: 324-333.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 157-166

CONSIDERATIONS ON BIOLOGICAL AND TERMINOLOGICAL ASPECTS OF THE SUBTERRANEAN AND ENDOGEAN ENVIRONMENTS: DIVERSITY, CORRELATIONS AND FAUNISTIC INTERCHANGE

PIER MAURO GIACHINO (*) - DANTE VAILATI (**)

(*) *Settore Fitosanitario Regionale, Environment Park, Palazzina A2, Via Livorno 60, 10144 Torino (Italy).*
E-mail: piermauro.giachino@regione.piemonte.it
(**) *Via Interna 8, 25127 Brescia (Italy).* E-mail: dante.vailati@libero.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Considerations on biological and terminological aspects of the subterranean and endogean environments: diversity, correlations and faunistic interchange

The authors schematically sketch out the main historical stages related to the definition of the subterranean environment and, in the light of its current conception extended to the entire fissure network of the bedrock, address the issues related to the classification of animals into biospeleological categories. They propose again the replacement of the term Troglobiont with Hypogeobiont and Troglophile with Hypogeophile, and the abandonment of the term Trogloxene. They analyze the physical and biological relationships between the subterranean and the endogean environments, emphasizing the dynamism of faunistic interchanges between both environments. Lastly, they discuss the theoretical biogeographical implications connected with the evolution of the concept of the subterranean environment.

KEY WORDS: Trogloxene, troglophile, troglobiont, hypogeophile, hypogeobiont.

INTRODUCTION

The birth of biospeleology officially dates back to 1832, when Ferdinand Jožef Schmidt described *Leptodirus hohenwarti*, a specialized "cave-dwelling" beetle of the Postojna caves. The study of hypogean animals therefore officially began as a study of cave animals, and would maintain this approach for more than a century (CULVER & WHITE, 2004; GIACHINO & VAILATI, 2010). During this period, countless advances were made in this field, with the description of thousands of species dwelling this environment (JUBERTHIE & DECU, 1994, 1998, 2001). Starting in the 1920s, several scholars and researchers began to realize that the subterranean environment was probably extended through the fissure network of the bedrock, far beyond the caves, in what was called the "reseau de fentes" or "milieu freatique terrestre" (RACOVITZA, 1907; JEANNEL, 1926, 1942, 1943; LERUTH, 1939). Even specialist collectors, such as Leo Weirather (1887-1965), began to notice that frankly subterranean animals could be found through deep excavations in particular environmental conditions (snowfield margins, deeply buried boulders, paleo-landslides), until, in the second half of the past century, many researchers at the same time, as is often the case, comprehended the existence of a particular environment located above the fissure network of the bedrock – and therefore more easily reachable by the researcher – in which it was systematically possible to find subterranean fauna (BUCCIARELLI, 1960; BOUILLON, 2006). These pioneers did not formalize their discovery, which was subsequently made known by JUBERTHIE *et al*. (1980a, 1980b) with the name of Milieu Souterrain Superficiel (well known today with the acronym MSS). They emphasized for the first time an important fact (the first, modern and very clear "extensive" definition of the subterranean environment dates back to LERUTH, 1939): animals with the same characteristics of specialization to the subterranean environment could be present in a non-carbonated lithological environment, so absolutely devoid of caves. JUBERTHIE (1983, 1984) and JUBERTHIE *et al*. (1980a, 1980b, 1981, 1983, 1994) correctly defined the new environment, specifying that it was not a transition environment but a part of the true subterranean environment, that could no longer only be considered exclusive to caves, but had to be conceptually extended to the entire fissure network of the bedrock. This concept faced – since the time of LERUTH (1939), whose contribution was simply ignored – and still encounters, many and varied resistance in its application, and very often, by talking to the scholars, one finds still a tendency to distinguish "cave-dwelling animals", with reference to the

– Pubblicato aprile 2018

elements collected in caves, from the "endogean animals", with reference to elements bearing a clearly subterranean habit, not dissimilar to the former, but found in environments other than the caves. This situation has been repeatedly stigmatized, in Italy, starting from the results of research carried out in the 80s of the last century in the Lombardy Prealps (VAILATI, 1988) and, above all, in a series of recent papers by the authors of this contribution, who had begun, since 2005, to point out and redefine the limits of the very subterranean environment (GIACHINO & VAILATI, 2005; 2008). This interpretation, and the considerations underlying it, were later explained by the same authors in a subsequent monographic contribution (GIACHINO & VAILATI, 2010).

More recently, a resumptive excursus of the literature on the Superficial Subterranean Environment (MSS), with insights into the climatology of the Subterranean Environment, was proposed by MAMMOLA *et al*. (2016).

DEFINITIONS

Subterranean environment

According to the meaning originally proposed by GIACHINO & VAILATI (2005, 2008, 2010), the subterranean environment corresponds to the fissure network of the bedrock of any lithological nature, including the various physically and biologically related environments. In this sense, in addition to the fissure network, the caves (which are nothing more than fissures of such dimensions as to allow the transit of human beings), the Superficial Subterranean Environment (MSS), the underground cavities (mines, basements, aqueducts, military artifacts, etc.) and the dens of various mammals (when they are physically in contiguity with the true fissures) (Fig. 1). However, the contiguity with the crevices of the bedrock is a necessary condition, but not enough in itself, for the establishment of the subterranean environment. In our understanding (GIACHINO & VAILATI (2005, 2008, 2010, 2016), the subterranean environment, outside the fissure network, is above all a biological concept, and it is not possible to speak of a subterranean environment without the right climatic and environmental conditions to allow the presence of faunistic elements properly specialized to live under such conditions.

Features of the subterranean environment

The subterranean or hypogean environment is first of all characterized, and totally conditioned, by the absence of sunlight, the primary source of energy for any terrestrial ecosystem. In the absence of sunlight, in addition to the alternation of the photoperiod, primary production is missing, which is guaranteed in the epigean environment by chlorophyll photosynthesis. With the exclusion of particular situations, such as primary production associated with the action of sulfur-oxidising bacteria (SERBAN *et al*., 1996), the energy input upon which the entire hypogean trophic chain is based comes from the overlying endogean and epigean environments. This contribution is mainly related to percolation waters (VANDEL, 1964; CULVER *et al.*, 2004), but also to animal activities and supplies, such as guano (VANDEL, 1964).

The subterranean environment is also characterized by the stability of peculiar climatic conditions, in terms of temperature and humidity. It has been known for a long time that the temperature of a cave, corresponding to the external average annual temperature, is very stable, changing by a few °C or fractions of °C (BADINO, 1995). In applying this concept of thermal stability to the subterranean environment in an extended meaning, a recent contribution to the climatology of this environment (MAMMOLA *et al*., 2016) found that the part of the subterranean environment formed by the network of fissures of centimetric dimensions has the greater stability. It is much more stable than the caves themselves, which are nothing more than big fissures and therefore more subject to possible disturbances (LERUTH, 1939; VAILATI, 1988). Relative humidity is also characterized by a high degree of stability, often approaching saturation. Seasonal variations in relative humidity and temperature are increasingly limited by moving from the more superficial portions of the subterranean environment towards the deeper ones.

Specifications about the Superficial Subterranean Environment (MSS)

The presence of MSS requires the coexistence of precise physical and climatic conditions; first, it is necessary that the bedrock is in contact with an aerated clastic deposit, i.e. not filled with fine sediments, whose voids are in space continuity with the fissure network of the bedrock. This physical condition, which is absolutely necessary, is not enough; it must be accompanied by a good degree of isolation from the epigean environment, which is normally provided by a sufficiently thick soil layer.

The insulation provided by the soil cover allows the same temperature and humidity conditions to be maintained in the aerated voids between the clasts as in the fissure network in the underlying rock, i.e. the necessary environmental conditions, so that the voids can be maintained populated by a fauna with

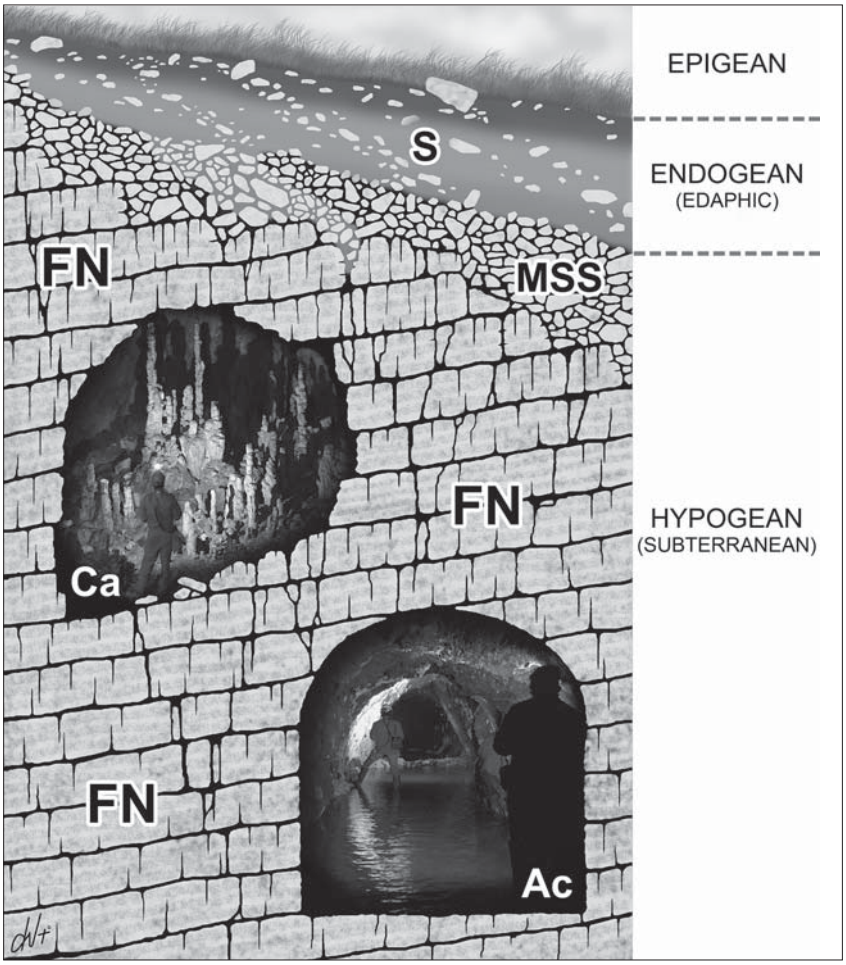

Fig. 1 – Schematic representation of the different compartments of the hypogean environment in connection with each other and with the endogean environment. This scheme highlights in particular the connections between the fissure network of the bedrock and biologically explorable environments (caves, artificial cavities, MSS). **S**: soil; **FN**: fissure network of the bedrock; **Ca**: cave; **Ac**: artificial cavities; **MSS**: Superficial Subterranean Habitat.

the specialized physiological and morphological characteristics of organisms adapted to the proper subterranean environment.

At this point, it needs to be emphasized that the MSS, in our sense, is more a biological than a physical concept. An accumulation of clasts lacking the environmental conditions necessary for the establishment of subterranean fauna remains a simple accumulation of clasts and as such cannot be considered a true MSS (GIACHINO & VAILATI, 2010). The recurring case, represented by dredges of debris often found at the base of the mountainous slopes, very often without a pedological coverage, is often mistakenly compared to that of a true MSS in a whole range of recent scientific contributions (MAMMOLA *et al*., 2016). Actually, a situation comparable to that of a true MSS can be realized, under these conditions of a lack of pedological coverage and hence of strong external environmental conditioning, only at depths usually much greater than in a real MSS covered by soil (RŮŽIČKA *et al*., 2012; NITZU *et al*., 2014). We are, in this case, in a situation much more similar to that of a fissure network of the bedrock that directly faces the surface, without the interposition of the soil, rather than the typical one of a covered MSS. Within this case, it is worth remembering that a well-known and far from rare situation is represented by a wide fissure open directly to the outside, that we normally call a "cave"; we all know that the depth at which the proper subterranean environment conditions can be realized may be, in this case, very great, even in the order of several tens of metres (ZACHARDA *et al*., 2007).

It is possible to have an MSS, when present, in the most diverse external environmental conditions: from sea level to the lower limit of perennial snow; in the absence or in the presence of arboreal coverage; with any kind of cover (from Mediterranean scrub to beech, to coniferous forests); with any exposure of the slope and, above all, in any type of rock (carbonate, crystalline, volcanic, etc.). These considerations are based, in addition to the literature (MAMMOLA *et al*., 2016), on our personal experience over many years in the Balkan Peninsula (GIACHINO & VAILATI, 2010) and in various areas of the Italian Prealps. In particular, the independence of rock type substrate can also, as we shall see later on, have important interpretative implications from a zoogeographic point of view.

Regarding the type of the bedrock and the possible differences in the pattern of the fissure network linked to one or another rock type, it should be noted that some, not climatic but morphological, differences exist. It is evident that in the carbonate rocks where the possible development of karstism determines the control of underground water drainage in a structured and hierarchical way, there is the possibility of a more diversified development of the fissure network with the presence of fissures with wide dimensional ranges from millimetres, centimetres, decimetres, up to metres (caves), such a development is not always and not equally present in the other lithologies. Even in non-carbonated rocks we can have random and punctual tectonic phenomena (diaclase), voids of medium and large dimensions, without mentioning the possible presence of artificial cavities, but the two situations are not comparable in intensity and diffusion and in the possibility for the existence of particular habitats, such as the subterranean hygropetric one (Sket, 2004; Giachino & Vailati, 2010).

Specialization phenomena in the Subterranean Environment

Numerous forms of specialization are known in subterranean organisms, both physiologically and morphologically, which characterize them by diversifying them from those of the proper endogean environment.

Physiological specialization to the subterranean vs endogean environment

The subterranean environment, unlike the endogean one, is generally oligotrophic. The lack of trophic resources heavily affects the physiology of subterranean animals. These are generally animals that have a slow metabolism compared to endogean ones, and are not, or less, conditioned by external seasonal rhythms (Culver & White, 2004). Also their reproductive physiology changes, ranging from a R type strategy (production of many small eggs), with all intermediate passages to a K type (production of a few big eggs). Within this specialization, there may also be the contraction of the larval stages, well studied in Carabidae and Cholevidae Leptodirinae (Jeannel, 1941, 1942; Glacon-Deleurance, 1958), with a reduction in the number of stages linked to the increase of the level of specialization.

This type of specialization, which at a first glimpse is far less evident than the morphological one, is however highly influential, and may be an important and sometimes sharp physiological barrier between the faunas of the two environments.

Morphological specialization to the subterranean vs endogean environment

Here we will only mention the most obvious and well-known morphological specializations. By comparing a subterranean and an endogean invertebrate, the first thing we can notice is that they are usually associated with the depigmentation of the integument and the reduction or loss of eyes. The same cannot be asserted as to the size and shape of the body. Subterranean animals generally have a bigger size, a slender body with elongated appendages (legs and antennae), while endogean ones have a much smaller body size, a more stocky, flattened or cylindrical body that, when stretched, can easily bend, with short appendages and with a number of articles sometimes reduced, or with legs specializing to a fossorial function (Delamare Debouteville, 1951, Coiffait, 1958, Giachino & Vailati, 2005, 2010). Substantially subterranean animals show morphological specializations that make them fit to move in the rock fissure network (and in larger spaces), while endogean ones are specialized to move in the micro-interstices present between soil granules.

Biospeleological categories

In the perennial, human, tendency and need to standardize and rigidly classify all what surrounds us – even though there are not sharp, but gradual, boundaries in nature – the terms troglobiont, troglophilic, troglophile and trogloxene were introduced with the practical purpose of assigning precise "biospeleological categories", meant in an ecological sense, to the animal species that were discovered in caves, the only such environments easily explorable by humans. These terms have remained in universal use, though not completely unaltered, for more than 150 years (Schiner, 1854, Racovitza, 1907, Pavan, 1944, 1958, Ruffo, 1955, Vandel, 1964) and are still so in the equivalent translations into other languages by many contemporary authors.

As already stated by Giachino & Vailati (2016), throughout all this time, the initial significance of these definitions has repeatedly demonstrated difficulties for a univocal, scientifically correct use, and really without personal assessments of those who attempted to adapt their use to the different situations, forerunning legitimate doubts, which came from time to time (Vailati, 1988). The numerous attempts to overcome such difficulties –

with different specifications, alterations, exegeses and refinements – have in the course of time generated a terrible scramble of different interpretations and a babel of terms sufficient to convince SKET (2008) to state in the title of his own contribution, the question: "Can we agree on an ecological classification of subterranean animals?" or, again, "What are subterranean organisms?"

GIACHINO & VAILATI (2016) recall in this regard that the most ambiguous aspects of the present situation reside not so much in the use of a different vocabulary, but also in the different points of view from which the interpretation of the same vocabulary is concerned. Ambiguities that are based on wanting to see, or find, or reconcile, at any cost, a poorly tangible link between some taxa and an environment, the caves, understood as areas of dimensions accessible to us. Looking in depth, this link is absolutely artificial and reflects not so much the elective habitat (too often unknown) of the species considered, but rather the one in which we accurately assure their presence, often casual, or the one in which we are able to find them. In this basic issue, two facts that are often artificially interwoven with each other are hidden, which should be absolutely distinct:

– old biospeleologic cultural legacies, which are hard to break up, mean that most of the concepts and definitions currently in use are still speleocentric (Fig. 2), calibrated on the cave as a single entity, confined by its topography for man's use and size;
– one thing is the degree of morphological specialization of a taxon to the subterranean environment, while another thing is the presence or absence of the same taxon in a given environment, as has recently been commented on by SKET (2008), who highlights the absence of direct links between troglomorphism and troglobie, concluding that a species definable as a troglomorphic on a morphological basis may be less troglobic than another apparently less specialized one.

Always GIACHINO & VAILATI (2016) point out that while in recent years the concept of the "subterranean environment" has been better defined, given more and more frequent and correct mention of "subterranean biology" and less and less of "biospeleology", the hump remains – never faced, except preliminary and partially by SKET (2008) – of the definitions attributed to the so-called "biospeleological categories" which, being based solely on the presence or not of this or that species in man-sized caves, appear more and more artificial and devoid of a real ecological significance.

In the light of the above, GIACHINO & VAILATI (2016) propose the modifications and/or eliminations shown below.

Elimination of the term Trogloxene

Its most recent definition is that of *an external animal that accidentally penetrates into a hypogean environment and is incapable of establishing a subterranean population* (SKET, 2008). In the modern sense of the subterranean environment,

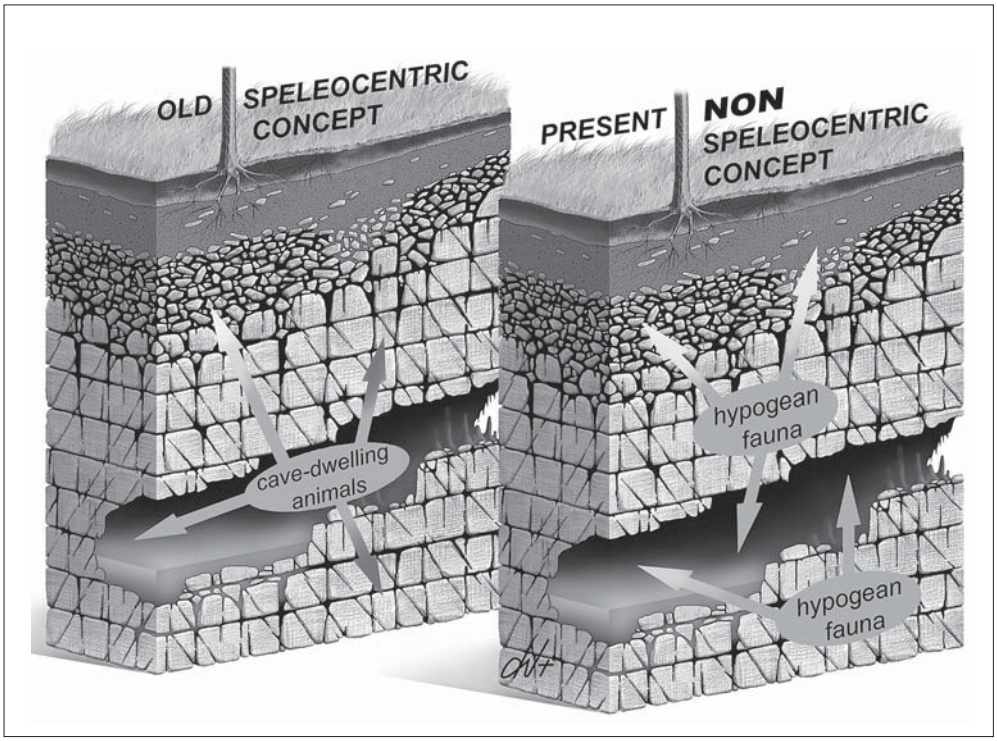

Fig. 2 – Conceptual distinction between two different interpretations of the presence of subterranean animals. Speleocentric concept. "Cave dwelling animals" living in caves and, in particular conditions or circumstances, penetrating the fissure network and the MSS. The fissure network is considered "ecological refuge" or related to an "ultra-cave" phase of the subterranean colonization. Non speleocentric concept. The subterranean animals live normally in the underground network of fissure from where, in particular conditions or circumstances, they can penetrate the cave or the MSS.

which provides a *continuum* represented by the entire fissure network of the bedrock – with a gradient ranging from the more superficial to the deepest ones – all (or nearly all) external elements can penetrate in a completely occasional and/or accidental way (and more or less deeply) into the subterranean environment, with which, however, they do not have, and do not establish, any form of direct relationship. The term itself, originally coined with precise reference to random presence in caves, was then further complicated in four different subcategories by the Pavan's farraginous classification (1944), and is therefore inconsistent, pleonastic and practically useless, so that its complete abandonment is suggested (Giachino & Vailati, 2016).

Replacement of the terms Troglobiont, Troglobite, Troglobie

In the original meaning, universally used, "troglobiont" *is an animal whose entire life cycle is carried out obligatorily in caves, and more generally and by extension in the subterranean environment*, but the latter is always, for practical reasons, identified with the caves, the only environment always more easily explored. In the modern sense (Giachino & Vailati, 2010, 2016), a troglobiont is *an animal that* ***obligatorily*** *carries out its entire life cycle in a subterranean environment, identified with the fissure network of rock bodies*. It should be remembered that it **often** has a morphology specialized to this environment but it **always** has a specialized physiology. Giachino & Vailati (2016) also reflect on the improper maintenance of the term "troglobiont" for the recorded or recordable elements in the caves, as this would exclude many species that for various and absolutely casual reasons have never been found in any cave but in different habitats.

Giachino & Vailati (2016) finally recall, in agreement with Juberthie & Decou (1994), that the terms derived from "troglobiont", such as "troglomorph", have a poor etymological correctness. In fact, the word "troglomorph" (troglomorphic, troglomorphy) introduced by Christiansen (1962) literally means "cave-shaped" and results, if it is related to an animal, etymologically incorrect, instead of the more correct "troglobiomorph".

For all these reasons, Giachino & Vailati (2016) propose replacing the term "troglobiont" with the term "hypogeobiont".

Replacement of the term Troglophile

In the modern sense, "troglophile" is *a more or less specialized external animal that spends a certain period of its existence, or part of its circadian rhythm, in a subterranean environment* (Giachino & Vailati, 2016).

Attempts to link the troglophilic elements in any way to the subterranean environment, which typically present some kind of morphological preadaptation (microphthalmy, partial depigmentation, a relative extension of appendages, wing reduction), as well as producing further classification subdivisions, still depend on the speleocentric legacy, or are still misled by the observation of their degree of specialization or, worse, by the distance of their finding from the entrance of a hypothetical cavity, although all this, we know well, does not always provide us with certainty about their actual ways of life. In this sense, Giachino & Vailati (2016) emphasize that the distinction between *eutroglophiles* and *subtroglophiles* – introduced by Pavan (1944) and redefined by Ruffo (1955) – remains purely theoretical and, as such, useless and devoid of practical value, so that their elimination is proposed. In the meaning proposed by Giachino & Vailati (2016), it is evident that there is no sharp spatial limit of "penetration in depth" of an element definable as *troglophile*. The "degree of penetration" depends, from time to time, on the local and temporal environmental conditions and also on the degree of adaptation to the subterranean environment of the taxon analyzed. Unfortunately, these parameters are, in most cases, difficult to evaluate.

For all these reasons, Giachino & Vailati (2016) propose replacing the term "troglophile" with "hypogeophile".

In the conclusions of the same contribution, the authors put a concurrent emphasis on some points to be considered indispensable for the use of the terms proposed by them:

1) the terms *hypogeobiont* and *hypogeophile* cannot be attributed to this or that species on the basis of habitat, topography, or localization of the finding point, since their temporary and/or random presence/absence in a given place depend on the interaction, difficult to evaluate, of a number of variable parameters, such as biological, physiological, auto- and synecological, trophic, temporal, spatial, climatic and microclimatic parameters;
2) the proposed terms cannot be attributed to this or that species on the basis of their morphological specialization characters, since they do not always represent a precise indication of how the very species are related to the subterranean environment;
3) finally, the proposed terms cannot be understood as categories of a classification scheme in which the various species are enclosed. Their definition

is, and must remain, absolutely conceptual; i.e. we know that in nature there are animals obligatorily and totally bound to the subterranean environment (*hypogeobionts*), while others are so only partially in a more temporal than spatial manner (*hypogeophiles*), but the attribution of such terms to this or that species, in the absence of sure knowledge about their bio-ecology, remains entirely theoretical.

The search for the vital optimum

The above considerations on biospeleological categories, their validity and interpretation, open up discussion on another important point in the biology of hypogean and endogean animals. The notion that an animal's finding point does not with certainty indicate its biospeleological category (Giachino & Vailati, 2016) can be exemplified by the different behaviour that a species may show having a moderate tendency to life in a subterranean environment (Fig. 3).

If an element of this type – purely as an example the Coleoptera Carabidae *Sphodropsis ghilianii* – is collected in MSS (Fig. 3b) or in a cave (Fig. 3a), it is defined as *troglophile* or *eutrophile* (based basically on the fact that it still has eyes or it is believed that it maintains a stable population in that cave (sensu Sket, 2008)); and if it is found in the more superficial fissure network of a MSS (Fig. 3d), it is defined as "*microclasiphile*" (sensu Brandmayr *et al*., 1980) or *subtroglophile*. A question arises naturally: when a "microclasiphile element" is not temporarily found in that environment, where has it gone? We must think that it is extinct - as it was supposed had happened once when a known species of a particular cave was no longer found for a long time - or more simply, that it has moved (downward or upward) in search of more consonant climatic conditions? In this movement, the *Sphodropsis* would become, in our rigid classification, *sublapidicolous* if it moves towards the surface (Fig. 3c), *troglophilous* if it moves in down depth (Fig. 3b) and *eutroglophilous* (Fig. 3a) if it occupies a cavity of a size accessible to us: a cave! Once again, we must note that in nature there are no sharp boundaries perfectly coincident with our schematization attempts.

The tedious attempts to adapt a rigid classification to a dynamic situation show that, very simply, the animals are not still but move constantly, looking for their environmental optimum represented by the conditions (chemical, physical and climatic) ideal for their life, especially in terms of temperature and humidity. At this point, it should be emphasized that the environmental conditions of the endogean environment + hypogean environment complex are also variable in time and space. If the subterranean environment as a whole, as highlighted in the introductory part of this contribution, is one of the most stable, it is true that a certain variability exists and changes, depending on the portion considered, according to the structural characteristics and the position with respect to the epigean environment. If it is true

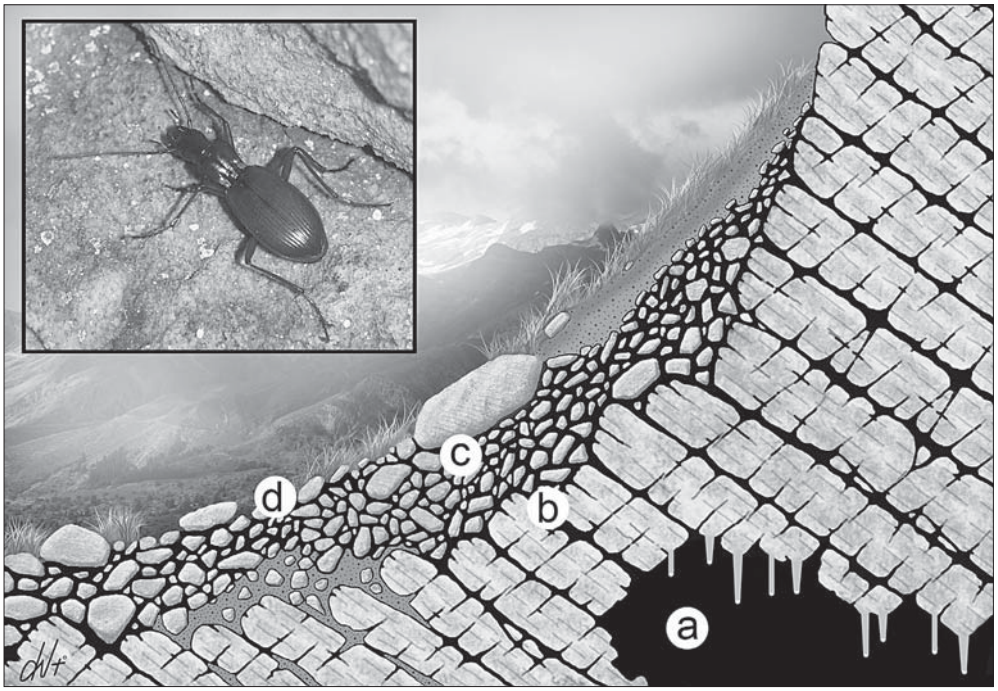

Fig. 3 – Movements of the subterranean fauna, searching for the environmental optimum, by changing climatic conditions. The case of *Sphodropsis ghilianii* (Schaum, 1858), a moderately specialized element for the subterranean environment. Normally found in MSS (**B**), in adverse external climatic conditions can penetrate into cave (**A**), sometimes maintaining a stable populations; in more favorable external climatic conditions it could move to sub-layer (**C**) or uncovered stony debris (**D**).

that the centimetre-sized fissure network of the bedrock has the highest climatic stability (LERUTH, 1939; VAILATI, 1988; MAMMOLA *et al*., 2016), it is equally true that the most superficial part of this network may be affected by external seasonal variations in temperature and humidity (GIACHINO & VAILATI, 2010).

Precisely these variations determine the displacement of the vital optimum to different depths (Fig. 4). This vertical displacement of the optimum is, of course, conditioned by the morphology and composition of the substrate: chemical, lithological (in the sense of heat conductivity), pedological, vegetation cover (presence or absence, and typology), height, exposure. In fact, as part of the greater or lesser sensitivity of the hypogean portion to the variations in external temperatures, the lithologic typology of the rock substrate may play an important role too. Personal observations seem to indicate a different thermal conductivity between carbonate and crystalline rocks on one side and arenaceous sedimentary rocks on the other. The arenaceous rocks tend to transmit the rise of the outside temperature more rapidly, thus conditioning the depth at which the climatic conditions suitable for forming a MSS may be reached (GIACHINO & VAILATI, pers. obs.).

This possibility of a dislocation in the depths of the environmental optimum stimulates the animals to move in space and time in search of their environmental optimum.

This shift of the fauna to different depths may affect both environments: endogean and hypogean (MAMMOLA *et al*., 2016). We can have a migration of fauna between soil and subterranean environment and vice versa, sometimes favoured in this by the presence of a particular soil horizon, called a biomacrostructured horizon (ZANELLA *et al*., 2001). When present, this horizon is located between the soil horizons B and C, the latter, as we have seen, corresponding to the MSS of the subterranean environment, when environmental conditions permit it. The biomacrostructured horizon is characterized by the presence of macroinvertebrate tunnels (especially those of Oligochaetes), a presence that favours the penetration of hypogean elements into the true soil, and vice versa of endogenous elements into the fissure network of the bedrock. By simplifying, as shown in Fig. 4, in the presence of an increase in temperature and a decrease in humidity (in terms of rainfall) in an epigean environment, some endogean elements may temporarily penetrate into the hypogean environment, and vice versa in the case of a temperature decrease and humidity increase, hypogean elements may penetrate into the soil.

BIOGEOGRAPHICAL IMPLICATIONS

The above-mentioned considerations, which at first glance may be interpreted as simple theoretical sophisms, are of significance also from the biogeographic point of view. The simple understanding, previously expressed, of the inconsistency of presumptive lithological barriers in the hypogean realm – which for more than a century had been used full-time in historical biogeographic reconstructions – is already of great importance in itself. This misleading interpretation has conditioned us

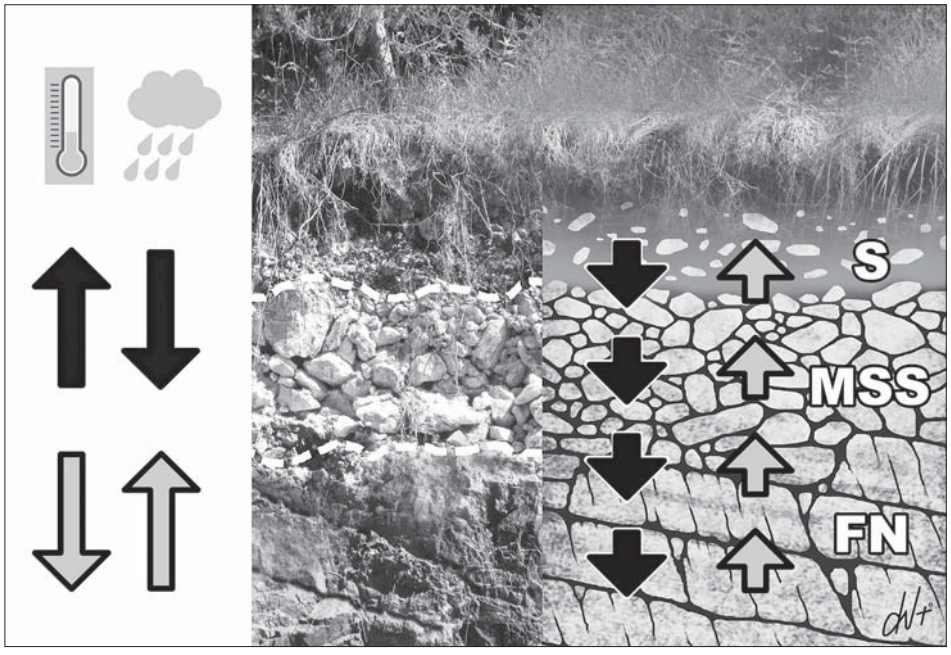

Fig. 4 – Vertical displacement and interchange of fauna between the subterranean and endogean environments with varying temperature and humidity. The increase in epigean temperature and the decrease of humidity (black arrows) cause a deepening of fauna with the possible displacement of endogean species in subterranean environment. Conversely, a decrease in epigean temperature and an increase in humidity (gray arrows) could facilitate a rise of subterranean species in the endogean environment. **S**: soil; **MSS**: Superficial Subterranean Habitat; **FN**: fissure network of the bedrock.

for years in the study of subterranean faunas towards a biogeographic approach very similar to that used in the study of island faunas. The single cave or even the single limestone massif were treated as islands located within territories that by definition could not be inhabited by subterranean faunas due to a lithological nature other than a carbonate one and therefore the absence of caves. Now we know that all this has no reason to be, and that the correct approach is much more similar to that used for epigean faunas. The barriers that influence, and have probably influenced in the past, the distribution of current hypogean elements, must not be very dissimilar to those implicated in the distribution of epigean elements. In this context, we have a further paradox: the biogeographic approach that has always been employed for endogean faunas, unlike the one used for hypogean faunas, has always been similar to that in use for epigean faunas. All this as if, contrary to what we have argued until now, a clear physical and biological separation had existed between the endogean and the hypogean environment when the latter was identified *tout court* exclusively with the caves.

Conclusions

In short, we can conclude that – regarding the relationships between the endogean and the hypogean environment – by summarizing two guiding concepts:

1) there are sharp morphological and physiological limits between subterranean animals and endogean animals, given their different ways of morphological and physiological specialization with respect to the two different environments;
2) conversely, there are no sharp physical and climatic limits between the subterranean and the endogean environments, there are no clear bio-ecological limitations in the temporal and spatial sense, so that in the temporary search for the optimum environment, not only it is possible, but it is highly probable that there is a transgression of the animals between the two different environments.

Acknowledgments

We are grateful above all to the Accademia Nationale Italiana di Entomologia that wanted to devote a day of study to the soil, allowing us to present this contribution. Heartfelt thanks to our friend and colleague Marzio Zapparoli, organiser of this day, for the invitation to attend.

A special thank to Dr. Massimo Meregalli, of the University of Torino (Italy), for improving the manuscript and to Dr. Max Barclay, Senior Curator at the Natural History Museum London (Great Britain), for his valuable suggestions to the English text.

Finally, we are grateful to the many colleagues and scholars who, over the years necessary to understand the issues and to develop the scientific thought here explicitly exposed, accompanied us, suggesting points of view, discussing problems and, above all, criticizing our ideas, sometimes constructively. Their contribution was essential in allowing us to advance in knowledge.

References

Badino G., 1995 – *Fisica del clima sotterraneo*. - Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, ser. II, 7: 140 pp.

Bouillon M., 2006 – *Amatar chez les savants*. Amalthée, Paris, 141 pp.

Brandmayr P., Colombetta G., Drovenik B., Forti E., Poldini L., Brandmayr Zetto T., 1980 – *Étude multidisciplinaire sur l'écologie de quelques Carabides endogés (Coleoptera Carabidae)*. - Mémoires de Biospéologie, 7: 85-98.

Bucciarelli I., 1960 – *Ulteriori osservazioni sul rinvenimento di troglobi nel letto dei torrenti*. - Bollettino della Società Entomologica Italiana, Genova, 90 (9-10): 170-171.

Coiffait H., 1958 – *Les Coléoptères du sol*. - Suppl. Vie et Milieu, 7: 204 pp.

Christiansen K., 1962 – *Proposition pour la classification des animaux cavernicoles*. - Spelunca, 2: 75-78.

Culver D.C., White W. B. (eds.), 2004 – *Encyclopedia of caves*. Academic Press, 680 pp.

Delamare Debouteville C., 1951 – *Microfaune du sol des pays tempérés et tropicaux*. - Suppl. Vie et Milieu, 1: 360 pp.

Giachino P. M., Vailati D., 2005 – *Problemi di protezione dell'ambiente ipogeo e note sull'impatto delle attività di ricerca in ambiente sotterraneo*. In: L'Ambiente Carsico e l'Uomo. Atti del Convegno Nazionale, Bossea (5-8 settembre 2003): 303-314.

Giachino P.M., Vailati D., 2008 – *Ulteriori considerazioni su alcuni aspetti biologici ed ecologici dell'ambiente sotterraneo*. In: Ambiente Carsico: i progressi degli studi in Italia sulla soglia del XXI secolo. Atti del Seminario Nazionale, Bossea (21-22 maggio 2005): 133-140.

Giachino P. M., Vailati D., 2010 – *The subterranean environment. Hypogean life, concepts and collecting techniques. L'ambiente sotterraneo. Vita ipogea, concetti e tecniche di raccolta*. WBA Handbooks 3: 130 pp.

Giachino P. M., Vailati D., 2016 – *Riflessioni sulla terminologia biospeleologica: i concetti di troglobio, troglofilo e troglosseno*. Atti Convegno Nazionale Bossea (22-23 giugno 2013), "La ricerca carsologica in Italia": 187-192.

Glaçon-Deleurance S., 1958 – *La contraction du cycle évolutif des Coléoptères Bathysciinae et Trechinae en milieu souterrain*. - Comptes Rendu de Académie de Sciences de Paris, 752-753.

Jeannel R., 1926 – *Faune Cavernicole de la France, avec*

une Etude des Conditions d'Existence dans le Domaine Souterrain. P. Lechevallier, Paris, 334 pp.

Jeannel R., 1941-1942 – *Coléoptères Carabiques*. I-II. Faune de France. Lechevalier, Paris, 1-1173.

Jeannel R., 1942 – *La genèse des faunes terrestres. Elémentes de biogéographie*. Presses Universitaires de France éd., Paris, 514 pp.

Jeannel R., 1943 – *Les fossiles vivants des cavernes*. Gallimard, Paris, 322 pp.

Juberthie C., 1983 – *Le milieu souterrain: étendue et composition*. Mémoires de Biospéologie, 10: 17-65.

Juberthie C., 1984 – *La colonisation du milieu souterrain: théories et méthode, relations avec la spéciation et l'évolution souterrain*. - Mémoires de Biospéologie, 11: 65-102.

Juberthie C., Bouillon M., 1983 – *Présence des* Aphaenops *(Coléoptères, Trechinae) dans le milieu souterrain superficiel des Pyrénées françaises*. - Mémoires de Biospéologie, 10: 91-98.

Juberthie C., Bouillon M., Delay B., 1981 – *Sur l'existence du milieu souterrain superficiel en zone calcaire*. - Mémoires de Biospéologie, 8: 77-93.

Juberthie C., Decou V., 1994 – *Structure et diversité du domaine souterrain; particularités des habitats et adaptations des espèces*. - Encyclopaedia Biospéologica, I: 5-22.

Juberthie C., Delay B., Bouillon M., 1980a – *Sur l'existence d'un milieu souterrain superficiel en zone non calcaire*. - Comptes rendus de l'Académie des Sciences de France, 290: 49-52.

Juberthie C., Delay B., Bouillon M., 1980b – *Extension du milieu souterrain en zone non-calcaire: description d'un nouveau milieu et son peuplement par les Coléoptères troglobies*. - Mémoires de Biospéologie, 7: 19-52.

Juberthie C., Decou V., 1994 – *Encyclopaedia Biospéologica I*. Société de Biospéologie, p. III-XII + 1-834.

Juberthie C., Decou V., 1998 – *Encyclopaedia Biospéologica II*. Société de Biospéologie, p. I-VIII + 835-1374.

Juberthie C., Decou V., 2001 – *Encyclopaedia Biospéologica III*. Société de Biospéologie, p. I- VIII + 1375-2296.

Leruth R., 1939 – *La biologie du domaine souterrain et la faune cavernicole de la Belgique*. - Mémoires du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique, 87: 506 pp.

Mammola S., Giachino P. M., Piano E., Jones A., Barberis M., Badino G., Isaia M., 2016 – *Ecology and sampling techniques of an understudied subterranean habitat: the Milieu Souterrain Superficiel (MSS)*. - The Sciences of Nature, 103 (88): 1-24.

Nitzu E., Nae A., Băncilă R., Popa I., Giurginca A., Plăiaşu R., 2014 – *Scree habitats: ecological function, species conservation and spatialtemporal variation in the arthropod community*. - Systematics and Biodiversity, 12 (1): 65-75.

Pavan M., 1944 – *Appunti di Biospeleologia. I. Considerazioni sui concetti di troglobio, troglofilo e troglosseno*. Le Grotte d'Italia, s. 2ª, 5 (1941-44): 35-41.

Pavan M., 1958 – *Relazione sulla classificazione biologica degli animali cavernicoli*. Atti VIII Congresso Nazionale di Speleologia, Como, 1956, Memorie di Rassegna Speleologica Italiana, IV (2): 1-7.

Racovitza E., 1907 – *Essai sur les problèmes biospéologiques*. Biospeologica I. - Archives de Zoologie expérimentale et générale, 4 (36): 37-488.

Ruffo S., 1955 – *Le attuali conoscenze sulla fauna cavernicola della regione pugliese*. - Memorie di Biogeografia Adriatica, 3: 143 pp.

Růžička V., Zacharda M., Němcová L., Šmilauer P., Nekola C. J., 2012 – *Periglacial microclimate in low-altitude scree slopes supports relict biodiversity*. - Journal of Natural History , 46: 2145-2157.

Schiner JR., 1854 – *Fauna der Adelsberger-Luegger und Magdalenen Grotte. In: Schmidtl A., editor*. Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Loos. Wien (Austria): Braunmüller: 231-272.

Sket B., 2004 – *The cave hygropetric. A little known habitat and its inhabitants*. - Archiv für Hydrobiologie, 160 (3): 413-425.

Sket B., 2008 – *Can we agree on an ecological classification of subterranean animals?* - Journal of Natural History, 42 (21-22): 1549-1536.

Vailati D., 1988 – *Studi sui Bathysciinae delle Prealpi Centro-occidentali. Revisione sistematica, ecologia, biogeografia della «serie filetica di* Boldoria*» (Coleoptera, Catopidae)*. Monografie di Natura bresciana, 11: 332 pp.

Vandel A., 1964 – *Biospéologie. La biologie des animaux cavernicoles*. Gauthier-Villars, Paris, 619 pp.

Zacharda M., Gude M., Růžička V., 2007 – *Thermal regime of three low elevation scree slopes in Central Europe*. - Permafrost and Periglacial Processes, 18: 301-308.

Zanella A., Tomasi M., De Siena C., Frizzera L., Jabiol B., Nicolini G., 2001 – *Humus forestali. Manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione. Applicazione alle faggete*. Edizioni Centro di Ecologia Alpina, Trento, 321 pp.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 167-171

QUALITÀ BIOLOGICA DEI SUOLI E GESTIONE FORESTALE

GIANLUCA PIOVESAN (*) - MARZIO ZAPPAROLI (**)

(*) *Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo,* e-mail: piovesan@unitus.it
(**) *Dipartimento per la Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (DIBAF), Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo,* e-mail: zapparol@unitus.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Gli Artropodi del suolo: diversità e biocenosi". Seduta pubblica dell'Accademia - Firenze, 16 giugno 2017.

Soils Biological Quality and Forest Management

The maintenance of soil quality is a priority objective for the conservation of biodiversity, the mitigation of climate change, the sustainable development. If not properly designed, silvicultural activities (e.g. harvesting) can negatively affect the quality of soils, triggering degradation processes (e.g., erosion, compaction). The use of QBS-ar index for monitoring the quality of forest soils with different history of management has highlighted that the greatest impact of human activities is linked to soil constipation (forest utilization, tourist use) revealing in Central Italy a drop of the index to values <140. The QBS-ar index has proved to be a valid instrument in detecting anthropic impacts that cause soil degradation, although this index does not seems able to differentiate the natural conditions of the woods. As the maintenance of soil fertility in the sustainable management of forest ecosystems is a necessary condition for renewal and growth processes of a forest subjected to utilization, it would be necessary to go beyond the descriptive use of the soil quality through QBS-ar index. The next step is studying the possibility of applying it – or a modified version - to describe the productive capacity of woodlands by moving to a functional approach, where the net primary production of populations distributed along a fertility gradient is compared with the biodiversity of taxonomic groups and their degree of adaptation to the edaphic life. The frontier of research applied to the conservation of forests and the sustainable management of renewable resources is therefore to develop a biomonitoring system to evaluate the naturalness degree of soils, too. As in the case of the aboveground forest ecosystem, the first step is to construct an ecological framework with specific benchmarks for the different forest ecosystems in the different territories - at regional or macro-regional scale - in order to be able to compare situations with high naturalness (old forests) with the different forms of management up to degraded forest ecosystems.

KEY WORDS: QBS-ar index, sustainable forestry, forest naturalness, ecosystem monitoring, soil monitoring, ecosystem services, biodiversity.

INTRODUZIONE

Nell'ambito delle strategie internazionali finalizzate alla conservazione della biodiversità, per la mitigazione dei cambiamenti climatici e per lo sviluppo sostenibile, mantenere la qualità dei suoli è considerato un obiettivo prioritario (vedi p. es., MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2003; GLÆSNER *et al*., 2014). Tuttavia, con riferimento alla Unione Europea non esiste ad oggi una specifica legislazione dedicata al tema della conservazione del suolo, per cui si assiste ancora a processi diffusi di degrado nei diversi ecosistemi, da quelli agrari a quelli forestali (PALEARI, 2017).

Per ciò che concerne gli ecosistemi forestali, al tema della conservazione del suolo è dedicato uno specifico principio (Criterio n. 5, Protezione del suolo e del ciclo dell'acqua) dell'ultima edizione, la quarta, del Report sullo stato di conservazione delle foreste europee edito da Forest Europe, iniziativa paneuropea sviluppata a partire dal 1990 che attualmente coinvolge 34 Paesi, finalizzata al coordinamento delle politiche ambientali per la protezione e la gestione sostenibile del patrimonio forestale nell'Unione Europa (FOREST EUROPE, 2015). Nell'ambito del citato Report, indicatori che descrivono lo stato dei suoli si trovano anche in altri principi e, in particolare, nel Criterio n. 1 (Ruolo delle foreste nel ciclo del carbonio), essendo i suoli il maggior pool di carbonio, e nel Criterio n. 2 (Funzionalità degli ecosistemi forestali), per il ruolo che il suolo gioca nella funzionalità degli ecosistemi.

Va rilevato che, sebbene la protezione del suolo dall'erosione e dalla desertificazione e il mantenimento della fertilità siano considerati un obiettivo prioritario, ad oggi i monitoraggi di Forest Europe riguardano principalmente le caratteristiche chimico-fisiche, mentre gli approfondimenti relativi agli attributi connessi alla qualità, quali ad esempio la biodiversità, vengono più che altro condotti nell'ambito delle attività di ricerca applicata alla conservazione della natura e allo studio degli impatti delle attività antropiche. Tra queste ultime, le attività selvicolturali possono incidere negativamente sulla qualità dei suoli poiché,

– Pubblicato aprile 2018

al di là dell'impatto sui cicli biogeochimici e sulle dinamiche di popolazione, i tagli, soprattutto quando progettati in modo tecnicamente non adeguato, possono innescare molteplici meccanismi di degrado, in primo luogo per ciò che concerne i processi erosivi e/o di costipamento.

L'indice QBS-ar: stato dell'arte

Il monitoraggio della qualità dei suoli tramite l'oramai ben noto indice QBS-ar, un indice di Qualità Biologica del Suolo basato sulla presenza/assenza di particolari gruppi di artropodi (Parisi, 2001; Menta, 2004; Parisi *et al*., 2005), effettuato in popolamenti forestali con una diversa storia di gestione della Tuscia laziale (Italia centrale), dai rimboschimenti alle foreste vetuste, passando attraverso quelli governati a fustaia (Fiordigigli, 2009; Blasi, 2010; Blasi *et al.*, 2013), ha evidenziato che il maggiore impatto delle attività antropiche risulta essere legato alla costipazione del suolo, in primo luogo provocata dalle utilizzazioni forestali, ma anche a seguito della realizzazione di sentieri per la fruizione turistica. Particolarmente vulnerabili al costipamento risultano essere insetti dipluri, proturi e coleotteri, nonchè altri gruppi tra cui chilopodi, diplopodi, pauropodi, sinfili, e aracnidi pseduscorpioni per cui, a causa della rarefazione di questi gruppi tassonomici, l'indice QBS-ar scende notevolmente.

Infatti, una volta escluse le zone costipate, non sembrano emergere particolari differenze legate alla composizione del bosco, alla forma di governo e al trattamento del bosco (Fig. 1). Va, così, sottolineato, che anche in boschi cedui, nelle aree non disturbate dal passaggio delle macchine, si rinvengono valori medi del QBS-ar superiori a 200, fatto non sorprendente poiché si tratta pur sempre di ecosistemi forestali, sebbene sottoposti a un importante disturbo periodico che determina l'asportazione della maggior parte della componente epigea (Fiordigigli, 2009).

In questo settore geografico i valori più alti di QBS-ar (> 250) si rinvengono generalmente in contesti di bosco misto meso-termofilo a dominanza di cerro (*Quercus cerris*) o di castagno (*Castanea sativa*), dove la foresta temperata decidua incontra quella sempreverde. Nei contesti collinari dei Monti Cimini e di Canale Monterano (Lazio, Provincia di Viterbo), si è rinvenuta infatti la massima ricchezza in quanto a numero di gruppi tassonomici (ben 19 con un QBS-ar pari a 267) (Blasi, 2010). È inoltre interessante notare come nei boschi di querce decidue e sempreverdi della Macchia di Capocotta (Lazio, Provincia

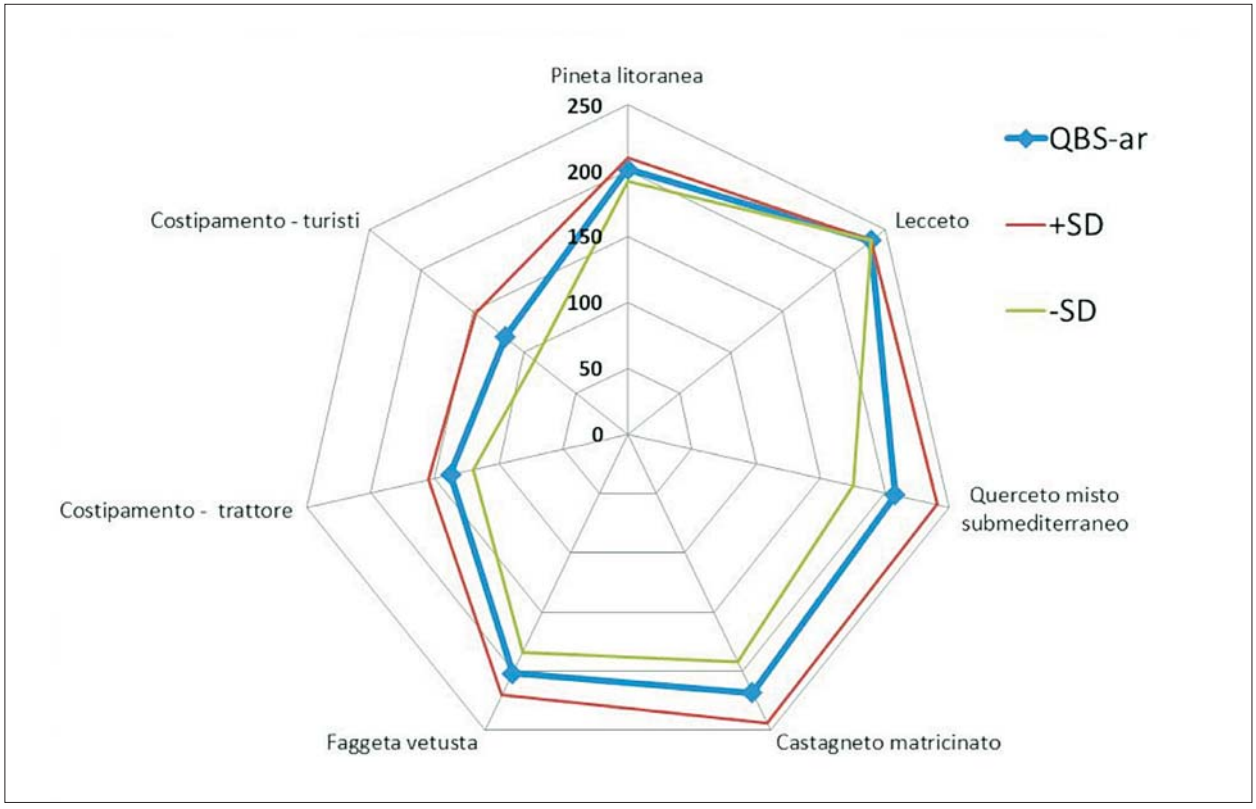

Fig. 1 – Valore di QBS-ar medio e relativa deviazione standard dei tipi compositivi studiati in Blasi *et al.* (2013) nelle aree in cui non erano evidenti fenomeni di costipamento. A titolo di confronto vengono riportati i valori di QBS-ar nel caso di impatto da trattore lungo le piste di esbosco forestale e di costipamento lungo i sentieri frequentati dai fruitori.

di Roma) sia stato misurato un valore del QBS-ar di 289 (Podrini *et al.*, 2010).

In relazione alle attività di biomonitoraggio finalizzate a prevenire il degrado dei suoli nelle differenti forme di uso, una recente review sulla qualità dei suoli misurata tramite QBS-ar (Menta *et al.*, 2018) ha posto ad un valore prossimo a 100 la soglia che separa i suoli a bassa fertilità o degradati, da quelli la cui qualità può essere considerata accettabile. Questo studio ha confermato, inoltre, come i suoli forestali si distinguano da quelli di tutti gli altri ecosistemi per valori di QBS mediamente più alti. A questo proposito è interessante notare come un valore soglia molto simile sia stato rilevato in un recente studio sull'impatto del pascolo di animali domestici in praterie montane del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise (Italia centrale) in aree sottoposte ad un considerevole carico (Primi *et al.*, 2016). Nel caso degli ecosistemi forestali va tuttavia evidenziato che Blasi *et al.* (2013) riportano valori medi di 120-140 per le varie tipologie di costipamento studiate, per cui sarebbe opportuno alzare la soglia proposta da Menta *et al.* (2018) ad almeno 140, perlomeno nel caso dei boschi temperati decidui e sempreverdi dell'Italia peninsulare. Questa necessità di innalzare la soglia di QBS-ar che divide i suoli forestali con qualità soddisfacente da quelli degradati, è confermata da vari studi condotti in diverse ecoregioni europee dove i boschi si sono sempre caratterizzati per valori mediamente marcatamente più alti (cfr. Rüdisser *et al.*, 2015 per la variazione nelle diverse classi di uso del suolo dell'ecoregione alpina).

Se in generale il QBS-ar si è dimostrato un valido strumento nel rilevare impatti antropici - in primo luogo il costipamento, agente di degrado di primo piano negli ecosistemi mediterranei poiché la riduzione della permeabilità di un suolo, oltre a ridurre la capacità di campo, lo espone a un maggiore rischio di erosione, determinando così una minore riserva idrica disponibile durante il periodo arido estivo – va d'altro canto evidenziato come tale indice non sia assolutamente in grado di differenziare le diverse condizioni di naturalità dei boschi.

Ad esempio, nell'Alto Lazio (Italia centrale, Provincia di Viterbo), la faggeta vetusta del Monte Cimino (925-1053 m s.l.m.) si caratterizza per valori mediamente intorno a 210, di poco inferiori a quelli rilevati nei cedui castanili ubicati nella stessa area, ma a quote più basse (Blasi *et al.*, 2013; Venanzi *et al.*, 2016). A questo proposito, è interessante notare come l'applicazione dell'indice QBS-ar in un sistema di biomonitoraggio integrato di un ecosistema fluviale dell'Abruzzo (Fiume Tirino), se da un lato evidenzia valori medio-alti , con un ampio *range* di variazione (163-227; valore massimo rinvenuto nel basso corso del fiume), d'altro canto ha rilevato una correlazione inversa con specie vegetali terrestri indicatrici di impatto antropico, risultato di un certo interesse che merita specifici approfondimenti anche in altri ecosistemi (Testi *et al.*, 2012).

Verso un sistema di biomonitoraggio della fertilità e della naturalità dei suoli

Un tema centrale nella gestione sostenibile degli ecosistemi forestali è il mantenimento della fertilità, condizione necessaria per garantire i processi di rinnovazione e di crescita di un popolamento forestale sottoposto ad utilizzazioni. Con specifico riferimento al problema della compattazione dei suoli forestali, speciali approfondimenti sono necessari per comprendere i tempi di restauro dell'habitat originario poiché nei casi di impatto severo e/o ripetuto nel tempo il suolo può entrare in una condizione "trappola", caratterizzata da una bassa fertilità, funzionalità e resilienza ai cambiamenti climatici (Ludwig *et al.*, 2017). Se da un lato vi è la necessità di approfondire le soglie di QBS-ar che separano i suoli degradati da quelli funzionali nei diversi ecosistemi forestali (vedi avanti), periodici monitoraggi condotti su suoli degradati sono necessari per descrivere i processi di recupero della biodiversità, in primo luogo dei taxa vulnerabili sopra riportati, e quindi, per calcolare i tempi di rigenerazione della fertilità. Più in generale, sarebbe necessario andare oltre l'uso descrittivo della qualità del suolo tramite QBS-ar, studiando la possibilità di applicare questo indice – anche opportunamente rielaborato – al fine di descrivere in modo speditivo la capacità produttiva del suolo forestale. Si tratterebbe così di passare ad un approccio funzionale, dove la produzione primaria netta di popolamenti distribuiti lungo un gradiente di fertilità viene comparata con la biodiversità dei gruppi tassonomici e il loro grado di adattamenti alla vita edafica.

Per descrivere il livello di naturalità dei suoli di un popolamento forestale risulta quindi evidente la necessità di ricorrere a specifici approfondimenti tramite il monitoraggio di taxa di insetti sensibili ai diversi livelli di perturbazione nell'ambito di un determinato ecosistema, come ad esempio collemboli, acari oribatei (vedi tra gli altri, Migliorini *et al.*, 2003; Pigino *et al.*, 2005; Henneron *et al.*, 2017), Coleotteri Carabidi (vedi Brandmayr *et al.*, 2005) ed altri ancora (Tagliaferri *et al.,* 2007; Brandmayr e Pizzolotto, 2015).

La frontiera della ricerca applicata alla conservazione della foreste e alla gestione sostenibile delle risorse rinnovabili è quella di sviluppare un sistema

di monitoraggio della naturalità dei suoli con relativo benchmark di riferimento per i diversi ecosistemi forestali nei diversi territori, a scala regionale o macroregionale. Solo così gli indici/indicatori delle foreste vetuste (Di Filippo *et al.*, 2004) potranno essere messi a confronto con le diverse forme di gestione della foresta in modo da comprendere gli impatti dell'uso sulla conservazione della biodiversità, sui servizi ecosistemici e sulla capacità del bosco di generare una produzione ai massimi livelli nel corso del tempo (cfr. Keddy e Drummond, 1996; Bardgett *et al.*, 2014; Wagg *et al.*, 2014).

Come nel caso di altri indici di biomonitoraggio, va sottolineato che anche il QBS-ar andrebbe comparato nell'ambito di uno stesso tipo forestale (p. es., faggeta altimontana vs faggeta collinare). Inoltre, in ambiente mediterraneo, dove l'aridità estiva diviene particolarmente condizionante la crescita dei vegetali, andrebbe tenuto conto anche della stagione di rilievo (Galli *et al.*, 2014). Da sottolineare, infine, come la variabilità del QBS-ar nei diversi ecosistemi - in particolari in quelli forestali - sia legata a fattori topografici e geo-pedo-climatici quali la altitudine/esposizione (effetto negativo sui valori dell'indice per diminuzione di temperatura), pH e tessitura (Rüdisser *et al*., 2015).

Questi sistemi di monitoraggio per descrivere il livello di naturalità sono in corso di sperimentazione attraverso approcci basati sulla descrizione degli attributi strutturali e funzionali delle faggete (cfr. Di Filippo *et al.*, 2017) o tramite lo studio di certi taxa forestali quali licheni, insetti xilofagi, uccelli particolarmente sensibili agli impatti antropici. Infatti, l'uso delle risorse forestali può condurre all'alterazione dei cicli biogeochimici e alla scomparsa di specifici (micro)habitat (p. es., legno morto) determinando così una drastica riduzione degli individui di queste specie vulnerabili che, a seconda della storia degli impatti, divengono via via più rarefatte fino ad estinguersi dai popolamenti antropizzati (p. es., Fritz *et al*., 2009; Nagel *et al*., 2017).

L'integrazione con il biomonitoraggio della componente edafica (p. es., Testi *et al*., 2012) permetterebbe di comprendere in modo più approfondito l'impatto delle diverse scelte selvicolturali (per esempio le estrazioni di biomasse e/o la fruizione del bosco), in modo tale da pianificare e gestire il capitale forestale del nostro Paese nel rispetto dei principi della sostenibilità. Allo stesso tempo, un sistema integrato tra componente epigea ed ipogea di biomonitoraggio dell'ecosistema forestale permetterà di comprendere la risposta ai cambiamenti climatici e di valutare i processi degradativi o ricostitutivi in conseguenza di disturbi severi quali ad esempio gli incendi.

RIASSUNTO

Il mantenimento della qualità del suolo è un obiettivo prioritario per la conservazione della biodiversità, la mitigazione dei cambiamenti climatici, lo sviluppo sostenibile. Se non adeguatamente progettate, le attività selvicolturali (tagli) possono influire negativamente sulla qualità dei suoli, innescando processi di degradazione (erosione, compattazione). L'uso dell'indice QBS-ar per il monitoraggio della qualità dei suoli forestali con diversa storia di gestione ha evidenziato che il maggiore impatto delle attività umane è legato alla costipazione del suolo (utilizzazione forestale, uso turistico) che nell'Italia centrale determina una importante caduta dell'indice (valori di QBS-ar < 140). L'indice QBS-ar ha dimostrato di essere uno strumento valido per rilevare alcuni tipi di impatto antropico, sebbene esso non sembri in grado di differenziare le condizioni naturali dei boschi . Dato che il mantenimento della fertilità del suolo nella gestione sostenibile degli ecosistemi forestali è una condizione necessaria per garantire nel corso del tempo i processi di rinnovazione e di crescita di un popolamento soggetto ad utilizzazione, sarebbe necessario andare oltre l'uso descrittivo della qualità del suolo attraverso questo indice. Obiettivo della ricerca è quindi, studiare la possibilità di applicarlo – eventualmente con le opportuno modifiche - per descrivere la capacità produttiva dei boschi passando a un approccio funzionale, dove la produzione primaria netta di popolamenti distribuiti lungo un gradiente di fertilità viene confrontata con la biodiversità dei gruppi tassonomici e il loro grado di adattamento alla vita edafica. La frontiera della ricerca applicata alla conservazione delle foreste e alla gestione sostenibile delle risorse rinnovabili è, quindi, quella di sviluppare un sistema di indicatori/indici per monitorare la naturalità dei suoli con parametri di riferimento relativi ai diversi ecosistemi forestali nei diversi territori, su scala regionale o macroregionale, per poter confrontare situazioni ad elevata naturalità (foreste vetuste) con le diverse forme di gestione nonché rilevare e rimuovere i fattori antropici causa di degrado.

BIBLIOGRAFIA

Angelini P., Fenoglio S., Isaia M., Jacomini C., Migliorini M., Morisi A., 2002 – *Tecniche per il biomonitoraggio della qualità del suolo*. ARPA Piemonte, 110 pp. www.arpa.piemonte.it.

Bardgett R.D., Van der Putten W.H., 2014 – *Belowground biodiversity and ecosystem functioning*. - Nature, 515 (7528): 505-511.

Blasi S., 2010 – *Valutazione dell'impatto antropico sulla comunità di microartropodi del suolo in alcune aree forestali dell'Italia centrale*. Tesi di Dottorato di Ricerca XXII Ciclo. Università degli Studi della Tuscia.

Blasi S., Menta C., Balducci L., Conti F.D., Petrini E., Piovesan G., 2013 – *Soil microarthropod communities from Mediterranean forest ecosystems in Central Italy under different disturbances*. - Environmental monitoring and assessment, 185 (2): 1637-1655.

Brandmayr P., Pizzolotto R., 2015 – *Gli Insetti come bioindicatori*. - Atti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Rendiconti, 62: 63-80.

Brandmayr P., Zetto T., Pizzolotto R., 2005 – *I Coleotteri Carabidi per la valutazione ambientale e la conservazione della biodiversità - Manuale operativo*. APAT, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici. Manuali e Linee Guida, 34: 1-240.

Codurri M., Truzzi A., Bertonazzi M.C., 2005 – *Microartropodi del terreno: manuale da campo per il riconoscimento dei microartropodi del terreno come indicatori della qualità biologica del suolo (metodo QBS-ar)*. Quaderno di campo, (4).

Di Filippo A., Piovesan G., Schirone B., 2004 – *Le foreste vetuste: criteri per l'identificazione e la gestione.* S.It.E Atti XXVIII, Atti del XIV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia. Conservazione e Gestione degli Ecosistemi (C. Gaggi ed.). Siena, 4-6 Ottobre 2004,pp. 4-6.

Di Filippo A., Biondi F., Piovesan G., Ziaco E., 2017 – *Tree ring based metrics for assessing old growth forest naturalness*. - Journal of Applied Ecology, 54 (3): 737-749.

Fiordigigli, R., 2009 – *Analisi della qualità biologica del suolo attraverso il metodo QBS-ar in alcuni ambienti forestali della provincia di Rieti.* Tesi di Dottorato di Ricerca XXI Ciclo. Università degli Studi della Tuscia.

Forest Europe, 2015 – *State of Europe's forests 2015.* Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Forest Europe Liaison Unit Madrid.

Fritz Ö., Niklasson M., Churski M., 2009 – *Tree age is a key factor for the conservation of epiphytic lichens and bryophytes in beech forests*. - Applied Vegetation Science, 12 (1): 93-106.

Galli L., Capurro M., Menta C., Rellini I., 2014 – *Is the QBS-ar index a good tool to detect the soil quality in Mediterranean areas? A cork tree* Quercus suber *L.(Fagaceae) wood as a case of study*. - Italian Journal of Zoology, 81 (1): 126-135.

Glæsner N., Helming K., De Vries W., 2014 - *Do current European policies prevent soil threats and support soil functions?* - Sustainability, 6 (12): 9538-9563.

Gobbi M., 2009 – *Influenza dei caratteri e delle tipologie di uso del suolo sulle comunità di Carabidi (Insecta: Coleoptera).* - Studi Trentini di Scienze Naturali, 85: 131-134.

Henneron L., Aubert M., Archaux F., Bureau F., Dumas Y., Ningre F., Richter C., Balandier P., Chauvat M., 2017 – *Forest plant community as a driver of soil biodiversity: experimental evidence from collembolan assemblages through large-scale and long-term removal of oak canopy trees* Quercus petraea. - Oikos, 126 (3): 420-434.

Keddy P.A., Drummond C.G., 1996 – *Ecological properties for the evaluation, management, and restoration of temperate deciduous forest ecosystems*. - Ecological Applications, 6 (3): 748-762.

Ludwig M., Wilmes P., Schrader S. 2017 – *Measuring soil sustainability via soil resilience*. Science of The Total Environment, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.043 .

Menta C., 2004 – *La qualità biologica dei suoli attraverso l'uso dei microartropodi*. Atti del Convegno Nazionale "La conoscenza della qualità del suolo attraverso l'utilizzo di indicatori biologici ed ecotossicologici", Torino, 13: 22-26.

Menta C., Conti F.D., Pinto S., Bodini A., 2018 – *Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale*. - Ecological Indicators, 85: 773-780.

Migliorini M., Fanciulli P.P., Bernini F., 2003 – *Comparative analysis of two edaphic zoocoenoses (Acari Oribatida; Hexapoda Collembola) in the area of Orio al Serio Airport (Bergamo, northern Italy)*. - Pedobiologia, 47: 9-18.

Millennium Ecosystem Assessment, 2003 – *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Island Press, Washington, DC.

Nagel T.A., Firm D., Mihelic T., Hladnik D., De Groot M., Rozenbergar D., 2017 – *Evaluating the influence of integrative forest management on old-growth habitat structures in a temperate forest region.* - Biological Conservation, 216: 101-107.

Paleari S., 2017 – *Is the European Union protecting soil? A critical analysis of Community environmental policy and law*. - Land Use Policy, 64: 163-173.

Parisi V., 2001 – *La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi*. - Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense", 37: 97-106.

Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E., 2005 – *Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy*. - Agriculture, Ecosystems & Environment, 105 (1): 323-333.

Pigino G., Migliorini M., Bernini F., 2005 – *Gli acari oribatei come indicatori della qualità biologica dei suoli.* Atti del Convegno Nazionale "La conoscenza della qualità del suolo attraverso l'utilizzo di indicatori biologici ed ecotossicologici", Torino, Italia, 13 Maggio 2004, pp. 49-55.

Podrini A., Di Fabbio A., Jacomini C., Dowgiallo G., 2006 – *Relationships between pedological matrix and soil mesofauna in the Natural Reserve of Decima-Malafede (Latium): a new approach and possible applications*. - Proc. 16th Meeting of the Italian Society of Ecology, Viterbo, pp. 1-8.

Primi R., Filibeck G., Amici A., Bückle C., Cancellieri L., Di Filippo A., .Gentile C. , Guglielmino A. , Latini R. , D. Mancini L., Mensing S.A., Rossi C.M., Rossini F., Scoppola A., Sulli C., Venanzi R., Ronchi B., Piovesan G., 2016 – *From Landsat to leafhoppers: a multidisciplinary approach for sustainable stocking assessment and ecological monitoring in mountain grasslands*. - Agriculture, Ecosystems & Environment, 234: 118-133.

Rainio J., Niemelä, J., 2003 – *Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators*. - Biodiversity and Conservation, 12 (3): 487-506.

Rüdisser J., Tasser E., Peham T., Meyer E., Tappeiner U., 2015 – *The dark side of biodiversity: Spatial application of the biological soil quality indicator (BSQ).* - Ecological Indicators, 53: 240-246.

Tagliaferri A., Gubertini A., Migliorini M., 2007 – *Le reti di monitoraggio degli ecosistemi forestali come opportunità per la bioindicazione*. - Inquinamento, 89: 1-8.

Testi A., Fanelli G., Crosti R., Castigliani V., D'Angeli D., 2012 – *Characterizing river habitat quality using plant and animal bioindicators: A case study of Tirino River (Abruzzo Region, Central Italy).* - Ecological indicators, 20: 24-33.

Venanzi R., Picchio R., Piovesan G., 2016 – *Silvicultural and logging impact on soil characteristics in Chestnut (*Castanea sativa *Mill.) Mediterranean coppice*. - Ecological Engineering, 92: 82-89.

Wagg C., Bender S.F., Widmer F., Van der Heijden M.G., 2014 – *Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality*. - Proceedings of the National Academy of Sciences, 111 (14): 5266-5270.

Seduta pubblica, Firenze 17 novembre 2017

Tavola Rotonda su:

INSECT-PLANT INTERACTIONS

Coordinatori:
Angharad M.R. Gatehouse e Maria Cristina Digilio, Accademiche

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 175-178

PLANT RESPONSE TO BIOTIC STRESS: CAN THIS BE EXPLOITED FOR CROP PROTECTION?

ANGHARAD M.R. GATEHOUSE (*)

(*) *Newcastle University, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK;* e-mail: A.M.R.Gatehouse@newcastle.ac.uk
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Insect-plant interactions". Seduta pubblica dell'Accademia - Napoli, 17 novembre 2017

Plant Response to Biotic Stress: Can this be exploited for Crop Protection?

A major challenge to both Science and Society is to increase agricultural productivity by an estimated 70% to feed an additional 2.3 billion people by 2050. Strategies to increase crop production must be both resilient and environmentally sustainable, requiring a paradigm shift in current practices. The commercialization of Bt-expressing Biotech (transgenic) crops in the mid-1990s has gone some way to meet these needs. However, it is clear that other technologies and molecules are required to meet future demands. One such approach is to exploit endogenous resistance mechanisms, which form part of the plants' defence armoury. These defences can be either constitutive or induced, the latter often involving extensive reprogramming of defence-signalling pathways. Although endogenous resistance in many crops is currently not adequate to combat heavy pest infestations in an agricultural environment, increased knowledge of these mechanisms provides increased scope for enhancing endogenous defence against phytophagous insects in crops by conventional breeding strategies. The level of partial resistance against pest species achieved using inherent genetic resources may well be sufficient to give adequate protection to a crop under a suitable IPM programme, especially with an increased contribution from predators and parasitoids of the pest. Functional genomics provides a powerful platform to study these responses. Examples from different cropping systems with a view to their subsequent exploitation in breeding programmes to enhance crop resistance to insect pests will be presented.

KEY WORDS: biotech crops, resistance genes, IPM, defence pathways, cereal crops

INTRODUCTION

The current world population of 7.6 billion is expected to reach 8.6 billion by 2030, 9.8 billion by 2050 and 11.2 billion by 2100, equating to an annual increase of approximately 83 million people year on year (UN, World Population Prospects: The 2017 Revision). This predicted population increase poses a major challenge to both Science and Society to increase agricultural productivity. However, strategies to increase crop production must be both resilient and environmentally sustainable, requiring a paradigm shift in current practices.

The commercialization of crops expressing genes encoding the entomocidal δ-endotoxin from *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) in the mid-1990s has gone some way to meet these needs. It is estimated that the global area of Biotech crops is now in excess of 185 million hectares (ISAAA Briefs 2016), with approximately 23 and 75 million hectares for insect resistant crops and those expressing the dual trait for insect resistance and herbicide tolerance, respectively. However, it is clear that other technologies and molecules are required to meet future demands, not least as resistance to *Bt* Cry proteins is now beginning to emerge in the field (TABASHNIK, 2016); furthermore, one order of insect, the Homoptera, which are major vectors of disease, are insensitive to *Bt*. Developing strategies that are efficacious, but at the same time pose negligible risks to beneficial organisms, such as pollinators and those involved in biological control, is therefore both desirable and timely. Many different approaches are currently being investigated, from the use of arthropod-based fusion proteins (NAKASU *et al.,* 2014), to RNA interference-based approaches via the delivery of dsRNA (PRICE and GATEHOUSE, 2008; ABD EL HALIM *et al.,* 2016), either as biopesticides or via expression in transgenic crops. Another such approach is to exploit endogenous resistance mechanisms, which form part of the plants' defence armoury.

UNRAVELLING ENDOGENOUS DEFENCE MECHANISMS

Endogenous defences can be either constitutive or induced, the latter often involving extensive reprogramming of defence-signalling pathways. Although endogenous resistance in many crops is currently not adequate to combat heavy pest infestations in an agricultural environment,

increased knowledge of these mechanisms provides increased scope for enhancing endogenous defence against herbivores in crops, without necessarily introducing genetic material from outside the available gene pool, by conventional breeding strategies. The level of partial resistance against pest species achieved using inherent genetic resources may well be sufficient to give adequate protection to a crop under a suitable IPM programme, especially with an increased contribution from predators and parasitoids of the pest.

Ecologists have long understood that plants exhibit multimechanistic resistance towards herbivores, but the molecular mechanisms underpinning these complicated responses have remained elusive. Studies with Arabidopsis and tobacco as model systems to investigate the plant' s herbivore-induced transcriptome have provided novel insights into plant-insect interactions, demonstrating that the jasmonic acid cascade plays a central role in transcript accumulation in plants exposed to herbivory (Hermsmeier *et al.,* 2001). Baldwin and his group estimate that approximately 500 mRNAs constitute the insect-responsive transcriptome in tobacco (Baldwin *et al.,* 2001). However, many of these genes are of unknown function, and many changes in gene expression do not represent induction of defence-related proteins. Photosynthetic genes, for example, are downregulated in tobacco plants in response to insect attack; microarray analysis has demonstrated putative upregulation of defence-associated transcripts and downregulation of growth-associated transcripts (Huio *et al.,* 2003). This analysis provided evidence for the simultaneous activation of salicylic acid, ethylene, cytokinin and jasmonic acid-regulated pathways during herbivore attack. Similar co-activation of numerous signalling cascades in response to various stresses has also been reported for Arabidopsis (Chen *et al.,* 2002) and supports the concept of a network of interacting signal cascades. Microarray analysis also identified direct defensive responses in dramatic increases in protease inhibitor transcripts, and increases in transcripts encoding putrescine N -methyl transferase, which catalyses the first committed step of nicotine biosynthesis, as well as metabolic commitment to terpenoid-based indirect defences.

Deciphering the signals that regulate herbivore-responsive gene expression will afford many opportunities to manipulate the response. Signalling molecules such as salicylic acid, jasmonic acid and ethylene do not activate defences independently by linear cascades, but rather establish complex interactions that determine specific responses. Knowledge of these interactions can be exploited in the rational design of transgenic plants with increased disease/insect resistance (Rojo *et al*., 2003).

Recent studies have focused more on the response of agronomically important crops rather than those of model systems. Whilst none of the commercial wheat varieties grown in Europe are resistant to the grain aphid *Sitobion avenae* or other cereal aphids of European origin (Migui and Lamb, 2003; Ferry *et al.,* 2011), some commercial wheat has partial resistance towards Russian wheat aphids, (RWA; *Diuraphis noxia)*. Ten RWA resistance genes (*Dn* genes) have been identified in *T. aestivum*. Microarray and real-time PCR analysis revealed that more than 180 genes up-regulated on attack by *D. noxia* are related to reactive oxygen species, signalling, pathogen defence and arthropod allelochemical and physical defence (Smith and Chuang, 2014). In a further study, superoxide dismutase, glutathione reductase and ascorbate peroxidase were uniquely up-regulated in the RWA-resistant wheat cultivar TugelaDN, compared to the RWA-susceptible cultivar Tugela post *D. noxia* infestation. These findings suggest the involvement of antioxidative enzymes in the RWA-wheat resistance response to minimise toxic effects to plant cells.

A proteomics-based approach showed that in a commercial variety of wheat, Claire, which exhibits partial tolerance to aphids, 67 protein spots were significantly differentially expressed between non-infested control plants and infested plants following 24 h of aphid (*S. avenae*) feeding, with 27 and 11 up-regulated, and 8 and 21 down-regulated, in local and systemic tissues, respectively (Ferry *et al.,* 2011). After 8 days, 80 protein spots differed significantly between control and aphid treatments with 13 and 18 up-regulated and 27 and 22 down-regulated in local and systemic tissues, respectively. As positive controls, plants were treated with salicylic acid or methyl jasmonate; 81 and 37 differentially expressed protein spots, respectively, were identified for these treatments. Peptide Mass Fingerprinting revealed that the majority of proteins altered by aphid infestation were involved in metabolic processes and photosynthesis. Other proteins identified were involved in signal transduction, stress and defence, antioxidant activity, regulatory processes, and hormone responses. Responses to aphid attack at the proteome level in this commercial wheat line were broadly similar to basal non-specific defence and stress responses in wheat, with evidence of down-regu-

lation of insect-specific defence mechanisms, in agreement with the observed lack of aphid resistance in commercial wheat lines.

Modern wheat varieties are hexaploid and have low genetic diversity for insect resistance traits (Ogbonnaya *et al*., 2013), however, a screen of ancient diploid wheat genotypes revealed that many exhibited higher levels of resistance to *S. avenae* than modern cultivars of wheat. For example, one accession, ACC20 PGR1755, of the diploid ancestral wheat Einkorn (*T. monococcum*), exhibited partial resistance to aphids (Migui and Lamb, 2004) and thus may be a useful, and novel source of genes for improving resistance to these pest species in modern wheat. However, no previous studies had been carried out to investigate differential gene expression in these lines in response to aphid infestation. In our studies we adopted a proteomics-based approach to decipher the molecular response of this particular accession to *S. avenae* feeding. Approximately 50 % of all differentially expressed protein spots were identified by a combination of database searching with MS and MS/MS data, revealing that the majority of proteins up-regulated by aphid infestation were involved in metabolic processes (including photosynthesis) and transcriptional regulation. However, in the resistant line only, several stress response proteins (including NBS-LRR-like proteins) and oxidative stress response proteins were identified as up-regulated in response to aphid feeding, as well as proteins involved in DNA synthesis/replication/repair indicating that the resistant diploid line ACC20 PGR1755 may provide a valuable resource in breeding wheat for resistance to aphids (Guan *et al.,* 2015).

Using a similar approach to that described by Guan *et a*l. (2015), Dong *et al.* (2017) demonstrated that proteins induced in rice by the small brown planthopper (SBPH) were involved mainly in stress response, photosynthesis, protein metabolism, carbohydrate metabolism, energy metabolism, cell wall-related proteins, amino acid metabolism and transcriptional regulation. They also showed that the levels of superoxide dismutase (SOD) and glutathione (GSH) were considerably higher in the resistant than the susceptible rice during SBPH infestation, whilst catalase (CAT) activity and hydroxyl radical inhibition were lower in the resistant than the susceptible line. Based on their results they hypothesised that resistant rice plants defend themselves against SBPH through activation of the salicylic acid (SA)-dependent systemic acquired resistance pathway.

Proof of concept: Exploiting endogenous defence mechanisms

Proof of concept that genes induced in response to insect attack do indeed play a role in defence has been provided by their over-expression in plants. Such studies, while limited, appear to have focused predominantly on rice. Ethylene responsive factors (ERFs) are a large family of plant-specific transcription factors that are involved in the regulation of stress responses. Studies by Lu *et al.* (2011) revealed that an ERF gene in rice, *OsERF3*, was rapidly up-regulated in response to feeding by the rice striped stem borer (SSB) *Chilo suppressalis*. Over-expression and antisense studies of this ERF affected transcript levels of two *MAPKs* genes and two other TF (*WRKY*) genes in addition to the levels of jasmonate (JA), salicylate (SA) and trypsin inhibitors. Interestingly, whilst over expression of *OsERF3* was found to enhance resistance to SSB, a chewing insect pest, it increased susceptibility to BPH, which, as a sap-sucking insect, exhibits a very different mode of feeding. Based on their findings these authors propose that OsERF3 affects early components of herbivore-induced defence responses by suppressing MAPK repressors and modulating JA, SA, ethylene and H_2O_2 pathways and thus, host plant resistance.

In a related study, Hu *et al.* (2011) showed that BPH feeding in WT rice rapidly initiated the ethylene signalling pathway up-regulating *Bphi008a* transcript levels; conversely, blocking ethylene transduction reduced *Bphi008a* transcript levels. Regulation of this gene was accompanied by different changes in transcription levels of MAPKs in transgenic plants, with plants overexpressing (OE) *Bphi008a* exhibiting increased levels of OsMPK5 protein and RNAi plants decreased levels, post BPH feeding. As proof of concept these authors demonstrated that OE plants were more resistant (in terms of reduced plant damage, reduced feeding as measured by EPG studies and reduced honeydew production) to BPH than either WT or RNAi plants, supporting the suggestion that *Bphi008a* expression enhances rice resistance to BPH by impairing BPH feeding.

Conclusions

Studies on the molecular interactions between plants and insects, at both the transcriptional and proteome levels, have enabled us to gain a more profound insight into these dynamic, and often

subtle, interactions. Over expression, or knockdown, of identified genes has provided a proof of concept, enabling a demonstration of 'cause and effect'. However, before this approach can be fully exploited in crop protection, it is important to ensure that we fully understand any potentially antagonistic effects that may arise as a consequence of modulating different defence pathways.

RIASSUNTO

LA RISPOSTA DELLA PIANTA AGLI STRESS BIOTICI: PUÒ ESSERE UTILIZZATA NELLA DIFESA DELLE COLTURE?

Una sfida per la Scienza e per la Società è rappresentata dall'aumento della produttività agricola, si stima del 70%, per sfamare una popolazione destinata a crescere di 2,3 miliardi per il 2050. Le strategie per aumentare la produzione agraria devono essere resilienti e sostenibili, e questo richiede un cambiamento paradigmatico nelle pratiche attuali. La commercializzazione delle colture esprimenti la tossina *Bt* (piante transgeniche), a partire dalla metà degli anni '90, sta andando in questa direzione, però, per poter rispondere alla richieste future, è chiaro che sono necessarie ulteriori molecole e tecnologie. Un approccio possibile risiede nello sfruttamento dei meccanismi endogeni di resistenza che fanno parte dell'armamentario difensivo della pianta. Queste difese possono essere costituzionali o indotte, e queste ultime spesso comprendono un'estesa riprogrammazione dei percorsi difensivi basati su molecole-segnale. In molte colture, le resistenze endogene non sono attualmente adeguate a combattere forti infestazioni, ma l'aumento delle conoscenze di tali meccanismi amplia le prospettive di potenziamento delle difese endogene contro gli insetti fitofagi attraverso strategie di miglioramento genetico convenzionale. Il livello di resistenza parziale agli insetti dannosi, raggiunto attraverso l'utilizzo delle risorse genetiche, può fornire una protezione adeguata delle colture, soprattutto se inquadrato in programmi idonei di gestione integrata, con un contributo incentivato di predatori e parassitoidi. La genomica funzionale fornisce una piattaforma potente per studiare queste risposte della pianta, e qui si presentano alcuni esempi, ricavati da agroecosistemi diversi, del loro utilizzo in programmi di miglioramento genetico volti al miglioramento della resistenza agli insetti dannosi.

REFERENCES

Abd El Halim, 2016 – *RNAi-mediated knockdown of the voltage gated sodium ion channel TcNa$_v$ causes mortality in* Tribolium castaneum*.* - Scientific Reports 6, Article number: 29301

Baldwin I.T., Halitschke R., Kessler A., Schittko U., 2001 – *Merging molecular and ecological approaches in plant-insect interactions.* - Curr Opin Plant Biol, 4: 351-358.

Chen W.Q., Provart N.J., Glazebrook J., Katagiri F., Chang H.S., Eulgem T., Mauch F., Luan S., Zou G.Z., Whitham S.A. *et al.,* 2002 – *Expression profile matrix of Arabidopsis transcription factor genes suggests their putative functions in response to environmental stresses*. - Plant Cell, 14: 559-574.

Dong *et al.,* 2017 – *Comparative Proteomic Analysis of Susceptible and Resistant Rice Plants during Early Infestation by Small Brown Planthopper*. - Frontiers Plant Sci 8; article 1744

Guan W., Ferry N., Edwards M.G., Bell H.A., Othman H., Gatehouse J.A., Gatehouse A.M.R. , 2015 – *Proteomic Analysis Shows that Stress Response Proteins are Significantly Up-regulated in Resistant Diploid Wheat (*Triticum monococcum*) in Response to Attack by the Grain Aphid (*Sitobion avenae*).* - Molecular Breeding, 35: 57. DOI 10.1007/s11032-015-0220-x

Hermsmeier D., Schittko U., Baldwin I.T., 2001 – *Molecular interactions between the specialist herbivore* Manduca sexta *(Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host* Nicotiana attenuata*. I. Large-scale changes in the accumulation of growth- and defence-related plant mRNAs*. - Plant Physiol., 125: 683-700.

Hu *et al,* 2011 – *The* Bphi008a *Gene Interacts with the Ethylene Pathway and Transcriptionally Regulates* MAPK *Genes in the Response of Rice to Brown Planthopper Feeding*. - Plant Physiol., 156(2): 856-872.

Hui D.Q., Iqbal J., Lehmann K., Gase K., Saluz H.P., Baldwin I.T., 2003 – *Molecular interactions between the specialist herbivore* Manduca sexta *(Lepidoptera, Sphingidae) and its natural host* Nicotiana attenuata*: V. Microarray analysis and further characterization of large-scale changes in herbivore-induced mRNAs.* - Plant Physiol., 131:1877-1893.

Lu *et al* , 2011– *An EAR-motif-containing ERF transcription factor affects herbivore-induced signaling, defense and resistance in rice*. - The Plant Journal, 68: 583-596.

Migui S.M., Lamb R.J., 2004 – *Seedling and adult plant resis- tance to* Sitobion avenae *(Hemiptera: Aphididae) in* Triticum monococcum *(Poaceae), an ancestor of wheat*. - Bull. Entomol. Res., 94: 35-46.

Nakasu E.Y.T., Williamson S.M., Edwards M.G., Fitches E., Gatehouse J.A., Wright G.A., Gatehouse A.M.R., 2014 – *Novel biopesticide based on spider venom neurotoxin shows no adverse effects on honeybees.* - Proc. R. Soc. B, 281: 20140619.

Ogbonnaya F.C., Abdalla O., Mujeeb-Kazi A., Kazi A.G., Xu S.S., Gosman N., Lagudah E.S., Bonnett D., Sorrells M.E., Tsu- jimoto H., 2013 – *Synthetic Hexaploids: Harnessing Species of the Primary Gene Pool for Wheat Improvement*. In: Janick J (ed) Plant Breeding Reviews, vol 37. Wiley, New York, pp 35-122. doi:10.1002/9781118497869.ch2

Price R.G., Gatehouse J.A., 2008 – *RNAi-mediated crop protection against insects.* - Trends in Biotechnology, 26: 393-400.

Rojo E., Solano R., Sanchez-Serrano J.J., 2003 – *Interactions between signaling compounds involved in plant defence.* - J. Plant Growth Regul., 22: 82-98.

Smith C.M., Chuang W.P., 2014 - *Plant resistance to aphid feeding: behavioral, physiological, genetic and molecular cues regulate aphid host selection and feeding*. - Pest Management Sci., 70: 528-540.

Tabashnik B.E., 2016 – *Tips for battling billion-dollar beetles*. - Science, 354: 552-553.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 179-180

TROPHIC INTERACTIONS IN EASTERN SPRUCE BUDWORM POPULATION ECOLOGY

DEEPA S. PURESWARAN (*)

(*) *Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Quebec City, QC, Canada, G1V 4C7;* e-mail: deepa.pureswaran@canada.ca
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Insect-plant interactios". Seduta pubblica dell'Accademia - Napoli, 17 novembre 2017.

Trophic interactions in eastern spruce budworm population ecology

Our understanding of the main factors influencing low density spruce budworm populations and the causes of population density increases from these low levels is limited. Recent research on the ecology of the early phase of spruce budworm cycles reveals that mate-finding failure occurs in low density populations and might be overcome by density-dependent immigration of moths into low density areas, leading to outbreaks. Similarly, mass immigration could also aid the transition between low and rising populations by overwhelming generalist parasitoids, which have been the principal mortality factor keeping spruce budworm populations low. This presentation addresses theories of spruce budworm outbreak processes from a historic perspective, re-considers the relative roles of weather, host tree quality, natural enemies, mating success and dispersal on the population ecology of the insect, examine gaps in current knowledge, and suggest avenues for future research to better understand the mechanisms that "push" low density populations over the edge.

KEY WORDS. Population dynamics, density-dependence, natural enemies, immigration, bottom-up vs. top-down factors.

INTRODUCTION

Outbreaking herbivorous insects have been the subject of particularly intensive study due to their widespread economic and ecological impact on agricultural and forestry systems. Theoretical debates towards understanding animal population dynamics can be traced to pioneering studies involving herbivorous insects. Spruce budworm has been a favoured model system for the study of population dynamics because of its economic impact on the boreal forest. During an outbreak, spruce budworm densities increase several orders in magnitude with hundreds of larvae per branch, causing severe defoliation, growth loss and mortality. Three hypotheses have been proposed to explain spruce budworm population dynamics: the Silvicultural Hypothesis, Multiple Equilibria Hypothesis, and Oscillatory Hypothesis. Spruce budworm is the major defoliator of fir and spruce throughout Canada and the northeastern United States. Larvae develop through six instars while feeding within the protective confines of silken webbing that they construct between the needles. Pupation generally occurs in or near the feeding tunnel and male and female moths emerge in late summer to mate and lay egg masses on host needles. Within two weeks, first-instar larvae hatch, moult into second instars and walk or balloon on silken threads to locate overwintering sites among scales and furrows of branches and trunks. After overwintering, second instar larvae emerge the following spring to continue the cycle.

RECENT ADVANCES

The Oscillatory Hypothesis that mortality by natural enemies is the main cause of the primary cyclic trend in budworm population density has been mostly upheld. While ROYAMA (1984) argued for the exclusivity of natural enemies in driving population cycles, the life table work by NEALIS and RÉGNIÈRE (2004) and RÉGNIÈRE and NEALIS (2007, 2008) during the 1980s suggested that resource limitation could under some circumstances contribute dramatically to population decline. Several researchers have also revisited the importance of climate and moth dispersal in the regional synchronization of populations. Recent research has also focussed on the potential role climate change may play in changing the distribution and duration of outbreaks, though it is still not expected to alter significantly the outbreak cycle itself. All of the hypotheses have particular explanations for how spruce budworm populations escape the control of natural enemies at the onset of an outbreak. Recent work has sought to address gaps and in a surprising twist has led to some reconsideration previously rejected elements of the Multiple Equilibria

– Pubblicato aprile 2018

Hypothesis. The prolific mass flight of male moths, in particular, from areas of high density source stands to low density areas could counteract a local mate-finding Allee Effect by enhancing the availability of mates for females that might otherwise go unmated (RÉGNIÈRE *et al.*, 2013). This recent experimental work suggests the need for further study of low and rising populations and that some hybridized version of the Oscillatory and Multiple Equilibrium models may be needed to represent spruce budworm dynamics across different scales.

CONCLUSIONS

Four key questions that have been implicated in debates around spruce budworm population dynamics. In summary, control by natural enemies and to a lesser extent, decline in resource availability appear to be responsible for the decline of outbreaks. Natural enemies are also the primary agent keeping populations low between outbreaks. There is strong evidence for some degree of spatial synchronization of relatively unconnected populations across a landscape, which is driven primarily by climate with lesser contributions from moth immigration. Although significant progress has been made we are yet to settle on a completely parsimonious hypothesis for spruce budworm population dynamics. In many ways, we appear to have come full circle in terms of support for the various paradigms of spruce budworm population ecology and this has led to renewed debate around how we should manage spruce budworm outbreaks.

ACKNOWLEDGEMENTS

I thank my colleagues for stimulating discussions on spruce budworm population ecology.

RIASSUNTO

INTERAZIONI TRITROFICHE NELL'ECOLOGIA DELLE POPOLAZIONI DELLA TORTRICE DEL PINO, *CHORISTONEURA FUMIFERANA*

La comprensione dei principali fattori che influenzano la bassa densità delle popolazioni della tortrice del pino, *Choristoneura fumiferana*, e le cause che conducono ad aumenti della densità di popolazione è attualmente limitata. Ricerche recenti sull'ecologia della fase iniziale dei cicli della tortrice mostrano, nelle popolazioni a bassa densità, che lo scarso successo dell'accoppiamento può essere superato da immigrazioni dipendenti dalla densità, che possono determinare esplosioni di popolazione. Allo stesso modo, le immigrazioni di massa possono aiutare la transizione verso livelli di densità di popolazione crescenti, rendendo trascurabile l'azione dei parassitoidi generalisti, che sono il principale fattore che ha mantenuto basse le popolazioni della tortrice in Quebec negli ultimi 20 anni. Qui sono presentate le teorie sui processi di esplosione della tortrice da un punto di vista storico, riconsiderando il ruolo di clima, qualità dell'ospite, nemici naturali, successo degli accoppiamenti e dispersione sull'ecologia della popolazione, ed esaminando i vuoti nelle attuali conoscenze. Infine, si suggeriscono linee di ricerca da intraprendere per comprendere meglio i meccanismi che spingono oltre la soglia le popolazioni a bassa densità.

REFERENCES

NEALIS V.G., RÉGNIÈRE J., 2004 – *Insect-host relationships influencing disturbance by the spruce budworm in a boreal mixedwood forest*. - Can. J. For. Res., 34: 1870-1882.

NEALIS V.G., RÉGNIÈRE J., 2007 – *Ecological mechanisms of population change during outbreaks of the spruce budworm.* - Ecol. Entomol., 32: 461-477.

RÉGNIÈRE J., V. NEALIS V., 2008 – *The fine-scale population dynamics of spruce budworm: survival of early instars related to forest condition*. - Ecol. Entomol., 33: 362-373.

RÉGNIÈRE J., DELISLE J., PURESWARAN D.S., TRUDEL R., 2013 – *Mate-finding Allee effect in spruce budworm population dynamics.* - Entomol. Exp. Appl., 146: 112-122.

ROYAMA T., 1984 – Population dynamics of the spruce budworm *Choristoneura fumiferana*. - Ecol. Monogr., 54: 429-462.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 181-184

PIANTE TROPPO FURBE O INSETTI TROPPO INGENUI?

SALVATORE COZZOLINO (*)

(*) *Dipartimento di Biologia, Università degli studi di Napoli Federico II*
Via Cinthia, 80126 Napoli, Italy; e-mail: cozzolin@unina.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Insect-plant interactions". Seduta pubblica dell'Accademia - Napoli, 17 novembre 2017

Smart plants or naive insects?

Plant-pollinator relationship represents a fundamental ecosystem service. Rather than a coevolution of communication signals between animals and plants, these latter have adopted pre-existing signals in animal behaviour/communication. Nowadays, plant-pollinator relationship has not been considered as a symbiotic interaction but a sort of arm-race, with each partner evolving optimizing strategies for increasing its fitness by imposing a cost to the other partner. Orchids are renewed for their peculiar pollination strategies based on pollinator deception and absence of reward. Orchid floral deception is based on mimicking of forms and colours of rewarding flowers or, in the most special case, on the sexual attraction of pollinators with the orchid flower mimicking their female partner both in shape and in scent. In this most extreme case, orchid flowers have evolved visual and olfactory clues to parasitize pre-existing sexual communication channels within animal species.

KEY WORDS: food deception, nectarless flowers, Orchids, pollination, sexual deception.

Le Orchidaceae, rappresentano quasi certamente la famiglia di piante a fiore più ricca di specie nel regno vegetale avendo evoluto una estrema diversità di forme, da quelle epifitiche delle zone tropicali a quelle terrestri delle zone temperate (DRESSLER, 1981). Sin dai tempi di Darwin, che dedicò molta attenzione allo studio delle orchidee (DARWIN, 1862), si è tradizionalmente ritenuto che gli spettacolari adattamenti dei loro fiori verso gli insetti impollinatori e gli affascinanti meccanismi di impollinazione rappresentassero il miglior esempio di processo coevolutivo: in conseguenza di un reciproco vantaggio, i fiori ed i loro impollinatori sono portati ad evolvere simultaneamente funzioni e strutture per ottimizzare il processo. Recentemente però si è visto che più che trattarsi di una coevoluzione di segnali comunicativi tra piante ed animali si è trattato dell'adozione da parte delle piante di segnali legati a comportamenti innati già presenti nel regno animale. In quest'ottica la relazione tra piante ed impollinatori può essere interpretata anche in chiave conflittuale, con ciascuno dei partner che evolve strategie per ottimizzare i propri interessi anche a discapito della controparte.

Mentre la maggior parte delle piante a fiore attira gli insetti impollinatori attraverso l'offerta di una ricompensa, di solito sostanze zuccherine raccolte in parti modificate del fiore, molte orchidee invece esplorano relazioni preesistenti tra altre piante ed i loro impollinatori. Circa un terzo delle specie di orchidee (tra le 6500 e le 9000 specie) non producono alcuna ricompensa per gli insetti impollinatori, e li attirano attraverso strategie basate sull'inganno alimentare (mimesi alimentare) (VAN DER PIJL e DODSON, 1966). Queste orchidee (Fig. 1) prive di nettare esplorano il comportamento innato degli insetti impollinatori e, per meglio ingannare questi ultimi, hanno evoluto segnali fiorali tipici delle specie nettarifere (es. i colori vistosi, il labello per facilitare l'atterraggio degli insetti, le guide del nettare, il lungo sperone) (DAFNI, 1984). Queste orchidee hanno di solito come impollinatori degli insetti appena fuoriusciti dall'ibernazione invernale e quindi non ancora in grado di distinguere tra piante nettarifere e piante prive di nettare. I loro fiori hanno un elevato polimorfismo nel colore, nell'odore e nei tratti fiorali che ha lo scopo di ritardare le capacità associative dell'insetto e quindi di rendere più difficile la scoperta dell'inganno (GUMBERT e KUNZE, 2001). Gli Imenotteri sono i principali impollinatori, ma anche Lepidotteri, Ditteri e Coleotteri sono ingannati da varie specie di orchidee (VAN DER CINGEL 1995, 2001) (Tab. 1). In casi più specializzati, alcune specie di orchidee sono impollinate grazie al fatto che mimano esclusivamente una specifica pianta nettarifera (mimetismo Batesiano – DAFNI, 1984; JOHNSON 1994, 2000; NILSSON, 1983) e la selezione naturale spinge il fiore dell'orchidea ad essere quasi indistinguibile dal suo modello nettarifero, con l'impollinatore che non appare in grado di distinguere il mimo dal modello.

Un meccanismo ancora più specifico si è evoluto in alcune orchidee prive di nettare nelle quali l'impollinazione è assicurata attraverso un meccanismo di inganno sessuale (CORREVON e POUYANNE, 1916) (Tab. 2). In questo caso il fiore dell'orchidea emette

– Pubblicato aprile 2018

Fig. 1 – *Anacamptis morio*, un orchidea con mimesi alimentare.

Tab. 1 – Principali impollinatori delle orchidee con mimesi alimentare (VAN DER CINGEL, 1995).

	Coleoptera	Diptera	Hymenoptera	Lepidoptera
O. mascula	-	+	+	+
O. pauciflora	-	+	+	+
O. provincialis	-	-	+	-
O. quadripunctata	-	+	-	-
O. anthropophora	+	+	+	-
O. simia	+	+	+	+
O. italica	-	-	+	-
O. purpurea	+	-	+	-
A. palustris	-	-	+	-
A. pyramidalis	+	+	+	+
A. laxiflora	-	-	+	-
A. morio	-	-	+	+
A. papilionacea	-	-	+	+
N. ustulata	+	+	-	-
N. tridentata	+	+	+	+
D. sambucina	-	-	+	+
D. saccifera	+	+	+	+
D. romana	-	-	+	-

Tab. 2 – Impollinatori delle orchidee con mimesi sessuale (VAN DER CINGEL, 1995).

Ophrys sphegodes	*Andrena nigroaenea*	Hymenoptera
Ophrys lutea subsp. murbeckii	*Andrena flavipes*	Hymenoptera
Ophrys holoserica	*Eucera longicornis*	Hymenoptera
Ophrys holoserica	*Eucera tuberculata*	Hymenoptera
Ophrys crabronifera	*Anthophora retusa*	Hymenoptera
Ophrys incubacea	*Andrena morio*	Hymenoptera
Ophrys bombyliflora	*Eucera oraniensis*	Hymenoptera
Ophrys tenthredinifera	*Eucera nigrilabis*	Hymenoptera
Ophrys bertolonii	*Chalicodoma parietina*	Hymenoptera
Ophrys lacaitae	*Eucera eucnemidea*	Hymenoptera

un odore che imita il segnale olfattivo o i feromoni sessuali della femmina dell'insetto impollinatore, attraendo così gli insetti maschi in cerca di un partner per la riproduzione (KULLENBERG *et al.*, 1984). L'impollinazione avviene quando gli insetti maschi tentano di accoppiarsi con il fiore dell'orchidea (pseudocopulazione) (PAULUS e GACK, 1990). Tale meccanismo di impollinazione è stato studiato approfonditamente nel genere *Ophrys* nel Mediterraneo (Fig. 2) ed in alcuni generi di orchidee australiane. Visivamente l'orchidea mima le sembianze fisiche del partner femminile dell'insetto, ma fondamentali sono gli stimoli olfattivi emessi dal fiore, con una elevata specie-specificità dell'odore della femmina degli insetti impollinatori e quello dell'orchidea (SCHIESTL *et al.,*1999). Nel caso, ad esempio, di *Ophrys sphegodes*, un orchidea impollinata dai maschi di *Andrena nigroaenea*, il fiore emette una miscela odorosa costituita principalmente da catene di idrocarburi insaturi (alcheni), con le stesse proporzioni del feromone

Fig. 2 – *Ophrys ciliata*, un orchidea con mimesi sessuale.

sessuale della femmina di *A. nigroaenea* (Ayasse *et al.*, 2000). Addirittura, in altri studi, si è visto che i fiori di *O. sphegodes*, una volta impollinati, cominciavano ad emettere alte quantità di all-trans-farnesyl hexanoate. Allo stesso modo, le femmine degli insetti impollinatori cambiavano il loro odore dopo l'accoppiamento e rilasciavano composti simili (tra cui, per l'appunto, all-trans-farnesyl hexanoate), con il compito di inibire il comportamento sessuale dei maschi (Schiestl e Ayasse, 2001). Si è ipotizzato che questo meccanismo possa essersi evoluto parallelamente nell'orchidea per dissuadere gli insetti maschi dal compiere ulteriori visite ad un fiore ormai già impollinato. Sorprendentemente però la mimesi tra odore dell'orchidea e la femmina dell'insetto impollinatore non è estremamente precisa come dovrebbe essere in conseguenza dell'azione della selezione naturale. Si è visto infatti che le orchidee tendano a produrre un odore leggermente diverso da quello prodotto dalle femmine locali dell'insetto pronubo. In tal modo esse riescono ad essere ancora più attrattive per gli insetti maschi, sfruttando la preferenza di questi ultimi ad accoppiarsi con femmine di popolazioni diverse (e con odore leggermente differente dalle femmine locali) per promuovere l'esoincrocio (Verecken e Schiestl, 2008). Le orchidee ingaggiano quindi un sorta di competizione con le femmine degli insetti per attrarre i maschi al punto tale che questo meccanismo di impollinazione rappresenta quasi una forma di parassitismo da parte della pianta nei confronti dei suoi insetti impollinatori.

A differenza di quelle mediterranee, le orchidee australiane che adottano analoghe strategie di mimesi sessuale usano uno o pochi composti per attrarre i loro impollinatori. Ad esempio, nell'orchidea *Chiloglottis* è stata identificata una molecola, il chiloglottone, ritrovata esclusivamente nell'orchidea e nella femmina della sua vespa impollinatrice (Schiestl *et al.,* 2003). Varie specie del genere *Chiloglottis* differiscono per piccole modifiche del chiloglottone emesso e così facendo attirano specie diverse di vespe *Thynnine*.

Queste differenze nei meccanismi di attrazione escogitati dalle specie di orchidee europee ed australiane dimostrano chiaramente che strategie di impollinazione apparentemente molto simili siano il risultato di indipendenti processi evolutivi e biochimici e sono il frutto dell'esplorazione, da parte della pianta, di specifici gruppi di impollinatori disponibili nel loro ambiente.

Numerose ipotesi sono state proposte per spiegare l'evoluzione e la diffusione delle strategie di inganno nelle orchidee. Quella più accreditata (*outcrossing hypothesis*, ipotesi dell'esoincrocio), propone che le strategie di inganno riducano il trasporto di polline tra fiori appartenenti alla stessa infiorescenza e favoriscono invece lo scambio di polline tra piante lontane (Cozzolino e Widmer, 2005). Gli impollinatori, infatti, al cospetto di un'infiorescenza priva di ricompensa, visitano meno fiori e, dopo essere stati ingannati, tendono a volare lontano dalla pianta. Questo si associa anche al fatto che le orchidee esportano il loro polline in strutture chiamate pollinodi (strutture contenenti granuli di polline, agglutinati a formare due masse compatte claviformi) che rendono il processo dell'impollinazione molto efficiente anche con una sola visita dell'impollinatore.

Questo breve excursus testimonia come le strategie di impollinazione ingannevoli delle orchidee rappresentino una ricca fonte per gli studi di evoluzione ed adattamento e soprattutto costituiscono un chiaro esempio di come i fiori hanno evoluto segnali visivi e olfattivi per "sfruttare" a proprio fine la comunicazione già esistente tra animali senza alcun beneficio, anzi a volte anche con uno svantaggio per quest'ultimi.

RIASSUNTO

La relazione tra fiori ed impollinatori è fondamentale per la funzionalità degli ecosistemi terrestri. Però più che trattarsi di una coevoluzione di segnali comunicativi tra piante ed animali si è trattato dell'adozione da parte delle piante di segnali legati a comportamenti innati già presenti nel regno animale. La relazione tra piante ed impollinatori può quindi essere interpretata anche in chiave conflittuale, con ciascuno dei partner che evolve strategie per ottimizzare i propri interessi anche a discapito della controparte. Nelle orchidee si sono evolute peculiari strategie di impollinazione basate sull'inganno dell'insetto impollinatore e sull'assenza di una ricompensa. L'inganno si basa su una mimesi nella forma e nei colori dei fiori di altre piante che forniscono nettare o, nei casi più estremi, sull'attrazione sessuale dell'insetto pronubo, con il fiore dell'orchidea che assomiglia nella forma e soprattutto nell'odore alla femmina dell'insetto. In questi casi i fiori hanno evoluto segnali visivi e olfattivi per "sfruttare" a proprio fine la comunicazione già esistente tra animali senza alcun beneficio, anzi con uno svantaggio, per quest'ultimi.

BIBLIOGRAFIA

Ayasse M., Schiestl F. P., Paulus H. F., Lofstedt C., Hanson B. S., Ibarra F., Francke W., 2000 – *Evolution of reproductive strategies in the sexually deceptive orchid* Ophrys sphegodes*: how does flower-specific variation of odor signals influence reproductive success?* - Evolution, 54: 1995-2006.

Correvon H., Pouyanne M., 1916 – *Un curieux cas de mimétisme chez les Ophrydées*. - Jour. Soc. Nat. d'Hort. France, 4: 29-47.

Cozzolino S., Widmer A., 2005 – *Orchid diversity: an evolutionary consequence of deception?* - Trends Ecol. Evol., 20: 487-494.

Dafni A., 1984 – *Mimicry and deception in pollination*. - Annu. Rev. Ecol. Syst., 15: 259-278.

Darwin C., 1862 – *On the various contrivances by which British and foreign orchids are fertilised by insects*. J. Murray (Ed), London.

Dressler R., 1981 – *The orchids – natural history and classification*. Harvard Univ Press, Cambridge.

Gumbert A., Kunze J., 2001 – *Colour similarity to rewarding*

model affects pollination in a food deceptive orchid, Orchis boryi. - Biol. J. Linn. Soc., 72: 419- 433.

JOHNSON S. D., 1994 – *Evidence for Batesian mimicry in a butterfly pollinated orchid.* - Biol. J. Linn. Soc., 53: 91-104.

JOHNSON S. D., 2000 – *Batesian mimicry in the non-rewarding orchid* Disa pulchra*, and its consequences for pollinator behavior*. - Biol. J. Linn. Soc., 71: 119-132.

KULLENBERG B., BORG-KARLSON A. K., KULLENBERG A. Z., 1984 – *Field studies on the behaviour of the* Eucera nigrilabris *male in the odour flow from flower labellum extract of* Ophrys tenthredinifera. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis Ser. V.

NILSSON L. A., 1983 – *Mimesis of bellflower (*Campanula*) by the red helleborine orchid* Cephalanthera rubra. - Nature, 305: 799-800.

PAULUS H. F., GACK C., 1990 – *Pollinators as prepollinating isolation factors: Evolution and speciation in* Ophrys *(Orchidaceae)*. - Isr. J. Bot., 39: 43-79.

SCHIESTL F. P., AYASSE M., 2001 – *Post-pollination emission of a repellent compound in a sexually deceptive orchid: a new mechanism for maximizing reproductive success?* - Oecologia, 126: 531-534.

SCHIESTL F. P., AYASSE M., PAULUS H. F., LÖFSTEDT C., HANSSON B. S., IBARRA F., FRANCKE W., 1999 – *Orchid pollination by sexual swindle*. - Nature, 399: 421-422.

SCHIESTL F. P., PEAKALL R., MANT J., IBARRA F., SCHULZ C., FRANCKE S., FRANCKE W., 2003 – *The chemistry of sexual deception in an orchid–wasp pollination system*. - Science, 302: 437-438.

VAN DER CINGEL N. A., 1995 – *An atlas of orchid pollination. European orchids.* A. A. Balkema, Rotterdam.

VAN DER CINGEL N. A., 2001 – *An atlas of orchid pollination. America, Africa, Asia and Australia.* A. A. Balkema, Rotterdam.

VAN DER PIJL L., DODSON C. H., 1966 – *Orchid Flowers: Their pollination and evolution.* University of Miami Press, Coral Gables, USA.

VEREECKEN N. J., SCHIESTL F. P., 2008 – *The evolution of imperfect floral mimicry*. - Proc. Natl. Acad. Sciences USA, 105: 7484-7488.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 185-190

LA SISTEMINA E IL NETWORK DI SEGNALI ALLA BASE DELLE RISPOSTE DI DIFESA DELLE PIANTE

ROSA RAO (*)

(*) *Università degli Studi di Napoli Federico II*
Dipartimento di Agraria. Via Università 100. Portici 80055, Italia; e-mail: rao@unina.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Insect-plant interactions". Seduta pubblica dell'Accademia - Napoli, 17 novembre 2017.

Systemin and the signaling network triggering plant defense responses

Reactions of plants to insect pests include the activation of a local and systemic defence response essentially based on transcriptional changes that are mainly controlled and coordinated by phytohormones. The attacked plant perceives the invading organism by recognizing herbivore-associated elicitors that selectively induce different defence responses. These latter are enhanced by endogenous plant molecules associated with plant damage (DAMP - Damage Associated Molecular Patterns), that include small peptides present in several plant species. Peptide DAMP are released from larger precursors and bind to membrane receptors to activate signaling cascades that induce local and systemic immunity. The level of protection is conferred by the deep transcriptomic modifications induced by insect damage, which underpin a wealth of metabolic changes. Beside producing new metabolites that are toxic or repellent for insect herbivores or that are able to recall their natural enemies, the metabolic profile of attacked plants can alert neighboring con-specific plant and prime them for a more effective response against a stress agent present in the environment (defense priming). This presentation will focus on the role played by Systemin and its precursor in plant immunity activation and in plant-to-plant communication.

KEY WORDS: inducible plant defence, DAMP, defence priming

INTRODUZIONE

Le piante vivono in ambienti complessi in cui sono costantemente esposte a una vasta gamma di interazioni biotiche che spesso ne danneggiano lo sviluppo e la sopravvivenza. Una considerevole parte della produzione agricola mondiale è distrutta o resa inutilizzabile da parassiti e patogeni, e le perdite stimate delle principali *cash crops* vanno dal 26 al 40% (OERKE, 2006). Gli artropodi, ed in particolare gli insetti, sono tra le principali cause della riduzione della resa produttiva.

L'interazione pianta-insetto è caratterizzata da una serie di eventi che si succedono rapidamente. Il cambiamento del potenziale della membrana plasmatica (Vm), il comparto cellulare direttamente a contatto con l'ambiente, è probabilmente uno dei primi eventi che si verificano nella pianta a seguito di uno stress, immediatamente seguito dal cambiamento della concentrazione intracellulare di ioni calcio, la produzione di specie reattive dell'ossigeno, l'incremento dell'espressione di geni che codificano per le chinasi e il cambiamento della concentrazione di fitormoni tra cui l'acido jasmonico (JA) e l'acido salicilico (SA), (EBEL e MITHÖFER, 1998; MAFFEI *et al*., 2007). Per minimizzare il successo dell'attacco di parassiti, le piante hanno evoluto sofisticati meccanismi di difesa alla base dei quali c'è il riconoscimento di 'firme molecolari' (o elicitori) di patogeni o insetti e la conseguente attivazione delle risposte immunitarie. Gli elicitori sono solitamente delle strutture altamente conservate che caratterizzano gli insetti o i patogeni, come ad esempio proteine della parete cellulare batterica, o le bruchine associate all'ovideposizione (HOWE e JANDER, 2008). Dal punto di vista molecolare, gli elicitori degli insetti, denominati *Herbivore Associated Molecular Patterns* (HAMPs) possono essere riconosciuti da recettori di membrana e il complesso formatosi innesca la risposta immunitaria della pianta (WALLING, 2009). Gli HAMPs contenuti nelle secrezioni orali di alcuni erbivori inducono modifiche del flusso ionico e della Vm la cui conseguenza è l'attivazione della trasduzione del 'segnale difesa' (HOGENHOUT e BOS, 2011). La propagazione sistemica del segnale determina la riprogrammazione del trascrittoma della pianta attaccata, l' attivazione di geni associati alla difesa e la conseguente produzione di metaboliti attivi contro gli organismi invasori.

Le strategie di difesa attuate dalle piante attaccate sono molteplici e diversificate. Ad esempio, una strategia attiva contro i patogeni biotrofi, che stabiliscono una lunga interazione con le cellule vegetali per attingere sostanze nutritive, è principalmente rappresentata dalla morte programmata delle cellule vegetali mentre l'infezione di agenti patogeni necrotrofi, che prima distruggono le cellule ospiti e poi si nutrono del loro contenuto, viene solitamente contrastata mediante la

– Pubblicato aprile 2018

produzione di composti antimicrobici (Glazebrook, 2005). Per difendersi dagli insetti erbivori, le piante attivano diverse tipologie di difesa solitamente indicate come difese dirette e indirette. Le prime includono la produzione di sostanze che interferiscono direttamente con la crescita e la sopravvivenza degli insetti, come sostanze tossiche o dismetaboliche (Howe e Jander, 2008), mentre le seconde includono la produzione di composti che attraggono i nemici naturali di insetti erbivori come i composti organici volatili o i nettari extra-fiorali (Dicke, 2015; Heil, 2015). La complessa rete di segnali che consente alle piante di attivare risposte difensive efficaci contro gli organismi invasori e bilanciare difesa e crescita, è controllata dai fitormoni. Le vie di segnalazione mediate da questi interagiscono in modo antagonistico o sinergico determinando l'esito delle risposte attivate. Le interazioni ormonali formano collettivamente il network di segnali ormonali che mediano l'immunità nonché la crescita e le risposte allo stress abiotico (Pieterse *et al*., 2009).

La Sistemina e il suo precursore

Modifiche del flusso ionico intra ed extra cellulare sono indotte non solo dalle molecole contenute nelle secrezioni salivari degli insetti erbivori, ma anche da sostanze della pianta, che vengono prodotte in seguito al danno causato da un insetto o da una ferita meccanica e che pertanto, vengono comunemente chiamate *Damage Associated Molecular Pattern* (DAMP). Infatti, una risposta immunitaria, difficilmente può essere basata esclusivamente sul rilevamento di sostanze estranee (*non self*) (Heil, 2014). Ad esempio, l'enorme diversità di (micro)organismi che danneggiano le piante rende difficile immaginare che un singolo ospite possa evolvere specifici recettori per rilevare individualmente ognuno dei suoi potenziali nemici. In realtà, sono state descritte oltre un milione di specie di artropodi, in gran parte erbivori, ma si conosce solo una manciata di molecole derivate da insetti che inducono le risposte di difesa della pianta (Wu e Baldwin, 2010). Quindi, le piante, similmente ad altri organismi multicellulari, devono essere in grado di rilevare la presenza di un danno (*self*) in base alla percezione di segnali endogeni che indicano la presenza di un pericolo e di attivare le corrispondenti risposte genetiche, tra cui l'induzione di un stato alterato che consente un rilevamento rapido ed efficiente del *non-self*.

In pomodoro, DAMP con ruolo chiave nell'attivazione delle difese delle pianta includono gli oligosaccaridi derivati dalla parete cellulare a seguito del danno prodotto dall'insetto erbivoro o da ferita meccanica e il peptide segnale Sistemina (Ryan, 2000). La Sistemina (Sys) è stato il primo peptide segnale scoperto nelle piante (Pearce *et al*., 1991). È un peptide di 18 amminoacidi, che deriva dal terminale carbossilico di un precursore di 200 amminoacidi chiamato Prosistemina di localizzazione citosolica. A seguito di uno stimolo ambientale il gene (*ProSys*) incrementa la sua espressione e la proteina prodotta viene processata determinando il rilascio del peptide Sys che appare interagire con un recettore localizzato sulla membrana cellulare. L'interazione innesca una complessa cascata di segnali che induce la produzione di composti di difesa tra cui gli inibitori delle proteasi (IP), composti che interferiscono con i processi digestivi dell'insetto limitandone la crescita e la sopravvivenza (Ryan, 2000; Scheer e Ryan, 2002). La percezione di Sys sulla superficie cellulare stimola la depolarizzazione della membrana cellulare, che induce un efflusso di K^+ e l'afflusso di Ca^{2+} nella cellula (Ryan, 2000). Questi eventi si accompagnano all'attivazione di una MAP-chinasi e di una calmodulina, che attivano una fosfolipasi promuovendo il successivo rilascio di acido linolenico dalle membrane tilacoidi. L'acido linoleico viene quindi convertito in acido jasmonico (JA) e altre ossilipine, che regolano l'espressione dei geni di difesa e la conseguente sintesi dei metaboliti associati alla difesa della pianta (Ryan, 2000). Sys e JA interagiscono per attivare in modo sistemico le difese della pianta: la sistemina è prodotta nella foglia danneggiata dove innesca la produzione di JA che, a sua volta, promuove la risposta di difesa in modo sistemico (Schilmiller e Howe, 2005; Sun *et al*., 2011). La regolazione della produzione e del rilascio di Sys è ancora in gran parte sconosciuta, ma il processamento enzimatico del suo precursore sembra essere mediato da una fitaspase (Beloshistov *et al*., 2017). Tuttavia la possibilità che sia la Prosistemina ad interagire con il recettore di membrana non è del tutto esclusa.

Il genoma di pomodoro contiene una sola copia del gene *ProSys*; esso è composto da 4176 bp ed è strutturato in 11 esoni, di cui l'ultimo codifica per la Sistemina. Il ruolo degli altri esoni non è stato chiarito ma è stato osservato che sono organizzati in cinque coppie ripetute, lasciando supporre che il gene possa aver subito numerosi cicli di duplicazione ed allungamento (McGurl e Ryan, 1992). Sequenze omologhe di *ProSys* sono state trovate in altre specie appartenenti alla famiglia delle *Solanaceae* come patata e peperone, ma non nel tabacco, in cui sono stati, invece, identificati degli omologhi funzionali (Pearce *et al.,* 2001).

La modulazione delle difese dirette e indirette contro vari insetti erbivori da parte della Sys è stata ampiamente caratterizzata. L'espressione costitutiva del gene *ProSys* in piante di pomodoro (RSYS) determina la produzione di elevate quantità di IP ed altri composti difensivi e rende le piante tolleranti ad insetti fitofagi e fitomizi, a diversi funghi fitopatogeni e ad agenti dello stress abiotico (McGurl *et al*., 1992; McGurl *et al*., 1994; Ryan, 2000; Orsini *et al*., 2010; Coppola *et al*., 2015).

Inoltre le piante RSYS sono caratterizzate da un incremento delle difese indirette mostrando un più elevato livello di attrattività di nemici naturali dei fitofagi (Corrado *et al*., 2007; Degenhardt *et al*., 2010), (Fig. 1). Ciò è la probabile conseguenza della profonda riprogrammazione del trascrittoma osservata nelle piante RSYS che mostrano più di 500 geni differenzialmente espressi rispetto alle piante controllo (Coppola *et al*., 2015). L'analisi di questi geni ha evidenziato che Sys, da un lato riduce l'espressione dei geni connessi al metabolismo dei carboidrati e dall'altro promuove l'espressione di una serie di geni di difesa che dipendono da diverse vie di segnalazione. Oltre alla via di segnalazione del JA, che ha ruolo chiave dell'induzione delle difese contro insetti, le alterazioni dell'espressione genica si sovrappongono parzialmente alle risposte della pianta associate alla difesa contro patogeni o contro stress abiotici indicando che i prodotti finali della via di segnalazione sistemina-dipendente sono molteplici. Quindi, un singolo peptide è capace di stimolare percorsi di difesa multipli per la protezione della pianta contro una ampia gamma di agenti di stress (Corrado *et al*., 2007). Il meccanismo molecolare alla base di una così ampia capacità 'antistress' potrebbe anche in parte dipendere dalla struttura della Prosistemina. Infatti, molto recentemente è stato dimostrato che la proteina è intrinsecamente disordinata (IDP) (Buonanno *et al*., 2017) cioè priva di una struttura tridimensionale stabile o ordinata. Le IDP svolgono un ruolo centrale nella regolazione delle vie di trasduzione di vari segnali, tra i quali il 'segnale difesa' da stress, e in altri processi cellulari cruciali, compresa la regolazione della trascrizione e della traduzione (Oldfield *et al*., 2008). La caratteristica flessibilità delle IDP consente loro di assumere un ampio spettro di stati da completamente non strutturati a parzialmente strutturati che è alla base della possibile interazione con partner molecolari diversi (Tompa *et al*., 2002). Questa osservazione suggerisce che la Prosistemina possa avere un ruolo biologico ben più importante del mero contenimento del peptide Sys. Essa, infatti, legandosi a partner macromolecolari indotti da specifiche condizioni ambientali potrebbe, di volta in volta, innescare l'attivazione di geni e segnali coinvolti nella protezione della pianta contro diversi agenti dello stress ambientale (Fig. 2). È interessante osservare che i geni che codificano per le IDP presentano delle caratteristiche organizzazioni simili a quella del gene *ProSys*. Sono in corso ulteriori studi volti ad una maggiore comprensione del ruolo della Prosistemina nella difesa del pomodoro.

La Sistemina promuove la comunicazione pianta-pianta

È stato recentemente osservato che i composti organici volatili (VOCs) oltre a mediare i meccanismi di difesa indiretta, intervengono nella comunicazione intra e inter-pianta. Le piante danneggiate dagli insetti erbivori emettono miscele di VOCs che sono percepite, ad esempio, dalle piante adiacenti nelle quali è innescato uno stato di allerta che consente una più rapida ed efficace risposta al susseguente attacco del fitofago (Engelberth *et al.*, 2004). Questo tipo di fenomeno è definito *defense priming* (DP) un processo fisiologico attraverso il quale le funzioni e le attività di una pianta non sollecitata sono in parte dedicate a supportare una risposta più rapida e robusta contro una probabile sfida futura. Il DP può essere innescato da diversi segnali come agenti patogeni, insetti nocivi, molecole di origine microbica e stress abiotici. I meccanismi molecolari legati all'innesco sono diversi e implicano l'attivazione di proteine coinvolte nella trasduzione del segnale, l'accumulo di precursori di proteine recettori, l'aumento di alcuni composti di difesa e la modifica della cromatina per una più veloce

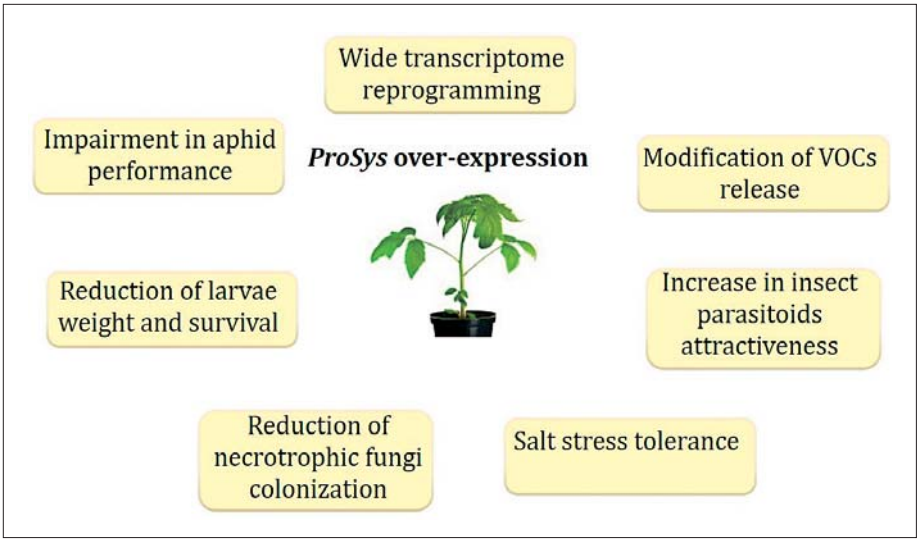

Fig. 1 – Effetti molecolari e biologici osservati in piante di pomodoro RSYS che esprimono in maniera costitutiva il gene della Prosistemina.

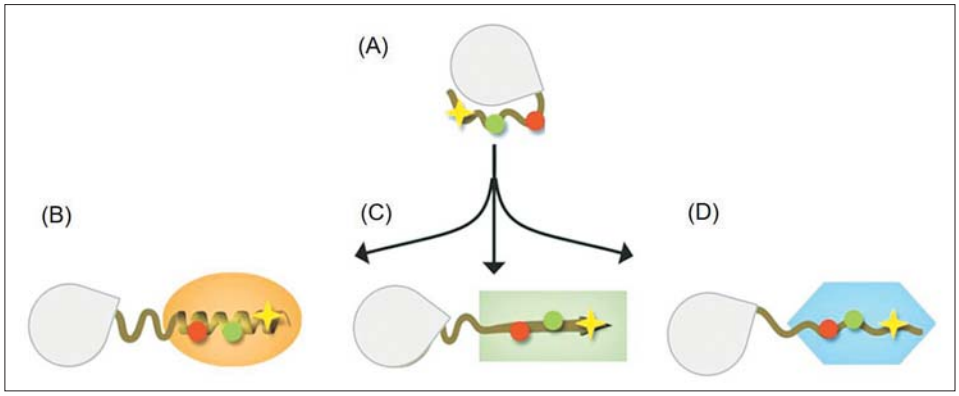

Fig. 2 – Ipotesi di interazione della proteina (A), con diversi partner molecolari (B, C e D).

attivazione dei geni (Frost *et al*., 2008). È stato evidenziato, ad esempio, che il meccanismo di DP in piante soggette ad un secondo attacco si verifica in seguito all'accumulo di metaboliti inattivi che vengono successivamente attivati in caso di attacco (Pastor *et al.*, 2013). Un esempio di metaboliti 'dormienti' è rappresentato dall'accumulo di MAP chinasi che vengono attivate in risposta ad un secondo stimolo e amplificano la trasduzione del segnale 'difesa' (Conrath, 2011). Sono inoltre disponibili evidenze di una regolazione epigenetica dei fattori di difesa con modifiche che avvengono a carico degli istoni (van den Burg e Takken, 2009; Berr *et al.,* 2010). Queste modifiche partecipano alla regolazione dell'espressione genica. In questo ambito sono stati effettuati studi volti a comprendere l'effetto del trattamento delle piante di pomodoro con il peptide Sys sulla comunicazione pianta-pianta. È stato osservato che l'esposizione di piante sane (R) a piante trattate con il peptide (S) attiva geni e segnali tipici del DP e rende le piante R resistenti ad un successivo attacco di larve di *Spodoptera littoralis* Boisduval (Coppola *et al*., 2017). Anche in questo caso, la resistenza è la probabile conseguenza della profonda riorganizzazione trascrittomica indotta nelle piante R dalla vicinanza delle piante S. Infatti, il sequenziamento del trascrittoma delle piante R ha evidenziato l'espressione differenziale di oltre 1100 trascritti rispetto ai controlli esposti a piante non trattate. L'annotazione funzionale di questi trascritti ha rivelato l'alterazione di diversi processi associati alla risposta allo stress (Fig. 3). Tra questi i principali includono l'induzione di geni codificanti

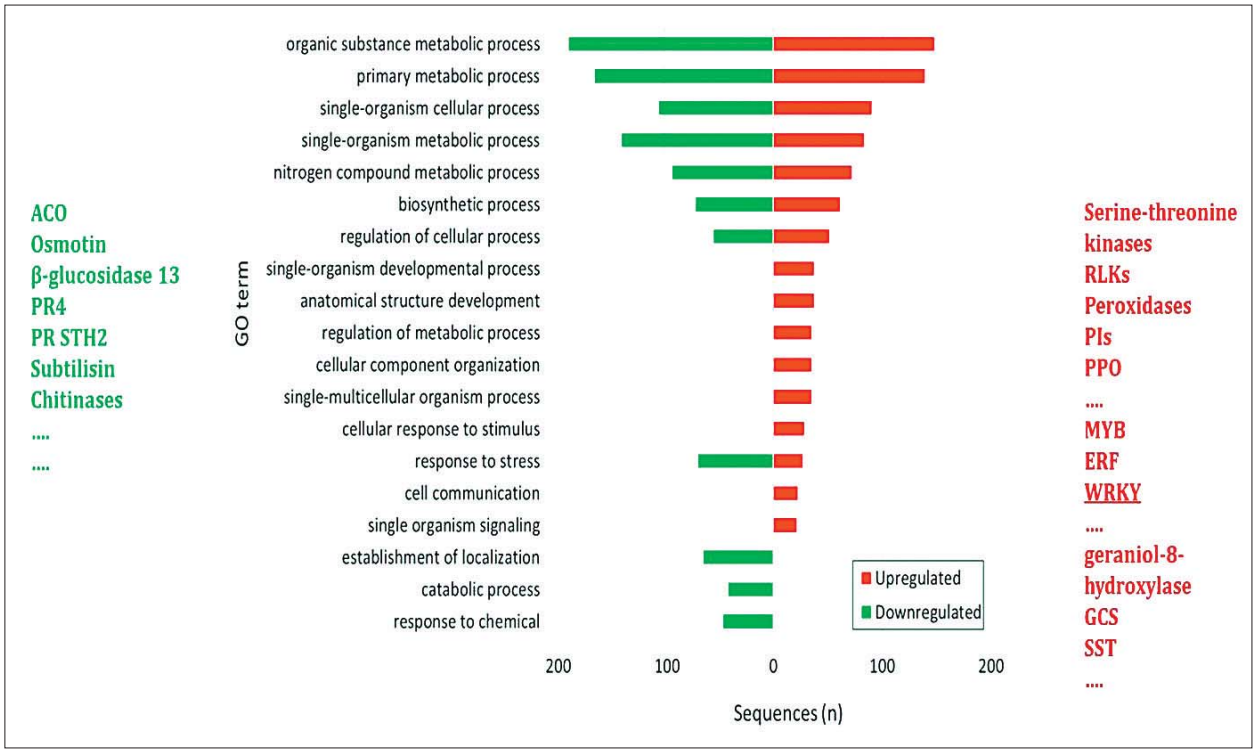

Fig. 3 – Distribuzione in categorie ontologiche del dominio 'Processo biologico' dei geni up (barre rosse) e down (barre verdi) regolati in piante R esposte a piante trattate con Sys. Esempi di geni down e up-regolati sono elencati a sinistra (in verde) e a destra (in rosso) rispettivamente.

per chinasi, recettori di membrana e per membri di diverse famiglie di fattori di trascrizione che regolano tipicamente le risposte delle piante allo stress. Le prime hanno un ruolo centrale nella segnalazione e riconoscimento di (micro)organismi invasori; le seconde hanno un ruolo chiave nella percezione e nell'adattamento della pianta allo stress mentre i fattori di trascrizione associati alla difesa, sono considerati potenziali regolatori del DP.

La Sistemina dunque, innesca in pomodoro il DP attraverso la rimodulazione del trascrittoma della pianta con la conseguente attivazione rapida ed efficace delle risposte di difesa contro successivi invasori

Prospettive future e conclusioni

La sostituzione in agricoltura dei pesticidi chimici con biopesticidi naturali potrà contribuire alla salvaguardia della salute umana e dell'ambiente, come peraltro fortemente richiesto dalle politiche agricole, ambientali e dai consumatori, in quanto essa favorisce la riduzione dei residui tossici negli alimenti e dell'inquinamento ambientale, permettendo, altresì, di limitare la continua riduzione di biodiversità. Gli studi degli eventi molecolari alla base delle interazioni pianta-insetto hanno evidenziato l'intricata rete di risposte di difesa delle piante, ancora non del tutto chiarita. I molti progressi fatti hanno, tuttavia, consentito di identificare geni e segnali che le piante utilizzano per contrastare i danni imposti dagli invasori e per segnalare la presenza di un pericolo incombente nel circondario dell'attacco. Queste conoscenze aprono nuovi scenari per il controllo degli insetti dannosi mediante l'uso di sostanze di origine vegetale attive nell'induzione delle risposte di difesa. Gli studi effettuati sulla Sistemina hanno dimostrato che il peptide è in grado di proteggere la pianta di pomodoro da un'ampia gamma di agenti di stress in conseguenza della stimolazione di diverse vie di segnalazione associate ai principali fitormoni coinvolti nella difesa, acido jasmonico, acido salicilico ed etilene. Inoltre, Sys promuove la comunicazione pianta-pianta innescando il DP che rende la pianta abile a montare una rapida ed efficace difesa contro un successivo attacco di un parassita. Il peptide rappresenta, dunque, un potenziale nuovo agente per la protezione del pomodoro e di altre specie ortive e potrà fornire una valida alternativa all'utilizzo di agrochimici anche in strategie di controllo integrato.

Riassunto

Le reazioni delle piante ai parassiti includono l'attivazione di una risposta di difesa locale e sistemica basata essenzialmente su cambiamenti trascrizionali che sono principalmente controllati e coordinati dai fitormoni. La pianta attaccata percepisce l'organismo invasore riconoscendo elicitori associati agli erbivori che inducono selettivamente diverse risposte di difesa. Questi ultimi sono potenziati da molecole vegetali endogene associate al danno della pianta (DAMP - *Damage Associated Molecular Patterns*), che includono piccoli peptidi presenti in diverse specie di piante. Il peptide DAMP viene rilasciato da precursori più grandi e si lega ai recettori di membrana per attivare cascate di segnalazione che inducono immunità locale e sistemica. Il livello di protezione è conferito dalle profonde modificazioni trascrittomiche indotte dal peptide, che sostiene una ricchezza di cambiamenti metabolici. Oltre a produrre nuovi metaboliti che sono tossici o repellenti per gli erbivori di insetti o che sono in grado di ricordare i loro nemici naturali, il profilo metabolico delle piante attaccate può allertare le piante con-specifiche vicine e innescare una risposta più efficace contro un agente stressante presente nell'ambiente (priming della difesa). Questa presentazione si concentrerà sul ruolo della Sistemina e del suo precursore nell'attivazione dell'immunità delle piante e nella comunicazione pianta-pianta.

Bibliografia

Beloshistov R.E., Dreizler K., Galiullina R.A., Tuzhikov A.I., Serebryakova M.V., Reichardt S., Shaw J., Taliansky M.E., Pfannstiel J., Chichkova N.V, Stintzi, A., Schaller A., Vartapetian A.B., 2017 – *Phytaspase mediated precursor processing and maturation of the wound hormone systemin.* - New Phytol., doi: 10.1111/nph.14568.

Berr A., McCallum E.J., Alioua A., Heintz D., Heitz T., Shen W-H., 2010 – *Arabidopsis Histone Methyltransferase SET DOMAIN GROUP8 Mediates Induction of the Jasmonate/Ethylene Pathway Genes in Plant Defense Response to Necrotrophic Fungi.* - Plant Physiol., 154: 1403-1414.

Buonanno M., Coppola M., Di Lelio I., Molisso D., Leone M., Pennacchio F., Langella E., Rao R., Monti S.M., 2017 – *Prosystemin, a prohormone that modulates plant defense barriers, is an intrinsically disordered protein.* - Protein Sci., 27: 620-632.

Conrath U., 2011 – *Molecular aspects of defence priming.* - Trends Plant Sci., 16: 524-531.

Coppola M., Corrado G., Coppola V., Cascone P., Martinelli R., Digilio M.C., Pennacchio F., Rao R., 2015 – *Prosystemin Overexpression in Tomato Enhances Resistance to Different Biotic Stresses by Activating Genes of Multiple Signaling Pathways.* - Plant Mol. Biol. Report, 33: 1270-1285.

Coppola M., Cascone P., Madonna V., Lelio I., Esposito F., Avitabile C., Romanelli A., Guerrieri E., Vitiello A., Pennacchio F., Corrado G., Rao, R., 2017 – *Plant-to-plant communication triggered by systemin primes anti-herbivore resistance in tomato.* - Sci. Rep., 7: 15522.

Corrado G., Sasso R., Pasquariello M., Iodice L., Carretta A., Cascone P., Ariati L., Digilio M.C., Guerrieri E., Rao R., 2007 – *Systemin Regulates Both Systemic and Volatile Signaling in Tomato Plants.* - J. Chem. Ecol., 4: 669-681.

Degenhardt D.C., Refi-Hind S., Stratmann J.W., Lincoln, D.E., 2010 – *Systemin and jasmonic acid regulate constitutive and herbivore-induced systemic volatile emissions in tomato,* Solanum lycopersicum. - Phytochemistry,71: 2024-2037.

Dicke M., 2015 – *Herbivore-induced plant volatiles as a*

rich source of information for arthropod predators: fundamental and applied aspects. - J. Indian Inst. Sci., 95: 35-42.

Ebel J., Mithöfer A., 1998 – *Early events in the elicitation of plant defence*. - Planta, 206: 335-348.

Engelberth J., Alborn H.T., Schmelz E.A., Tumlinson, J.H., 2004 – *Airborne signals prime plants against insect herbivore attack.* - Proc. Natl. Acad. Sci. U S A, 101: 1781-1785.

Frost C.J., Mescher M.C., Carlson J.E., De Moraes C.M., 2008 – *Plant defense priming against herbivores: Getting ready for a different battle.* - Plant Physiol., 146: 818-824.

Glazebrook J., 2005 – *Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens*. - Annu. Rev. Phytopathol., 43: 205-27.

Heil M,. 2014 – *Herbivore-induced plant volatiles: targets, perception and unanswered questions.* - New Phytol., 204: 297-306.

Heil M., 2015 – *Extrafloral nectar at the plant-insect interface: a spotlight on chemical ecology, phenotypic plasticity, and food webs*. - Annu. Rev. Entomol., 60: 213-232.

Hogenhout S.A., Bos J.I., 2011 – *Effector proteins that modulate plant-insect interactions*. – Curr. Opin. Plant. Biol., 14: 422-428.

Howe G.A., Jander G., 2008 – *Plant immunity to insect herbivores*. – Annu. Rev. Plant. Biol., 59: 41-66.

Maffei M.E., Mithöfer A., Boland W., 2007 – *Before gene expression: early events in plant–insect interaction* - Trends Plant. Sci., 12: 310-316.

McGurl B., Ryan C.A., 1992 – *The organization of the prosystemin gene.* - Plant Mol. Biol., 20: 405-409.

McGurl B., Pearce G., Orozco-Cardenas M., Ryan C.A., 1992 – *Structure, expression, and antisense inhibition of the systemin precursor gene.* - Science, 255: 1570-1573.

McGurl B., Orozco-Cardenas M., Pearce G., Ryan C.A., 1994 – *Overexpression of the prosystemin gene in transgenic tomato plants generates a systemic signal that constitutively induces proteinase inhibitor synthesis.* - Proc. Nat.l Acad. Sci. U S A, 91: 9799-9802.

Oerke E.C., 2006 – *Crop losses to pests*. - J. Agric. Sci., 144: 31-43.

Oldfield C.J., Meng J., Yang J.Y., Yang M.Q., Uversky V.N., Dunker A.K., 2008 – *Flexible nets: disorder and induced fit in the associations of p53 and 14-3-3 with their partners.* - BMC genomics, 9: S1.

Orsini F., Cascone P., De Pascale S., Barbieri G., Corrado G., Rao R., Maggio A., 2010 – *Systemin-dependent salinity tolerance in tomato: evidence of specific convergence of abiotic and biotic stress responses.* - Physiol. Plant, 138: 10-21.

Pastor V., Luna E., Mauch-Manic B., Ton J., Flors V., 2013 – *Primed plants do not forget.* – Environ. Exp. Bot., 94: 46-56.

Pearce G., Strydom D., Johnson S., Ryan C.A., 1991 – *A polypeptide from tomato leaves induces wound-inducible proteinase inhibitor proteins.* - Science, 253: 895-897.

Pearce G., Moura D.S., Stratmann J., Ryan C.A., 2001 – *Production of multiple plant hormones from a single polyprotein precursor.* - Nature, 411: 817-820.

Pieterse C.M., Leon-Reyes A., Van der Ent S., Van Wees, S.C., 2009 – *Networking by small-molecule hormones in plant immunity.* - Nat. Chem. Biol., 5: 308.

Ryan C.A., 2000 – *The systemin signalling pathway: differential activation of plant defensive genes.* – Biochim. Biophys. Acta, 1477: 112-121.

Scheer J.M., Ryan C.A., 2002 – *The systemin receptor SR160 from Lycopersicon peruvianum is a member of the LRR receptor kinase family.* – Proc. Natl. Acad. Sci. U S A, 99: 9585-9590.

Schilmiller A.L., Howe G.A., 2005 – *Systemic signaling in the wound response.* - Curr. Opin. Plant Biol., 8: 369-377.

Sun J.Q., Jiang H.L., Li C.Y., 2011 – *Systemin/Jasmonate-mediated systemic defense signaling in tomato.* - Mol. Plant, 4: 607-615.

Tompa P., 2002 – *Intrinsically unstructured proteins.* - Trends Biochem. Sci., 27: 527-533.

van den Burg H.A., Takken F.L.W., 2009 – *Does chromatin remodeling mark systemic acquired resistance?* - Trends Plant Sci., 14: 286-294.

Walling L.L., 2009 – *Adaptive defense responses to pathogens and insects*. - Adv. Bot. Res., 51: 551-612.

Wu J., Baldwin I.T., 2010 – *New insights into plant responses to the attack from insect herbivores.* - Annu. Rev. Genet., 44: 1-24.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 191-195

ARE LEAF-MINERS AND GALL-INDUCERS PART OF A CONTINUUM OF PLANT MANIPULATORS?

DAVID GIRON (*) ([1]) - ANTOINE GUIGUET(*) (**) - CARLOS LOPEZ-VAAMONDE (***)
ISSEI OHSHIMA (**)

(*) *Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte (IRBI), UMR 7261, CNRS/Université de Tours, Tours, France*
(**) *Department of Life and Environmental Science, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan*
(***) *INRA, UR 0633 Zoologie Forestière, Orléans, France*
[1] Correspondence: david.giron@univ-tours.fr
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Insect-plant interactions". Seduta pubblica dell'Accademia - Napoli, 17 novembre 2017

Are leaf-miners and gall-inducers part of a continuum of plant manipulators?

Plants constitute key nutritional resources for many organisms on Earth and protect these resources by enhancing interactions with mutualists while reducing interactions with antagonists. Interactions with different members of their ecological community can lead to a profound reconfiguration of the plant's physiology, which favors beneficial organisms like symbionts and harms antagonists like pathogens or herbivores. Among the insect herbivores that attack plants, some species have evolved a peculiar feeding strategy that allows them to hijack the plant's machinery for their own benefit. By 'reprogramming' the plant genome, the insect forces the plant to create specialized nutritional resources that benefit the insect at the expense of the plant's growth and reproduction. Mechanisms underlying this attack strategy and the evolutionary origin of these plant-manipulating insects remain largely unknown. Our research focus on secreted salivary effectors that are produced by insect reprogrammers to alter plant metabolic processes. We also compare various feeding strategies using an evolutionary framework to discover similarities and differences in plant manipulation strategies. Our results show converging strategies between gall-inducers and leaf-miners. Recently discovered species that have evolved an unique mixed-feeding strategy (first larval instars being leaf-miners while late larval instars are gall-inducers) offers an unique opportunity to identify genes that are responsible for the induction of galls. These species may represent an intermediate state along the continuum between leaf-miners and gall-inducers.

KEY WORDS: Insects, plant manipulation, leaf-miners, gall-inducers.

The evolution and adaptive significance of the endophytophagous feeding habit (i.e. living within plant tissues) still remain unclear (CONNOR & TAVERNER, 1997; STONE & SCHÖNROGGE, 2003). Three major hypotheses have been proposed to explain this feeding life history mode: The nutrition, the microenvironment and the enemy hypothesis (CONNOR & TAVERNER, 1997; STONE & SCHÖNROGGE, 2003). The nutrition hypothesis states that galling or mining, two major forms of endophytophagy in insects, provide enhanced nutrition over other external-feeding modes, and allow organisms to avoid major plant defenses. The microenvironment hypothesis states that feeding internally protects the organism from unfavorable abiotic conditions, particularly desic cation. Finally, the enemy hypothesis maintains that concealed feeding strategies serve as defenses against natural enemies.

Among these hypotheses, feeding selectively on most nutritional tissues is undoubtedly considered as one of the main advantages. Indeed, nutritional requirements of animals are multidimensional and change qualitatively and quantitatively as an individual grows, develops, becomes reproductively active, then senesces (SCHOONHOVEN *et al.*, 2005; BEHMER, 2009; RAUBENHEIMER *et al.,* 2009). Likewise, the nutritional environment is frequently highly variable both in space and time. Thus, food intake for any given life stage is not necessarily matched to life-history trait requirements for that life-stage. Plant tissues specifically are also often considered nutritionally suboptimal for herbivores (SCHOONHOVEN *et al.*, 2005). To rectify these potential mismatches, animals have evolved a suite of elegant behavioral and physiological pre- and post-ingestive regulatory mechanisms (BEHMER, 2009; RAUBENHEIMER *et al.,* 2009; BODY, 2013).

Organisms such as gall-inducer (Fig. 1) and permanent leaf-miner insects are peculiar because they simultaneously live in, and eat their food (STONE & SCHÖNROGGE, 2003). As a consequence, while endophagous insects by their feeding habit secure their nutrition and shelter for either shorter or longer periods of their life history, they also have evolved specific feeding strategies (STONE & SCHÖNROGGE, 2003). Such intimate associations are indeed expec-

– Pubblicato aprile 2018

Fig. 1 – Gall-inducing insects are iconic examples in the manipulation and reprogramming of plant development, inducing spectacular morphological and physiological changes of host-plant tissues within which the insect feeds and grows. Despite decades of research, basic mechanisms of gall formation remain unknown. © David Giron & Mélanie Body / IRBI

ted to facilitate close interactions between independent genomes leading to biochemical and hormonal cross-talk between arthropods and plants, and setting the ground for altered host-plant's gene expression. This allows them to manipulate their host plant in a way to best meet their needs, including counteracting plant defenses, and compensating for variation in food nutritional composition (STONE &, SCHÖNROGGE, 2003). Gall-inducer insects have long been known to alter the plant morphology and physiology for their own benefits and they are usually distinguished from other insect-generated shelters by the fact that they involve active differentiation of highly nutritive tissues (STONE & SCHÖNROGGE, 2003; SHORTHOUSE & ROHFRITSCH,1992). However, plant manipulation appears now to be not restricted to gall-inducer, as suggested by the autumnal formation of 'green-island' (Fig. 2) around mining caterpillars in yellow leaves (KAISER *et al.,* 2010; GIRON *et al.,* 2016).

Results obtained at the Insect Biology Research Institute in Tours have demonstrated an ability of Gracillariidae leaf-mining moths to manipulate their host-plant in a way to best meet their nutritional requirements. More specifically, *Phyllonorycter blancardella* creates an enhanced nutritional micro-

Fig. 2 – Green-island induced on apple tree leaves by the leaf-mining moth *Phyllonorycter blancardella* (Lepidotera: Gracillaridae). © David Giron & Mélanie Body / IRBI

environment and buffer against seasonal variations of the leaf nutritional quality. Through a manipulation of the phytohormonal balance (Body *et al.,* 2013; Zhang *et al.*, 2016) leaf-miner caterpillars can regulate the soluble sugar and protein profile in their feeding area (Body *et al.,* 2013; Body *et al.,* 2015). Morphology of larval mouthparts and the resulting morphological impact on leaf tissues have been characterized in this system showing that young and late larval instars evolved different feeding strategies allowing insects to cope with a confined nutritional space. Insects also prevent mined tissues from senescing through endosymbiotic bacteria (*Wolbachia*) mediated release of cytokinins (Kaiser *et al*., 2010; Body *et al.,* 2013; Zhang *et al*., 2016**;** Giron *et al.,* 2007; Giron *et al.,* 2013). Host-plant manipulation and endosymbiotic infections by *Wolbachia* have been associated through the evolutionary diversification of Gracillariidae (Gutzwiller *et al.,* 2015).

Because of their concealed habit in a confined environment, endophagous arthropods show specialized and, to some extent, convergent characteristics in their nutritional physiology and behaviors, highlighting generalized processes associated with the colonization of plants by endophytic organisms. Additionally, the sedentary behavior of endophagous arthropods during their development renders them ideal systems for interpreting the ecological and evolutionary mechanisms of herbivory and related questions such as host-plant resistance or host-plant physiological manipulation.

Understanding the evolution and adaptive significance of the endophytophagous feeding mode needs to contrast feeding strategies of different endophagous species in an evolutionary framework. It also needs to understand how insects manipulate the physiology and the anatomy of their host-plant focusing specifically on salivary effectors that are produced and delivered to the plant by the insect. Our research aims to answer these questions by investigating salivary effectors produced by the Japanese species *Caloptilia cecidophora* (Lepidoptera: Gracillariidae) that has evolved an unique mixed-feeding strategy. The Gracillariidae family contains around 2000 species. The majority of species are leaf-miners but it includes (at least) three galligenous species. Among them, *Caloptilia cecidophora* induces a gall on leaves of *Glochidion obovatum* (Phyllanthaceae) (Fig. 3). We conducted a complete histological study of the development of *C. cecidophora* galls. It appears

Fig. 3 – Galls induced by *Caloptilia cecidophora* (Lepidoptera: Gracillaridae) on leaves of *Glochidion obovatum* (Phyllanthaceae). © Antoine Guiguet / IRBI

that first and second instars of *C. cecidophora* are leaf-miners while later instars turn into gall-inducers. Late larval instars induce the development of new tissues absent from the normal leaf but found in complex galls like those made by Cynipidae. By showing a mix-strategy between leaf-mining and gall-inducing and a convergence in complex gall structures, our results shed light on the origin of gall induction by insects and help to understand the mechanisms of gall morphogenesis. This species may also represent an intermediate state along the continuum between leaf-miners and gall-inducers and an unique opportunity to identify genes that are responsible for the induction of galls. Through a combination of transcriptomic and proteomic approaches, candidate effectors are in the process of being identified and contrasted to plant histological alterations. To unravel similarities and differences between various feeding strategies, data obtained on closely-related insect species known to induce different degree of plant manipulation (a leaf-miner, a gall-inducer and a leaf-roller) are also currently compared.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the ENS Lyon for the PhD scholarship to Antoine Guiguet and the PRC project 1724 Origen funded by the National Center for Scientific Research and the Japan Society for the Promotion of Science.

RIASSUNTO

I MINATORI FOLIARI E GLI INDUTTORI DI GALLE SONO PARTE DI UN CONTINUUM DI MANIPOLATORI DELLA PIANTA?

Le piante, costituendo l'alimento chiave per molti organismi terrestri, si proteggono favorendo le interazioni con organismi mutualisti e minimizzando invece quelle con gli antagonisti.

Le interazioni con membri diversi delle comunità ecologiche possono generare profonde riconfigurazioni della fisiologia della pianta, atte a favorire organismi benefici come i simbionti ed a danneggiare gli antagonisti, patogeni ed erbivori. Tra gli erbivori, alcune specie di insetti hanno evoluto strategie alimentari peculiari, che gli consentono di dirottare a proprio vantaggio gli apparati della pianta; questi insetti, riprogrammando il genoma vegetale, costringono la pianta a produrre, a loro vantaggio, risorse nutrizionali specializzate, che vanno a

discapito della crescita e riproduzione della pianta stessa. I meccanismi alla base delle strategie di attacco degli insetti che manipolano le piante, così come la loro origine evoluzionistica, sono molto poco noti. La nostra ricerca si focalizza sugli effettori salivari degli insetti riprogrammatori, in grado di alterare i processi metabolici della pianta. Inoltre, confrontiamo diverse strategie alimentari in un quadro evoluzionistico, in modo da mettere in risalto similarità e differenze nelle strategie di manipolazione delle piante. I nostri risultati sugli induttori di galle e sui minatori mostrano strategie convergenti. Specie di recente scoperta, con un modo di alimentarsi peculiare (la larva di prima età è minatrice, mentre gli stadi successivi producono galle), hanno offerto l'opportunità unica di identificare i geni responsabili dell'induzione delle galle. Queste specie rappresentano quindi uno stato intermedio tra minatori e induttori di galle.

REFERENCES

Behmer S.T., 2009 – *Insect herbivore nutrient regulation* – Annu. Rev. Entomol., 54: 165-187.

Body M., 2013 – *Plant Manipulation by endophagous organisms: physiological mechanisms, signaling, and nutritional consequences in a leaf-miner insect.* (Ph.D. thesis). Université François-Rabelais de Tours, Tours, France, 400 pages.

Body M., Kaiser W. Dubreuil, G., Casas J., Giron D., 2013 – *Leaf-miners co-opt microorganisms to enhance their nutritional environment*. - J. Chem. Ecol., 39: 969-977.

Body M., Burlat V., Giron D., 2015 – *Hypermetamorphosis in a leaf-miner allows insects to cope with a confined nutritional space.* - Arthropod–Plant Interact., 9: 75-84.

Connor E.F. Taverner M.P., 1997 – *The evolution and adaptive significance of the leaf-mining habit* – Oikos, 79: 6-325.

Giron D., Kaiser W., Imbault N., Casas J., 2007 – *Cytokinin-mediated leaf manipulation by a leaf-miner caterpillar*. - Biol. Lett., 3: 340-343.

Giron D., Frago E., Glevarec G., Pieterse C.M.J. Dicke, M., 2013 – *Cytokinins as key regulators in plant–microbe–insect interactions: connecting plant growth and defence*. - Funct. Ecol., 27: 599-609.

Giron D., Huguet E., Stone G.N., Body M., 2016 – *Insect-induced effects on plants and possible effectors used by galling and leaf-mining insects to manipulate their host-plant*. - J. Insect Physiol., 84: 70-89.

Gutzwiller F., Dedeine F., Kaiser W., Giron D., Lopez-Vaamonde C., 2015 – *Correlation between the green-island phenotype and Wolbachia infections during the evolutionary diversification of Gracillariidae leaf-mining moths*. - Ecol. Evol., 5: 4049-4062.

Kaiser W., Huguet E., Casas J., Commin C., Giron D., 2010 – *Plant green-island phenotype induced by leaf-miners is mediated by bacterial symbionts*. - Proc. R. Soc. Biol. Sci., 277: 2311-2319.

Raubenheimer D., Simpson S.J., Mayntz D., 2009 – *Nutrition, ecology and nutritional ecology: toward an integrated framework.* - Funct. Ecol., 23: 4-16.

Schoonhoven L.M., Van Loon J.J.A., Dicke M. (Eds.), 2005 – *Insect–Plant Biology*. Oxford University Press, 421 pp.

Shorthouse J.D., Rohfritsch O. (Eds.), 1992 – *Biology of Insect-Induced Galls*. Oxford University Press, New York.

Stone G.N., Schönrogge K., 2003 – *The adaptive significance of insect gall morphology* – Trends Ecol. Evol., 18: 512-522.

Zhang H., Dugé De Bernonville T., Body M., Glevarec G., Reichelt M., Unsicker S., Bruneau M., Renou J.-P., Huguet E., Dubreuil G., Giron D., 2016 – *Leaf-mining by* Phyllonorycter blancardella *reprograms the host-leaf transcriptome to modulate phytohormones associated with nutrient mobilization and plant defense*. - J. Insect Physiol., 84: 114-127.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 197-202

DIFESE INDOTTE NELLE PIANTE: L'INTERAZIONE CON INSETTI E MICRORGANISMI

MARIA CRISTINA DIGILIO (*)

(*) *Università degli Studi di Napoli Federico II*
Dipartimento di Agraria. Via Università 100. Portici 80055, Italia; e-mail: digilio@unina.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Insect-plant interactions". Seduta pubblica dell'Accademia - Napoli, 17 novembre 2017.

Insects and microorganisms interactions and the induction of plant defence

Insect-plant interactions are modulated by a number of factors regulating plant metabolism and response. In fact, the attacking herbivore is the first source of molecules active on plants, with the secretions necessary for its feeding activity. Among these, salivary secretions and gut regurgitate play a key role. Thus, the insect feeding produces a mechanical damage that activates plant signaling, and this is reinforced by elicitors delivered at the feeding site. The network of molecular pathways underlying the plant metabolic response is further conditioned by the microbiota associated with plants.

KEY WORDS: induced defence; salicylic and jasmonic acid metabolic pathway; saliva; PGPF.

Quando gli insetti danneggiano le attività o la salute dell'uomo, li definiamo dannosi, e in inglese li qualifichiamo "pest". Tra gli insetti dannosi annoveriamo quelli che si mettono in competizione con noi perché attaccano le piante coltivate. Nel XXI secolo, possiamo dare per esaurito l'approccio basato principalmente sulla somministrazione di composti tossici, ma siamo orientati verso tecniche di controllo più olistiche, e tutte decisamente inquadrate nell'ambito del controllo integrato. In questo tipo di approccio appaiono molto interessanti le difese inducibili delle piante: infatti le piante, oltre alle barriere fisiche e chimiche che oppongono costitutivamente all'attacco degli insetti, sono in grado di modulare difese aggiuntive, inducibili, in seguito alla fitofagia, producendo composti difensivi in quantità maggiori rispetto a quelli presenti costitutivamente, oppure sintetizzando nuovi composti, non presenti in quei tessuti soggetti all'attacco. Per esempio, una pianta in seguito alla fitofagia può produrre più tricomi, oppure aumentare la quantità di glucosinolati o la traslocazione di nicotina rispetto alla dose costitutiva, o ancora può sintetizzare *de novo* inibitori di enzimi digestivi nella parte attaccata.

Le *difese inducibili*, rispetto alle difese costitutive, hanno minore costo metabolico per la pianta e maggiore specificità, e conoscerne i meccanismi di induzione è particolarmente interessante, soprattutto in un'ottica di utilizzo per la difesa delle colture.

Gli *insetti fitofagi* in senso stretto, cioè dotati di apparato boccale masticatore, durante l'attacco rompono le membrane cellulari con le mandibole, producendo un danno che la pianta percepisce come abiotico, il cosiddetto "wounding". La prima descrizione di difese inducibili è di GREEN & RYAN (1972): in pomodoro, dopo un danno operato mediante uno strumento oppure dalla Dorifora, si innesca una serie di reazioni che porta al rapido accumulo di inibitori di proteasi, composti difensivi particolarmente efficaci contro gli insetti masticatori. Adesso conosciamo molti dettagli di quello che intercorre tra l'attacco e la produzione di composti che costituiscono le difese inducibili della pianta. Le membrane danneggiate rilasciano acidi grassi, principalmente acido α-linolenico; questo subisce una serie di trasformazioni enzimatiche e perossidazioni, fino ad essere trasformato in acido jasmonico. Questa via metabolica è definita ottadecanoica, perché le molecole coinvolte sono catene di acidi grassi (ossilipine) a 18 atomi di carbonio. L'acido jasmonico può essere ulteriormente trasformato, dando luogo ad un gruppo di composti, gli jasmonati, fitoormoni che hanno un ruolo nel regolare la crescita e lo sviluppo della pianta, ma soprattutto la sua interazione con altri organismi: il suo derivato metilico, il metil-jasmonato, è un composto volatile percepito dagli insetti, tra cui i nemici naturali, che lo utilizzano per localizzare la pianta attaccata dai fitofagi; se coniugato con aminoacidi, come la isoleucina, funziona come molecola di segnale, mentre decarbossilato diventa cis-jasmone (la componente principale del profumo del gelsomino - genere *Jasminum*, ha dato il nome a questa famiglia di composti), è percepito dagli insetti, a seconda dei casi, come attrattivo o come repellente, ed è anche utiliz-

– Pubblicato aprile 2018

zato come feromone sessuale (Matsui *et al*., 2017 e riferimenti ivi citati).

Le difese inducibili che coinvolgono i jasmonati sono attivate dalla pianta in conseguenza di un danno meccanico, provocato con uno strumento, e anche quando il danno è inferto dalle mandibole di un bruco o di un coleottero. Però, quando l'attacco è di natura biotica, è presente un'altra componente essenziale: infatti, durante l'alimentazione, le ghiandole labiali e mandibolari rilasciano secrezioni salivari, ed inoltre sulla ferita prodotta dalle mandibole è depositato anche materiale che proviene dall'intestino (intestino anteriore ma anche medio), il cosiddetto rigurgitato, e di conseguenza interviene un ulteriore livello trofico, i batteri simbionti. L'insetto, per potersi alimentare, costituisce attraverso la saliva un *continuum* tra tessuto vegetale e contenuto intestinale (Fig. 1). Proprio questo fa la differenza tra gli strumenti meccanici usati per ferire la pianta, quali le lime e le perforatrici usate da Green & Ryan (1972) nella prima descrizione di difese inducibili, e gli insetti. Infatti, è ampiamente dimostrato che il rilascio di saliva e rigurgitato è essenziale per il risultato dell'interazione tra pianta e insetto: un componente essenziale della saliva dei bruchi è l'enzima glucosio ossidasi, che contrasta l'attivazione del percorso metabolico del jasmonato (Felton & Eichenseer, 2000), quello maggiormente attivo contro i bruchi. Sono note, al contrario, molecole rilasciate dagli insetti che inducono risposte difensive nella pianta, quali la β-glucosidasi rilasciata dalla larva di *Pieris brassicae* (L.) (Mattiacci *et al*., 1995) e la volicitina di *Spodoptera exigua* (Hübner) (Alborn *et al*., 1997); quest'ultimo composto è sintetizzato a partire da componenti della pianta (acidi grassi) e del bruco (glutamina) (Paré *et al*., 1998). Diversi esperimenti sono stati congegnati per consentire di comprendere in cosa si differenzia il danno abiotico (wounding), paragonato al danno meccanico operato dalle mandibole dei fitofagi, e quello realmente prodotto da bruchi e coleotteri. L'utilizzo di una larva robotica (MecWorm), uno strumento in grado di operare in maniera riproducibile un danno abiotico, ha mostrato come la pianta non reagisce all'insulto singolo, mentre reagisce ad eventi multipli con il rilascio di composti volatili (VOC) (Mithöfer *et al*., 2005), che sono piuttosto specifici nell'attrarre nemici naturali (De Moraes *et al*., 1998). Solo quando al wounding è associata l'applicazione di saliva e rigurgitato, si osserva, oltre al rilascio di VOC, anche la depolarizzazione delle membrane, tipica dell'attacco reale (Bricchi *et al*., 2010). Gli esperimenti con il MecWorm hanno consentito di separare le componenti del danno, quella meccanica e lo stimolo chimico, chiarendo che per ottenere gli stessi effetti della fitofagia è necessaria l'attività delle secrezioni salivari.

L'interazione tra piante e fitomizi presenta caratteristiche molto diverse da quelle descritte per i masticatori. Infatti, in questo caso, il danno di natura meccanica appare piuttosto limitato, mancando una vistosa sottrazione di tessuto, mentre, attraverso gli stiletti, c'è un'abbondante iniezione di saliva nei tessuti dell'ospite. I fitomizi più studiati dal punto di vista del loro rapporto con la pianta sono gli afidi, e

Fig. 1 – *Spodoptera littoralis* (Boisduval) con secrezioni orali (foto Ilaria Di Lelio).

lo studio di questa interazione alimentare può essere proficuamente affrontato mediante un approccio multidisciplinare, che prende in considerazione da una parte tessuti e secrezioni dell'insetto e dall'altra la risposta genetica, molecolare e biochimica della pianta. Una volta inseriti gli stiletti, è possibile riconoscere, grazie a tecniche di registrazione elettrica della penetrazione stilettare (TJALLINGII, 1988), le fasi in cui gli afidi rilasciano la saliva; questa infatti viene secreta ad intervalli, come saliva gel e come saliva acquosa (MILES, 1965). La saliva gel, prodotta dalle parte più sviluppata delle ghiandole salivari (ghiandola principale) (Fig. 2), appena emessa gelifica, formando un tunnel protettivo che guida, avvolge e protegge gli stiletti. La meta è il tessuto vascolare, e gli stiletti per raggiungerlo navigano tra le cellule, cercando nelle pareti rigide un punto debole, che consenta la penetrazione all'interno delle cellule. La saliva gel sigilla le membrane forate dagli stiletti (WILL & VAN BEL, 2006), rendendo minimo il danno meccanico, mentre lo sbocco superiore dei canali alimentare e salivare, verso l'apertura orale, rimane chiuso per evitare la perdita di turgore (TJALLINGII, 2006). Durante questo percorso, spigoloso perché costeggia le pareti cellulari, l'afide emette anche saliva acquosa (che non gelifica, ed è prodotta dalla ghiandola accessoria), e fa punture di assaggio, in modo da inviare campioni del contenuto delle cellule nella cavità orale, dove si trovano i chemiorecettori. Il viaggio degli stiletti termina nel floema, riconosciuto grazie a pH e concentrazione zuccherina più elevati; qui inizia un'abbondante secrezione di saliva acquosa, che si miscela con la linfa e viene ingerita passivamente, trovandosi la linfa nel floema in elevata pressione di turgore. Però, se la penetrazione fino al floema è potuta avvenire quasi in incognito, facendo piccoli danni immediatamente riparati, le cellule floematiche danneggiate dalle penetrazione degli stiletti allestiscono una chiara reazione difensiva: nei pressi della puntura rilasciano ioni Ca^{++}, e le cellule vicine mostrano depolarizzazione delle membrane, tappando immediatamente i singoli elementi del floema e successivamente deponendo callosio (FURCH *et al*., 2009). La pianta, in altri termini, cerca di impedire all'afide di proseguire nel suo attacco. Gli afidi, a questo punto, sarebbero impossibilitati ad alimentarsi, eppure, nelle interazioni compatibili, riescono a controbattere, iniettando nell'ospite molecole in grado di sopprimere le difese della pianta, in modo da riuscire ad assumere la linfa ed a sviluppare nuove colonie. Gli studi sulle proteine salivari degli afidi sono iniziati da alcuni anni, e stanno consentendo l'identificazione di proteine e meccanismi di azione che cercano di spiegare come fanno gli afidi a far penetrare gli stiletti in maniera subdola (dal punto di vista della pianta) e ad ostacolare le capacità difensive della pianta.

Le proteine della saliva gel hanno principalmente una funzione strutturale, ma aiutano anche la penetrazione degli stiletti, degradando la parete cellulare (pectinasi, pectinesterasi, poligalatturonasi, cellulasi). Gli stessi enzimi litici sono presenti anche nella saliva acquosa, dove sono state identificate anche proteine capaci di sopprimere le difese della pianta. Queste possono agire legando gli ioni Ca^{++} liberati in seguito alla puntura degli

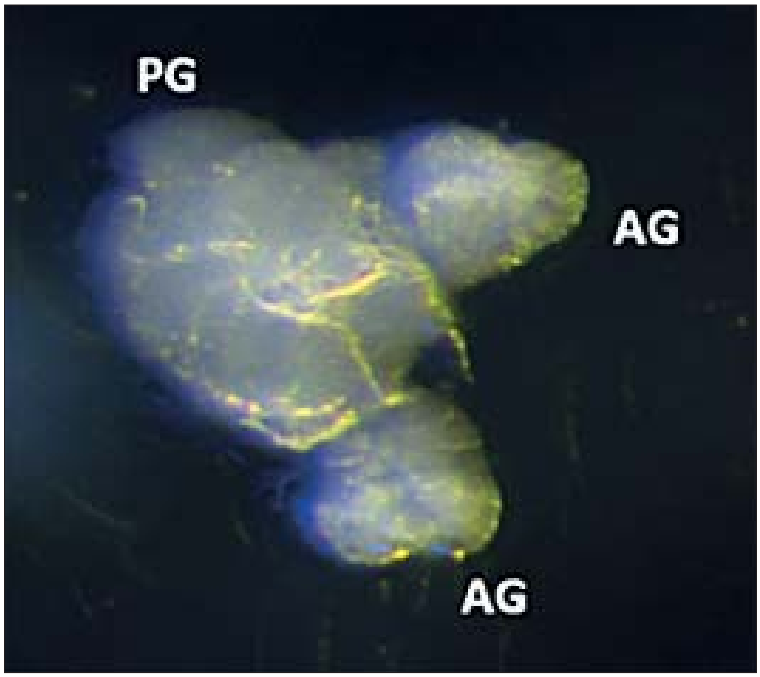

Fig. 2 – Ghiandola salivare di *Aphis gossypii* Glover. PG ghiandola principale. AG ghiandola accessoria (foto Massimo Giorgini).

stiletti, come la regucalcina identificata nella saliva di *Megoura viciae* Buckton (Will *et al*., 2007). Le cellule del floema possono essere danneggiate da proteasi immesse con la saliva, e questo, oltre ad ostacolare le difese, aumenta la disponibilità di aminoacidi, che sono un importante nutritivo, ma fortemente limitato per gli afidi. La pianta produce una grande quantità di allelochimici ad azione difensiva, per esempio composti fenolici quali lignine, tannini, cumarine, flavonoidi e polifenoli, oltre a specie reattive dell'ossigeno prodotte in seguito all'attacco; questi composti dannosi per gli insetti sono detossificati da enzimi salivari (alcuni esempi: polifenolossidasi, perossidasi, ossidoreduttasi). Come per i bruchi, anche in questo caso possono partecipare i batteri simbionti: nella saliva di *Macrosiphum euphorbiae* è stata identificata la proteina GroEL, derivante da *Buchnera aphidicola*, che induce un burst ossidativo nella pianta, e l'induzione di questa risposta difensiva causa una diminuzione di fertilità nell'afide (Chaudhary *et al*., 2014). Anche frammenti di chitina, derivanti da piccoli danni meccanici/enzimatici al tegumento durante la penetrazione degli stiletti, possono rinforzare la risposta di difesa (van Bel & Will, 2016).

Le proteine salivari degli afidi che, immesse nell'ospite, consentono di osservare un effetto sulla performance degli afidi, sono state recentemente definite "effettori", con un termine mutuato dalla patologia vegetale (Bos *et al*., 2010). A partire da C002, identificato in *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Mutti *et al*., 2008), è iniziata la caratterizzazione di diversi effettori, in particolare di *M. euphorbiae* e di *Myzus persicae* (Thomas) (Atamian *et al*., 2013; Elzinga *et al*., 2014), ma non è facile capire i meccanismi complessi attraverso i quali queste molecole riescono a modulare la risposta difensiva della pianta, pur essendo misurabile l'impatto sulla fertilità degli afidi. Nel nostro gruppo di ricerca, cerchiamo attualmente di identificare le componenti salivari di *Aphis gossypii* Glover che inducono nella pianta di zucchino la produzione di un composto volatile, il metilsalicilato, che influenza il comportamento degli afidi, spingendoli a spostarsi verso aree diverse della stessa pianta (Coppola *et al*., 2018). Tra gli effettori finora caratterizzati, Me47, una Glutatione-S-Transferasi di *M. euphorbiae*, è in grado di detossificare composti allelochimici come DIMBOA, nicotina e isotiocianati. È stato osservato che Me47, in pomodoro, induce geni di difesa, eppure aumenta la fertilità di *M. euphorbiae*, mentre in *Arabidopsis* diminuisce la fertilità degli afidi, rendendo la pianta più resistente, ma non c'è la stessa induzione osservata per il pomodoro (Kettles & Kaloshian, 2016). Questo è un esempio di come, per gli effettori, l'effetto sugli afidi possa essere ospite-specifico, essendo dipendente dall'interazione della stessa molecola con piante di specie diverse.

Un'altra interessante induzione delle difese della pianta è quella operata da microrganismi non patogeni, quali i Rizobatteri, ben conosciuti da oltre un secolo, oltre a funghi appartenenti a vari generi, che instaurano, a livello radicale, simbiosi benefiche per lo sviluppo della pianta. Negli ultimi anni si è diffuso in agricoltura l'utilizzo di microrganismi, che hanno mostrato di possedere, direttamente o attraverso metaboliti, anche capacità antagonistiche dei patogeni (Lorito & Woo, 2015). Lo studio della modulazione delle *difese inducibili da microrganismi* attive contro gli insetti è un'attività di ricerca ancora in fase embrionale, e solo recentemente l'approccio alla comprensione di queste interazioni a tre componenti è diventato più solido, includendo anche un approfondito studio delle cause della qualità alterata della pianta, l'organismo che fa da tramite tra i microbi e gli insetti fitofagi. Le simbiosi micorriziche e con funghi del genere *Trichoderma* hanno mostrato, in diversi studi, un costante miglioramento delle difese indirette della pianta (parassitoidi e predatori), associato all'alterazione del rilascio di VOC (Guerrieri *et al*., 2004; Battaglia *et al*., 2013; Coppola *et al*., 2017; Rassmann *et al*., 2017). Invece, relativamente alle difese dirette, non si può dire che si osserva sempre un miglioramento, che è strettamente dipendente dal tipo di interazione dei tre organismi coinvolti: ogni caso va studiato con attenzione, valutando in modo puntuale la suscettibilità del fitofago alle molecole di difesa indotte. Questo non può destare meraviglia negli entomologi, che sanno bene come la maggior parte degli agenti di controllo biologico non presenta ampio spettro di attività, e che è improbabile che un nemico naturale possa costituire un rimedio universale. Nel corso dell'attività del nostro gruppo di ricerca, abbiamo individuato ceppi di *Trichoderma* attivi nei confronti di gruppi di insetti con strategia alimentare diversa (afidi e lepidotteri) (Coppola *et al*., 2017; Digilio *et al*., in prep.). È stato appurato che la colonizzazione di *T. harzianum* T22 e di *M. euphorbiae* induce in pomodoro l'attivazione sia del percorso del jasmonato (JA) che di quello del salicilato (SA), e risulta aumentare la difesa, sia diretta che indiretta, attraverso la riduzione della fertilità degli afidi e la produzione di composti volatili attrattivi per il parassitoide *Aphidius ervi* Haliday (Coppola *et al*., 2017; Digilio *et al*., in prep.). L'interazione con altri ceppi, invece, non ha mostrato un impatto sullo

sviluppo degli afidi, e in un caso è stato osservato aumento della fertilità (Battaglia *et al*., 2013), una possibile conseguenza dell'effetto di promozione della crescita della pianta. Entrambi i percorsi (JA e SA) sono attivati anche nell'interazione tra *T. harzianum* T78, pomodoro e il nematode galligeno *Meloidogyne incognita*, ma in momenti diversi dell'attacco: nella fase di invasione è attivato il percorso del salicilato, come è attestato dall'accumulo di PR protein, marker specifici di questo tipo di risposta, mentre alla formazione delle galle è attivato JA (accumulo di inibitori di proteasi), per poi tornare all'induzione di SA nella fase di riproduzione del nematode (Martinez-Medina *et al*., 2017). Questo mostra come le difese inducibili consentono alla pianta di modulare le proprie difese nel corso del suo ciclo biologico.

I casi di difese inducibili presentati sono ricchi di possibilità applicative, potendo avere un ruolo importante nella protezione delle colture, attraverso l'uso di elicitori in grado di stimolare i percorsi metabolici di difesa della pianta o mediante l'inoculazione di microrganismi utili. Già sono applicati con successo metodi basati sull'utilizzo dei VOC rilasciati dalla pianta in seguito all'attacco degli insetti fitofagi (per una revisione recente v. Turlings & Erb, 2018), che richiamano i nemici naturali ma possono anche essere repellenti o tossici nei confronti dei fitofagi stessi.

BIBLIOGRAFIA

Alborn H.T., Turlings T.C.J., Jones T.H., Stenhagen G., Loughrin J.H., Tumlinson J.H., 1997 – *An elicitor of plant volatiles from beet armyworm oral secretion*. - Science, 276, 945-948.

Atamian H.S., Chaudhary E., Dal Cin V., Bao E., Girke T., Kaloshian, I., 2013 – *In planta expression of potato aphid* Macrosiphon euphorbiae *e ectors Me10 and Me23 enhances aphid fecundity*. - MPMI, 26: 67-74.

Battaglia D., Bossi S., Cascone P., Digilio M.C., Prieto J.D., Fanti P., Guerrieri E., Iodice L., Lingua G., Lorito M., Maffei M.E., Massa N., Ruocco M., Sasso R., Trotta V., 2013 – *Tomato Below Ground-Above Ground Interactions:* Trichoderma longibrachiatum *Affects the Performance of* Macrosiphum euphorbiae *and Its Natural Antagonists*. - MPMI, 26: 1249-1256.

Bos J.I. B., Prince D., Pitino M., Maffei M. E., Win, J., Hogenhout S.A., 2010 – *A functional genomics approach identifies candidate effectors from the aphid species* Myzus persicae *(green peach aphid).* PLoS Genetics 6:e1001216. doi: 10.1371/journal.pgen.1001216 et al 2010 effector.

Bricchi I., Leitner M., Foti M., Mithöfer A., Boland W., Maffei M.E., 2010 – *Robotic mechanical wounding (MecWorm) versus herbivore-induced responses: early signaling and volatile emission in Lima bean (*Phaseolus lunatus *L.)*. - Planta, 232: 719-729.

Chaudhary R., Atamian H.S., Shen Z., Briggs S.P., Kaloshian I., 2014 – *GroEL from the endosymbiont* Buchnera aphidicola *betrays the aphid by triggering plant defense.* - Proc Natl Acad Sci USA 111: 8919-8924.

Coppola M., Cascone P., Chiusano M.L., Colantuono C., Lorito M., Pennacchio F., Rao R., Woo S.L., Guerrieri E., Digilio M.C., 2017 – Trichoderma harzianum *enhances tomato indirect defense against aphids*. - Insect Science, 24: 1025-1033.

Coppola M., Manco E., Vitiello A., Di Lelio I., Giorgini M., Rao R., Pennacchio F., Digilio M.C., 2018 – *Plant response to aphid attack promotes their dispersal behaviour.* - Entomol. Exp. Appl., in stampa.

De Moraes C.M., Lewis W.J., Parè P.W., Alborn H.T., Tumlinson J.H., 1998 – *Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids*. - Nature, 393: 570-571.

Elzinga D.A., de Vos M., Jander G., 2014 – *Suppression of plant defenses by a* Myzus persicae *(green peach aphid) salivary e ector protein*. - MPMI, 27: 747-756.

Felton GW., Eichenseer H., 2000 – *Herbivore saliva and its effects on plant defense against herbivores and pathogens*. In: Induced plant defenses against pathogens and herbivores, Agrawal A.A., Tuzun S. & E. Bent Ed., APS Press, pp. 19-38.

Furch A.C.U., van Bel A.J.E., Fricker M.D., Felle H.H., Fuchs M., Hafke J.B., 2009 – *Sieve element Ca2+ channels as relay stations between remote stimuli and sieve tube occlusion in* Vicia faba. - Plant Cell, 21: 2118-2132.

Green T.R., Ryan C.A., 1972 – *Wound-Induced Proteinase Inhibitor in Plant Leaves: A Possible Defense Mechanism against Insects.* - Science, 175: 776-777.

Guerrieri E., Lingua G., Digilio M.C., Massa N., Berta G., 2004 – *Do interactions between plant roots and the rhizosphere affect parasitoid behaviour?* - Ecological Entomology., 29: 753-756.

Kettles G.J., Kaloshian I., 2016 – *The potato aphid effector Me47 is a Glutathione-S-Transferase involved in modifying plant responses to aphid infestation*. - Frontiers in Plant Science, 7: 1142.

Lorito M., Woo S.L., 2015 – Trichoderma*: a multipurpose tool for IPM*. Chapter 36. In: Principles of Plant-Microbe Interactions, B. Lugtenberg Ed., Springer International Publishing, Switzerland, pp. 345-353.

Martinez-Medina A., Fernández I., Lok G.B., Pozo M.J., Pieterse C.M. J., Van Wees S.C.M., 2017 – *Shifting from priming of salicylic acid- to jasmonic acid-regulated defences by* Trichoderma *protects tomato against the root knot nematode* Meloidogyne incognita. - New Phytologist, 213: 1363-1377.

Matsui R., Amano N., Takahashi K., Taguchi Y., Saburi W., Mori H., Kondo N., Matsuda K., Matsuura H., 2017 – *Elucidation of the biosynthetic pathway of cis-jasmone in* Lasiodiplodia theobromae. - Scientific Reports, 7: 6688. http://doi.org/10.1038/s41598-017-05851-7

Mattiacci L., Dicke M., Posthumus M.A., 1995 – *beta-Glucosidase: an elicitor of herbivore-induced plant odor that attracts host-searching parasitic wasps*. - PNAS USA, 92: 2036-40.

Miles P.W., 1965 – *Studies on the salivary physiology of plant-bugs: the salivary secretions of aphids*. - J. Insect Physiol., 11: 1261-1268.

Mithöfer A., Wanner G., Boland W., 2005 – *Effects of feeding* Spodoptera littoralis *on lima bean leaves, II: continuous mechanical wounding resembling insect feeding is sufficient to elicit herbivory-related volatile emission*. - Plant Physiol., 137:1160-1168.

Mutti N.S., Louis J., Pappan L.K., Pappan K., Begum K., Chen M.S., 2008 – *A protein from the salivary glands of the pea aphid,* Acyrthosiphon pisum*, is essential in feeding*

on a host plant. - PNAS USA, 105: 9965–9969. doi: 10.1073/pnas.0708958105 et al 2008 C002

Paré P.W., Alborn H.T., Tumlinson J.H., 1998 – Concerted biosynthesis of an insect elicitor of plant volatiles. - PNAS USA, 95: 13971-5.

Rassmann S., Bennett A., Biere A., Karley A., Guerrieri E., 2017 – *Root symbionts: powerful drivers of plant indirect defences*. - Insect Science, 24: 947-960.

Tjallingii W.F., 2006 – *Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses*. - J. Exp. Bot., 57: 739-745.

Tjallingii W.F., 1988 – *Electrical recording of stylet penetration activities*. In Aphids, Minks A.K. & P. Harrewijn Ed., Elsevier, 2B: 95-108.

Turlings T.C.J., Erb M., 2018 – *Tritrophic interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: mechanisms, ecological relevance, and application potential.* - Annu. Rev. Entomol., 63: 433-452.

van Bel A.J.E., Will T., 2016 – *Functional evaluation of proteins in watery and gel saliva of aphids*. - Frontiers in Plant Science, 7: 1840. doi: 10.3389/fpls.2016.01840

Will T., van Bel A.J.E., 2006 – *Physical and chemical interactions between aphids and plants*. - J. Exp. Bot., 57: 729-737.

Will T., Tjallingii W.F., Thönnessen A., van Bel A.J.E., 2007 – *Molecular sabotage of plant defense by aphid saliva*. - PNAS USA, 104: 10536-10541

Seduta pubblica, Napoli 17 novembre 2017

Tavola Rotonda su:

IL CONTRIBUTO DELL'ENTOMOLOGIA NEI CASI GIUDIZIARI E NELLE RICOSTRUZIONI STORICHE: UNA PASSEGGIATA TRA L'ENTOMOLOGIA FORENSE E L'ARCHEOENTOMOLOGIA FUNERARIA

Coordinatore:
Stefano Vanin, University of Huddersfield (UK)

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 205-208

UNA PASSEGGIATA TRA L'ENTOMOLOGIA FORENSE E L'ARCHEOENTOMOLOGIA FUNERARIA

STEFANO VANIN (*)

(*) *School of Applied Sciences, University of Huddersfield, Queensgate HD1 3DH, Huddersfield UK;* e-mail: stefano.vanin@hud.ac.uk, stefano.vanin@gmail.com

Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Il contributo dell'entomologia nei casi giudiziari e nelle ricostruzioni storiche: una passeggiata tra l'entomologia forense e l'archeoentomologia funeraria" - Napoli, 17 novembre 2017

A journey through forensic entomology and funerary Archaeoentomology

Funerary archaeoentomology is the application of the principles and techniques used in forensic entomology to human and animal remains, tombs, mummies and other burials of archaeological interest. The two disciplines, forensic entomology and funerary archaeoentomology, are separate and well distinct despite sharing the same bulk of knowledge related to insect colonization of bodies and carrions, and using some common techniques for the collection and analysis of the samples. In the last years, both disciplines are having an increase of interest in Italy however forensic pathologists, layers, magistrates and archaeologists need to be made aware of the potentiality of the entomological analyses both in a forensic and archaeological context.

KEY WORDS: Archaeology, body decomposition, burrials, body colonization.

Alcuni insetti, appartenenti a gruppi sistematici diversi (Diptera, Coleoptera, Lepidoptera e Hymenoptera) sono attratti dai corpi in decomposizione. Il cadavere costituisce infatti una importante risorsa energetica utilizzabile dalle specie saprofaghe per il loro sviluppo. Alle specie saprofaghe (prevalentemente ditteri, coleotteri e lepidotteri) si associano poi i relativi predatori (prevalentemente coleotteri), parassiti e parassitoidi (imenotteri) completando così la rete trofica associata ad un corpo in decomposizione.

Il primo caso di cui si abbia notizia in cui gli insetti sono stai utilizzati nel campo investigativo risale al XIII secolo in Cina e tratta di un omicidio il cui colpevole fu smascherato direttamente dalle mosche capaci di individuare le tracce di sangue presenti sul suo falcetto, arma del delitto, abilmente esposto dal magistrato incaricato del caso (BENECKE, 2001).

Che gli insetti siano associati con la morte e la decomposizione dei corpi era cosa ben nota fin dall'antichità e più volte riportata nei testi sacri di diverse religioni e culture e descritta in numerose iconografie antiche e più recenti. Numerose sono infatti le rappresentazioni di organismi vermiformi che escono dai corpi o dagli scheletri incisi su pietre tombali e sarcofagi medioevali.

L'attività di decomposizione degli insetti sui corpi è stata interpretata e gestita in diverse culture in modi diversi e talvolta antitetici tra loro. I processi di mummificazione messi in atto nell'antico Egitto erano volti a impedire la decomposizione dei corpi e a tener lontani gli insetti come tra l'altro si ritrova illustrato in diversi papiri ed iscrizioni dove sacerdoti muniti di bastoni o forche tengono lontani gli insetti dai corpi. Al contrario, nella cultura Moche o Mochica, una delle culture pre-Colombiane del Perù settentrionale esistita tra il 100 e il 750 d.C., e in molte altre dell'America centro meridionale le mosche, sviluppatesi dalle carni avevano il compito di trasferire l'anima del defunto verso le divinità (HUCHET e GREENBERG, 2010). Allontanati nel primo caso, considerati vettori delle divinità nel secondo, gli insetti legati alla decomposizione comunque hanno sempre attratto l'interesse e la curiosità dell'uomo.

Il salto da mera curiosità a studio scientifico dei processi decompositivi e della colonizzazione da parte degli insetti fu fatto per la prima volta dal medico francese Mathie Joseph Bonaventura Orfila nel 1800 (1787-1853). Tale autore cita tra "gli insetti che si possono trovare di preferenza sui cadaveri e che su di essi depongono le uova" le seguenti specie: "*musca tachina simplex* de Meigen; *vomitoria*, *caesarea*, *domestica*, *carnaria*, *furcata*; *scatophaga stercoraria*; *tyreophora cynophila*; *anthrenus*; *dermestes*; *hister*; *necrophorus*; *silpha*; *ptenus fur*, *imperialis*; *oxyporus*, *lathrobium*; *poederus*; *stenus*; *oxytelus*; *tachinus*; *aleochara*; *noterus*; *scarites*; *harpalus*; *julus lepisma*." (ORFILA e LESUEUR, 1831).

Ma il grande e definitivo passo che ha portato alla nascita della attuale entomologia forense si deve al veterinario militare ed entomologo francese Jean Pierre Mégnin (1828-1905) con le sue pubblicazioni sulle faune delle tombe e dei cadaveri e le relative

– Pubblicato aprile 2018

applicazioni nell'entomologia forense (MÉGNIN, 1887 e 1894)

È tuttavia da ricordare che già nel 1855 sempre in Francia il medico Louis François Etienne Bergeret conosciuto come Bergeret d'Arbois (1814-1893) aveva pubblicato un caso di infanticidio risolto grazie all'approccio entomologico (BERGERET D'ARBOIS, 1855).

L'entomologia forense ai giorni d'oggi si può definire come quella Scienza che applica le conoscenze sugli insetti nelle indagini e nei processi penali e civili. Essa si articola in entomologia urbana, entomologia dei prodotti immagazzinati ed entomologia forense (*sinsu stricto*) o medico-legale. L'ultima, ovvero quella che si occupa degli eventi peri e post mortali è quella di nostro interesse in questa trattazione. La domanda principale, sebbene non sia la sola, alla quale l'entomologia forense tenta di dare una risposta è quella legata all'epoca della morte o meglio alla stima del tempo intercorso dal decesso conosciuto come Post Mortem Interval (PMI) (VANIN, 2018). Nell'immediatezza della morte lo studio e la valutazione dell'*algor* (temperatura), del *livor*, del *rigor mortis* e della concentrazione di ioni potassio nell'humor vitreo permettono una stima del tempo trascorso dalla morte. Tali parametri sono tuttavia utilizzabili per i primi giorni dopo il decesso e sono del tutto inutilizzabili in caso di cadaveri bruciati, depezzati o altrimenti seriamente danneggiati. In questi casi la valutazione del tempo di colonizzazione degli insetti è un parametro importante e talvolta il solo per una stima del tempo minimo dal decesso (mPMI).

Le principali fasi della decomposizione di un cadavere possono essere riassunte in cinque momenti: cadavere fresco, fase enfisematosa, decomposizione attiva, decomposizione avanzata e scheletrizzazione. Gli insetti che per primi accedono al cadavere, sono le mosche delle famiglie Calliphoridae e Muscidae alle quali seguono tra la fase di cadavere fresco e la fase enfisematosa quelle appartenenti alla famiglia Sarcophagidae, comunemente note come mosche carnarie e facilmente riconoscibili per le tre strie nere presenti sul torace. Durante la decomposizione attiva deporranno le uova sul cadavere sia altri tipi di mosche appartenenti alle famiglie Piophilidae, Muscidae e Fanniidae che i coleotteri appartenenti alle famiglie Cleridae e Dermestidae. I coleotteri rappresentano una importante parte della comunità che si sviluppa su un cadavere in fase di decomposizione avanzata in cui ormai il corpo ha perso la maggior parte del suo contenuto di liquidi. Acari e lepidotteri delle famiglia Tineidae sono anch'essi in grado di colonizzare i tessuti secchi di un cadavere nelle sue ultime fasi di decomposizione.

Le tracce del passaggio di differenti specie di mosche possono essere desunte dal ritrovamento sul corpo dei pupari all'interno dei quali è avvenuta la metamorfosi da larva ad adulto. Lo stesso vale anche per i frammenti di cuticola delle mute dei coleotteri (*exuviae*) e per i bozzoli di alcuni lepidotteri. Talvolta comunque si possono trovare sul corpo anche i resti degli insetti adulti.

La cuticola che costituisce il rivestimento esterno degli insetti (e quindi anche dei pupari) è costituita fondamentalmente da chitina e proteine tra loro strettamente legate per la presenza di legami a idrogeno tra le diverse catene di chitina e per i processi di sclerificazione (tannizzazione chinonica o disidratazione controllata delle catene). La cuticola è quindi particolarmente resistente, anche per la presenza di cere e glicoproteine, nel suo strato più esterno. La resistenza della chitina ha permesso il ritrovamento di pupari di mosche tra gli escrementi dei Mammut o di frammetti di altri insetti nei sedimenti profondi di laghi e lagune del Quaternario (~2,6 milioni di anni fa) permettendo di ricostruirne le faune e di avere informazioni sull'ecologia ed il clima di queste aree (GAUTIER e SCHUMANN, 1973, GERMONPRÉ e LECLERCQ, 1994).

Alla luce delle osservazioni circa la resistenza della cuticola precedentemente elencate e circa l'associazione tra insetti e cadaveri, non stupisce la possibilità di trovare insetti o frammenti di insetti nelle mummie o in corpi inumati diversi anni fa o tra i loro vestiti o beni. Le informazioni che da essi si possono trarre possono aiutare nella comprensione di pratiche funerarie del passato (DIRRIGL e GREENBERG, 1995; GILBERT e BASS, 1967, HUCHET e GREENBERG, 2010, NYSTROM *et al.,* 2005), di fenomeni tanatologici del cadavere (GAUDIO *et al.,* 2015, HUCHET e GREENBERG, 2010, VANIN *et al.*, 2009, WOOD, 1976, WYLIE *et al.,* 1987) e delle condizioni igienico-sanitarie delle popolazioni indagate (CAPASSO e Di Tota, 1998; EWING, 1924; HUCHET, 1996; RAOULT *et al.*, 2006; REINHARD e BUIKSTRA, 2003; RICK *et al.,* 2002). Gli insetti possono inoltre fornire informazioni sugli spostamenti che alcune mummie hanno subito nel corso dei secoli viaggiando di paese in paese come doni o reperti archeologici.

È nata così negli ultimi anni quella che è stata definita l'archeoentomologia funeraria, termine coniato nel 1996 dal francese Jean Bernard Huchet (1996). Si tratta di un approccio originale all'interpretazione delle sepolture o comunque del ritrovamento di resti umani in un contesto archeologico. La metodologia di studio è la stessa dell'entomologia forense, *mutatis mutandi*, ma in un contesto non più legale quanto archeologico.

È da sottolineare come le due discipline, l'entomologia forense e l'archeoentomologia funeraria sono distinte e ben separate sebbene condividano la stessa mole di informazioni relative agli insetti associati ai cadaveri ed usino spesso le stesse metodiche di campionamento,

preparazione e analisi dei campioni. La differenza sta nel fatto che non ha alcun senso riferirsi all'entomologia forense (dal latino *forum*, relativo al tribunale) in contesti archeologici, riferendosi il termine forense solo ad un mandato dell'autorità giudiziaria. Una cosa diversa è l'archeologia forense, dove tecniche di archeologia sono impiegate in casi di interesse forense per la ricerca, lo scavo ed il recupero di resti umani e di altri oggetti eventualmente ad essi associati.

L'archeoentomologia funeraria si sta progressivamente sviluppando anche in Italia, con interessanti risultati soprattutto per la grande quantità di inumazioni di varie epoche e il gran numero di mummie conservate in cripte ed altri luoghi di culto. Nel nostro paese infatti tale disciplina è stata applicata negli ultimi anni allo studio di una mummia egiziana conservata nell'isola di San Lazzaro degli Armeni a Venezia (Huchet, 2010), sui resti di un soldato italiano trovato tra le montagne vicentine (Vanin *et al.,* 2009), sulle mummie di Roccapelago, nell'Appennino modenese (Vanin, 2012), su alcune mummie di Castelsardo in Sardegna (Giordani *et al.,* 2018), sulle mummie di Monsanpolo del Tronto ad Ascoli Piceno, su una mummia egiziana conservata a Milano e sui resti di alcuni beati nel Monferrato (Vanin, in preparazione).

Nel caso del ritrovamento di pupari all'interno delle giberne appartenenti ai resti di un soldato italiano morto in provincia di Vicenza durante la Grande Guerra, si è potuto risalire per esempio alla stagione potenziale della sua morte e così accorciare la lista dei dispersi al fine dell'identificazione personale. La presenza infatti dei pupari della specie *Protophormia terranovae* Robineau-Desvoidy, 1830 (Diptera, Calliphoridae) e di altri elementi legati all'abbigliamento del soldato ha permesso di collocarne il decesso nella tarda primavera. Tale dato è stato poi confermato dall'analisi delle operazioni belliche in quella parte di fronte (Vanin *et al.,* 2009).

Interessante risulta altresì il ritrovamento, tra i resti delle mummie di Castelsardo, in Sardegna dei pupari, ben conservati di *Phormia regina* (Meigen, 1826) (Diptera, Calliphoridae). Questa specie, al momento, non risulta essere elencata tra le specie della Sardegna. Esemplari di tale specie, raccolti in Sardegna, non sono presenti nemmeno nelle collezioni museali, facendo pensare ad una estinzione della specie nell'Isola. Non sono da scartare tuttavia altre ipotesi ed ulteriori indagini di campo sono necessarie per risolvere il problema.

Entomologia forense e l'archeoentomologia funeraria sono due discipline che camminano a braccetto, i dati del presente possono aiutare nella comprensione del passato e allo stesso tempo la mole di dati del passato può essere la chiave per la comprensione di eventi del presente in un processo non tautologico ma al contrario sinergico. Affinché le due discipline possano maturare e produrre ulteriori frutti nel territorio nazionale è auspicabile un aumento delle conoscenze delle potenzialità dell'entomologia tra medici legali, forze dell'ordine, magistrati e giudici da una parte, tra gli archeologi dall'altra. Quello che agli occhi dei non specialisti viene considerato come "sporco" o "contaminante" può al contrario, se osservato con la lente dell'entomologo fornire informazioni utili per un livello superiore e più completo di comprensione di eventi avvenuti nel passato, prossimo e remoto.

BIBLIOGRAFIA

Benecke M., 2001 – *A brief history of forensic entomology.* - Forensic Science International, 120: 2-14.

Bergeret d'Arbois L.F.J., 1855 – *Infanticide, Momification naturelle du cadaver* - Annales d'hygiène publique et de médecine légale, série 2, no 4, Jean-Baptiste Baillière, Paris.

Capasso L., Di Tota G., 1998 - *Lice buried under the ashes of Herculaneum.* – Lancet, 351: 992.

Dirrigl F.J., Greenberg B., 1995 – *The utility of insect remains to assessing human burials: a Connecticut case study.* - Archaeology of Eastern North America, 23: 1-7.

Ewing H.E., 1924 – *Lice from human mummies*. – Science, 60 : 389-390.

Gaudio D., Betto A., Vanin S., De Guio A., Galassi A., Cattaneo C., 2015 – *Excavation and study of skeletal remains from a World War I mass grave.* - International Journal of Osteoarchaeology, 25: 585-592.

Gautier A., Schumann H., 1973 – *Puparia of the subarctic or black blowfly* Protophormia terraenovae *(Robineau-Desvoidy, 1830) in a skull of a Late Eemian(?) bison at Zemst, Brabant (Belgium).* - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 14 : 119-125.

Germonpré M., Leclercq M., 1994 – *Les pupes de* Protophormia terraenovae *associées à des mammifères pléistocènes de la Vallée flamande (Belgique).* - Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre, 64: 265-268.

Gilbert B.M., Bass W.M., 1967 – *Seasonal dating of burials from the presence of fly pupae.* - American Antiquity, 32: 534-535.

Giordani G., Tuccia F., Floris I., Vanin S., 2018 – *First record of* Phormia regina *(Meigen, 1866) (Diptera: Calliphoridae) from mummies at the Sant'Antonio Abate Cathedral of Castelsardo, Sardinia, Italy*. - PeerJ, 6: e4176.

Huchet J.-B., 1996 – *L'archéoentomologie funéraire: une approche originale dans l'interprétation des sépolture.* - Bulletin et Mémoires de la Société d'Antropologie de Paris, 3-4: 299-311.

Huchet J.-B., 2010 – *Archaeoentomological study of the insect remains found within the mummy of Namenkhet Amun (San Lazzaro Armenian Monastry, Venice/Italy).* -Advances in Egyptiology, 1: 59-80.

Huchet, J.B., Greenberg, B., 2010 – *Flies, Mochicas and burial practices: a case study from Huaca de la Luna, Peru.* - Journal of Archaeological Science, 37: 2846-2856.

Mégnin J.P., 1887 – *La faune des tombeaux.* - Compte Rendu Hebdomadaire des Séances de l'Académie des Sciences, Paris, 105: 948-951.

Mégnin J.P., 1894 – *La faune des cadavres application de l'entomologie à la médecine légale.* Masson G.-Gauthier-

Villards et fils, Paris. [http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k73846n/f6.item].

NYSTROM K.C., GOFF A., GOFF M.L., 2005 – *Mortuary behaviour reconstruction through palaeoentomology: a case study from Chachapoya, Perú.* - International Journal of Osteoarchaeology, 15: 175-185.

ORFILA M.J.-B., LESUEUR M. O., 1831 – *Traité des exhumations juridiques et considérations sur les changemens physiques que les cadavres éprouvent en se pourrissant dans la terre, dans l'eau, dans les fosses d'aisance et dans le fumier.* Vol. 1-2, Béchet jeune (Paris). [http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k206620k].

RAOULT D., DUTOUR O., HOUHAMDI L., JANKAUSKAS R., FOURNIER P.E., ARDAGNA Y., DRANCOURT M., SIGNOLI M., LA V.D., MACIA Y., ABOUDHARAM G., 2006 – *Evidence for louse-transmitted diseases in soldiers of Napoleon's Grand Army in Vilnius.* - The Journal of infectious diseases, 193: 112-120.

REINHARD K.J., BUIKSTRA J., 2003 – *Louse infestation of the Chiribaya culture, southern Peru: variation in prevalence by age and sex.* - Mem. Inst. Oswaldo Cruz, 98 (Suppl 1): 173-179.

RICK F.M., ROCHA G.C., DITTMAR K., COIMBRA C.E. JR., REINHARD K., BOUCHET F., FERREIRA L.F., ARAUJO A., 2002 – *Crab louse infestation in pre-Columbian America*. - The Journal of Parasitology, 88: 1266-1267.

VANIN S., 2012 – *Archeoentomologia funeraria: risultati e prospettive dallo studio delle mummie di Roccapelago*. In: Roccapelago e le sue mummie: studio integrato della vita di una piccola comunità dell'Appennino tra XVI e XVIII secolo, pp. 225-229.

VANIN S., 2018 – *Entomologia Forense: uno sguardo di dettaglio.* - Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, 65: 33-36.

VANIN S., TURCHETTO M., GALASSI A., CATTANEO C., 2009 – *Forensic Entomology and the Archaeology of War.* - Journal of Conflict Archaeology, 5: 127-139.

WOOD W.B., 1976 – *The skeletal material from the Brooloo range and Rocky hole creek burial sites.* - Archaeology and Physical Anthropology in Oceania, 11: 175-185.

WYLIE F.R., WALSH G.L., YULE R.A., 1987 – *Insect damage to aboriginal relics at burial and rock-art sites near carnarvon in central Queensland*. - Australian Journal of Entomology, 26: 335-345.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 209-213

LA STIMA DELL'EPOCA DI MORTE: UNA SFIDA PER IL MEDICO-LEGALE

CARLO PIETRO CAMPOBASSO (*) - FRANCESCO DE MICCO (**) - VALENTINA BUGELLI (**)

(*) *Dipartimento di Medicina Sperimentale - Università degli Studi "L. Vanvitelli", Napoli*
(**) *Dipartimento di Medicina e Scienze per la Salute - Università del Molise, Campobasso*
Corresponding Author: Carlo P. Campobasso; e-mail: carlopietro.campobasso@unicampania.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Il contributo dell'entomologia nei casi giudiziari e nelle ricostruzioni storiche: una passeggiata tra l'entomologia forense e l'archeoentomologia funeraria" - Napoli, 17 novembre 2017

PMI estimation a challenge for forensic pathologists

La stima dell'epoca della morte rappresenta tuttora una sfida irrisolta per il medico legale. Lo studio delle modificazioni post-mortali si è basato tradizionalmente su elementi essenzialmente descrittivi senza che a questi fosse possibile correlare con precisione statistica una ben determinata cronologia, ovvero un definito intervallo post-mortale (PMI). Nel primo periodo seguente la morte, le stime basate sulle modificazioni post-mortali consentono di supportare con buona affidabilità le valutazioni medico-legali. Quando tuttavia i tradizionali fenomeni abiotici non siano meglio utilizzabili ed i resti cadaverici risultino colonizzati da insetti, questi ultimi possono rappresentare un vero e proprio orologio biologico utile alla stima del PMI in grado di compensare l'incertezza valutativa del medico legale. L'impulso dato dalla entomologia forense alla ricerca della decomposizione cadaverica e alla valutazione della sua cronologia rappresenta il contributo più alto dato alla medicina legale nell'ottica di una necessaria collaborazione inter-disciplinare atta a garantire una completa e appropriata indagine forense.

KEY WORDS: Time since death; post-mortem interval, decomposition, forensic entomology, Diptera and Coleoptera.

INTRODUZIONE

La stima dell'epoca di morte rappresenta tuttora una vera sfida per il medico legale (BYARD, 2017). Le aspettative generate da ben noti serial televisivi e dal cinema di successo non corrispondono alla realtà pratica quotidiana. Difficilmente il medico legale è in grado di determinare l'epoca di morte in maniera così precisa come rappresentato nelle riproduzioni cinematografiche e televisive. Tuttavia, la scarsa accuratezza delle stime sull'epoca della morte non è segno della inconsistenza dei principi scientifici che sono alla base del metodo utilizzato dal medico legale e che spesso si avvalgono di manovre semeiologiche atte a valutare l'andamento delle modificazioni post-mortali (raffreddamento, ipostasi, rigidità cadaverica). Esse risentono essenzialmente della grande variabilità biologica e ambientale in grado di interferire sul livello di precisione di queste stime (SAUKKO e KNIGHT, 2004).

METODI DI VALUTAZIONE DELL'INTERVALLO POST-MORTALE

In letteratura specialistica nessun argomento ha riscosso maggiore interesse quanto la messa a punto di un metodo statisticamente affidabile nella stima dell'epoca di morte (HENSSGE e MADEA, 2007). Attualmente utilizzando il raffreddamento post-mortale, ed in particolare, il cosiddetto nomogramma di Henssge, è possibile definire l'epoca di morte con elevato livello di confidenza solo fino a 80-100h (3-4gg) con livello di confidenza del 95% (HENSSGE e MADEA, 2007). Classicamente il medico legale si avvale di una lettura combinata dei fenomeni post-mortali più classici (raffreddamento, rigidità, ipostasi) la cui maggiore utilità si osserva nel primo periodo post-mortale (intervalli generalmente non superiori ai 4-6 giorni). Infatti, una volta realizzatisi in tutta la loro evoluzione, tali parametri non sono più utilizzabili a scopi tanatocronologici perdendo di efficacia e valore. L'uso di altri metodi quali l'analisi dell'umor vitreo e, in particolare, l'incremento dei valori di potassio e ipoxantina (ZHOU, 2007) è in grado di prolungare i tempi fino a 100-120h (5-6gg). L'analisi della degradazione delle proteine muscolari consente di datare l'epoca di morte fino a 240h sempre con livelli di confidenza del 95% (PITTNER *et al.*, 2016a; PITTNER *et al.,* 2016b).

Innumerevoli altri metodi sono attualmente oggetto di studi quali quelli che valutano l'espressione genica dell'apoptosi ovvero del cosiddetto tanato-transcriptoma (JAVAN *et al.,* 2015; KIMURA *et al.,* 2011) e le modificazioni post-mortali nello sviluppo della comunità batterica anche detto tanatomicrobioma (SHIWEI *et al.,* 2013; METCALF *et al.,* 2016). Tuttavia, nonostante i numerosi contributi e i notevoli sforzi profusi in tal

– Pubblicato aprile 2018

senso, i risultati delle diverse attività di ricerca hanno avuto scarso riscontro nella pratica investigativa (Madea, 2016) ad eccezione di un metodo tra tutti che è quello dell'uso degli insetti necrofagi, specie per intervalli post-mortali prolungati (orientativamente superiori ai 7 giorni).

Negli ultimi 40aa oltre un migliaio di pubblicazioni scientifiche provenienti da 50 diversi Paesi (Tomberlin e Benbow, 2015) ha dato ampia dimostrazione della utilità degli insetti necrofagi nelle indagini medico-legali non esclusivamente correlate alla stima dell'epoca di morte (Amendt *et al.,* 2011) ma anche nella diagnosi della causa di morte (v. le intossicazioni fatali che talora si avvalgono dei risultati delle analisi tossicologiche su insetti necrofagi) e nella identificazione personale (v. indagine genetica di DNA usando come substrato di analisi gli insetti associati ai resti mortali).

Entomologia cadaverica

L'uso primario, però, degli insetti associati a resti cadaverici resta quello della stima dell'epoca di morte in quanto gli esemplari entomologici (in particolare Ditteri e Coleotteri) possono rappresentare degli indicatori indiretti dell'intervallo di tempo trascorso dalla morte, quali veri e propri orologi biologici (Amendt *et al.,* 2007). Il principio scientifico alla base di tale assunto si fonda sulla stretta relazione tra sviluppo degli insetti necrofagi e temperatura ambientale di esposizione ed ancora sulla predilezione di ben determinate fasi della putrefazione cadaverica da parte di alcune specie di Ditteri e Coleotteri che in vere e proprie squadre (ondate di colonizzazione) si succedono sui resti mortali, partecipando in maniera sinergica alla decomposizione della materia organica. In un certo senso, l'entomologia cadaverica ha fatto della incertezza valutativa della medicina legale un suo punto di forza consentendo, seppur in maniera indiretta, di quantificare in valori temporali i processi biologici (v. fasi della putrefazione e relative modificazioni post-mortali) che il medico legale si limita tuttora a descrivere solo morfologicamente (Campobasso *et al.,* 2001).

In tal senso, un grande impulso alle attività di ricerca nel settore sono state fornite dalle esperienze di ricerca operate direttamente su cadaveri nel laboratorio gestito sin dal 1981 dal Dr Bill Bass, un antropologo forense della Università del Tennessee (Rodriguez e Bass, 1983 e 1985). L'Anthropological Research Facility (ARF) (anche nota come Body Farm dal titolo di un famoso romanzo di Patricia Cornwell) ha rappresentato per anni l'unico vero laboratorio in grado di studiare, secondo un rigoroso metodo scientifico, la decomposizione umana dimostrando il rilevante ruolo della microfauna nelle fasi di decadimento della materia organica (Mann *et al.,* 1990). Si tratta di conoscenze ben note alla medicina legale sin dai tempi in cui nel 1894, un medico legale francese pubblicò i risultati di uno studio su 150 esumati rilevando come le diverse fasi di decadimento trovassero corrispondenza con specifiche squadre di insetti, attratte elettivamente dai prodotti della putrefazione sprigionati da ciascuna fase (Megnin, 1894). Tali esperienze hanno avuto il merito di dare impulso alla ricerca sui temi della decomposizione e quindi, indirettamente, sui metodi di stima dell'epoca post-mortale che ha visto progressivamente il coinvolgimento di diverse branche specialistiche tra cui non solo la medicina legale, l'antropologia e l'entomologia ma anche la botanica, la geologia, l'archeologia e la paleopatologia.

Attualmente nel mondo si contano 6 diversi laboratori similari alla ARF in cui, previa definizione di un programma di donazione dei cadaveri a scopo scientifico, è possibile svolgere ricerca direttamente su materiale umano. Infatti, sin dalle esperienze del Megnin (1894) la ricerca, soprattutto di area entomologica, ha utilizzato modelli animali nei quali non solo hanno trovato conferma i principi scientifici alla base del metodo entomologico nelle indagini cadaveriche ma è stato possibile anche ricavare ulteriori informazioni sulle potenzialità degli insetti necrofagi come elementi di prova fisica, nelle indagini giudiziarie, al pari delle tracce ematiche, delle impronte dattiloscopiche, etc. Praticamente, in questi studi, sono state impiegate carcasse delle più diverse specie animali, dalle più piccole (lucertole, pesci, conigli, etc.) a quelle più grandi tra cui anche bufali ed elefanti (Cornaby, 1974; Coe, 1978). Tra queste, però, il modello animale che più di tutti si è dimostrato avvicinarsi a quello umano è concordemente attribuito al suino di peso superiore ai 50kg in quanto, negli studi comparati uomo-animale, il peso, ovvero la taglia, della carcassa animale sembra essere uno dei fattori principali in grado di interferire sulla successione della comunità di insetti necrofagi (Payne, 1965 e 1968; Avila e Goff. 1998; Wang *et al.,* 2017).

Gli studi sulla decomposizione della materia organica (condotti in maniera inter-disciplinare da medici legali ed entomologi su modelli animali e su cadaveri) hanno portato a perfezionare il parametro di giudizio dei fenomeni post-mortali attraverso la messa a punto di un sistema di valutazione più oggettivo. La relazione tra fasi della decomposizione e Accumulated Degree Days (ADD), parametro ben noto agli entomologi negli studi sui tempi di maturazione degli insetti, ha rappresentato una utile esperienza di ricerca (Megyesi *et al.,* 2005) che ha trovato successivamente ampia applicazione negli studi di tafonomia cadaverica. Infatti, la possibilità di assegnare un punteggio a ciascuno dei diversi fenomeni putrefattivi (v. la percolazione di liquami putrefattivi dalle narici o dalla bocca, la macerazione e lo sfaldamento della cute alle

mani e/o ai piedi, il rigonfiamento dei tessuti, le modifiche cromatiche della cute, la scheletrizzazione di parti anatomiche e la loro disarticolazione, etc.) che si manifestano durante il processo di decadimento ha consentito di operare una valutazione maggiormente quantitativa di questo complesso processo, aprendo le porte all'introduzione della statistica in una fenomenologia biologica studiata sempre dal punto di vista più qualitativo (Moffat *et al.,* 2016). L'introduzione di parametri quantitativi in questa fenomenologia, tradizionalmente studiata su base morfologica, rappresenta forse il maggior contributo fornito dalla entomologia alla medicina legale.

Il ruolo di batteri e insetti nel processo di decomposizione

Le tecnologie informatiche ed analitiche hanno attualmente consentito di approfondire la stretta relazione esistente tra insetti e fasi della putrefazione rilevando come la decomposizione umana sia in realtà il risultato di una profonda interazione tra insetti, comunità batterica e prodotti putrefattivi da questi generati.

Si tratta di una complessa ecologia della decomposizione in cui ciascun elemento ha trovato il modo di occupare un proprio autonomo spazio di sviluppo, partecipando in maniera sinergica alla distruzione delle componenti organiche (proteiche, lipidiche, etc.) da cui trae diretto beneficio. Per un approfondimento di questa relazione si rimanda ad un testo di recente pubblicazione (Benbow *et al.,* 2016) in cui si illustrano le ultime acquisizioni scientifiche in materia di ecologia della decomposizione che sfruttano le nuove opportunità della tecnologia moderna. Ad esempio le potenzialità della PCR e del sequenziamento di porzioni geniche ad elevata variabilità quali quelle localizzate sul tratto 16sRNA hanno consentito di acquisire nuove informazioni sulla reale composizione del microbioma umano post-mortale (costituito da una componente interna o tanatomicrobioma ed una epinecrotica di superficie) non meglio esplorabile con le tradizionali metodiche (Crippen *et al.,* 2016; Javan *et al.,* 2016; Pechal *et al.,* 2014). L'uso degli elettroantennografi e le analisi chimico-fisiche dell'aria e dei materiali di superficie ha portato a comprendere meglio i meccanismi fisiologici che regolano una funzione vitale per tutti i Ditteri quale il senso dell'olfatto (Le Blanc e Logan, 2010; Cammack *et al.,* 2016). E' stato così possibile definire meglio lo stretto legame (tipo antigene-anticorpo) esistente tra determinati composti organici volatili e gli organi di senso di alcune specie di Ditteri, in grado di identificare il profilo e la costituzione dei composti organici volatili (prodotti dalla comunità batterica post-mortale) e di localizzarne la provenienza con una specificità e sensibilità maggiore di quella presente in altre specie animali (v. cani). Su queste basi conoscitive è stato così possibile dimostrare la stretta interazione tra insetti necrofagi e comunità batterica post-mortale in una sorta di complessa competizione e sfruttamento delle risorse alimentari potenzialmente utilizzabili a scopi tanato-cronologici.

Limiti e punti di forza del metodo entomologico

Occorre ribadire che si tratta di conoscenze potenzialmente utilizzabili nelle indagini giudiziarie, in quanto, la pratica investigativa e medico-legale attualmente non è tale da tradurre da subito tali risultati della ricerca con un grado di affidabilità accettabile nella routine quotidiana (Bugelli e Campobasso, 2017). Da questo punto di vista, va ribadito il divario esistente tra ricerca di base e pratica forense, specie in ambito medico-legale. Si tratta di un argomento comune alla pratica clinica in quanto, talora, le nuove acquisizioni scientifiche e le tecnologie moderne sembrano offrire una soluzione immediata a problemi irrisolti nelle attività diagnostiche e terapeutiche di ogni giorno alimentando aspettative che, purtroppo, non possono essere soddisfatte in assenza di un percorso di validazione e standardizzazione dei risultati e delle procedure e dei materiali in uso.

In ambito tanato-cronologico, ad esempio, il contributo della entomologia è tuttora notevole e sono in atto innumerevoli sforzi per affinare e rendere sempre più affidabile il metodo di stima dell'epoca di morte superando quelle che sono attualmente le maggiori criticità applicative di questo metodo (v. diapausa, interferenza sui tempi di sviluppo indotta dalle diverse condizioni ambientali e dalla provenienza geografica, incertezza nei tempi di colonizzazione, etc.). Tra queste criticità (Villet *et al.,* 2010) quella su cui si stanno concentrando attualmente gli sforzi dei ricercatori è relativa alla definizione dell'intervallo temporale che intercorre tra la morte dell'individuo e la colonizzazione degli insetti anche detto Periodo di Pre-Colonizzazione (Pre-CI). Un periodo alquanto variabile e non meglio quantificabile se non sulla base di studi retrospettivi avuto riguardo delle caratteristiche ambientali di esposizione (temperatura, umidità, fotoperiodo, etc.). Da questo punto di vista, alcuni Autori (Tomberlin *et al.,* 2011) hanno teorizzato e prospettato dei campi di ricerca per lo più basati sulla neurofisiologia degli insetti e la composizione batterica post-mortale, in grado di determinare anche queste finestre temporali, rimaste per anni indeterminabili e tuttora non meglio definibili con certezza.

Infatti, sebbene diversi contributi scientifici portino a ritenere possibile una stima, su base neurofisiologica,

di questi intervalli temporali, la loro applicazione nella pratica forense è alquanto limitata, se non totalmente assente, e alquanto controversa. Nel merito si rimanda allo scambio epistolare tra esperti pubblicato nel 2014 sulla rivista J Med Entomol (rivista ufficiale della Entomological Society of America) in cui si faceva notare la scarsa credibilità di un metodo entomologico in grado di determinare in maniera affidabile l'intervallo di Pre-colonizzazione (Pre-CI) degli insetti (Wells, 2014; Campobasso e Introna, 2014; Tarone *et al.,* 2014; Michaud *et al.,* 2014). In tal senso, si deve convenire con quanto ribadito da Wells (2014) che nella sua nota ha invitato tutti coloro che si cimentano in stime del PMI col metodo entomologico ad usare acronimi e definizioni ben chiare, ricordando come ciò che gli entomologi sono in grado di determinare non è tanto l'epoca di morte ma il Periodo di Attività degli Insetti (PIA) che è cosa diversa dall'epoca di morte. In tal senso si era già espresso un noto articolo sulle Best Practice internazionali (Amendt *et al.,* 2007), a cura di un gruppo di lavoro dell'European Association for Forensic Entomology (EAFE) che nel 2007 aveva puntualizzato questa differenza sostanziale e terminologica. Al riguardo si specifica che è compito del medico legale rispondere al quesito sull'epoca di morte mentre l'entomologo forense, attraverso lo studio e analisi della comunità di insetti associati ai resti cadaverici, può esprimersi più propriamente sul periodo in cui questi sono stati realmente attivi sugli stessi ovvero sul periodo di attività degli insetti (PIA) ovvero sul periodo post-colonizzazione (Post-CI). Quest'ultimo spesso identifica un intervallo temporale che può coincidere con il periodo post-mortale minimo (PMImin) ma talora può coprire una finestra temporale ben superiore all'epoca di morte come, ad esempio, nei casi di miasi in cui la colonizzazione degli insetti interviene su individui ancora in vita e non deceduti. Il principio scientifico su cui si basa tale metodo è quello di valutare l'epoca di sviluppo dei Ditteri in rapporto alle temperature di sviluppo ovvero si fonda sull'analisi di una prova scientifica rappresentata da esemplari immaturi di Ditteri e/o Coleotteri associati al substrato cadaverico di cui si sono cibati e su cui si sono appunto sviluppati.

Ne consegue che, come osservato a ragione da Wells (2014), attualmente prospettare come possibile la stima del Pre-CI appare "*esoterico e impraticabile*" in una realtà processuale. E tanto in ragione del fatto che viene meno l'elemento fisico di prova attraverso il quale il metodo entomologico supporta il giudizio medico-legale (Wells, 2014). Ci si baserebbe su deduzioni ipotetiche che, pur frutto di sperimentazioni metodologicamente valide, non sempre possono riprodurre le caratteristiche del caso specifico. Qualora si prestasse credito alle potenzialità di stima del Periodo Pre-CI, in assenza di una sua validazione e verifica su larga scala, ci si dovrebbe attendere da parte dei magistrati e degli avvocati un quesito aggiuntivo a quelli classicamente posti in una indagine cadaverica. Ovvero oltre alle domande classiche "*quando i ditteri colonizzarono il cadavere? Quando deposero uova e larve su di esso? In quali condizioni ambientali?*", dando credito alle potenzialità di stimare il periodo Pre-CI su base neurofisologica, occorrerà rispondere anche alla eventuale possibile domanda "*quando i ditteri ebbero a localizzare l'odore putrefattivo del cadavere?*".

Conclusioni

Appare di tutta evidenza che si tratta di ambiti di ricerca in ambito entomologico e di ecologia della decomposizione che necessitano di ulteriore approfondimento e validazione per una loro applicazione in ambito forense la cui road-map è stata, però, correttamente segnata e merita di essere perseguita con metodo rigoroso. In tal senso, tuttavia, occorre ribadire con decisione quanto sia necessario non alimentare aspettative poco realistiche specie in ambito forense, avendo cura di illustrare i limiti e le potenzialità delle metodiche che si intende applicare (Bugelli e Campobasso, 2017) in un settore, quale quello della stima dell'epoca di morte, tuttora alquanto impreciso e ad elevato rischio di inaccuratezza (Byard, 2016). In cadaveri colonizzati da insetti, al fine di garantire una esaustiva valutazione tanato-cronologica ed evitare fuorvianti stime del PMI, è sempre auspicabile un approccio multi-disciplinare che veda la stretta collaborazione tra il medico legale e l'entomologo per una condivisione ottimale delle informazioni concernenti l'indagine mortale.

BIBLIOGRAFIA

Amendt J., Campobasso C.P., Gaudry E., Reiter C., LeBlanc H.N., Hall M.J., 2007 – *European Association for Forensic Entomology. Best practice in forensic entomology-standards and guidelines.* - Int. J. Legal Med., 121(2): 90-104.

Amendt J., Richards C.S., Campobasso C.P., Zehner R., Hall M.J., 2011 – *Forensic entomology: applications and limitations.* - Forensic Sci. Med. Pathol., 7(4): 379-92.

Avila F.W., Goff M.L., 1998 – *Arthropod succession patterns onto burnt carrion in two contrasting habitats in the Hawaiian Islands.* - J. Forensic Sci., 43(3): 581-6.

Bugelli V., Campobasso C.P., 2017 – *Basic research and applied science in forensic entomology.* - Sci. Justice., 57(3): 157-158. doi: 10.1016/j.scijus.2017.04.006.

Byard R.W., 2017 – *Timing: the Achilles heel of forensic pathology.* - Forensic Sci. Med. Pathol., 13(2): 113-114.

Cammack J.A., Pimsler M.L., Crippen T.L., Tomberlin J.K., 2016 – *Chemical ecology of vertebrate carrion*. In:

Benbow M.E., Tomberlin J.K., Tarone A.M., Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 187-211.

Campobasso C.P., Introna F., 2001 – *The forensic entomologist in the context of the forensic pathologist's role.* - Forensic Sci. Int., 120(1-2): 132-9.

Campobasso C.P., Introna F., 2014 – *Reply: Commentary on letter to the editor from Jeffrey Wells.* – J. Med. Entomol., 51(3): 492-4.

Campobasso C.P., Di Vella G., Introna F., 2001 – *Factors affecting decomposition and Diptera colonization* - Forensic Sci. Int., 120(1-2): 18-27.

Coe M., 1978 – *The decomposition of elephant carcases in the Tsavo (East) National Park, Kenya.* - Journal of Arid Environments, 1(1): 71-86.

Cornaby B.W., 1974 – *Carrion reduction by animals in contrasting tropical habitats.* - Biotropica, 6: 51-63.

Crippen T.L., Benbow M.E., Pechal J.L., 2016 – *Microbial interactions during carrion decomposition*. In: Benbow M.E., Tomberlin J.K., Tarone A.M., Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 31-63.

Henssge C., Madea B., 2007 – *Estimation of the time since death.* - Forensic Sci. Int., 165(2-3): 182-4.

Javan G.T., Can I., Finley S.J., Soni S., 2015 – *The apoptotic thanatotranscriptome associated with the liver of cadavers.* - Forensic Sci. Med. Pathol., 11(4): 509-16.

Javan G.T., Finley S.J., Abidin Z., Mulle J.G., 2016 – *The thanatomicrobiome: a missing piece of the microbial puzzle of death.* - Front. Microbiol., 7: 225.

Kimura A., Ishida Y., Hayashi T., Nosaka M., Kondo T., 2011 – *Estimating time of death based on the biological clock*. - Int. J. Legal Med., 125(3): 385-91.

Le Blanc H.N., Logan G.J., 2010 – *Exploiting Insect Olfaction in Forensic Entomology*. In: Amendt J., Goff M.L., Campobasso C.P, Grassberger M. (Eds.) Current Concepts in Forensic Entomology. Springer Netherlands, pp. 205-221.

Madea B., 2016 – *Methods for determining time of death.* - Forensic Sci. Med. Pathol., 12(4): 451-485.

Mann R.W., Bass W.M., Meadows L., 1990 – *Time since death and decomposition of the human body: variables and observations in case and experimental field studies.* - J. Forensic Sci., 35(1): 103-11.

Mégnin J.P., 1894 – *La faune des cadavres application de l'entomologie à la médecine légale* Paris: Encyclopedie Sci. Aide-Memoire.

Megyesi M.S., Nawrocki S.P., Haskell N.H., 2005 – *Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains.* - J. Forensic Sci., 50(3): 618-26.

Metcalf J.L., Wegener Parfrey L., Gonzalez A., Lauber C.L., Knights D., Ackermann G., Humphrey G.C., Gebert M.J., Van Treuren W., Berg-Lyons D., Keepers K., Guo Y., Bullard J., Fierer N., Carter D.O., Knight R., 2013 – *A microbial clock provides an accurate estimate of the postmortem interval in a mouse model system*. - Elife, 15 (2) :e01104.

Metcalf J.L., Xu Z.Z., Weiss S., Lax S., Van Treuren W., Hyde E.R., Song S.J., Amir A., Larsen P, Sangwan N, Haarmann D, Humphrey GC, Ackermann G, Thompson LR, Lauber C, Bibat A, N.C., Gebert M.J., Petrosino J.F., Reed S.C., Gilbert J.A., Lynne A.M., Bucheli S.R., Carter D.O., Knight R., 2016 – *Microbial community assembly and metabolic function during mammalian corpse decomposition.* – Science, 351(6269): 158-62.

Michaud J.P., Moreau G., Schoenly K.G., 2014 – *Reply: On throwing out the baby with the bathwater: a reply to Wells.* - J. Med. Entomol., 51(3): 494-5.

Moffatt C., Simmons T., Lynch-Aird J., 2016 – *An Improved Equation for TBS and ADD: Establishing a Reliable Postmortem Interval Framework for Casework and Experimental Studies.* - J. Forensic Sci., 61 Suppl 1: S 201-7.

Pechal J.L., Crippen T.L., Benbow M.E., Tarone A.M., Dowd S., Tomberlin J.K., 2014 – *The potential use of bacterial community succession in forensics as described by high throughput metagenomic sequencing.* - Int. J. Legal Med., 128(1): 193-205.

Pittner S., Monticelli F.C., Pfisterer A., Zissler A., Sänger A.M., Stoiber W., Steinbacher P., 2015 – *Postmortem degradation of skeletal muscle proteins: a novel approach to determine the time since death.* - Int. J. Legal Med., 130(2): 421-31.

Pittner S., Ehrenfellner B., Monticelli F.C., Zissler A., Sänger A.M., Stoiber W., Steinbacher P., 2016 – *Postmortem muscle protein degradation in humans as a tool for PMI delimitation.* - Int. J. Legal Med., 130(6): 1547-1555.

Rodriguez W.C. 3rd, Bass W.M., 1983 – *Insect activity and its relationship to decay rates of human cadavers in east Tennessee.* - J. Forensic Sci., 28(2): 423-432.

Rodriguez W.C. 3rd, Bass W.M., 1985 – *Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location.* - J. Forensic Sci., 30(3): 836-52.

Saukko P., Knight B., 2015 – *Knight's Forensic Pathology*. Fourth Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Tarone A.M., Tomberlin J.K., Johnston J.S., Wallace J.R., Benbow M.E., Mohr R., Mondor E.B., Vanlaerhoven S.L., 2014 – *Reply: A correspondence from a maturing discipline.* - J. Med. Entomol., 51(3): 490-2.

Tomberlin J.K., Benbow M.E., 2015 – *Current global trends and frontiers*. In: Tomberlin J.K., Benbow M.E. (Eds). Forensic entomology. International dimension and frontiers. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 417-422.

Tomberlin J.K., Mohr R., Benbow M.E., Tarone A.M., VanLaerhoven S., 2011 – *A roadmap for bridging basic and applied research in forensic entomology.* - Annu. Rev. Entomol., 56: 401-21.

Villet M.H., Richards C.S., Midgley J.M., 2009 – *Contemporary precision, bias and accuracy of minimum post-mortem intervals estimated using development of carrion-feeding insects.* In: Amedt J., Campobasso C.P., Goff M.L., Grassberger M. (Eds.). Current concepts in forensic entomology. Springer, Netherlands, pp. 109-137.

Wang Y., Wang J., Wang Z., Tao L., 2017 – *Insect succession on pig carcasses using different exposure time - A preliminary study in Guangzhou, China.* - J. Forensic Leg. Med., 52: 24-29.

Wells J.D., 2014 – *To the editor: Misstatements concerning forensic entomology practice in recent publications.* - J. Med. Entomol., 51(3): 489-90.

Zhou B., Zhang L., Zhang G., Zhang X., Jiang X., 2007 – *The determination of potassium concentration in vitreous humor by low pressure ion chromatography and its application in the estimation of postmortem interval.* - J. Chromatogr. B. Analyt. Technol. Biomed. Life Sci., 852(1-2): 278-81.

Atti Accademia Nazionale
Italiana di Entomologia
Anno LXV, 2017: 215-220

INFORMAZIONI NASCOSTE NELLE MUMMIE, NELLE SEPOLTURE E NEGLI ANTICHI AMBIENTI ABITATIVI: L'ARCHEOENTOMOLOGIA MEDICA DEGLI INSETTI VETTORI

GINO FORNACIARI (*)

(*) *Divisione di Paleopatologia,Dipartimento di Ricerca Traslazionale e delle Nuove Tecnologie in Medicina e Chirurgia dell'Università di Pisa Scuola Medica, Via Roma 57, 56126 Pisa;* e-mail: gino.fornaciari@med.unipi.it
Lettura tenuta durante la Tavola Rotonda "Il contributo dell'entomologia nei casi giudiziari e nelle ricostruzioni storiche: una passeggiata tra l'entomologia forense e l'archeoentomologia funeraria" - Napoli, 17 novembre 2017

Hidden information within mummies burials and ancient houses: Medical archaeoentomology of insect-vectors for investigating past epidemics

In recent years there was a new, strong interest for the cemeteries of ancient epidemics and new archaeological and molecular methods of looking at this question were adopted, and many mass and multiple burials were explored. We can mention in England the accurate excavations of the Black Death cemetery (1349), at East Smithfield in London, in France the Observance convent (1720-1722), at Marseille, the trenches of the Capucins of Ferrières in Martigues, at Bouches-du-Rhône, of same period, and the cemetery of hospital of Fédons (1590), at Lambesc. In Italy we had the discovery of the large plague cemetery of Saint Michael at Alghero (1582-1583) in Sardinia.

At present, the molecular studies clarified that the plague epidemics were caused by different strains of *Yersinia pestis*.

Regarding the insect-vectors, only the genus *Pediculus* was intensively studied so far, but a great research work remains still to do about the insects involved not only in the plague pandemics but also in epidemic typhus and in some diffuse endemic infections, as for example malaria and Chagas' disease.

In conclusion, the medical archeo-entomology will offer a potent tool for understanding the epidemiology of epidemics, eventual effects of other diseases on the emergence of plague and human-pathogen and insect-vector coevolution, addressing questions of great interest for different researchers, as historians, paleopathologists and geneticists.

KEY WORDS: plague, epidemic typhus, fleas, lice, insect-vectors.

LE SEPOLTURE DI MASSA DELLA PESTE

Negli ultimi 20 anni sono state scoperte in Europa numerose sepolture collettive di massa (o da catastrofe), che hanno notevolmente aumentato le conoscenze sulle grandi pandemie di peste, note finora solo dal punto di vista storico ed epidemiologico (POLLITZER, 1951).

Il primo ad essere accuratamente scavato e studiato è stato il grande cimitero della Peste Nera di Londra scoperto nel 1986 nel quartiere di East Smithfield, nel sito dell'antica zecca reale vicino alla Torre di Londra, con due lunghe trincee per sepolture di massa, una grande fossa comune e molte sepolture individuali. Le fosse comuni furono usate negli anni 1348-1350 e costituirono il primo cimitero della Peste Nera della città (GRAINGER *et al*., 2008).

In Francia sono stati scoperti in Provenza e Linguadoca diversi siti cimiteriali di ambiente urbano del XVIII secolo, datanti alla cosiddetta "Grande Peste" che colpì queste province nel 1720-1722. In centri urbani come Marsiglia e Martigues, la pesta uccise anche centinaia di individui al giorno e comportò l'escavazione di grandi fosse comuni e di trincee per il seppellimento dei numerosi defunti (SIGNOLI, 2006).

Lo scavo del cimitero rurale della peste del Fédons a Lambes, risalente all'aprile-settembre del 1590, ha rivelato 101 tombe ad inumazione, di cui 75 singole e 26 multiple, comprendenti due o tre deposizioni sincrone (BIZOT *et al*., 2005).

Più di recente è stato esplorato archeologicamente il cimitero della peste che colpì Alghero in Sardegna negli anni 1582-1583. L'epidemia provocò il decesso di circa il 60% della popolazione, per cui ci fu la necessità di fosse comuni. Nel corso degli scavi del 2008 sono stati rinvenuti i resti di 202 vittime della peste, sepolti in trincee piuttosto strette, con un numero massimo di 30 individui (Fig. 1), e in fosse comuni rettangolari con un numero medio di 6 individui per fossa (MILANESE, 2010).

L'ANTICA YERSINIA PESTIS

La prova sicura che la Peste Nera del 1348 fu provocata dal germe *Yersinia pestis* è una scoperta di questi ultimi anni, in quanto il primo lavoro sul DNA antico dell'agente patogeno risale al 1998 (DRANCOURT, 1998). Una vera e propria pietra miliare è costituita

– Pubblicato aprile 2018

Fig. 1 – Sepoltura di massa "in trincea" della peste di Alghero (1582-1583) (da MILANESE, 2010).

da un lavoro del 2011, con la pubblicazione dell'intero genoma di *Y. pestis* in una vittima della Peste Nera di Londra V.J. SCHUENEMANN *et al*., 2011). Nel 2013 la diagnosi molecolare è stata confermata in alcune vittime della prima pandemia di peste, detta di Giustiniano (541-543 d.C.), con il sequenziamento dell'intero genoma di un ceppo di *Y. pestis* di 1500 anni fa (HARBECK *et al*., 2013).

Il ceppo di *Y. pestis* responsabile della Peste Nera con tutta probabilità si insediò in una popolazione ospite-riserva in Europa o nell'Asia occidentale, contribuendo a ripetute poussée epidemiche.

Un importante problema riguardante entrambe le pandemie, tuttora non risolto, è il modo in cui esse possano essere continuate per diverse centinaia di anni.

Secondo una prima teoria l'agente patogeno della peste fu reintrodotto in continuazione in Europa dall'Asia centrale in diverse ondate, attraverso le grandi vie commerciali, come ad esempio la via della seta (SCHMID *et al*., 2015). Se questa ipotesi fosse vera si dovrebbero trovare genotipi diversi dell'agente patogeno, riflettenti i diversi ceppi di *Y. pestis* asiatica nelle vittime della peste delle varie epoche. Secondo un'altra teoria l'agente patogeno della peste è persistito in Europa per un lungo periodo di tempo, in vettori ancora non identificati, come ad esempio i pidocchi. In questo caso dovrebbero essere presenti nelle vittime della peste gli stessi genotipi, o genotipi molto simili fra loro, in entrambe le pandemie (BOS *et al*., 2016).

Solo le future ricerche di archeoentomologia medica potranno risolvere questo importante problema.

L'ARCHEOENTOMOLOGIA MEDICA

L'archeoentomologia medica costituisce una sottodisciplina dell'archeoentomologia ambientale focalizzata allo studio dei resti di insetti conservati nei contesti archeologici, non solo funerari ma anche abitativi (FORBES *et al*., 2013). L'approccio di studio dell'archeoentomologia medica si basa sulle preferenze di habitat delle specie reperite nelle mummie o nei livelli archeologici, per ottenere informazioni sugli insetti vettori delle malattie infettive del passato. L'interesse medico si focalizza non solo sugli acari (CHEPTOW-LUSTY *et al*., 2007; SCHELVIS, J., 1997) e i ditteri (PANAGIOTAKOPULU, 2004), ma soprattutto sui cosiddetti ectoparassiti, un gruppo di parassiti che colonizza il corpo dei loro ospiti. Il termine "ectoparassita" è riferito più a un gruppo ambientale che tassonomico, che comprende specie eterogenee di insetti che vivono da adulti sopra, o in stretta prossimità con la cute, la pelliccia o le piume dei vertebrati da cui traggono il loro cibo (HOPLA *et al*., 1994; MARSHALL, 1981).

LA PULCE

Mentre alcune specie, come la pulce del ratto *Xenopsylla cheopis*, ebbero certamente un ruolo importante nella trasmissione della peste, la pulce dell'uomo non è risultata vettore di alcuna malattia infettiva particolare (BURGESS, 1981; HUBBARD, 1968), anche se è stato provato che è in grado di trasmettere alcuni batteri (VALERA e OLARTE, 1946).

Recentemente però è stata dimostrata, anche a livello sperimentale, la trasmissione della peste mediata dai pidocchi: un unico pasto di sangue infetto è risultato sufficiente ad infettarli e nel loro organismo la *Yersinia* si è moltiplicata con facilità, producendo un'infezione generalizzata, mentre un grande numero di *Y. pestis* vitali veniva eliminato con le feci (HOUHAMDI *et al*., 2006)

Recenti ritrovamenti archeologici documentano l'esistenza della pulce dell'uomo, *Pulex irritans*, nel Vecchio Mondo fin dal Neolitico recente (BUCKLAND e SADLER, 1997) mentre alcuni esemplari di pulce dell'uomo, datati a circa 3.550 anni fa, sono state ritrovati in Egitto a Tell el Amarna (PANAGIOTAKOPULU e BUCKLAND 1999). Un gran numero di esemplari è stato reperito nella Groenlandia norrena (BUCKLAND, 1987, 1988; SADLER, 1990, 1991), nella Dublino

medievale (Sadler, 1991), a York nel periodo Anglo-scandinavo (Hall e Kenward, 1990), nella Londra del XVIII secolo (Girling, 1984), in diversi siti olandesi datati fra l'XI e il XIV secolo (Schelvis, 1994) e nei pavimenti di una "turf house" (casa con tetto di zolle di terra) islandese del XIX secolo (Forbes *et al*., 2013) (Fig. 2). Centinaia di esemplari ritrovati nel Perù meridionale su mummie di cani datate intorno al 900 d.C. attestano la presenza delle pulci prima dell'arrivo degli Europei (Dittmar *et a1*., 2003).

Egizie (Fletcher, 1994). Alcuni esemplari interi e uova di pidocchio, ritrovati su un pettine doppio da spidocchiamento di epoca romana, provengono dal deserto della Giudea in Israele (Amanzougaghene *et al*., 2016) (Fig. 3).

Il pidocchio del pube (*Phtirus pubis*) è stato ritrovato nell'Islanda post-medievale (Sadler, 1991), nella Londra del XVIII secolo (Girling, 1984) e nei contesti romani e medievali di Carlisle, in Inghilterra (Kenward, 1999: 912).

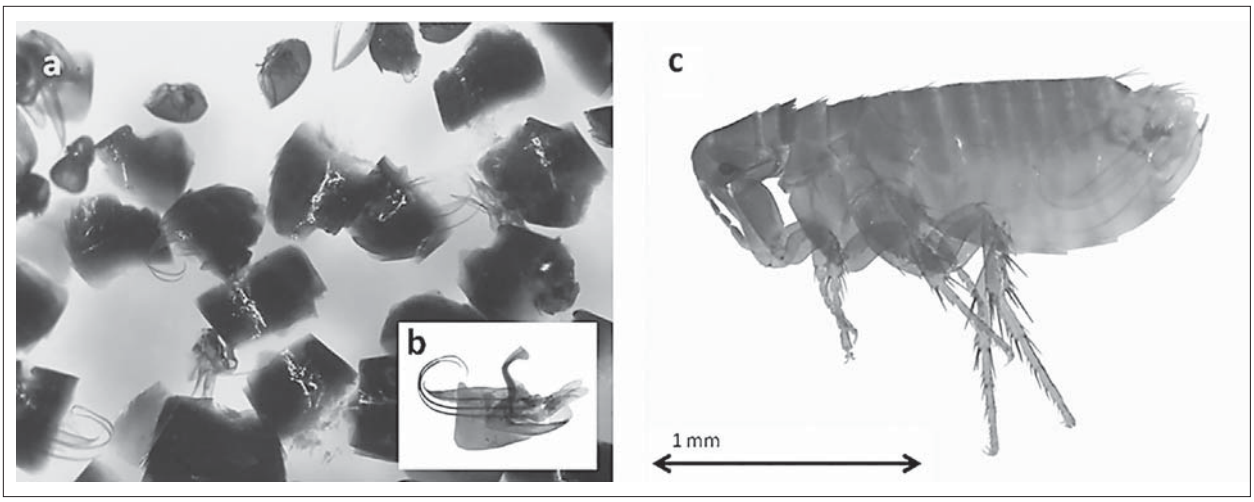

Fig. 2 – Alcuni campioni archeologici di pulci: frammenti di addome di pulce ritrovati nel pavimento di un locale adibito a cantina a a Vatnsfjörður (Islanda) (a); organi genitali ben conservati di un maschio di *Ceratophyllus garei* (pulce delle oche) (b); esemplare di *C. garei* moderno da un deposito di piume d'oca ad Æðey (Islanda) (c) (da Forbes *et al*., 2013).

Il pidocchio

Il pidocchio umano del corpo (*Pediculus humanus humanus*) costituisce il vettore del tifo epidemico, della febbre delle trincee e della febbre intermittente, mentre il pidocchio umano del capo (*Pediculus humanus capitis*) e del pube (*Phtirus pubis*) non risultano vettori di malattie infettive (Cloudsley-Thompson, 1976; Markell *et al*., 1999).

Il ritrovamento più antico di pidocchi umani del capo (*Pediculus humanus capitis*), è rappresentato da alcune lendini di pidocchio in capelli umani datati a 10.000 anni fa, scoperti in un sito archeologico del nord-est del Brasile (Araujo *et al*., 2000), mentre nel Vecchio Mondo abbiamo un reperto, in un individuo della grotta di Nahal Hemar in Israele, risalente a circa 9.000 anni fa (Zias e Mumcuoglu 1991). Pidocchi della testa e del corpo sono stati ritrovati in Groenlandia in siti norreni (Sadler, 1990, 1991; Sveinbjarnardottir e Buckland, 1983) ed esquimesi (Bresciani *et al*., 1983; Forbes *et al*., 2013). Si tratta di reperti relativamente frequenti in campioni medievali (Buckland, 1987, 1988) e post-medievali (Amorosi *et al*., 1994) dell'Islanda, su pettini datati fra l'XI e il XIV secolo ritrovati in Olanda (Schelvis, 1994) e su mummie

Più di recente, l'esame dei capelli e dei peli pubici nella mummia artificiale del re di Napoli Ferrante II d'Aragona (1467-1496) ha rivelato una doppia infestazione da *Pediculus humnus capitis* and *Pthirus pubis* (Fornaciari *et al*., 2009).

Studio di un ambiente abitativo

Recentemente, allo scopo di vedere se le pratiche igieniche e le condizioni sanitarie degli esquimesi Inuit possono essere ricostruite tramite l'analisi dei resti di insetti, sono stati studiati campioni di sedimenti provenienti da Capo Grinnell e da Qaqaitsut sulla costa nord-occidentale della Groenlandia (Forbes *et al*., 2013). I campioni provengono da quattro diverse case invernali datate dal XIII al XVII secolo; si tratta di abitazioni semi sotterranee, costruite con zolle di terra e pietre, con un profondo corridoio di ingresso, un'area per le attività domestiche e una piattaforma per dormire. Gli insiemi archeoentomologici sono dominati da diversi ectoparassiti dell'uomo, compresi il *Pediculus humanus* e lo *Phthirus pubis* (Fig. 4), le cui concentrazioni più alte erano attese nell'area di vita e sulla piattaforma-notte.

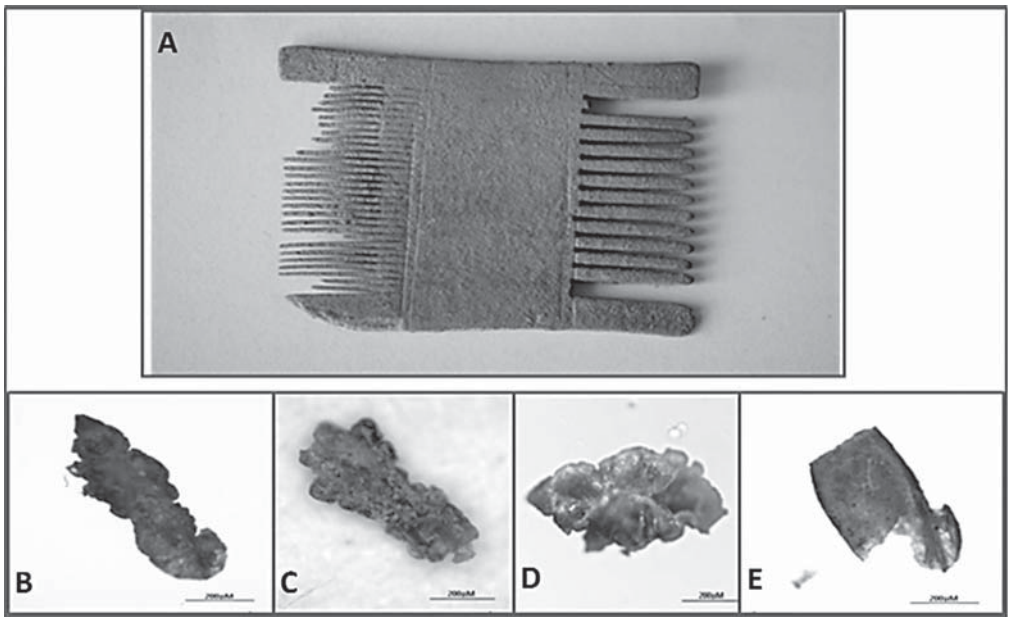

Fig. 3 – Pidocchi umani del capo rinvenuti in un pettine doppio di epoca romana (A) da Arava, nel deserto della Giudea in Israele: due esemplari interi (B e C), la testa e il torace di un pidocchio umano del capo (D) e un uovo non opercolato, danneggiato (E) (da AMANZOUGAGHENE *et al*., 2016).

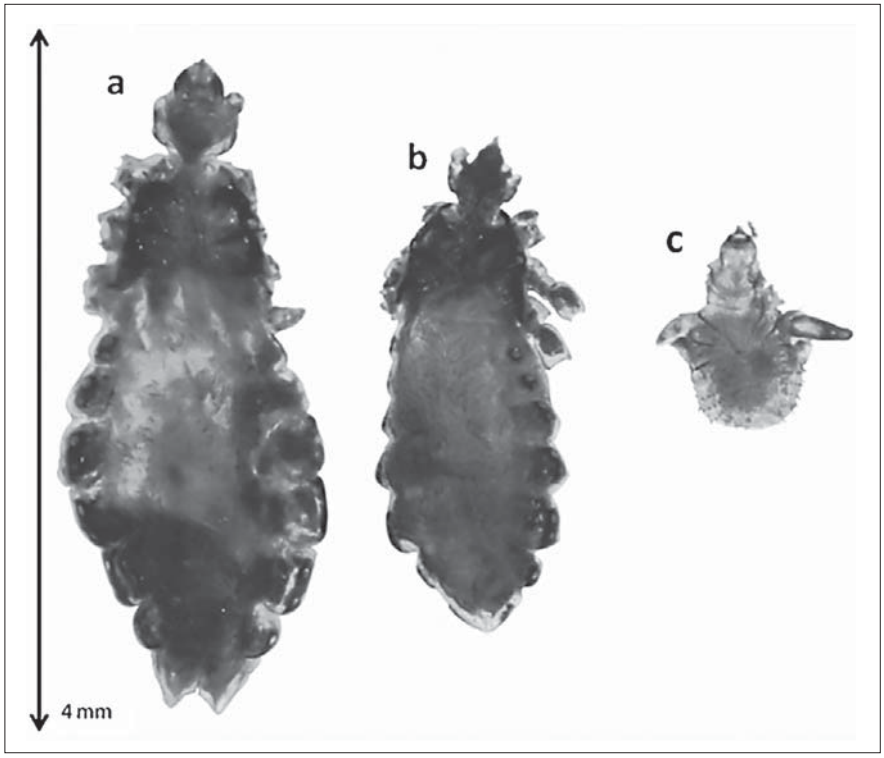

Fig. 4 – Pidocchi ritrovati nelle abitazioni invernali esquimesi di Capo Grinnell in Groenlandia: femmina (a) e maschio (b) di pidocchio umano (*Pediculus humanus*); pidocchio umano del pube (*Phthirus pubis*) (c) (da FORBES *et al*., 2013).

Invece, in tre case invernali, gli ambienti con la maggiore quantità di ectoparassiti sono risultati i corridoi di accesso. Questa distribuzione indica che lo spidocchiamento doveva avere luogo all'interno delle case, come peraltro suggeriscono le fonti orali e tradizionali degli Inuit che affermano che lo spidocchiamento faceva parte della vita quotidiana e che veniva praticato all'interno delle abitazioni. Perciò è ragionevole ritenere che i parassiti, dopo essere stati rimossi dal corpo, venissero gettati nel corridoio di ingresso, che veniva anche utilizzato come deposito dei rifiuti domestici (FORBES *et al*., 2013).

LA PALEO-MICROBIOLOGIA MOLECOLARE DEGLI INSETTI VETTORI

Come è noto, la febbre delle trincee è causata dal batterio Gram negativo *Bertonella quintana*, il tifo epidemico dalla *Rickettsia prowazekii*, mentre l'agente eziologico della febbre intermittente è costituito dalla *Borrelia recurrentis* (WOESE, 1987).

DNA di *Bartonella Quintana* è stato amplificato tramite PCR e sequenziato in tre pidocchi ritrovati in una fossa comune di soldati della Grande Armata di Napoleone ed è anche risultato presente nella cavità

pulpare dei denti di ben 7 individui su 35 esaminati, mentre DNA di *Rickettsia prowazekii* è stato ritrovato in altri 3 individui (Raoult *et al*., 2006; Tung *et al*., 2006). Questi risultati dimostrano che le malattie trasmesse dai pidocchi interessarono quasi un terzo dei soldati di Napoleone sepolti a Vilnius e che queste malattie devono essere state un fattore importante nella ritirata francese.

Una sepoltura di massa ritrovata a Douai in Francia, datata agli inizi del XVIII secolo e riferibile alla Guerra di successione spagnola, ha permesso, tramite PCR quantitativa, di rilevare la presenza di DNA di *Bertonella quintana* e di *Rickettsia prowazekii* nella cavità pulpare di 6 sodati su 21, pari al 29% degli individui, dimostrando che epidemie di malattie infettive portate dai pidocchi erano diffuse negli eserciti anche nel XVIII secolo (Nguyen-Hieu *et al*., 2010).

Questi esempi, anche se in numero limitato, dimostrano chiaramente le potenzialità insite nello studio molecolare degli antichi ectoparassiti presenti nei depositi archeologici, per una maggiore comprensione dell'origine, della storia e delle dinamiche di diffusione delle malattie infettive da vettore.

Nella tabella 1 si riporta un breve elenco delle più importanti malattie da insetti-vettori passibili di future ricerche.

Tabella 1– Principali malattie trasmesse da insetti-vettori passibili di studio in archeo-entomologia medica.

Malattia	**Agente patogeno**	**Vettore**
Peste	*Yersinia pestis*	*Xenopsylla cheopis*
Tifo epidemico	*Rickettsia prowazekii*	*Pediculus humanus corpori*s, acari, pulci
Febbre delle trincee	*Bertonella quintana*	
Febbre intermittente	*Borrelia recurrentis*	
Malaria	*Plasmodium falciparum*	*Anopheles* sp.
Leishmaniosi	*Leishmania* sp.	*Lutzomyia* sp. (Nuovo Mondo) *Phlebotomus* sp. (Vecchio Mondo)
Filariosi linfatica	*Wuchereria bancrofti*	*Culex* sp., *Anopheles* sp., *Mansonia* sp., *Aedes* sp.
Malattia di Chagas	*Trypanosoma cruzi*	*Triatoma* sp., *Rhodnius* sp., *Panstrongylus* sp.
Dengue	*Virus* Dengue	*Aedes aegypti, A. albopictus*
Febbre gialla	*Virus* Flaviviridae	*Aedes simpsoni*, *A. africanus*, *A. aegypti* (Africa), *Haemagogus* sp. (Sud America)

BIBLIOGRAFIA

Amanzougaghene N., Mumcuoglu K.Y., Fenollar F, *et al*., 2016 – *High Ancient Genetic Diversity of Human Lice,* Pediculus humanus*, from Israel Reveals New Insights into the Origin of Clade B Lice*. - PLoS One:| DOI: 10.1371/journal.pone.0164659

Amorosi T., Buckland P.C., Magnusson K., *et al.*, 1994 – *An Archaeozoological Examination of the Midden at Nesstofa, Reykjavik*, *Iceland*. In: Whither Environmental Archaeology, 69-79. Monographs 38, Oxbow Books, Oxford.

Araujo A., Ferreira L.F., Guidon N., *et al.,* 2000 – *Ten Thousand Years of Head Lice Infection*. - Parasit. Today, 16: 269.

Bitam I., Dittmar K., Parola P., *et al*., 2010 – *Fleas and flea-borne diseases*. - Intern. J. Infect. Dis., 14: e667–e676.

Bizot B., Castex D., Reynaud P., Signoli M., 2005 – *La saison d'une peste (Avril–Septembre 1590). Le cimetière des Fédons à Lambesc*. CNRS Editions, Paris.

Bos K.I., Herbig A., Sahl J., Waglechner N., *et al*., 2016 – *Eighteenth century* Yersinia pestis *genomes reveal the long-term persistence of an historical plague focus.* - "eLife", 5: e2994.

Bresciani J., Haarlov N., Nansen P., Moller G., 1983 – *Head Louse from Mummified Corpses of Greenlanders, AD. 1460 (+/- 50)*. - Acta Entom. Fenn., 42: 24-27.

Buckland P.C., 1987 – *A Tale of a Flea*. - Antenna, 11: 135-137.

Buckland P.C., 1988 – *North American Faunal Connections: Introduction or Endemics?* - Entom. Scand, Supplement *32*: 8-29.

Buckland P.C., Sadler J.P., 1997 – *Insects*. In: Scotland, Environment and Archaeology 8000 BC to AD 1000, pp. 105-108. Wiley & Son, Chichester.

Cheptow-Lusty A.J., Frogley, M.R., Bauer A., *et al*., 2007 – *Evaluating socio-economic changes in the Andes using oribatid mite abundance as indicators of domestic animal densities*. - J. Arch. Sc., 34: 1178–1186.

CIoudsley-Thompson J. L., 1976 - *Insects and History.* Weidenfeld and Nicolson, London.

Dittmar K, Mamat U., Whiting M., Goldmann, *et al*., 2003 – *Techniques of DNA-studies on Prehispanic Ectoparasites (*Pulex *sp., Pulicidae, Siphonaptera) from Animal Mummies of the Chiribaya Culture, Southern Peru*. - Mem. Inst. Osw. Cruz, 98 (Suppl. I): 53-58.

Drancourt M., Aboudharam G., Signoli M., Dutour O., Raoult D., 1998 – *Detection of 400-year-old* Yersinia pestis *DNA in human dental pulp: an approach to the diagnosis of ancient septicemia*. - Proc. Nat. Acad. Sc. USA, 95: 2637-12640.

Fletcher J., 1994 – *A Tale of Hair, Wigs and Lice*. - Egypt. Archaeol., 5: 31-33.

Forbes V., Dussault F., Bain A., 2013 – *Contributions of ectoparasite studies in archaeology with two examples from*

the North Atlantic region. - Intern. J. Paleopath., 3: 158-164.

FORNACIARI G., GIUFFRA V., MARINOZZI S., *ET AL*., 2009 – *"Royal" pediculosis in Renaissance Italy: lice in the mummy of the King of Naples Ferdinand II of Aragon (1467-1496)*. - Mem. Inst. Osw. Cruz, 104: 671-672.

GIRLING M., 1984 – *Eighteenth Century Records of Human Lice (Pthiraptera, Anoplura) and Fleas (Siphonaptera, Pulcidae) in the City of London*. - Entom. Mont. Magaz., 120: 207-210.

GRAINGER I., HAWKINS D., LYNNE C., MIKULSKI R., 2008 – *The Black Death Cemetery, East Smithfield, London*. Museum of London Archaeology Service, London.

HALL A.R., KENWARD H.K., 1990 – *Environmental Evidence from the Colonia: General Accident and Rougier Street*. - The Archaeology of York, 14: 289-434.

HARBECK M., SEIFERT L., HANSCH S., WAGNER DM, *ET AL*., 2013 – Yersinia pestis *DNA from skeletal remains from the 6th century AD reveals insights into Justinianic Plague*. - PLoS Pathog., 9: e1003349.

HOPLA C.E., DURDEN L.A., KEIRANS J.E., 1994 – *Ectoparasites and classification*. - Rev. Scient. Techn., 13: 985-1017.

HOUHAMDI L., LEPIDI H., DRANCOURT M., DIDIER R., 2006 – *Experimental Model to Evaluate the Human Body Louse as a Vector of Plague*. - J. Infect. Dis., 194: 1589–96.

HUBBARD C.A., 1968 – *Fleas of Western North America; their relation to the Public Health.* Hafner Publishing, New York.

KENWARD H., 1999 – *Public Lice (*Pthirus pubis*) were Present in Roman and Medieval Britain*. – Antiquity, 73: 911-915.

MARKELL E.K., DAVID T.J., KROTOSKI W.A., 1999 – *Markell and Voge's Medical Parasitology* - 8th edition*,* Saunders Company, Philadelphia.

MARSHALL A.G., 1981 - *The Ecology of Ectoparasitic Insects*. Academic Press, London.

MILANESE M., 2010 – *Lo scavo del cimitero di San Michele ad Alghero (fine XIII-inizi XVII secolo)*. Felici Ed., Pisa.

NGUYEN-HIEU T., *ET AL*., 2006 – *Evidence of a Louse-Borne Outbreak Involving Typhus of Napoleon's Grand Army in Vilnius*. - J. Infect. Dis., 193: 112–20.

PANAGIOTAKOPULU E., BUCKLAND P.C., 1999 – Cimex lectularius*, the Common Bed Bug from Pharonic Egypt*. – Antiquity, 73: 908-911.

PANAGIOTAKOPULU E., 2004 – *Dipterous remains and archaeological interpretation*. - J. Archaeol. Sc., 31: 1675-1684.

POLLITZER R., 1951 – *Plague studies. 1. A summary of the history and survey of the present distribution of the disease*. - Bull. W.H.O., 4: 475-533.

RAOULT D., DUTOUR O., HOUHAMDI L., *ET AL*., 2006 – *Evidence for Louse-Transmitted Diseases in Soldiers of Napoleon's Grand Army in Vilnius*, - J., Infect. Dis., 193: 112-120.

SADLER J.P., 1990 – *Records of Ectoparasites on Humans and Sheep from Viking-Age Deposits in the Former Western Settlement of Greenland*. - J. Med. Entomol., 27 (4): 628-631.

SADLER J.P., 1991 – *Beetles, Boats and Biogeography, Insect Invaders of the North Atlantic*. - Acta Archaeol., 61: 199-211.

SCHELVIS J., 1994 – *Caught Between the Teeth. A Review of Dutch Finds of Archaeological Remains of Ectoparasites in Combs*. - Proceedings of the Experimental and Applied Entomology Section of the Netherlands Entomological Society (N.E. V.), 5: 131-132.

SCHELVIS J., 1997 – *Mites in the background: use and origin of remains of mites (Acari) in Quaternary deposits*. In: Studies in Quaternary Entomology - An Inordinate Fondness for Insects. - Quatern. Proceed., 5: 233-236.

SCHUENEMANN V.J., BOS K., DEWITTE S., *ET AL*., 2011 – *Targeted enrichment of ancient pathogens yielding the pPCP1 plasmid of Yersinia pestis from victims of the Black Death.*- Proceed. Nat. Acad. U.S.A., 108: e746-e752.

SCHMID B.V., BÜNTGEN U., EASTERDAYA W.R., *ET AL*., 2015 – *Climate-driven introduction of the Black Death and successive plague reintroductions into Europe.*- Proceed. Nat. Acad. U.S.A., 112: 2919-2920.

SIGNOLI M., 2006 – *Etude anthropologique de crises démographiques en context épidémique, Aspects paleo-et biodémographiques de la Peste en Provence*. 1515, BAR, Internat. Ser., Oxford.

SVEINBJARNARDÓTTIR G., BUCKLAND P.C., 1983 – *An Uninvited Guest*. - Antiquity, 57: 127-130.

VALERA G., OLARTE J., 1946 – *Transmission of* Salmonella enteritidis *by* Pulex irritans *and* Ctenocephalus canis. - Science, 104 (2692): 104-105.

WOESE C.R., 1987 – *Bacterial evolution*. - Microbiol. Rev., 51: 221-271.

ZIAS J., MUMCUOGLU Y., 1991 – *Pre-Pottery Neolithic B head lice from Nahal Hemar Cave*. - Atiqot*,* 20: 167-168.

NORME REDAZIONALI

I testi devono essere spediti per posta elettronica al Coordinatore della Redazione "Atti Accademia Entomologia" c/o CREA-DC, Centro di Ricerca per la Difesa e la Certificazione all'indirizzo mail:

roberto.nannelli@crea.gov.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'aprile 2018
Tipografia Coppini - Firenze

222 Bianca