

Composizione e dinamiche della carabidocenosi del Bosco della Mesola (Delta del Po) (Coleoptera, Carabidae)

DANIELE MACCAPANI

FAUSTO PESARINI

STEFANO MAZZOTTI

CARLA CORAZZA

Museo Civico di Storia Naturale di Ferrara - Via Filippo de' Pisis 24 - 44121 Ferrara (Italy)

E-mail: danielemaccapani@hotmail.it - fausto.pesarini@gmail.com - s.mazzotti@comune.fe.it - c.corazza@comune.fe.it

CRISTINA MUNARI

Dipartimento di Scienze della Vita e Biotecnologie, Università di Ferrara - Via L. Borsari 46 - 44121 Ferrara (Italy)

RIASSUNTO

La comunità di carabidi (Coleoptera, Carabidae) è stata studiata in due siti del Bosco della Mesola (FE) con differenti caratteristiche ambientali, con cadenza pressoché mensile da marzo 2013 a luglio 2014. La dinamica di struttura e composizione della comunità nei due siti è stata analizzata mediante il calcolo di indici univariati (S, N, H', $\Delta+$ e $\Lambda+$) e analisi multivariata (Cluster Analysis, SIMPER, PERMANOVA). Le comunità dei due siti risultano significativamente differenti in termini di composizione specifica, sebbene entrambe siano caratterizzate dalla dominanza numerica delle medesime due specie: *Calathus melanocephalus* e *C. fuscipes graecus*. Inoltre, per entrambi i siti si osservano andamenti temporali simili negli indici strutturali, con massima abbondanza di specie nei mesi estivi e massima abbondanza di esemplari in giugno e nei mesi autunnali.

Si è osservata rispetto ai decenni scorsi anche una forte riduzione delle abbondanze delle specie igrofile, in particolare di quelle del genere *Carabus*, in accordo con l'ipotesi recentemente formulata che la comunità di carabidi del Bosco della Mesola stia subendo forti modificazioni verso caratteristiche xerothermofile, forse in risposta a cambiamenti climatici in atto.

Parole-chiave: Coleoptera, Carabidae, cambiamenti climatici, Bosco della Mesola.

ABSTRACT

Composition and dynamics of the carabid (Coleoptera, Carabidae) community of the Bosco della Mesola Reserve (Po River Delta, Northern Italy)

A study on the carabid community (Coleoptera, Carabidae) was carried out in two sites of the Bosco della Mesola Reserve (Po River Delta, Northern Italy), characterized by environmental differences. Samples were collected at each station about monthly from March 2013 to July 2014. The structural and composition dynamics of the community at the two sites was investigated through the use of univariate indices (S, N, H', $\Delta+$ e $\Lambda+$) and multivariate analyses (Cluster Analysis, SIMPER, PERMANOVA).

A significant difference was detected between the community composition of the two sites. Notwithstanding, the two communities showed similar temporal patterns, obtained through Cluster Analysis, and were characterized by the same couple of species *Calathus melanocephalus* and *C. fuscipes graecus*, which were the numerically dominant ones. Moreover, also the structural indices showed similar temporal trends at both sites.

With respect to the past decades an important reduction of hygrophilous species was detected, in particular of those belonging to the genus *Carabus*. These observations are in accordance with the recent hypothesis that the carabid community of the Bosco della Mesola is undergoing strong changes towards xerothermophilous features, perhaps in response to the current climate changes.

Key words: Coleoptera, Carabidae, climate change, Mesola Wood.

INTRODUZIONE

I carabidi rappresentano una delle famiglie di coleotteri meglio studiate sia dal punto di vista tassonomico sia da quello ecologico; si trovano in ogni ambiente terrestre, dalla costa all'alta montagna, e sono facilmente monitorabili con un metodo standardizzato basato sull'uso di trappole a caduta innescate con aceto. Ogni specie è adattata a precise condizioni ambientali come temperatura, umidità, copertura erbosa e arborea e granulometria del suolo; di conseguenza modificazioni ambienta-

li inducono cambiamenti nelle comunità di carabidi tramite sostituzione di alcune specie e variazione delle abbondanze di altre. Queste caratteristiche li rendono bioindicatori ottimali, come è stato evidenziato da vari autori (BRANDMAYR & PIZZOLLOTTI, 1994; BRANDMAYR *et al.*, 2002; RAINIO & NIEMELA, 2003; BRANDMAYR *et al.*, 2005). Per questa ragione negli ultimi anni i carabidi sono stati oggetto di indagine in alcune ricerche condotte nel territorio ferrarese dal Museo Civico di Storia Naturale di Ferrara (FABBRI & CORAZZA, 2009; BOSCOLO *et al.*, 2013). Lo studio di BOSCOLO *et al.* (2013), in particolare, effet-

tuato nell'area del Bosco della Mesola, ha analizzato una serie di dati riferiti al quarantennio precedente evidenziando differenze significative fra la comunità di carabidi attuale e quelle riscontrate negli anni passati, ipotizzando che queste variazioni quali-quantitative delle comunità possano essere correlate a cambiamenti climatici attualmente in corso. Questa ipotesi richiede lunghe serie di dati riferite ad anni contigui per poter essere verificata: è infatti necessario appurare se le variazioni riscontrate nelle carabidocenosi siano dovute a un reale trend di variazione a lungo periodo oppure a normali variazioni cicliche nelle abbondanze delle varie specie. Considerando anche la notevole importanza conservazionistica rivestita dal Bosco della Mesola, in quanto unico esempio ben conservato dei vasti boschi a prevalenza di leccio che ricoprivano l'area del Delta del Po in passato, quindi, si è deciso di proseguire il monitoraggio di carabidi nel Bosco della Mesola al fine di fornire nuovi dati alla serie già esistente. I dati ottenuti sono stati utilizzati sia per descrivere in dettaglio l'attuale carabidocenosi come riscontrata nel corso dello studio (considerandone la composizione specifica, le dinamiche nel corso dell'anno e le differenze rilevate fra due siti di campionamento caratterizzati da diverse caratteristiche ambientali), sia per compiere un confronto con il quadro desunto dalla letteratura disponibile.

MATERIALI E METODI

Area di studio

Il Bosco della Mesola è una formazione forestale collocata nella parte meridionale del Delta del Po, in provincia di Ferrara; confina a sud con la sacca di Goro e con una zona umida detta Taglio della Falce e nelle altre direzioni con terreni agricoli di recente bonifica. È una riserva naturale gestita dal Corpo Forestale dello Stato e interamente recintata; presenta una superficie di 1058 ha, una lunghezza massima di 7,7 Km ed una larghezza media di 2,6 Km. Il bosco attuale rappresenta un residuo di un antico complesso boschivo termofilo più ampio denominato Bosco Eliceo, formatosi nel XII secolo e diffuso nella costa Alto Adriatica, insediato sui cordoni dunosi creati dai sedimenti portati dai rami deltizi del Po. In relazione alla posizione rispetto agli antichi cordoni dunosi, e quindi all'altezza sul livello del mare che va da -1m a +3m, è possibile individuare tre principali tipologie di bosco. La tipologia prevalente è quella xerofila dominata dal leccio (*Quercus ilex*) e posta sui cordoni dunosi più alti e svincolati dalla falda acquifera. Sui cordoni più antichi e meno elevati si trova un bosco mesofilo caratterizzato da farnia (*Q. robur*), carpino bianco (*Carpinus betulus*) e carpino orientale (*C. orientalis*). Nelle depressioni interdunali si sviluppa un bosco igrofilo caratterizzato da frassino ossifilo (*Fraxinus angustifolia oxycarpa*) (PICCOLI *et al.*, 1983). Al fine di rappresentare al meglio la variabilità ambientale caratteristica del Bosco della Mesola e di poter confrontare i risultati ottenuti con quelli già disponibili per gli anni precedenti, si sono scelti gli stessi due siti di campionamento utilizzati da BOSCOLO *et al.* (2013), indicati come "Sito A" (igrofilo e adiacente all'Elciola) e "Sito B" (xerico e posto vicino al Parco delle Duchesse).

L'Elciola è una vasta radura caratterizzata da un grande laghetto

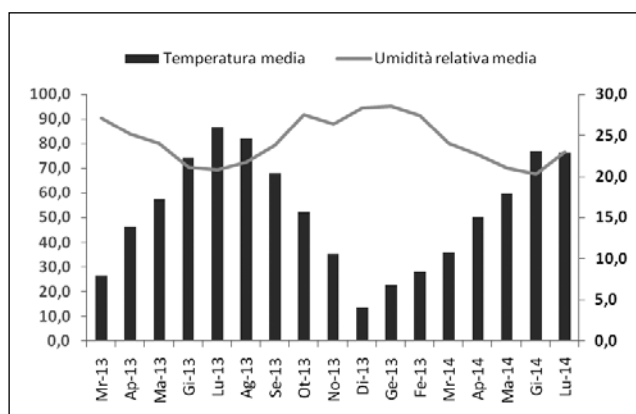


Fig. 1. Temperatura e umidità relativa medie mensili calcolate nel periodo di campionamento sulla base dei dati misurati dalla stazione meteorologica di Mesola.

artificiale; il "Sito A" è collocato in uno spiazzo depressivo e molto umido sul bordo della boscaglia all'esterno dell'Elciola stessa, separata da questa da un canale, costituita da lecci frammisti a altre essenze più igrofile (come frassino ossifilo e frangola). Il Parco delle Duchesse è una radura di minori dimensioni con un carattere xerotermico, perennemente arida e ricoperta da licheni frammisti a rade graminacee; il "Sito B" è posto all'interno della boscaglia attorno alla radura, formata da carpino orientale e leccio.

Raffrontando gli andamenti della temperatura e dell'umidità relativa medie mensili relativi al periodo del nostro campionamento (Fig. 1) con il termo-pluviogramma riportato da MASSETTI & MAZZOTTI (2013) riferito al ventennio 1992-2012, si osserva che gli anni del nostro campionamento (2013-2014) mostrano una media di circa un grado centigrado più alta rispetto alla serie di confronto. In particolare i mesi di gennaio e febbraio 2014 presentano una temperatura media di circa 4 °C più alta.

Campionamenti

Il campionamento (26 marzo 2013 - 4 luglio 2014) è stato effettuato con l'utilizzo di trappole a caduta, costituite da barattoli a tronco di cono con diametro superiore di 9 cm e altezza pari a 12 cm, interrato fino all'orlo e ricoperte da pezzi di cortecchia sollevati da terra in modo da permettere l'entrata degli artropodi evitando però il riempimento delle trappole con foglie o acqua piovana. Le trappole sono state riempite per metà con una soluzione di aceto di vino bianco (ad azione attrattiva) e sale da cucina (NaCl, ad azione conservante). In entrambi i siti A e B sono state posizionate quattro trappole che sono state svuotate e rinnovate con la sequenza di date riportata nella tabella 1.

Il contenuto di ogni trappola è stato mantenuto separato dagli altri, in quanto le catture delle singole trappole di uno stesso sito sono state considerate come repliche di uno stesso campionamento.

Gli esemplari di carabidi sono stati separati dal resto delle catture e preparati per lo più a secco, il rimanente conservato in alcol al 70%. Tutto il materiale è conservato presso le collezioni di studio entomologiche del Museo Civico di Storia Naturale

Date di prelievo	Sigla
19.IV.2013	Ap13
10.V.2013	Ma13
13.VI.2013	Gi-I13
28.VI.2013	Gi-II13
22.VII.2013	Lu13
29.VIII.2013	Ag13
27.IX.2013	Se13
25.X.2013	Ot13
21.XI.2013	No13
23.I.2014	Ge14
26.II.2014	Fe14
26.III.2014	Mr14
16.V.2014	Ma14
04.VII.2014	Lu14

Tab. 1. Date di prelievo delle trappole successive al primo posizionamento (26.III.2013), e relativa sigla con cui di seguito verranno indicati i periodi di attività delle trappole.

di Ferrara. La determinazione dei carabidi si è avvalsa dell'uso delle chiavi dicotomiche di PESARINI & MONZINI (2010; 2011). Per la nomenclatura si è fatto riferimento a quella riportata da BRANDMAYR *et al.* (2005).

Analisi statistica

I dati di specie/abbondanza raccolti in quattro repliche per sito, in ogni campionamento, sono stati standardizzati a dieci giorni calcolando la densità di attività (DA) di ciascuna specie (BRANDMAYR *et al.*, 2005) su cui sono stati calcolati i seguenti indici strutturali: a) numero totale di taxa nel campione (S); b) densità totale di esemplari nel campione (N); c) indice di diversità di Shannon-Wiener (H'); d) indice di distinzione tassonomica media (*average taxonomic distinctness*) ($\Delta+$); e) indice di variazione nella distinzione tassonomica (*variation in taxonomic distinctness*) ($\Lambda+$) (WARWICK & CLARKE, 1995; 1998; 2001).

L'indice di distinzione tassonomica media ($\Delta+$) è una misura dell'ampiezza tassonomica. Comunità disturbate sono generalmente costituite da specie tra loro strettamente legate dal punto di vista tassonomico, presentando quindi valori ridotti di $\Delta+$. Al contrario, comunità non disturbate sono in genere costituite da specie fra loro distanti dal punto di vista tassonomico, presentando quindi alti valori di $\Delta+$.

L'indice di variazione nella distinzione tassonomica ($\Lambda+$) è una misura della variazione della distanza lungo l'albero tassonomico. Questo indice è solitamente elevato in condizioni di disturbo ambientale, nelle quali alcuni taxa risultano sovra-rappresentati e altri sotto-rappresentati. Il disturbo legato alla naturale variabilità ambientale infatti determina un continuo cambiamento nella composizione delle specie, mentre l'impatto antropico comporta variazioni delle comunità ai livelli tassonomici superiori, rendendo alcuni taxa meno rappresentati di altri lungo l'albero tassonomico (WARWICK & CLARKE, 1995). Si è quindi proceduto al raggruppamento mediante Cluster Analysis, basato sulla similarità di Bray-Curtis (calcolata sulla matrice specie/DA), al fine di evidenziare eventuali similarità tra le comunità presenti nei due siti (A e B) nei vari periodi di campionamento.

La matrice di specie/DA è quindi stata sottoposta ad analisi delle similarità percentuali (SIMPER) (CLARKE, 1993), al fine di valutare quali specie contribuissero maggiormente alla similarità all'interno di ciascun sito e alla dissimilarità fra i due siti.

Le eventuali differenze nella comunità di carabidi dei due siti A e B nel corso nel periodo di campionamento sono state indagate mediante analisi multivariata della varianza PERMANOVA (ANDERSON, 2001), basata sulla similarità di Bray-Curtis.

Tutte le analisi statistiche sono state effettuate mediante il software PRIMER v.6 (CLARKE & GORLEY, 2006) con incluso il PERMANOVA+ package (ANDERSON *et al.*, 2008).

Si sono cercate, inoltre, eventuali differenze fra le comunità dei due siti in termini di igrofilia e termofilia, analizzando le percentuali relative a ciascuna categoria ecologica basate sul numero di specie presenti e sulla densità totale di individui standardizzata secondo quanto indicato da BRANDMAYR *et al.* (2005) calcolando la densità di attività annuale (DAa). I gradi di igrofilia e termofilia di ciascuna specie sono desunti da BOSCOLO *et al.* (2013) e riveduti da Vigna Taglianti (*in verbis*).

RISULTATI

Complessivamente nell'intero periodo di campionamento sono stati catturati 3498 esemplari di carabidi appartenenti a 21 specie. Nel sito A sono stati catturati 1120 esemplari, pari al 32,0 % delle catture totali, appartenenti a 18 specie; nel sito B le catture ammontano a 2378 esemplari, pari al 68,0 % del totale, appartenenti a 10 specie. Solo 7 specie sono comuni ai due siti; 2 di queste risultano nettamente dominanti su tutte le altre: *Calathus melanocephalus*, che rappresenta il 70,0 % delle catture (2449 esemplari), e *C. fuscipes graecus*, che rappresenta il 25,2 % delle catture (880 esemplari) (Tab. 2). Fra le altre specie, viene confermata la presenza (30 esemplari) di *Pseudomasoreus canigoulensis*, specie termofila a corotipo W-mediterraneo mai rinvenuta prima in Nord Italia (MACCAPANI *et al.*, 2014). Dalla tabella 2 si evince che le comunità dei due siti di campionamento presentano differente composizione in termini di igrofilia e termofilia.

Se si considerano le percentuali basate sul numero di specie ascrivibili a ciascun grado di igrofilia e termofilia, nel sito A si osserva una prevalenza di specie igrofile e mesoigrofile (entrambe corrispondenti al 44,4 %) rispetto a quelle xerofile (11,1 %), e di quelle mesotermofile (61,1 %) rispetto a quelle termofile (38,9 %). Nel sito B si osserva una relativa equipartizione fra le tre categorie di igrofilia (rispettivamente 30,0 % specie igrofile e xerofile, 40,0 % specie mesoigrofile), e una prevalenza di specie termofile (60,0 %) rispetto a quelle mesotermofile (40,0 %).

Considerando invece il numero di esemplari appartenenti a ciascun grado di igrofilia e termofilia si ottengono risultati che mostrano una inversione delle ripartizioni delle aliquote, che riflettono le caratteristiche delle specie dominanti in ogni sito (*C. fuscipes graecus* nel sito A e *C. melanocephalus* nel sito B), dato che queste presentano abbondanze così elevate da rendere influenti i contributi di tutte le altre specie. Per quanto riguarda l'igrofilia, entrambi i siti risultano nettamente dominati dai carabidi mesoigrofile: nel sito A ammontano al 93,5 % con-

Specie	igrofilia	termofilia	% TOT	% (A)	% (B)
<i>Brachinus (Brachinus) psophia</i>	IG	MS	0,03	0,09	0,00
<i>Calosoma (Calosoma) sycophanta</i>	MI	TM	0,06	0,00	0,08
<i>Calosoma (Campalita) maderae</i> s.l.	MI	TM	0,03	0,09	0,00
<i>Carabus (Carabus) granulatus interstitialis</i>	IG	MS	0,03	0,09	0,00
<i>Carabus (Eucarabus) italicus</i>	IG	MS	0,40	0,63	0,29
<i>Carabus (Tachypus) cancellatus emarginatus</i>	IG	MS	0,34	0,36	0,34
<i>Nebria (Nebria) brevicollis</i>	IG	MS	0,80	2,50	0,00
<i>Notiophilus rufipes</i>	IG	MS	0,43	1,34	0,00
<i>Notiophilus substriatus</i>	MI	TM	0,06	0,18	0,00
<i>Trechus (Trechus) quadristriatus</i>	IG	MS	0,11	0,00	0,17
<i>Amara (Amara) aenea</i>	XR	TM	0,06	0,09	0,04
<i>Pseudoophonus (Pseudoophonus) rufipes</i>	MI	MS	0,03	0,09	0,00
<i>Harpalus (Harpalus) tardus</i>	IG	MS	0,34	1,09	0,00
<i>Calathus (Calathus) fuscipes graecus</i>	MI	TM	25,16	55,09	11,06
<i>Calathus (Neocalathus) ambiguus</i>	MI	TM	0,03	0,09	0,00
<i>Calathus (Neocalathus) cinctus</i>	MI	TM	1,03	2,14	0,50
<i>Calathus (Neocalathus) melanocephalus</i>	MI	MS	70,01	35,36	86,33
<i>Paranchus albipes</i>	IG	MS	0,03	0,09	0,00
<i>Masoreus (Masoreus) wetterhallii</i>	XR	TM	0,03	0,00	0,04
<i>Pseudomasoreus canigoulensis</i>	XR	TM	0,86	0,27	1,14
<i>Syntomus truncatellus</i>	MI	MS	0,14	0,45	0,00

Tab. 2. Le specie di carabidi rilevate al Bosco della Mesola con relativi gradi di igrofilia (IG = igrofilo; MI = mesoigrofilo; XR = xerofilo) e termofilia (MS = mesotermofilo; TM = termofilo), e relative percentuali sul totale delle catture e nei due siti (A e B) di campionamento.

tro il 6,2 % degli igrofili e lo 0,4 % degli xerofili, mentre nel sito B corrispondono al 98,0 % contro lo 0,8 % degli igrofili e l'1,2 % degli xerofili. Rispetto alla termofilia invece il sito A risulta dominato dai carabidi termofili (57,9 %, contro il 42,1 % dei mesotermofili), e il sito B dai carabidi mesotermofili (87,1 %, contro il 12,9 % dei termofili).

Il numero totale di taxa nel campione (S) (Fig. 2a) mostra un andamento analogo nei due siti, mostrando valori minimi in inverno (1 - 3 specie) e valori massimi nei mesi estivi (5 - 7 specie). Fra aprile e maggio nel sito A si osserva il massimo numero di specie rinvenute (8 nel 2013 e 6 nel 2014), mentre nel sito B si hanno bassi valori (3 specie in entrambi gli anni) analoghi a quelli mostrati in inverno. È dunque nei mesi primaverili che le comunità dei due siti risultano essere maggiormente differenziate sulla base della composizione specifica, come comprovato dal fatto che le 11 specie esclusive del sito A sono state catturate in gran parte in questo periodo.

Nel 2013 anche la densità totale di esemplari nel campione (N) (Fig. 2b) ha mostrato un andamento simile fra i due siti, con i valori di densità di attività (DA) più alti in corrispondenza dei due campionamenti di giugno e di quelli di settembre, ottobre e novembre. Nel 2014 le densità di attività mostrano un marcato decremento e un diverso andamento dei valori: nel sito A la densità è risultata simile nei vari mesi, con un lieve aumento da marzo a luglio; nel sito B vi sono variazioni maggiori che vanno dal valore massimo in marzo a quello minore in luglio (Fig. 2b).

L'indice di Shannon-Wiener (H') (Fig. 2c) è generalmente più elevato nel sito A rispetto al sito B, in modo particolare nei mesi invernali (Ge14, Fe14) e primaverili (Ap13, Ma14); solamente in estate (Ag13 e Lu14) il sito B presenta valori di questo indice più elevati rispetto all'altro sito di campionamento.

L'indice *average taxonomic distinctness* ($\Delta+$) (Fig. 2d) mostra i valori massimi nei mesi estivi, fra maggio e agosto, e i valori minimi nella stagione invernale, soprattutto nei mesi di gennaio e febbraio. In particolare nel sito A l'indice assume valori particolarmente bassi nei periodi Ge14 e Se13 (rispettivamente 20 e 40), mentre i valori più bassi nel sito B si registrano nei periodi Ap13, Se13, No13, Ge14, Fe14, Ma14 (rispettivamente 0, 40, 40, 20, 0 e 20). Le differenze principali fra i due siti si riscontrano nei periodi Ap13 (80 nel sito A e 0 nel sito B), Fe14 (46,7 nel sito A e 0 nel sito B) e Ma14 (72 nel sito A e 20 nel sito B).

L'indice *variation in taxonomic distinctness* ($\Lambda+$) (Fig. 2e) mostra fluttuazioni più accentuate e meno regolari rispetto a $\Delta+$; i valori variano nel sito A da 0 (Ap13 e Ge14) a 900 (Ot13, No13 e Mr14) e nel sito B da 0 (Ap13, Ge14, Fe14 e Ma14) a 800 (Ma13 e Ot13).

Valori particolarmente alti si sono registrati nel sito A nei periodi Ot13, No13, Mr14 e Lu14 (rispettivamente 900, 900, 900 e 538,8) e nel sito B nei periodi Ma13, Gi-II13, Ot13 e Mr14 (rispettivamente 800, 568,9, 800 e 624). Le maggiori differenze fra i due siti si riscontrano nei periodi Ma13 (185,2 nel sito A e 800 nel sito B), No13 (900 nel sito A e 400 nel sito B) e Fe14 (355,6 nel sito A e 0 nel sito B).

L'analisi PERMANOVA evidenzia (Tab. 3) la presenza di differenze significative nella struttura delle comunità dei due siti ($P < 0.01$).

Il raggruppamento dei singoli campionamenti tramite Cluster Analysis (Fig. 3) individua tre cluster principali fra i quali uno presenta due ulteriori raggruppamenti. A destra si osserva un cluster estivo del sito A che mostra una particolare similarità fra le comunità dei due siti di campionamento nei periodi Ag13 e Lu14. A sinistra di questo, è possibile individuare un cluster

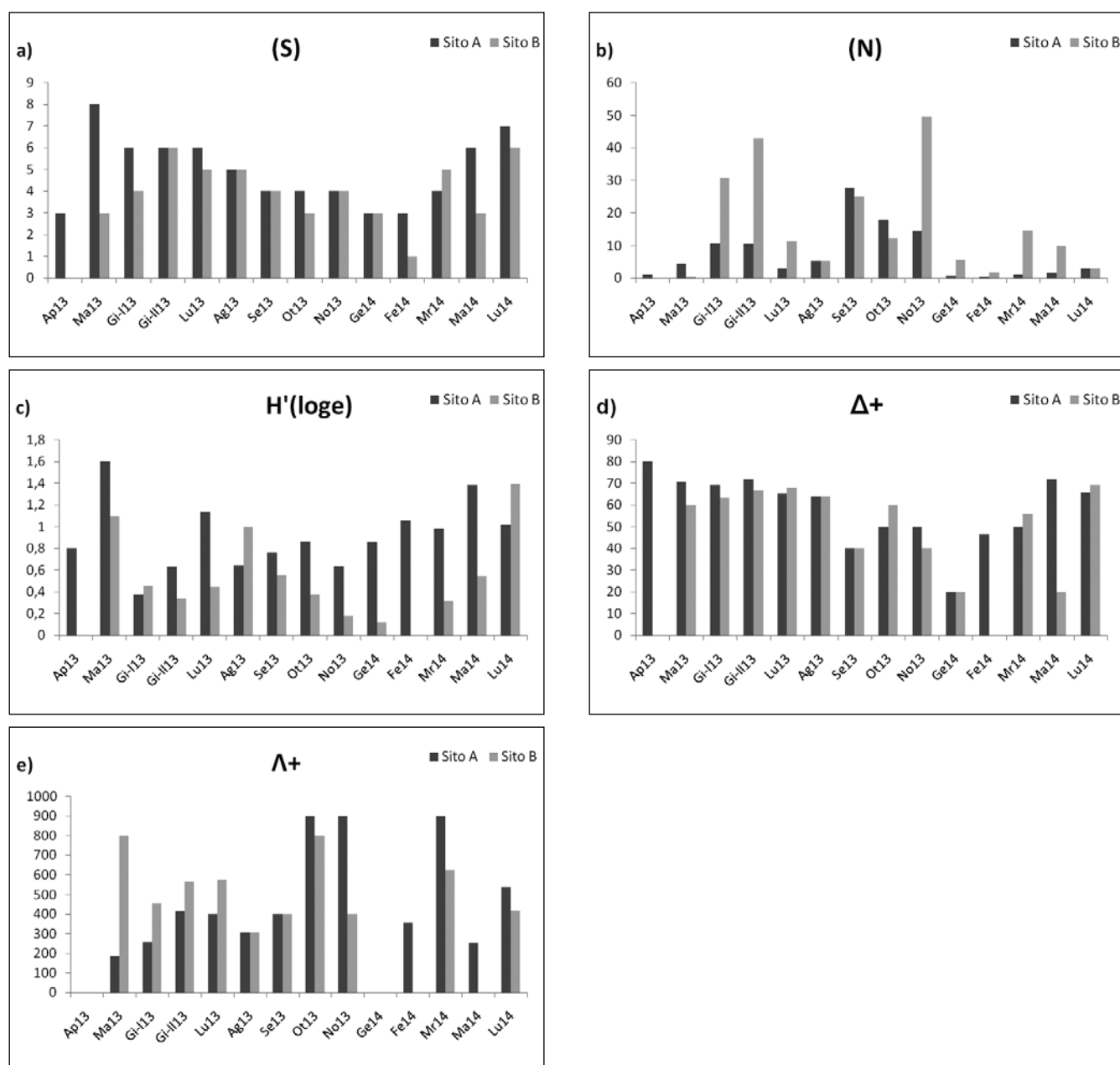


Fig. 2. Confronto fra i valori nei due siti A e B nelle date di campionamento dei seguenti indici: a) S (numero totale di taxa del campione); b) N (densità totale di esemplari nel campione); c) $H'(\log_e)$ (indice di Shannon-Wiener); d) $\Delta+$ indice di distinzione tassonomica media (*average taxonomic distinctness*); e) $\Lambda+$ indice di variazione nella distinzione tassonomica (*variation in taxonomic distinctness*). I periodi di campionamento sono indicati con le sigle riportate nella tabella 1.

invernale del sito A che mostra una particolare similarità fra le comunità dei due siti nel periodo Fe14. Il cluster a sinistra contiene i rimanenti periodi dei due siti, mostrando in particolare una relativa similarità fra le comunità dei due siti A e B

nei periodi Se13, Ot13 e No13. All'interno di questo cluster si osservano due ulteriori raggruppamenti, di cui uno a sinistra con i periodi GiI13, GiII13, Se13 e No13 nel sito B. Mediante l'analisi delle similarità percentuali (SIMPER) la si-

Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	Uniqueperms
Si	1	10685	10685	3.8082	0.004	9928
Res	26	72954	2805.9			
Total	27	83640				

Tab. 3. Risultati dell'analisi PERMANOVA applicata alla matrice di specie/DA e basata sulla similarità di Bray-Curtis. Acronimi: Si, fattore sito; Res, residui; df, gradi di libertà; SS, somma dei quadrati; MS, quadrati medi; Pseudo-F, pseudo F di Fisher; perm, permutazioni.

milarità fra i campioni del sito A è risultata del 26,2 %; questa è determinata da *C. fuscipes graecus* per il 58,9 % e da *C. melanocephalus* per il 32,6 %. Fra i campioni del sito B la similarità è risultata del 32,3 %, ed è determinata da *C. melanocephalus* per l'87,1 % e da *C. fuscipes graecus* per l'11,49 %.

La dissimilarità fra i campioni dei due siti è risultata del 79,5 % ed è determinata da *C. melanocephalus* per il 61,7 %, da *C. fuscipes graecus* per il 26,43 % e da *Nebria brevicollis* per il 2,3%. L'analisi SIMPER è poi stata utilizzata per determinare la dissimilarità fra i campioni dei due siti per ogni data di campionamento (Tab. 4). Si osserva che la dissimilarità fra i due siti è particolarmente alta a partire dal periodo invernale fino a luglio e si riduce notevolmente nel resto del periodo estivo e in quello autunnale. In particolare nel periodo fra marzo e maggio 2013 e fra maggio e luglio 2014 i due siti sono ben differenziati grazie alle basse percentuali delle specie del genere *Calathus* e alla concomitante presenza di specie rinvenute unicamente nel sito A (in particolare *Notiophilus rufipes*, *N. brevicollis*, *Harpalus tardus* e *Amara aenea*).

Nel resto dell'anno queste specie non sono attive, mentre aumentano notevolmente le abbondanze di *C. fuscipes graecus* e *C. melanocephalus*, che differenziano i due siti per la loro diversa percentuale (con poche e irrilevanti eccezioni, *C. fuscipes graecus* è più abbondante nel sito A mentre *C. melanocephalus* lo è nel sito B). Nei mesi di luglio e agosto i due siti sono differenziati anche per la presenza quasi esclusiva nel sito B

di *Pseudomasoreus canigoulensis* (con abbondanze più alte nel 2014 rispetto al 2013).

DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Le comunità campionate nei due siti sono apparse piuttosto differenziate, come confermato dall'analisi PERMANOVA. Sulle 21 specie totali rilevate, di cui 18 nel sito A e 10 nel sito B, solo 7 sono in comune. Ciò è confermato dai valori dell'indice di Shannon-Wiener che mediamente sono più elevati nel sito A rispetto al sito B. I due siti, inoltre, si differenziano per le due specie dominanti: *C. fuscipes graecus* nel sito A (55,1 % sul totale delle catture nel sito); *C. melanocephalus* nel sito B (86,3 %). A differenza del sito B che si trova in pieno bosco, il sito A è ubicato sul margine di un'area boscata e si può quindi considerare come una zona ecotonale: questo potrebbe spiegare la maggiore abbondanza di specie, che sono in parte silvicole e in parte praticole.

Le percentuali basate sul numero di esemplari suddivisi nelle categorie ecologiche di igrofilia e termofilia sono scarsamente informative perché risentono direttamente delle percentuali delle due specie dominanti, presenti con abbondanze tali da rendere ininfluenti i contributi di tutte le altre specie (Tab. 2). Il sito A è dominato dalle categorie mesoigrofile e termofile, ovvero dalle caratteristiche di *C. fuscipes graecus*; il sito B inve-

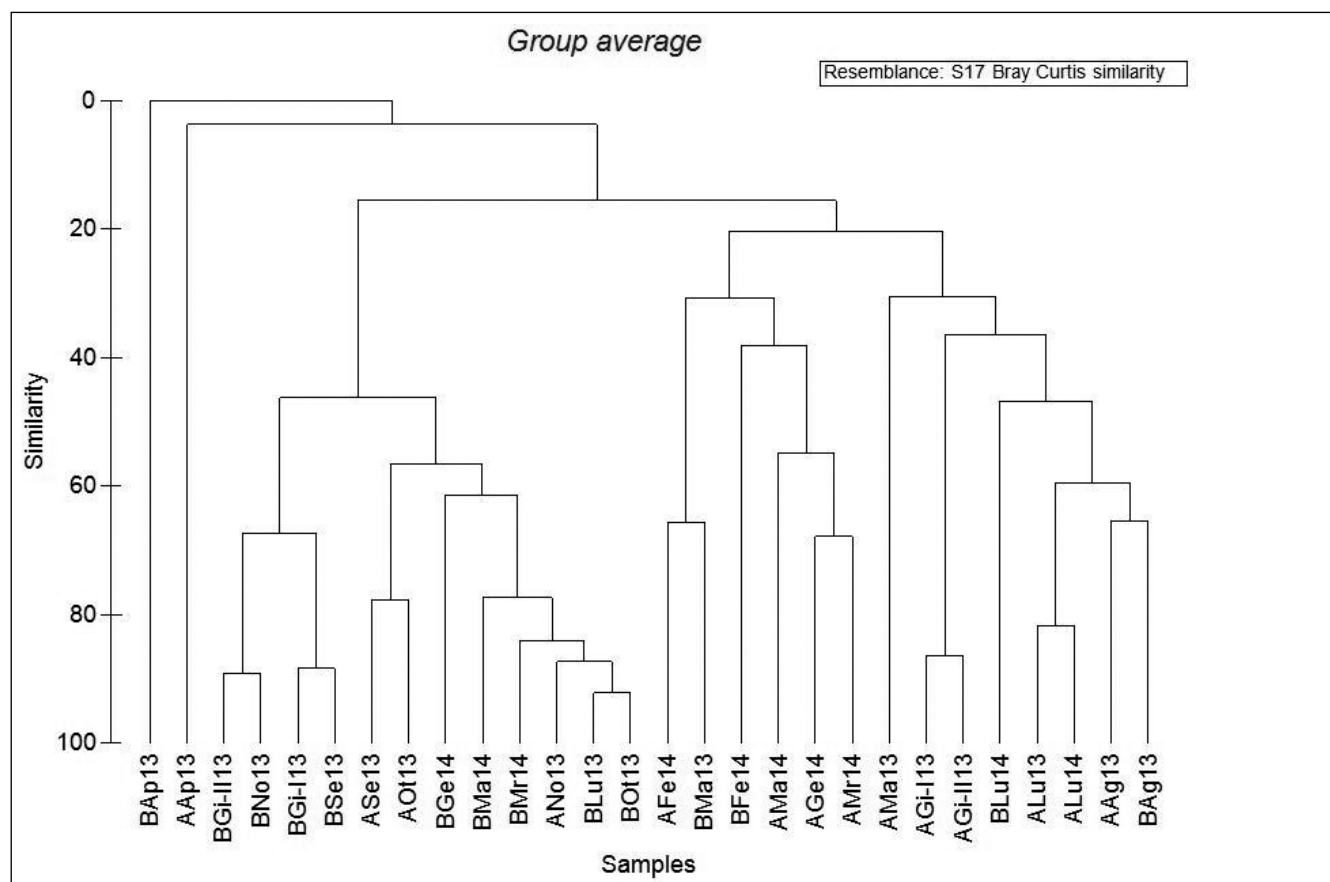


Fig. 3. Raggruppamento mediante Cluster Analysis dei singoli campionamenti, indicati con un codice composto da una lettera indicante il sito (A o B) e dalla sigla indicante il periodo di campionamento come indicato in tabella 1.

Periodo di campionamento	Dissimilarità fra A e B (%)	Specie con maggior contributo percentuale
Ap13	100,00	<i>Notiophilus rufipes</i> (70,00) <i>Carabus italicus</i> (20,00) <i>Harpalus tardus</i> (10,00)
Ma13	89,74	<i>Nebria brevicollis</i> (45,03) <i>Calathus fuscipes graecus</i> (20,00) <i>Notiophilus rufipes</i> (11,43) <i>Harpalus tardus</i> (8,57) <i>Amara aenea</i> (2,86) <i>Calathus melanocephalus</i> (2,86)
Gi-I13	76,86	<i>Calathus melanocephalus</i> (80,98) <i>Calathus fuscipes graecus</i> (16,73)
Gi-II13	90,00	<i>Calathus melanocephalus</i> (81,94) <i>Calathus fuscipes graecus</i> (14,24)
Lu13	82,61	<i>Calathus melanocephalus</i> (82,46) <i>Calathus fuscipes graecus</i> (11,40)
Ag13	34,59	<i>Calathus fuscipes graecus</i> (47,27) <i>Calathus melanocephalus</i> (40,00) <i>Pseudomasoreus canigoulensis</i> (5,45)
Se13	45,48	<i>Calathus fuscipes graecus</i> (53,43) <i>Calathus melanocephalus</i> (44,44)
Ot13	31,36	<i>Calathus fuscipes graecus</i> (70,75) <i>Calathus melanocephalus</i> (18,87) <i>Calathus cinctus</i> (8,49)
No13	58,38	<i>Calathus melanocephalus</i> (96,78)
Ge14	83,12	<i>Calathus melanocephalus</i> (98,44)
Fe14	86,67	<i>Calathus melanocephalus</i> (88,46) <i>Calathus fuscipes graecus</i> (7,69)
Mr14	87,59	<i>Calathus melanocephalus</i> (94,42)
Ma14	80,00	<i>Calathus melanocephalus</i> (80,43) <i>Calathus fuscipes graecus</i> (14,67)
Lu14	58,93	<i>Calathus fuscipes graecus</i> (36,36) <i>Pseudomasoreus canigoulensis</i> (27,27) <i>Calathus melanocephalus</i> (19,70) <i>Harpalus tardus</i> (6,06) <i>Nebria brevicollis</i> (4,62)

Tab. 4. Analisi delle similarità percentuali (SIMPER); nelle colonne, a partire da sinistra, vengono indicati: sigla indicante il periodo di campionamento (Tab. 1), dissimilarità percentuale fra i due siti, specie che danno il maggior contributo percentuale alla dissimilarità.

ce è dominato da quelle mesoigrofile e mesotermofile, essendo connotato dalla specie dominante *C. melanocephalus*.

Con l'utilizzo delle percentuali derivate dal numero di specie si hanno invece informazioni più complete sulla composizione delle comunità. Nel sito A vi è la dominanza delle specie igrofile-mesoigrofile e mesotermofile, nel sito B il dominio è appannaggio di quelle termofile.

È dunque ipotizzabile che fattori climatici (e.g. condizioni meteorologiche) agiscano su più ampia scala determinando la predominanza numerica delle stesse due specie in entrambi i siti (le cui comunità risultano simili in termini di igrofilia, mediante analisi sul numero di individui) e l'analogo andamento nell'anno degli indici strutturali, mentre fattori locali (quali le caratteristiche ambientali dei due siti) determinino una diversa composizione specifica e differenze in termini di termofilia, evidenziabili mediante analisi sul numero di specie.

L'analisi multivariata evidenzia un raggruppamento su base stagionale: i campioni invernali sono caratterizzati sia da un basso numero di specie sia da una bassa abbondanza di individui; i campioni estivi sono invece caratterizzati generalmente da un alto numero di specie ma una ridotta abbondanza di individui; infine i campioni tardo primaverili (in particolare maggio e solo nel sito A), di inizio estate e autunnali presentano sia un

alto numero di specie sia alte abbondanze di individui. Questo andamento stagionale di struttura e composizione della comunità è correlabile con l'andamento di temperatura e umidità relativa (Fig. 1).

D'inverno la bassa temperatura impedisce l'attività dei carabidi, che quindi muoiono (in particolare i "riproduttori autunnali") o svernano (i "riproduttori primaverili") (BRANDMAYR *et al.*, 2005), e in quest'ultimo caso possono tornare momentaneamente in attività nelle giornate particolarmente calde. L'inverno 2013-14 è stato particolarmente caldo (circa 4°C più della media; Fig. 1) e questo ha consentito un certo livello di attività dei carabidi svernanti, in particolare nel sito B (dove l'abbondanza di individui si è mantenuta più alta), che verosimilmente mantiene un microclima più mite a livello del suolo grazie alla copertura arborea e alla lettiera di foglie più consistenti rispetto al sito A.

D'estate le alte temperatura e i bassi valori di umidità relativa inibiscono l'attività dei carabidi che quindi entrano in estivazione, in particolare le specie più igrofile; di conseguenza pur riscontrando un elevato numero di specie, le loro abbondanze risultano ridotte. Fanno eccezione le specie termofile e xerofile, in particolare *P. canigoulensis*, che ha mostrato la massima presenza in luglio e agosto nel sito B.

In primavera e in autunno invece temperatura e umidità risultano ottimali per gran parte delle specie; in questi periodi si hanno dunque i massimi valori sia del numero di specie sia dell'abbondanza di individui.

La stagionalità è confermata dagli andamenti del numero di specie e delle abbondanze di esemplari che mostrano anche una differenziazione marcata fra i due anni di campionamento (Fig. 2a e 2b). La minore densità totale di esemplari rilevata nel 2014 rispetto all'anno precedente potrebbe verosimilmente essere messa in relazione alle diverse condizioni meteorologiche riscontrate nei due anni. Nel marzo 2014 si è avuta una temperatura media più alta di circa 3°C e un'umidità relativa media più bassa di circa il 10 % rispetto allo stesso mese dell'anno precedente; nei mesi successivi le temperature sono tornate a valori simili a quelle dell'anno precedente, mentre l'umidità ha continuato a rimanere sensibilmente più bassa (Fig. 1).

Come atteso gli indici *average taxonomic distinctness* ($\Delta+$) e *variation in taxonomic distinctness* (Δ^*) forniscono una informazione complementare a quella degli indici strutturali tradizionali. L'indice Δ^* infatti, misurando la diversità basata sulla distanza tassonomica tra le specie, non evidenzia marcate differenze strutturali tra le comunità dei due siti nei vari periodi (seppur con alcune eccezioni). In generale si osservano i valori minori nel periodo invernale evidenziando un depauperamento della comunità. La presenza di ridotti valori di questo indice sono solitamente associati ad eventi di disturbo (GALLARDO *et al.*, 2011; PASCHETTA *et al.*, 2012) e possono riflettere una ridotta funzionalità dell'habitat (WARWICK & CLARKE, 1998). L'indice infatti raggiunge il valore minore in gennaio 2014, quando la comunità risulta costituita in entrambi i siti da sole 3 specie, appartenenti genere *Calathus*. Le maggiori differenze tra le comunità dei due siti si riscontrano in aprile 2013, quando l'indice $\Delta+$ raggiunge in A il valore più elevato. Malgrado la comunità risulti costituita da sole tre specie, queste appartengono a tre differenti generi e tre differenti tribù, fornendo indicazione comunque di una certa diversificazione.

L'indice Δ^* presenta marcate differenze nei due siti nei vari periodi di campionamento. Valori particolarmente più elevati, ed indicativi di una destrutturazione della comunità, vengono raggiunti in entrambi i siti in ottobre 2013, quando nel sito A sono presenti tre specie del genere *Calathus* ed una del genere *Notiophilus* mentre nel sito B due specie appartengono al genere *Calathus* ed una al genere *Carabus*, e marzo 2014. Anche una disomogenità nella rappresentazione dei gruppi tassonomici di una comunità può essere indicativa di un disturbo nell'habitat e di una riduzione della sua funzionalità.

A differenza dei problemi che possono sorgere con l'utilizzo dei classici indici strutturali, una delle principali caratteristiche di questi due indici, basati su un approccio tassonomico, è la loro indipendenza dallo sforzo di campionamento (CLARKE & WARWICK, 1998): infatti non subiscono le medesime variazioni spaziali e temporali dell'indice di Shannon e del numero di individui.

Da un confronto con lavori analoghi già effettuati nel Bosco della Mesola possiamo trarre considerazioni sulle eventuali variazioni quali-quantitative delle comunità di carabidi.

In questo studio abbiamo riconfermato la presenza di *Carabus italicus*, rilevato per la prima volta nel Bosco della Mesola negli

anni 1995-97 ma che non era stato ritrovato nei campionamenti effettuati nel 2011-12 (BOSCOLO *et al.*, 2013).

Un'altra rilevante differenza rispetto agli anni precedenti è data dalla forte predominanza numerica di *C. melanocephalus*; essa era segnalata come specie sporadica negli anni '80 del secolo scorso (CONTARINI, 1988) e mostrava percentuali del 17 % e del 19 % rispettivamente negli anni 1997-98 e nel 2011-12. Nel nostro campionamento questa specie ha presentato un piccolo considerevole (70 % delle catture), che potrebbe però essere dovuto ad una normale fluttuazione demografica temporanea piuttosto che ad un trend di aumento a lungo periodo, considerando anche la diminuzione numerica che questa specie (assieme ad altre, in particolare *C. fuscipes graecus*) ha mostrato già nel secondo anno di campionamento (2014).

Ad eccezione di queste differenze, i risultati ottenuti in questo studio sono, nel complesso, concordanti con le conclusioni di BOSCOLO *et al.* (2013), confermando una marcata diminuzione delle abbondanze delle specie igrofile e mesotermofile a fronte di un aumento di quelle mesoigrofile/xerofile e termofile. È particolarmente evidente la forte diminuzione numerica delle specie igrofile: *Carabus granulatus interstitialis*, *C. cancellatus emarginatus* e *Nebria brevicollis*, che negli anni '80 e '90 erano dominanti mentre attualmente mostrano percentuali inferiori all'1%. Viceversa sono notevolmente aumentate le abbondanze della specie termofila *Calathus fuscipes graecus*, che negli anni '80 del '900 non risultava neppure presente all'interno del Bosco della Mesola (CONTARINI, 1988).

Allo stato attuale non è possibile trarre conclusioni certe sulle cause di queste variazioni sul lungo periodo, è però possibile che, proseguendo i monitoraggi, le serie di dati relativi alle dinamiche di queste comunità possano confermare trend legati ai mutamenti climatici.

RINGRAZIAMENTI

Sentiti ringraziamenti vanno al Corpo Forestale dello Stato, stazione di Punta Marina (RA), per la collaborazione durante i campionamenti all'interno del Bosco della Mesola; al Dr. Luca Toledano (Verona) per la determinazione di parte del materiale raccolto; al Prof. Augusto Vigna Taglianti (Roma) per le informazioni di tipo ecologico sulle specie rinvenute; ai colleghi e amici membri del sito Forum Entomologi Italiani per alcuni preziosi consigli, in particolare al Dr. Maurizio Pavesi (Museo di Storia Naturale di Milano), ad Augusto e Gabriele Franzini (Milano), ad Augusto Degiovanni (Bubano di Mordano, Bologna) ed a Ivan Rapuzzi (Cialla, Udine).

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON M.J., 2001 - A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26: 32-46.
 ANDERSON M.J., GORLEY R.N. & CLARKE K.R., 2008 - PERMANOVA+ for PRIMER: *Guide to Software and Statistical methods*. PRIMER-E Ltd., Plymouth, UK. 214 p.
 BOSCOLO T., CORAZZA C., PESARINI F. & FABBRI R., 2013 - Monitoraggio dei Coleotteri Carabidi in due siti del Parco Regionale del Delta del Po (Emilia Romagna, Italia) nell'ambito del progetto "Clima-

- parks", *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Ferrara*, 1: 91-102.
- BRANDMAYR P. & PIZZOLOTTO R., 1994 - I Coleotteri Carabidi come indicatori delle condizioni dell'ambiente ai fini della conservazione. *Atti XVII Congresso nazionale italiano di Entomologia, Udine*: 439-444.
- BRANDMAYR P., ZETTO T., COLOMBETTA G., MAZZEI A., SCALERCIO S. & PIZZOLOTTO R., 2002 - I Coleotteri Carabidi come indicatori predittivi dei cambiamenti dell'ambiente: clima e disturbo antropico. *Atti XIX Congresso nazionale italiano di Entomologia, Catania, 10-15 Giugno*: 283-295.
- BRANDMAYR P., ZETTO T. & PIZZOLOTTO R. (a cura di), 2005, *I Coleotteri Carabidi per la valutazione ambientale e la conservazione della biodiversità*. Manuale Operativo. APAT, Manuali e Linee Guida, 34, 240 pp.
- CLARKE K.R., 1993 - Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral Journal of Ecology*, 18: 117-143.
- CLARKE K.R. & GORLEY R.N., 2006 - PRIMER v6: *User Manual Tutorial*. PRIMER-E Ltd., Plymouth, UK: 190 pp.
- CLARKE K.R. & WARWICK R.M., 1998 - A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35: 523-531.
- CONTARINI E., 1988 - La coleotterofauna del "Boscone della Mesola" (delta padano meridionale). Secondo contributo (Carabidae, Silphidae, Scydmaenidae, Staphylinidae, Pselaphidae, Histeridae, Anthicidae). *Bollettino del Museo civico di Storia naturale di Venezia*, 38 (1987): 135-154.
- FABBRI R. & CORAZZA C., 2009 - I Carabidi come indicatori di biodiversità. *Storie Naturali*, 4: 38-41.
- GALLARDO B., GASCÓN S., QUINTANA X. & COMÍN F.A., 2011 - How to choose a biodiversity indicator - redundancy and complementarity of biodiversity metrics in a freshwater ecosystem. *Ecological Indicators*, 11: 1177-1184.
- MACCAPANI D., MAZZOTTI S. & PESARINI F., 2014 - Segnalazione del ritrovamento di *Pseudomasoreus canigoulensis* (Fairmaire & Laboulbène, 1854) nel Bosco della Mesola (Delta del Po) (Coleoptera, Carabidae). *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Ferrara*, 2: 89-90.
- MASSETTI L. & MAZZOTTI S., 2013 - Clima, mutamenti climatici ed effetti sulle biocenosi. Il progetto Climaparks. *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Ferrara*, 1: 79-90.
- PASCHETTA M., GIACHINO P.M. & ISAIA M., 2012 - Taxonomic relatedness of spider and carabid assemblages in a wetland ecosystem. *Zoological Studies*, 51: 1175-1187.
- PESARINI C. & MONZINI V., 2010 - Insetti della fauna italiana. Coleotteri Carabidi I. *Natura*, 100, 152 pp.
- PESARINI C. & MONZINI V., 2011 - Insetti della fauna italiana. Coleotteri Carabidi II. *Natura*, 101, 144 pp.
- PICCOLI F., GERDOL R. & FERRARI C., 1983 - Carta della vegetazione del Bosco della Mesola (Ferrara). *Atti Istituto Botanico Laboratorio Crittogamico*, Pavia, 2: 3-23.
- RAINIO J. & NIEMELA J., 2003 - Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12: 487-506.
- WARWICK.M. & CLARKE K.R., 1995 - New biodiversity measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series*, 129: 301- 305.
- WARWICK R.M. & CLARKE K.R., 1998 - Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 35: 532-543.
- WARWICK R.M. & CLARKE K.R., 2001 - Practical measures of marine biodiversity based on the relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review*, 39: 207-231.

