

ANGELA ROGGERO\* - CLAUDIA PALESTRINI\* - PIETRO PASSERIN D'ENTREVES \*

**ANALISI DELLE VARIAZIONI MORFOMETRICHE  
IN TRE SPECIE DI CARABIDI, *ABAX CONTINUUS*  
(GANGLBAUER, 1891), *POECILUS CUPREUS* (LINNEO, 1758)  
E *PSEUDOOPHONUS RUFIPES* (DEGEER, 1774)  
(Coleoptera: Carabidae)**

**ABSTRACT** - *Analysis of morphometric variations within three species of ground beetles, *Abax continuus* Ganglbauer, 1891, *Poecilus cupreus* (Linneo, 1758) e *Pseudoophonus rufipes* (Degeer, 1774) (Coleoptera: Carabidae).*

Both traditional Morphometric Analysis and Geometric Morphometrics Analysis were performed on specimens belonging to three species of ground beetles, which were collected in Val Cerrina (Basso Monferrato, Piemonte) during the years 2001-2002. Data were collected on ventral side. Measured values were estimated through traditional Statistics (t-test and nested ANOVA). Later, the *shape* variation was assessed by orthogonal generalized Procrustes superimposition analysis (GPA). The data resulting by Geometric Morphometrics Analysis were compared to the ones from traditional Morphometric Analysis.

**KEY WORDS:** Ground Beetles, Morphometrics, Geometric Morphometrics, GPA.

**RIASSUNTO** - Individui appartenenti a tre specie di Coleotteri Carabidi, raccolti in Val Cerrina (Basso Monferrato, Piemonte) tra il 2001 e il 2002, sono stati sottoposti a due tipi di indagine morfometrica, la morfometria tradizionale e la morfometria geometrica. L'analisi è stata effettuata sulla faccia ventrale del corpo. Inizialmente, tramite la statistica tradizionale (t-test e nested ANOVA), è stata valutata un'eventuale variazione dimensionale. Successivamente è stata applicata la morfometria geometrica (GPA, orthogonal generalized Procrustes superimposition analysis) per esaminare la variazione complessiva di *shape*. I dati ottenuti dalle due analisi sono stati confrontati.

**PAROLE CHIAVE:** Carabidi, Morfometria, Morfometria Geometrica, GPA.

---

\* Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università di Torino, via Accademia Albertina 17, I - 10123 Torino, Italia. E-mail: angela.roggero@unito.it - claudia.palestrini@unito.it - pietro.passerin@unito.it

## INTRODUZIONE

La morfometria geometrica, tecnica che permette lo studio della variazione morfologica complessiva di una forma (o *shape*), è un ottimo strumento per quantificare e rappresentare la variazione in diverse strutture (Rohlf & Marcus, 1993; Marcus *et al.*, 1996; Monteiro & Furtado dos Reis, 1999; Adams *et al.*, 2004). Il suo utilizzo nello studio degli insetti è ancora limitato, e in particolare, nell'ambito dei carabidi, al momento sono sostanzialmente due i lavori di morfometria geometrica (Alibert *et al.*, 2001; Magniez-Jannin *et al.*, 2000) che hanno impiegato questa metodica.

In Alibert *et al.* (2001) è stato evidenziato che *Carabus auronitens* e *C. nemoralis*, specie brachittere di foresta, caratterizzate da scarsa dispersione, presentano una significativa variazione di *shape* tra i due sessi e le modificazioni riguardano le stesse parti del corpo per entrambe le specie. Il capo dei maschi è più allungato di quello delle femmine, nelle quali gli ultimi segmenti addominali risultano invece più larghi di quelli dei maschi. L'analisi della variazione complessiva delle dimensioni tramite il valore del Centroid size ha inoltre mostrato che le femmine hanno sempre dimensioni maggiori dei maschi.

Magniez-Jannin *et al.* (2000) hanno testato la variazione morfologica di 27 specie di carabidi raccolte in Francia e Giappone, evidenziando che, mentre le specie francesi appaiono relativamente omogenee, le specie giapponesi presentano una variabilità maggiore.

Anche l'impiego della morfometria tradizionale per lo studio delle variazioni morfologiche dei carabidi è limitato. Tra i lavori più recenti, Sota *et al.* (2000) hanno esaminato il problema dell'ibridazione tra due specie di carabidi, *Carabus (Ohomopterus) insulicola* e *C. (O.) arrowianus*, studiandone le variazioni di dimensioni del corpo e delle armature genitali, e hanno dimostrato che gli ibridi hanno complessivamente dimensioni intermedie rispetto alle due specie di *Ohomopterus*. Queste ultime inoltre vengono ben discriminate in base alle dimensioni lineari considerate.

Un'analisi delle variazioni morfometriche è stata affrontata più recentemente anche in Ishitani *et al.* (2003), che hanno esaminato variazione di ricchezza specifica e varianza delle dimensioni corporee in dodici diversi siti di raccolta in Giappone, per valutare la presenza di un gradiente urbano-rurale. Sia l'abbondanza relativa di carabidi sia la ricchezza specifica decrescono in modo significativo con l'incremento di urbanizzazione. Inoltre, le aree fortemente disturbate sono frequentate abitualmente dalle specie di piccola taglia e generaliste. Questo potrebbe dipendere, secondo gli autori, dal fatto che le specie di piccola taglia sono alate più frequenter-

te che le specie di grande taglia, e perciò presentano una capacità di dispersione maggiore, con possibilità di colonizzare facilmente a più riprese anche ambienti instabili.

La morfometria tradizionale, anche se è certamente una metodica molto utile, presenta tuttavia un limite. Si tratta infatti di un metodo che può fornire indicazioni sulla variazione di ciascuna dimensione lineare separatamente, ma non sulla variazione della forma *in toto*, per cui nel caso di forme complesse, una parte dell'informazione può essere persa (Bertin *et al.*, 2002).

Per approfondire il diverso apporto fornito dai due approcci, abbiamo quindi deciso di impiegare entrambe le metodiche per analizzare la variazione morfometrica a livello intraspecifico in tre diverse specie di carabidi (Coleoptera, Carabidae), comparando poi i risultati ottenuti.

## CRITERI E METODI

### 1. L'area di raccolta

Gli esemplari esaminati (N = 145) provengono tutti dalla Val Cerrina (Basso Monferrato, Piemonte), zona caratterizzata da scarsa antropizzazione, con vaste aree in cui le colture di grano e di vite sono state abbandonate ed il bosco ha ripreso il sopravvento. Il territorio studiato (oltre 10.000 ha) è costituito in massima parte da colline di quote contenute, comprese tra 100 e 350 m (fig. 1).

Nell'area di raccolta sono state individuate 2 diverse tipologie ambientali, ambiente aperto (pascolo, prato e coltivo) e ambiente chiuso (bosco e cespuglieto).

Il campionamento è stato condotto nel biennio 2001-2002, utilizzando prevalentemente *pitfall traps*, con monitoraggio settimanale delle stazioni, effettuato nelle ore mattutine. Complessivamente sono stati raccolti 1501 esemplari, appartenenti a 51 specie di carabidi, con un certo numero di elementi endemici italiani (7,8%).

### 2. Campione esaminato

Si è deciso di impiegare nell'analisi esclusivamente le specie presenti in entrambi gli habitat, con un numero sufficiente di esemplari. Sono state selezionate le specie:

*Abax continuus* Ganglbauer, 1891. Specie endemica italiana, brachittera, diffusa in pianura e nelle zone montuose, principalmente silvicola (N = 53).

*Poecilus cupreus* (Linneo, 1758). Specie ad ampia distribuzione paleartica, alata, diffusa in pianura e nelle zone montuose, principalmente in terreni aperti e campi coltivati, ma anche in foreste molto umide (N = 49).

*Pseudophonus rufipes* (Degeer, 1774). Specie ad ampia distribuzione nel Palearctico, alata, euritopica, colonizza principalmente ambienti aperti, ed è frequente nei campi coltivati (N = 43).

Delle tre specie di Carabidae selezionate per l'analisi, due (*Abax continuus* e *Poecilus cupreus*) appartengono alla sottofamiglia Pterostichinae, mentre la terza (*Pseudophonus rufipes*) viene ricondotta alla sottofamiglia Harpalinae (Magistretti, 1965).

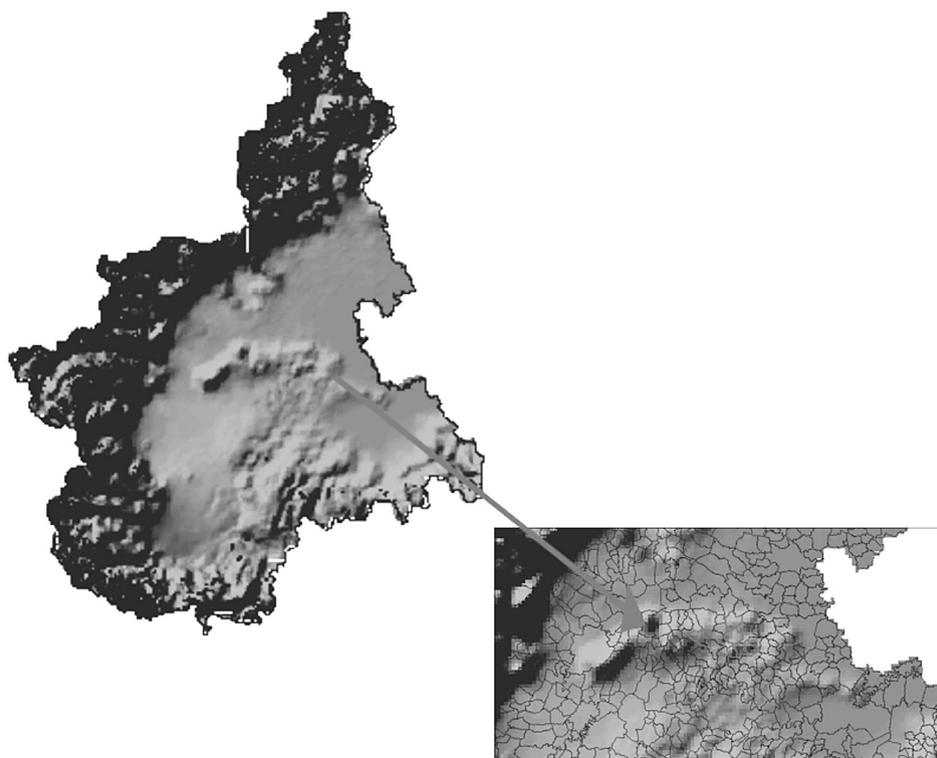


Fig. 1 - Area di raccolta, comprendente i comuni di Brozolo, Cerrina Monferrato, Gabiano, Odalengo Piccolo, Ponzano e Robella (Val Cerrina, Basso Monferrato, Piemonte), dove è stata effettuata la campagna di raccolta nel biennio 2001-2.

### 3. Analisi

Dapprima gli individui sono stati esaminati per l'identificazione del sesso, quindi sono stati preparati fissandoli dorsalmente, mediante colla entomologica, su cartellini, dopo aver eliminato zampe, antenne, mascelle e labbro inferiore (Alibert *et al.*, 2001). Le immagini digitali, ottenute con una fotocamera Olympus DP11, montata su uno stereomicroscopio Leica MZ8, sono state analizzate, previa acquisizione su computer tramite il software Camedia Olympus.

Sono state misurate la larghezza del pronoto all'altezza della prima cavità coxale (L1), la distanza tra il margine anteriore del pronoto ed il margine posteriore del pigidio (L2), e la larghezza prossimale delle elitre (L3), impiegando il software Olympus DP Soft (fig. 2). Sono state calcolate, per ciascuna specie, media e deviazione standard delle misure ottenute, che sono state successivamente testate con t-test, 2-ways Anova e nested Anova tramite Systat 8.0.

Ventralmente, sulla metà destra di capo, pronoto e addome sono stati fissati 30 landmarks (fig. 3), determinandone la posizione in base alla capacità di descrivere meglio la conformazione degli individui (Alibert *et al.*, 2001; Bookstein, 1991; Marcus *et al.*, 1996; Rosenberg, 2002). I landmarks sono stati posti all'intersezione di elementi dell'esoscheletro, e si è scelto di utilizzare solo metà del corpo per evitare i problemi legati all'asimmetria direzionale (Klingenberg *et al.*, 1998), a differenza di quanto fatto da Magniez-Jannin *et al.* (2000) e Alibert *et al.* (2001). La ripetibilità delle misure e la misura dell'errore è stata testata come proposto in Alibert *et al.* (2001). Dopo aver fissato su ciascun individuo i landmarks impiegando il software tpsDig

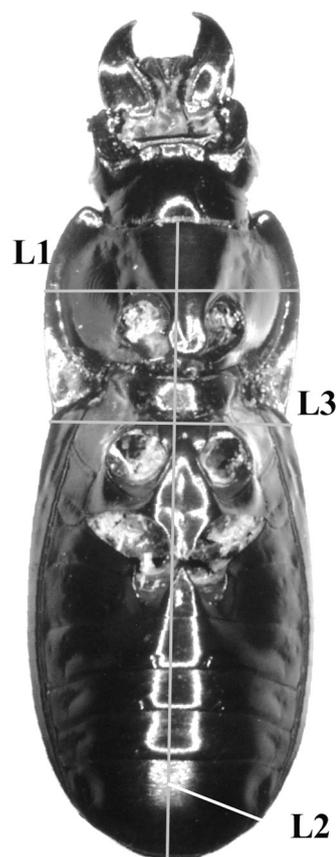


Fig. 2 - Schema delle misure (L1, L2 e L3).

1.39 (Rohlf, 2003a), è stato possibile effettuare l'analisi di morfometria geometrica.

Anche l'analisi sulla variazione di *shape* con GPA (orthogonal generalized Procrustes superimposition analysis) è stata condotta su ciascuna specie separatamente.

Per valutare la variazione complessiva di *shape* è stata effettuata l'analisi delle componenti principali, impiegando il software tpsRELW 1.35 (Rohlf, 2003b), con  $\alpha = 0$  e UNI = yes. Successivamente l'analisi è stata ripetuta impostando l'esponente  $\alpha = 1$ , ed escludendo la componente uniforme.

Sono stati ricavati i valori calcolati di Centroid size, Partial warps (= PWs) e Relative warps (= RWs), che sono successivamente stati analizzati per confrontare il risultato dell'analisi delle componenti principali.

La variazione intraspecifica di *shape*, risultante dai RWs, è stata analizzata per i raggruppamenti in base all'ambiente di raccolta e al sesso, plottando i valori dei primi due RWs tramite NTSY-Spc (Rohlf, 1998-2000).

I valori dei PWs sono stati utilizzati per valutare, in ciascuna specie separatamente, la significatività dei gruppi individuati in base al sesso e all'habitat di raccolta, tramite l'ANOVA e l'Analisi Discriminante. Quest'ultima analisi è stata condotta dapprima con Systat 8.0 e poi con PADwin 0.44, programma creato da Dujardin (2003) espressamente per analizzare i PWs, secondo la procedura per l'analisi discriminante descritta anche da Rohlf in NTSYS (1998-2000).

Impiegando i valori di Centroid Size si è valutata un'eventuale differenza significativa tra i sessi o tra gli habitat occupati. Si è impiegato il Centroid size in quanto è la sola misura di dimensione che non sia correlata con le variabili di *shape* in assenza di allometria (Marcus *et al.*,

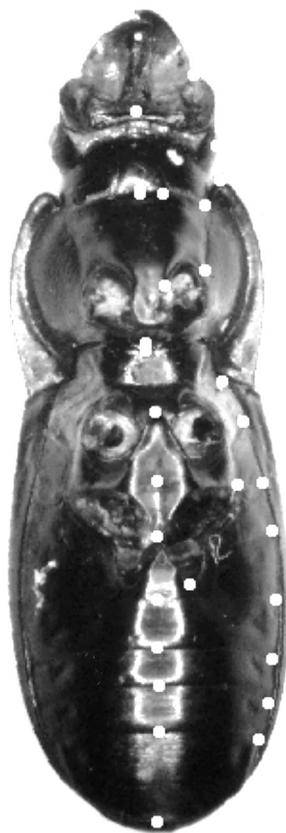


Fig. 3 - Schema dei 30 landmarks selezionati per l'analisi di morfometria geometrica.

1996). L'analisi è stata condotta tramite il t-test e ANOVA (Claude *et al.*, 2003; Rosenberg, 1998) con Systat 8.0.

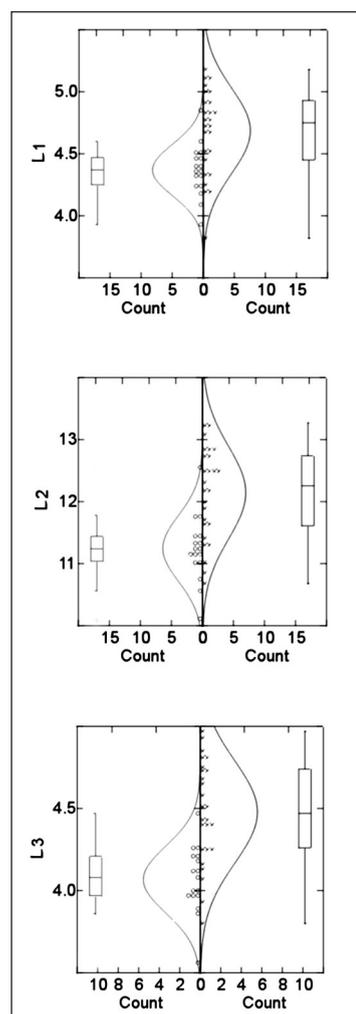
Infine, con tpsPLS 1.12 (Rohlf, 2003c) si è testata l'eventuale correlazione tra la variazione complessiva di *shape* e la variazione di *size*, considerando separatamente nell'analisi il Centroid size in un caso, e le dimensioni precedentemente misurate (L1, L2, L3) nell'altro. La significatività dei risultati è stata verificata con il test di permutazione (N replicazioni = 1000).

## RISULTATI

### 1. Morfometria tradizionale

Per quanto riguarda l'analisi riferita alle dimensioni lineari (tab. 1), queste sono state esaminate sia tramite t-test sia tramite ANOVA (2-ways e nested). *Abax continuus* e *Poecilus cupreus* non presentano differenze significative, né in base al sesso né rispetto all'habitat frequentato. Nel caso di *Pseudophonus rufipes* invece si ha una differenza significativa per le tre dimensioni considerate (L1, L2 e L3) rispetto al sesso, e le femmine risultano più grandi dei maschi per ciascuna dimensione considerata (fig. 4). Considerando contemporaneamente le tre dimensioni, nel caso di *Pseudophonus rufipes*, con la 2-ways ANOVA [habitat e sesso crossed] non si ha un risultato statisticamente significativo. La Nested ANOVA [sesso nested in habitat] invece conferma lo

Fig. 4 - Grafici dei t-test su *Pseudophonus rufipes*, per L1 ( $t = -3,763386406$   $df = 40, 8$  Prob = 0,000527697), L2 ( $t = -4,619352155$   $df = 40, 6$  Prob = 0,000038460) e L3 ( $t = -5,245300278$   $df = 41, 0$  Prob = 0,000005081). Analisi condotta sui sessi, con i maschi a sinistra (gruppo 1) e le femmine a destra (gruppo 2).



sbilanciamento dimensionale a favore delle femmine (Wilks' Lambda = 0,58508; F = 3,79059; df = 6, 74; p = 0,002397).

Tab. 1 - Medie e deviazioni standard calcolate per le tre specie di carabidi utilizzando le tre dimensioni lineari.

<i>Abax continuus</i>							
	N	L1		L2		L3	
		media	SD	media	SD	media	SD
<b>Tot</b>	53	5,958	0,324	14,531	0,812	5,524	0,334
<b>A</b>	28	5,921	0,355	14,562	0,939	5,472	0,392
<b>C</b>	25	5,998	0,285	14,498	0,658	5,583	0,248
♂	24	5,891	0,301	14,423	0,846	5,483	0,366
♀	29	6,012	0,336	14,620	0,786	5,559	0,307
♂_A	15	5,847	0,331	14,460	1,005	5,428	0,426
♂_C	9	5,964	0,241	14,360	0,530	5,576	0,228
♀_A	13	6,007	0,375	14,676	0,883	5,524	0,359
♀_C	16	6,016	0,313	14,575	0,725	5,583	0,266

<i>Poecilus cupreus</i>							
	N	L1		L2		L3	
		media	SD	media	SD	media	SD
<b>Tot</b>	49	3,877	0,233	10,124	0,576	3,680	0,240
<b>A</b>	12	3,997	0,219	10,322	0,580	3,777	0,214
<b>C</b>	37	3,929	0,239	10,212	0,547	3,726	0,240
♂	18	3,980	0,216	10,292	0,521	3,799	0,209
♀	31	3,926	0,245	10,208	0,574	3,703	0,242
♂_A	4	4,000	0,238	10,208	0,278	3,793	0,158
♂_C	14	3,974	0,218	10,316	0,578	3,801	0,227
♀_A	8	3,995	0,225	10,379	0,697	3,769	0,247
♀_C	23	3,902	0,252	10,148	0,529	3,680	0,241

<i>Pseudoophonus rufipes</i>							
	N	L1		L2		L3	
		media	SD	media	SD	media	SD
<b>Tot</b>	43	4,559	0,333	11,789	0,797	4,317	0,339
<b>A</b>	25	4,538	0,348	11,712	0,849	4,299	0,355
<b>C</b>	18	4,592	0,317	11,869	0,727	4,339	0,323
♂	17	4,369	0,208	11,245	0,531	4,076	0,204
♀	26	4,685	0,342	12,144	0,743	4,478	0,311
♂_A	9	4,303	0,182	11,048	0,417	3,993	0,204
♂_C	8	4,444	0,221	11,467	0,582	4,150	0,180
♀_A	16	4,669	0,353	12,085	0,804	4,471	0,303
♀_C	10	4,711	0,342	12,238	0,664	4,490	0,338

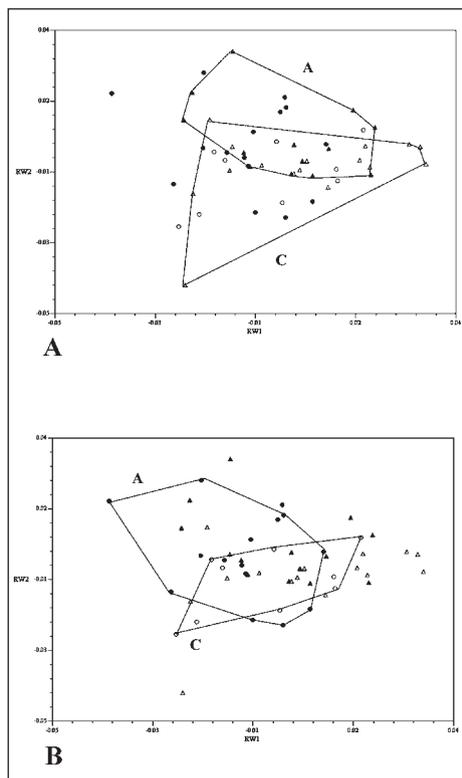
## 2. Variazione complessiva di *shape*

Nell'analisi della variazione complessiva di *shape*, le tre specie sembrano presentare una situazione estremamente diversificata.

Per *Abax continuus* l'analisi, con  $\alpha = 0$  e la componente uniforme presente, ha dato il 32% della varianza complessiva spiegata dai primi due RWs. Effettuando l'analisi con  $\alpha = 1$  si ha un aumento significativo della varianza spiegata dai primi due RWs (circa 73%). La distribuzione degli individui non suggerisce esplicitamente alcun pattern di diversificazione, anche se le femmine (fig. 5A) hanno in complesso una variabilità maggiore dei maschi (fig. 5B) e, in generale, gli individui di ambiente aperto hanno una variabilità maggiore di quelli di ambiente chiuso. Esaminando separatamente i due sessi, è stata confermata una certa differenziazione di *shape* tra individui che frequentano i due habitat. Infatti, sebbene siano complessivamente meno variabili delle femmine, i maschi reperiti in ambiente aperto presentano comunque una variabilità molto maggiore rispetto a quelli ritrovati in ambiente chiuso.

In *Poecilus cupreus* la varianza spiegata da RW1 e RW2 è del 42% circa con  $\alpha = 0$  e componente uniforme inclusa, mentre con  $\alpha = 1$  la varianza complessiva spiegata dai primi due RWs arriva fino ad 82%. Dall'analisi del plot sembra che i maschi (fig. 6B) presentino una ridotta variabilità di forma rispetto alle femmine (fig. 6A), ma dall'analisi effettuata considerando separatamente i due sessi non si sono osservate differenze significative in funzione dei due pattern ambienta-

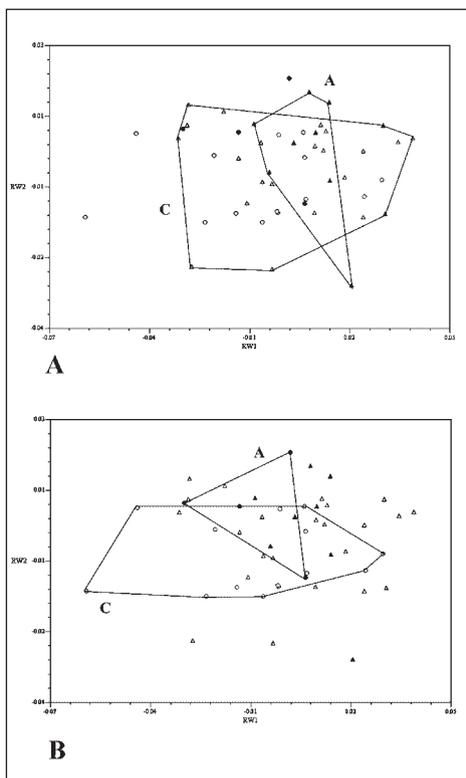
Fig. 5 - Plot dei RWs 1 e 2 per *Abax continuus*. A) femmine. B) maschi. Il cerchio rappresenta i maschi, il triangolo le femmine, il color nero l'ambiente aperto, il color bianco l'ambiente chiuso.



li. È stata evidenziata invece una maggior variabilità negli individui di ambiente chiuso rispetto a quelli raccolti in ambiente aperto.

Per quanto riguarda *Pseudoophonus rufipes*, la varianza complessivamente spiegata dai primi due RWs è rispettivamente 43% circa (per  $\alpha = 0$  e componente uniforme inclusa) e superiore a 80% (per  $\alpha = 1$ ). Sul plot abbiamo di nuovo una situazione in cui le femmine (fig. 7A) presentano una variabilità complessiva di *shape* superiore a quella dei maschi (fig. 7B), ma nel dettaglio non diversificano nettamente a livello di habitat. Al contrario, i maschi presentano una variabilità complessiva di *shape* inferiore, ma sembrano meglio differenziati rispetto all'habitat.

L'ANOVA e l'Analisi discriminante effettuate sui PWs, considerando i raggruppamenti per sesso e habitat, non sono però risultate statisticamente significative per nessuna delle tre specie. Questo risultato conferma le osservazioni condotte precedentemente sui plot, in cui la separazione degli individui non è marcata e la variabilità, all'interno dei raggruppamenti considerati, è relativamente ampia.



### 3. Variazione complessiva di *size*

Dall'analisi effettuata con t-test sui valori di Centroid size, si è ottenuto un risultato significativo solo nel caso di *Pseudoophonus rufipes* (fig. 8A), con gli individui separati per sesso ( $t = 4,54556$ ;  $df = 34, 9$ ;  $p = 0,000063$ ). Il dato risultante conferma quello ottenuto nell'analisi morfometrica tradizionale, dove il t-test risultava significativo solo nel caso di *Pseudoophonus rufipes*, per gli individui separati in base al

Fig. 6 - Plot dei RWs 1 e 2 per *Poecilus cupreus*. A) femmine. B) maschi. Il cerchio rappresenta i maschi, il triangolo le femmine, il color nero l'ambiente aperto, il color bianco l'ambiente chiuso.

nesso (fig. 4). L'analisi discriminante sui valori di Centroid size non è risultata significativa, a differenza dell'ANOVA (fig. 8B,  $p = 0,0000756$ ).

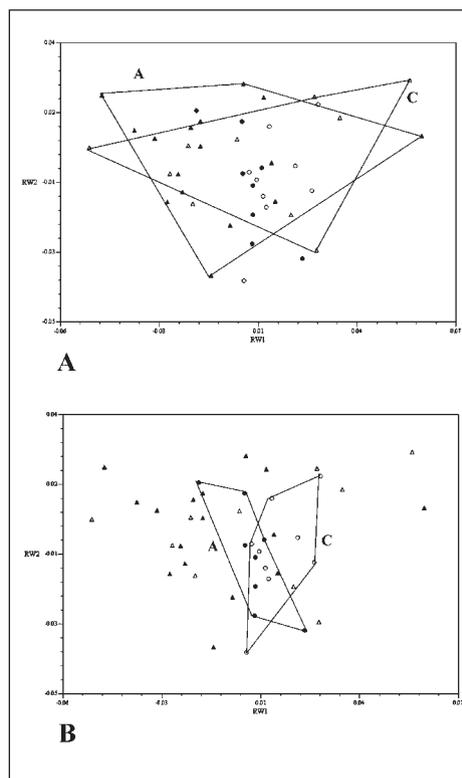
#### 4. Correlazione tra dimensioni e *shape*

Anche nell'analisi della correlazione tra la variazione di *shape* e le variabili dimensionali si sono ottenuti risultati diversi per le tre specie.

In *Abax continuus* dalla correlazione tra Centroid size e *shape* si ricava il valore di  $r = 0,54711$  (coefficiente di correlazione tra variabili e *shape*), e 8,89% di correlazione nel test di permutazione. Impiegando L1, L2 ed L3, nella Cross Set Analysis si ha il dato significativo di 88,62% della covarianza spiegata dalla prima dimensione (D1), mentre nel successivo test di permutazione si ottengono valori significativi per D2 (0,70%) e D3 (0,10%). Dall'analisi dei plot risultanti si osserva infatti che gli individui che frequentano i due ambienti presentano una separazione, per quanto ridotta, solo per D2 ( $r = 0,64186$ ) e per D3 (figg. 9A e 9B,  $r = 0,65314$ ). Per D1 ( $r = 0,52380$ ) non vi è una separazione evidente, e infatti il test di permutazione non è risultato così significativamente basso (13,99%), come il risultato della Cross Set Analysis (88,62%) avrebbe fatto prevedere. In definitiva, dall'analisi su *Abax continuus* si può notare che *shape* e dimensioni covariano in modo significativo, e le correlazioni tra le dimensioni 2 e 3 sono più strette di quanto ci si aspetterebbe se fossero casuali.

Nell'analisi su *Poecilus cupreus* viene confermata nuovamente la

Fig. 7 - Plot dei RWs 1 e 2 per *Pseudophonus rufipes*. A) femmine. B) maschi. Il cerchio rappresenta i maschi, il triangolo le femmine, il color nero l'ambiente aperto, il color bianco l'ambiente chiuso.



non-diversificazione tra gli individui, sia impiegando il valore del Centroid size (fig. 9C), sia le dimensioni lineari (L1, L2 ed L3). Gli individui di habitat aperto risultano tendenzialmente compresi in un unico raggruppamento con quelli di ambiente chiuso, ed è evidente anche una marcata sovrapposizione tra maschi e femmine. Il dato osservato è confermato dai risultati della Cross Set Analysis e del test di Permutazione, che sono risultati entrambi non significativi.

In *Pseudoophonus rufipes*, impiegando il Centroid size (D1 = 13,79% nel test di permutazione,  $r = 0,50695$ ), abbiamo una buona separazione sul plot dei maschi tra di loro, in base all'habitat, mentre le femmine dei due habitat risultano fortemente sovrapposte (fig. 9D). La separazione tra maschi e femmine è ridotta. Per le dimensioni lineari (L1, L2 e L3) abbiamo il 92,37% di covarianza spiegato da D1 (plot in fig. 9E) nella Cross Set Analysis, ma dal test di Permutazione si ha solo per D2 ( $r = 0,59455$ ) un valore significativamente basso (2,60%) di correlazione osservata. Analiz-

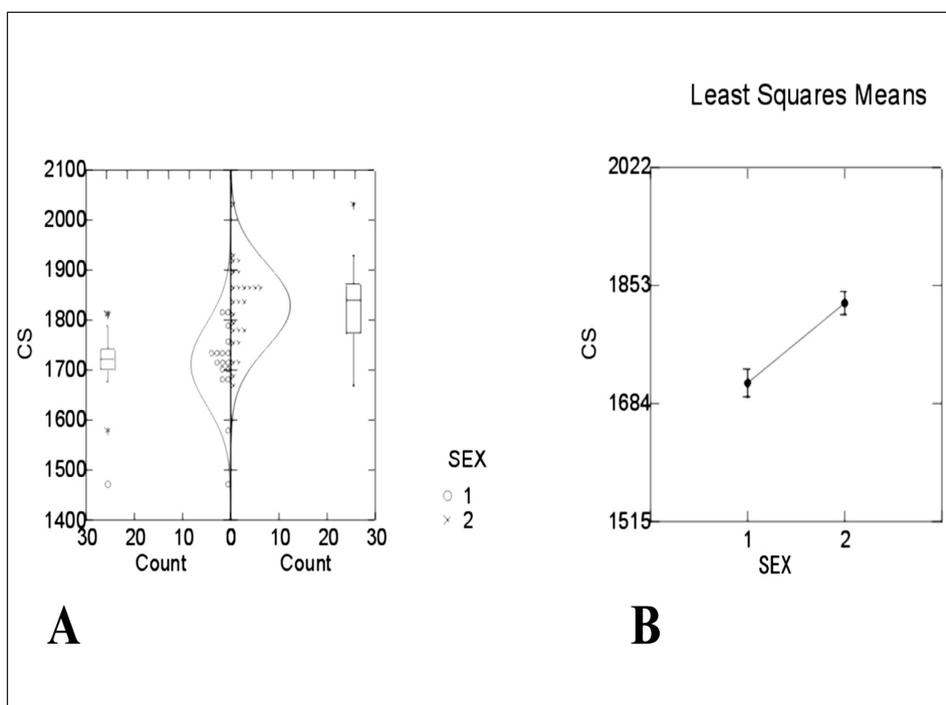


Fig. 8 - *Pseudoophonus rufipes*. A) Plot di t test su CS per sesso. B) ANOVA su CS con gli individui suddivisi in base al sesso (1 = maschi; 2 = femmine).

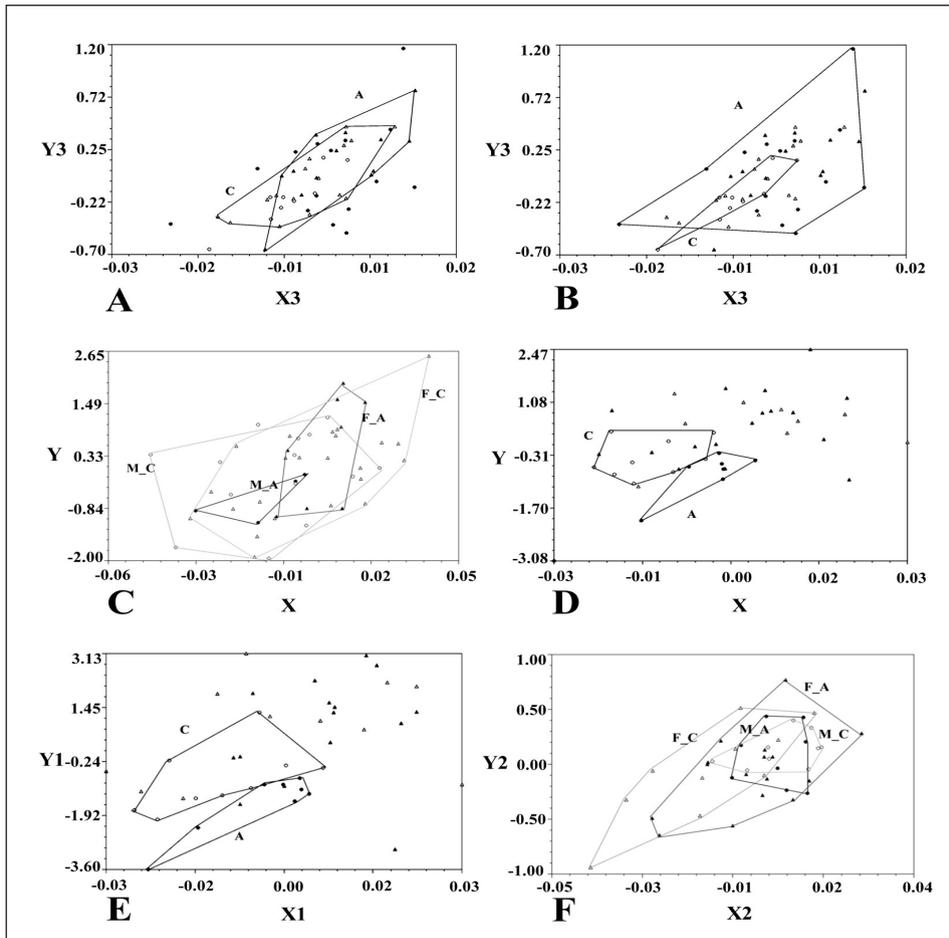


Fig. 9 - Plot ricavati da tpsPLS. A) plot ottenuto da D3 ( $r = 0,65314$ ), in cui sono state evidenziate le femmine di *Abax continuus*. B) plot ottenuto da D3 ( $r = 0,65314$ ), in cui sono state evidenziate i maschi di *Abax continuus*. C) plot ottenuto dalla analisi della correlazione tra *shape* e Centroid Size di *Poecilus cupreus*. D) plot ottenuto dalla analisi della correlazione tra *shape* e Centroid Size di *Pseudoophonus rufipes*, in cui sono stati evidenziati i raggruppamenti dei maschi di *Pseudoophonus rufipes* raccolti nei due ambienti. E) plot ottenuto da D1 ( $r = 0,45416$ ), in cui sono stati evidenziati i gruppi dei maschi di *Pseudoophonus rufipes* per i due ambienti. F) plot ottenuto da D2 ( $r = 0,59455$ ) di *Pseudoophonus rufipes*, in cui sono stati evidenziati i raggruppamenti di entrambi i sessi per i due ambienti considerati. Il cerchio rappresenta i maschi, il triangolo le femmine, il color nero l'ambiente aperto, il color bianco l'ambiente chiuso.

zando il plot dei vettori D2 (fig. 9F) appaiati non si osserva però una separazione evidente, né in base all'habitat, né in base al sesso. Evidentemente, in questa specie, la variabilità complessiva di *shape* non è correlata alla variazione dimensionale.

## CONCLUSIONI

Dall'analisi effettuata sulle tre specie di carabidi sembra evidente che si possono ricavare utili informazioni sulla variazione morfologica con l'impiego sia della morfometria tradizionale sia di quella geometrica, metodiche che non sono da ritenersi alternative, ma integrabili. I dati ricavati dall'esame delle dimensioni lineari (L1, L2 e L3) e il valore calcolato del Centroid size hanno fornito risultati sostanzialmente analoghi, mentre l'analisi della variazione complessiva di *shape* ha permesso di ottenere ulteriori informazioni tese ad evidenziare eventuali pattern di variabilità morfologica intraspecifica.

In *Abax continuus* e *Poecilus cupreus* non si sono rilevate differenze statisticamente significative con l'analisi degli individui separati per sesso oppure per località di raccolta, sulla base delle variabili dimensionali misurate e del Centroid size. Per quanto riguarda invece l'analisi della varianza complessiva di *shape*, sembra che le femmine di entrambe le specie abbiano una variabilità maggiore dei maschi. Gli individui raccolti in ambiente aperto sono più variabili di quelli di ambiente chiuso in *Abax continuus*, viceversa *Poecilus cupreus* presenta una varianza molto maggiore negli individui raccolti in ambiente chiuso.

I risultati dell'analisi morfometrica in *Pseudoophonus rufipes* hanno permesso di evidenziare una differenza significativa, raggruppando gli individui in base al sesso, tramite l'analisi morfometrica tradizionale e la morfometria geometrica. L'analisi della varianza complessiva di *shape* ha dato un risultato analogo a quello ottenuto per le altre due specie, con le femmine più variabili dei maschi. Questi ultimi presentano pattern diversificati considerando i due habitat. Il risultato sembra correlato al dato ricavato dall'analisi delle dimensioni lineari e del Centroid size per questa specie, in cui le femmine sono significativamente più grandi dei maschi per ciascuna dimensione considerata.

Sebbene la variazione morfometrica non sia risultata elevata a livello intraspecifico per nessuna delle tre specie, dall'analisi si è evidenziato che ciascuna specie nell'area testata sembra presentare individui in cui forma e dimensioni suggeriscono pattern dissimili in virtù del sesso e dell'habitat frequentato.

## RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è stato realizzato grazie a V. Ciccottino e A. Mazza, che hanno raccolto, nell'ambito del progetto BIOMONF (Banca Dati Naturalistica - Atlante della Biodiversità delle colline del Basso Monferrato), il materiale utilizzato nel presente lavoro. Vogliamo inoltre ringraziare G. Allegro, che ha determinato il materiale raccolto.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMS D.C., ROHLF F.J., SLICE D. E., 2004 – Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the “Revolution”. *In*: Loy A., Corti M., Adams D.C., Slice D.E., Rohlf F.J. (Eds.) *Proceeding of Rome Geometric Morphometrics Workshop. Homage to Leslie F. Marcus*. *It. J. Zool.*, 71: 5-16.
- ALIBERT P., MOUREAU B., DOMMERGUES J.-L., DAVID B., 2001 – Differentiation at a microgeographical scale within two species of ground beetle, *Carabus auronitens* and *C. nemoralis* (Coleoptera, Carabidae): a geometrical morphometric approach. *Zool. Scripta*, 30: 299-311.
- BERTIN A., DAVID B., CÉZELLY F., ALIBERT P., 2002 – Quantification of sexual dimorphism in *Asellus aquaticus* (Crustacea: Isopoda) using outline approaches. *Biol. J. Linn. Soc.*, 77: 523-533.
- BOOKSTEIN F. L., 1991 – *Morphometrics Tools for Landmarks Data. Geometry and Biology*. New York: Cambridge University Press, 435 pp.
- CLAUDE J., PARADIS E., TONG H., AUFRAY J.-C., 2003 – A geometric morphometric assessment of the effects of environment and cladogenesis on the evolution of the turtle shell. *Biol. J. Linn. Soc.*, 79: 485-501.
- DUJARDIN J.-P., 2003 – PADwin 0.44. Software free, scaricabile dal sito: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- ISHITANI M., KOTZE D.J., NIEMELÄ J., 2003 – Changes in carabid beetles assemblages across an urban-rural gradient in Japan. *Ecography*, 26: 481-489.
- KLINGENBERG C.P., MCINTYRE G.S., ZAKLAN S.D., 1998 – Left-right asymmetry of fly wings and the evolution of body axes. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 265: 1255-1259.
- MAGNIEZ-JANNIN F., DAVID B., DOMMERGUES J.-L., SU Z.-H., OKADA T., OSAWA S., 2000 – Analysis disparity by applying combined morphological and molecular approaches to French and Japanese carabid beetles. *Biol. J. Linn. Soc.*, 71:343-358.
- MAGISTRETTI M. (Ed), 1965 – *Fauna d'Italia. Coleoptera. Cicindelidae, Carabidae*. Bologna: Edizioni Calderini. 512 pp.
- MARCUS L.F., CORTI M., LOY A., NAYLOR G.J. P., SLICE D.E., 1996 – *Advances in Morphometrics*. Nato ASI Series, vol. 284. New York: Plenum Press, 587 pp.
- MONTEIRO L.R., FURTADO DOS REIS S., 1999 – *Princípios de Morfometria Geométrica*. Riberio Preto: Holos, 188 pp.
- ROHLF F.J., 1998-2002 – NTSYSpc. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. v2.11. Exeter Software, Setauket, New York.
- ROHLF F.J., 2003a – tpsDIG. v1.39. Software free, scaricabile dal sito: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>

- ROHLF F.J., 2003b – tpsRELW v1.35. Software free, scaricabile dal sito: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- ROHLF F.J., 2003c – tpsPLS. Partial Least-squares of Shape. v1.12. Software free, scaricabile dal sito: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- ROHLF F.J., MARCUS L.F., 1993 – A Revolution in Morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*, 8: 129-132.
- ROSENBERG S.M., 2002 – Fiddler crab claw shape variation: a geometric morphometric analysis across the genus *Uca* (Crustacea: Brachyura: Ocypodidae). *Biol. J. Linn. Soc.*, 75: 147-162.
- SOTA T., KUSUMOTO F., KUBOTA K., 2000 – Consequences of hybridization between *Ohomopterus insulicola* and *O. arrowianus* (Coleoptera, Carabidae) in a segmented river basin: parallel formation of hybrid swarms. *Biol. J. Linn. Soc.*, 71: 297-313.