

Applicazione delle tecniche di morfometria geometrica nello studio della morfologia fogliare del genere *Quercus* L. subgen. *Quercus* (gr. *Robur sensu* Pignatti 1982)

P. FORTINI, V. VISCOSI, A. LOY e C. BLASI

ABSTRACT - *Geometric morphometrics methods to study leaf variation in oaks of genus Quercus L. subgen. Quercus (gr. Robur sensu Pignatti 1982)* - A geometric morphometrics approach was used to describe the pattern of morphological leaf variation in *Q. pubescens*, *Q. virgiliana* and *Q. dalechampii*. Landmarks and outlines were compared to describe variation in leaf morphology in six Italian populations. A specific protocol was created to avoid the effect of intraindividual variation of leaves. Similar results were found when differences in shape were analysed by discriminant analyses of shape coordinates (landmarks) and Fourier coefficients (outlines).

Key words: morphometric geometrics, *Quercus*, work protocol

Ricevuto il 16 Giugno 2006
Accettato il 5 Gennaio 2007

INTRODUZIONE

Il genere *Quercus*, rappresenta nell'ambito delle angiosperme un *taxon* palesemente arcaico, con ampio areale, esteso alle zone temperate di tutto l'emisfero boreale, con penetrazioni nelle zone subtropicali (CAMUS, 1936-1954). In considerazione di ciò, il genere *Quercus* ha potuto beneficiare di un lungo cammino evolutivo che ha dato origine a numerosi gruppi tassonomicamente ben distinti, la cui differenziazione è attribuibile in massima parte all'isolamento geografico e alla speciazione ecologica.

Nella storia recente delle querce europee, specialmente dal post-glaciale, è importante considerare diversi fattori quali gli effetti degli interventi antropici, la frammentazione, le dinamiche di ricolonizzazione e l'alta probabilità di ibridazione intraspecifica del genere che hanno creato una notevole variabilità morfologica che si esprime a tutti i livelli (foglie, frutti, corteccia, ecc.)

Nei territori mediterranei, in particolare, i processi evolutivi hanno agito con intensità tale da determinare la proliferazione di numerose stirpi endemiche, morfologicamente distinguibili a diverso rango tassonomico (BRULLO *et alii*, 1999).

In particolare il genere *Quercus* gr. *Robur* è stato materia di studio per numerosi botanici europei, i

quali nel tempo hanno proposto spesso schemi molto contrastanti tra loro, comportando una situazione problematica in relazione soprattutto alle sinonimie e alla nomenclatura (SCHWARZ, 1935; AMARAL FRANCO, LOPEZ GONZALES, 1987; GOVAERTS, 1995). In particolare il lavoro di SCHWARZ (1936-39), ripreso in *Flora Europaea* (1993), risulta maggiormente in uso, ma rivisitato, in numerosi testi europei (VICIOSO, 1950; SAVULESCU, 1952; HEDGE, YALTIRIK, 1982; PIGNATTI, 1982; GREUTER *et alii*, 1986; AMARAL FRANCO (DO), 1990; RIVAS-MARTINEZ, SAENZ LAIN, 1991; BERNETTI, 1995; CHRISTENSEN, 1997).

Attualmente c'è quindi un'interpretazione confusa delle diagnosi originali dovuta principalmente all'elevato polimorfismo delle entità sia a livello specifico che intra-specifico. Tenendo presente che uno studio completo sul genere *Quercus* necessita di più approcci: morfologico, molecolare, cenologico, biogeografico, in questo lavoro si presenta un protocollo sperimentale di studio della morfologia fogliare di tre specie appartenenti al genere *Quercus* subgen. *Quercus* (*Q. pubescens* Willd., *Q. virgiliana* Ten. e *Q. dalechampii* Ten.) mediante l'utilizzo delle tecniche di morfometria geometrica applicate per lo studio

quantitativo delle forme biologiche (BOOKSTEIN, 1991; ROHLF, MARCUS, 1993; MONTEIRO, FURTADO, 1999; MACLEOD, 2002; ADAMS *et alii*, 2004). Le tecniche utilizzate rendono possibile effettuare confronti tra le forme indipendentemente dalle variazioni delle dimensioni degli oggetti analizzati e permettono inoltre la visualizzazione delle possibili variazioni di forma mediante delle rappresentazioni grafiche, note come griglie di deformazione (CORTI, 1996). L'applicazione di questo metodo ha permesso di arrivare all'estrapolazione di un modello fogliare rappresentativo per ogni entità sistematica (FORTINI *et alii*, 2005).

MATERIALI E METODI

Lo studio è stato effettuato su sei popolamenti misti dell'Appennino centro-meridionale (Tab. 1): per ognuno, numerosi individui sono stati campionati casualmente e successivamente determinati.

TABELLA 1

Località, quota e substrato delle popolazioni campionate.
Location, altitude and substrate of population sampled.

Specie	Località	Quota	Substrato
<i>Q. p.</i>	Mainarde IS	350-500	Flysch
<i>Q. p.</i>	B. Volturmo IS	500-750	Calcari
<i>Q. d.</i>	A. Volturmo IS	550-700	Flysch
<i>Q. d.</i>	A. Biferno CB	750-900	Flysch
<i>Q. v.</i>	Matese CE	250-400	Calcari
<i>Q. v.</i>	Cilento SA	0-300	Flysch

Per il campionamento sono stati osservati i seguenti criteri: sono stati raccolti, in zone d'ombra e di luce della chioma, solo rami dell'ultimo anno portanti i frutti; in ogni popolamento, per la specie risultata più abbondante (≥ 65), in accordo con KREMER *et alii* (2002), sono stati analizzati cinque individui e per ognuno di questi, dieci foglie (d'ombra e di luce) sono state scansionate ad una risoluzione di 200 dpi. La determinazione analitica dei campioni è stata effettuata mediante la consultazione di più flore e in particolare: *Flora Neapolitana* (TENORE, 1811-1838), *Flora d'Italia* (PIGNATTI, *l.c.*), *Flora Europaea* (SCHWARZ, 1964, 1993) e BRULLO *et alii* (*l.c.*); sono stati inoltre visionati i campioni originali (*tipi*) e considerate le loro diagnosi. La nomenclatura presentata segue PIGNATTI (*l.c.*). I campioni sono conservati presso l'*Herbarium Universitatis Molisii* (IS; Università del Molise). Le tecniche di morfometria geometrica sono state applicate con due diversi set di dati: punti omologhi (landmark) e contorni.

Il metodo dei landmark si basa sulla registrazione di coordinate cartesiane, che vengono standardizzate e trasformate in descrittori della forma (coordinate della forma) degli oggetti. Per ogni foglia sono stati digitalizzati undici landmark, presi sulla metà fogliare destra (Fig. 1). Le regioni fogliari considerate (picciolo, regioni basale e apicale della lamina, lobo recante l'ampiezza massima alla lamina e sua profondità) sono state scelte su considerazioni personali e

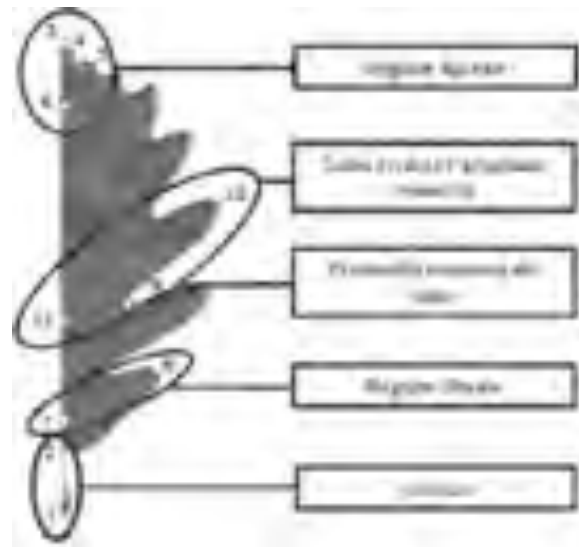


Fig. 1

Ubicazione dei landmark digitalizzati su ogni foglia.
Landmarks recorded on each leaf.

dati di letteratura (MOGGI, PAOLI, 1972; FILIPELLO, VITTADINI, 1975; BRUSCHI *et alii*, 2000; BORAZAN, BABAC, 2003). I landmark sono stati digitalizzati con il programma tpsDig (ROHLF, 2004).

Le variazioni di posizione, orientamento e scala sono state eliminate mediante le procedure di ottimizzazione GPA (ROHLF, SLICE, 1990), utilizzando il progr. tpsRelw (ROHLF, 2003).

In entrambi i set di dati sono stati eliminati i dati anomali, individuati mediante analisi degli outliers. Successivamente, è stata effettuata l'analisi multivariata della varianza tra le foglie di ciascun individuo (General Linear Model), al fine di verificare la variabilità fogliare intraindividuale. Tutti i test sono risultati non significativi. I risultati ottenuti giustificano l'utilizzo di due nuove matrici di partenza, una costituita dal consenso medio per ogni individuo (landmark data); mentre la seconda matrice è costituita dal contorno della foglia più vicina al centroide (CVA tra gli individui).

Entrambi i set di dati sono stati analizzati mediante tecniche statistiche d'analisi univariata e multivariata con l'ausilio del programma SPSS ver. 11.5.

Sulla nuova matrice delle coordinate trasformate della forma (WM- Weight Matrix) è stata effettuata la Relative Warp Analysis, corrispondente ad un'Analisi delle Componenti Principali (ROHLF, SLICE, *l.c.*), che mantiene invariate le relazioni geometriche tra i punti e permette di visualizzare le differenze di forma tra i campioni in esame attraverso le griglie di deformazione (BOOKSTEIN *l.c.*). Le analisi sono state effettuate utilizzando il programma tpsRelw (ROHLF, 2000).

Successivamente sulla stessa matrice (WM) è stata effettuata l'Analisi Discriminante (CVA) ed i punteggi delle funzioni discriminanti sono stati utilizzati come variabili indipendenti in regressioni sulla

matrice delle coordinate della forma, con il programma TpsRegr 1.23 (ROHLF, 2000), che permette di visualizzare le variazioni di forma associate alla variazione osservata lungo gli assi canonici. L'analisi dei contorni (Outline Method) è stata effettuata con la metodologia dei Descrittori Ellittici di Fourier (KUHL, GIARDINA, 1982), che permette di descrivere in termini di armoniche, ogni tipo di forma con un contorno chiuso bidimensionale. I dati sono stati raccolti ed elaborati con l'ausilio del pacchetto di programmi SHAPE ver. 1.2 (IWATA, UKAI, 2002). Le immagini a colori sono state convertite in immagini binarie da cui è stato trascritto il contorno in chain-code (un sistema codificato che descrive le informazioni geometriche dei contorni) mediante il prog. ChainCoder. Per la descrizione dei contorni sono stati utilizzati i coefficienti di 30 armoniche (prog. Chc2Nef). La matrice dei coefficienti delle armoniche è stata sottoposta a un processo di ottimizzazione dei dati (longest radius method) che acquistano significato di variabili di forma. Successivamente è stata effettuata la PCA (prog. PrincComp) sulle matrici di varianza-covarianza dei coefficienti (EFDs - Elliptic Fourier Descriptors) normalizzati.

RISULTATI

Analisi dei dati landmark. L'analisi dei primi due Relative Warp, RW1 e RW2, che riassumono rispettivamente il 47,57% ed il 19,62% della varianza totale, rivela una chiara separazione tra *Q. dalechampii* ed il gruppo di *Q. pubescens* e *Q. virgiliana* lungo RW1, mentre *Q. pubescens* e *Q. virgiliana* risultano poco discriminabili sia lungo RW1, sia lungo RW2 (Fig. 2).

Questo risultato è confermato dall'analisi discriminante delle variate canoniche (CVA) tra le specie, che evidenzia una netta separazione di *Q. dalechampii* dalle altre due specie (Fig. 3) lungo la prima CV1

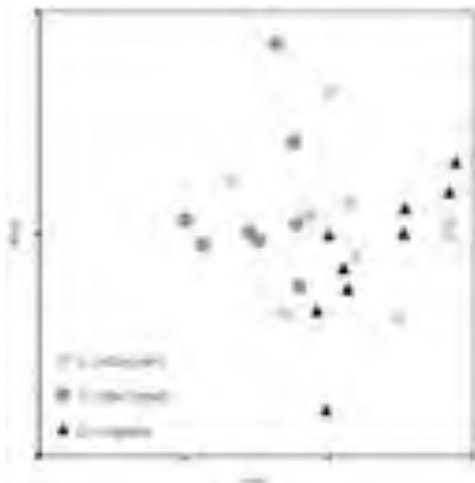


Fig. 2
Plot della Relative Warps Analysis effettuata tra le specie.
Scatter plot of RWA scores, among the species.

(Wilks' lambda = 0,022; df = 36 ; p = 0,010). Al tempo stesso *Q. pubescens* e *Q. virgiliana* si differenziano lungo CV2 (Wilks' lambda = 0,260; df = 17; p = 0,232), anche se in modo meno significativo. Osservando le griglie di deformazione associate alla variazione lungo la prima variata canonica, si nota che passando da valori negativi (Fig. 4) a valori positivi (Fig. 5), la griglia subisce una forte contrazione

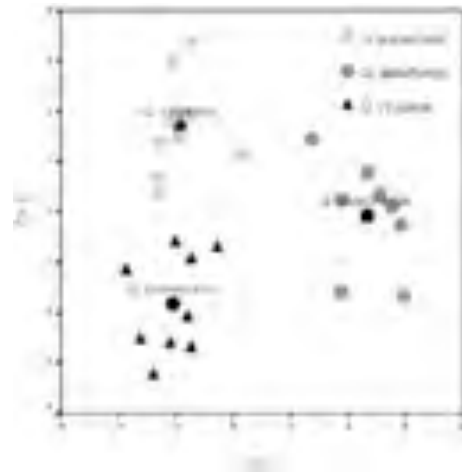


Fig. 3
Plot dell'analisi discriminante tra le specie (CVA), effettuata sulla WM.
Scatter plot of CVA carried out using WM, among the species.

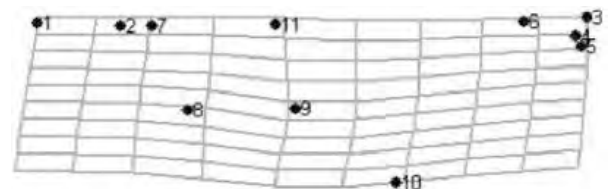


Fig. 4
Griglia di deformazione sui valori negativi di CV1, propri di *Q. pubescens*/*Q. virgiliana*.
Deformation grid carried out from negative scores of CV1, related to *Q. pubescens*/*Q. virgiliana*.

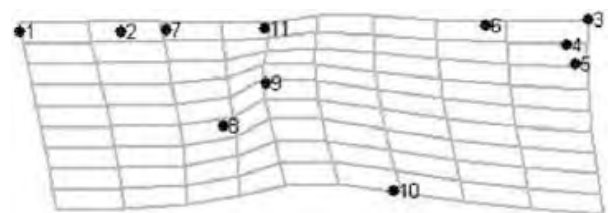


Fig. 5
Griglia di deformazione sui valori positivi di CV1, propri di *Q. dalechampii*.
Deformation grid carried out from positive scores of CV1, related to *Q. dalechampii*.

nell'area compresa tra i landmark 8, 9, 10 e 11. Inoltre, sempre nella stessa direzione è possibile osservare una dilatazione della griglia nella regione dei landmark 3, 4, 5 e 6; lo stesso fenomeno si osserva per i landmark 1 e 2.

Lungo CV2, le deformazioni di griglia sono meno evidenti; comunque è possibile osservare che, da valori negativi (Fig. 6) a valori positivi (Fig. 7), si ha una distorsione dell'area compresa tra i landmark 7, 8 e 9, oltre che tra i landmark 1 e 2.

In Fig. 8 è riportato il confronto delle configurazioni di consenso delle tre specie, corrispondenti alle

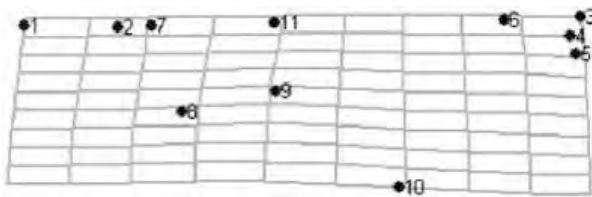


Fig. 6

Griglia di deformazione sui valori negativi di CV2, propri di *Q. pubescens*.

Deformation grid carried out from negative scores of CV2, related to *Q. pubescens*.

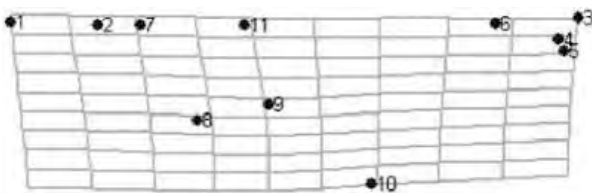


Fig. 7

Griglia di deformazione sui valori positivi di CV2, propri di *Q. virgiliana*.

Deformation grid carried out from positive scores of CV2, related to *Q. virgiliana*.

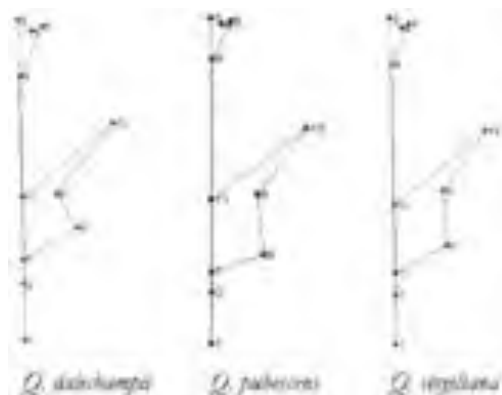


Fig. 8

Configurazioni di consenso delle specie.
Consensus configurations of each species.

configurazioni medie derivate dall'insieme delle configurazioni medie di ciascun individuo per ciascuna specie. Si osserva per *Q. dalechampii* una configurazione fogliare piuttosto peculiare, soprattutto in merito alla forma della regione compresa tra i landmark 8, 9, 10 e 11; oltre che per quella dei landmark 3, 4, 5 e 6. Le configurazioni fogliari di *Q. pubescens* e *Q. virgiliana*, nonostante siano piuttosto simili tra loro, differiscono per la forma della regione compresa tra i landmark 7, 8 e 9.

In conclusione, sia dalle griglie di deformazione, che mostrano la variazione di forma lungo CV1 e CV2, sia dal confronto dalle configurazioni di consenso delle tre specie, è possibile rilevare come la maggior parte delle differenze tra *Q. pubescens*/*Q. virgiliana* e *Q. dalechampii* siano concentrate nella profondità dei lobi (landmark 8, 9, 10 e 11), nella regione apicale (landmark 3, 4, 5 e 6) e nella lunghezza del picciolo (landmark 1 e 2).

Q. dalechampii si differenzia per i lobi profondi, l'apice contratto ed il picciolo mediamente più lungo. *Q. pubescens* e *Q. virgiliana* differiscono tra loro maggiormente per la forma della base (landmark 7, 8 e 9).

Analisi dei dati di contorno. Dal grafico (Fig. 9), ottenuto dalla PCA effettuata sulla matrice dei coefficienti delle armoniche, si osserva che lungo sia PC1 che PC2 la discriminazione tra le specie è minore rispetto a quella osservata per i landmark. Ciò è confermato anche dai minori valori di varianza spiegata dai primi due componenti (rispettivamente 24,48% e 12,89%). In questo caso però risultano essere più difficilmente discriminabili tra loro *Q. dalechampii* e *Q. virgiliana*, da *Q. pubescens* che presenta una minore variabilità ed è meglio discriminabile lungo PC1. L'analisi discriminante delle variate canoniche (CVA) tra le specie ha portato a risultati simili a quelli dei dati landmark, come è possibile osservare dal grafico della CVA (Fig. 10) e dai risultati dei test statistici. Lungo la prima CV (Wilks' lambda = 0,022; df = 34;

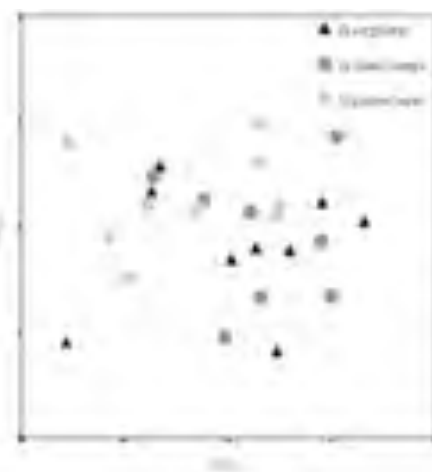


Fig. 9

Plot della PCA effettuata tra le specie.
Plot of PCA scores, among the species.

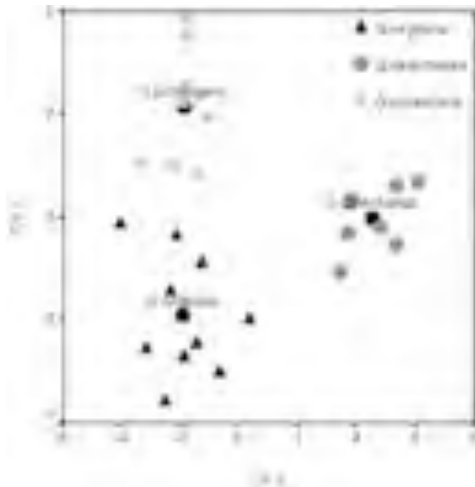


Fig. 10
Plot dell'analisi discriminante tra le specie (CVA).
Scatter plot of CVA, among the species.

$p = 0,003$) è possibile discriminare *Q. dalechampii* dalle altre due specie. Al tempo stesso *Q. pubescens* e *Q. virgiliana* sono maggiormente discriminabili lungo la seconda CV (Wilks' lambda = 0,234; df = 16; $p = 0,108$) che però risulta essere non significativamente discriminante.

Analisi delle relazioni morfologiche tra le due popolazioni di ogni specie. Le successive analisi statistiche sono state effettuate per testare la somiglianza morfologica tra le due popolazioni della stessa specie. Per ciò che riguarda i landmark, le RWA (Figg. 11a, 12a e 13a; Tab. 2) effettuate mostrano che non c'è discriminazione lungo RW1 e RW2 tra le due popolazioni di ogni specie. Anche la CVA non permette di discriminare in modo significativo le popolazioni di *Q. pubescens* (Wilks' lambda = 0,234; df = 7; $p = 0,650$), *Q. dalechampii* (Wilks' lambda = 0,432; df = 6; $p = 0,866$) e *Q. virgiliana* (Wilks' lambda = 0,114; df = 8; $p = 0,369$).

Anche per i dati di contorno è stato ottenuto lo stesso risultato, in quanto le PCA effettuate (Figg. 11b, 12b e 13b; Tab. 2) mostrano che non c'è discriminazione lungo PC1 e PC2 tra le due popolazioni di ogni specie, né tale differenza emerge dalle CVA effettuate per *Q. pubescens* (Wilks' lambda = 0,631; df = 7; $p = 0,978$), *Q. dalechampii* (Wilks' lambda = 0,043; df = 5; $p = 0,162$) e *Q. virgiliana* (Wilks' lambda = 0,069; df = 8; $p = 0,220$).

Ne risulta quindi che per ogni specie le due popolazioni analizzate sono morfologicamente simili tra loro, tanto da non poter essere discriminate sulla base dei caratteri fogliari esaminati.

CONCLUSIONI

Per la messa a punto di un protocollo di lavoro sulla morfometria fogliare, l'ausilio integrato di due set di dati rappresenta un importante mezzo di verifica, sia per la scelta delle tecniche da utilizzare e sia per le

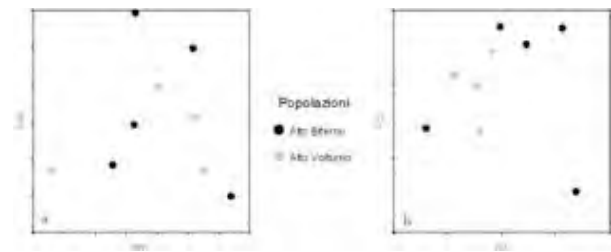


Fig. 11
Plot delle RWA (a: landmark) e PCA (b: contorni) tra le popolazioni di *Q. dalechampii*.
Scatter plot of RWA (landmark) and PCA (outline) scores, among the populations in *Q. dalechampii*.

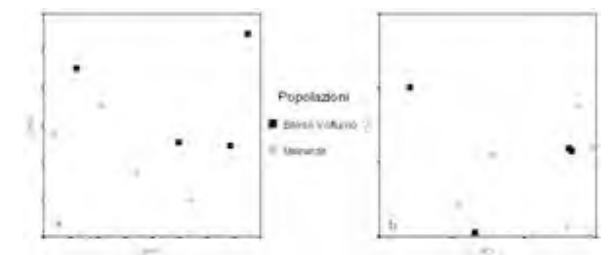


Fig. 12
Plot delle RWA (a: landmark) e PCA (b: contorni) tra le popolazioni di *Q. pubescens*.
Scatter plot of RWA (landmark) and PCA (outline) scores, among the populations in *Q. pubescens*.

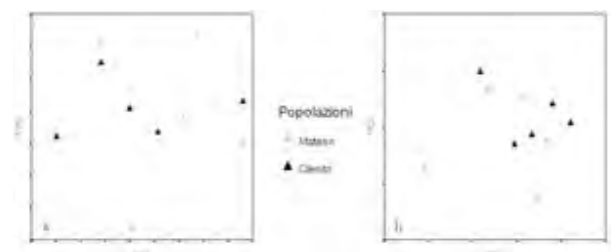


Fig. 13
Plot delle RWA (a: landmark) e PCA (b: contorni) tra le popolazioni di *Q. virgiliana*.
Scatter plot of RWA (landmark) and PCA (outline) scores, among the populations in *Q. virgiliana*.

TABELLA 2

Percentuali di varianza spiegata da RW1, RW2 e da PC1, PC2 nelle analisi effettuate tra le popolazioni di ogni specie. Total variance (%) explained by RW1, RW2 and PC1, PC2, carry out between populations of each species.

Specie	Landmark		Contorni	
	RW1	RW2	PC1	PC2
<i>Q. p.</i>	62,3	19,2	38,2	21,4
<i>Q. d.</i>	51,5	24,4	38,2	21,4
<i>Q. v.</i>	36,9	32,1	28,4	20,4

scelte procedurali da effettuare.

Nel presente studio, le analisi statistiche effettuate sui due set di dati hanno portato a risultati molto simili. In particolare, si è osservato che il metodo dei landmark è più accurato nell'evidenziare una discriminazione tra le specie. Infatti, per i landmark i primi due RW spiegano la maggior parte della varianza totale (67,19%); al contrario, per i contorni, le prime due PC spiegano meno della metà della varianza totale (37,37%); ciò fa sì che l'elevata variabilità residua non permetta una buona discriminazione.

Al contrario, le CVA effettuate mostrano un'elevata correlazione dei risultati ottenuti per i due set di dati: in entrambi si è osservata un'evidente discriminazione tra *Q. dalechampii* e *Q. pubescens*/*Q. virgiliana*, le cui morfologie fogliari appaiono più simili.

Le griglie di deformazione, le ricostruzioni dei contorni ed il confronto delle configurazioni di consenso delle tre specie, hanno permesso di individuare le regioni fogliari potenzialmente discriminanti: 1) profondità dei lobi; 2) forma dell'apice fogliare; 3) lunghezza del picciolo; 4) forma della base fogliare (Fig. 14).

In particolare si è osservato che, nel campione analizzato, *Q. dalechampii* si differenzia per la lamina profondamente lobata, per la regione apicale contratta e con lobi più grandi, oltre che per il picciolo mediamente più lungo; mentre in *Q. pubescens* e *Q. virgiliana* l'apice fogliare è risultato ampio e con lobi poco profondi. Si differenziano, anche se non significativamente, per la forma della regione basale, che in *Q. pubescens* appare cordato-auricolata e in *Q. virgiliana* cordato-contratta; in *Q. dalechampii* la forma della base va da acuta a cordata, ma tuttavia è piuttosto variabile.

Questo studio preliminare sulla morfologia fogliare di alcune specie critiche del genere *Quercus*, vuole essere un primo contributo alla definizione di un metodo e di un protocollo di lavoro promettente per l'individuazione di caratteri diagnostici fogliari e per il superamento delle difficoltà che s'incontrano nel distinguere ed eliminare gli effetti della variabilità



Fig. 14

Modelli fogliari, delle tre specie di *Quercus*, ottenuti mediante la ricostruzione della trasformata inversa di Fourier.

Leaves models of three species of *Quercus*, carried out using Fourier's transform.

intra-individuale, legata soprattutto alle variazioni di taglia delle foglie.

Seguiranno necessariamente, un incremento di popolazioni campionate e l'integrazione con i risultati ottenuti da altri studi, sia di caratteri macro e micromorfologici, che di analisi molecolari, al fine di ottenere un'esauriva descrizione e verificare l'effettivo rango tassonomico delle entità esaminate.

LETTERATURA CITATA

- ADAMS D.C., ROHLF F.J., SLICE D.E., 2004 – *Geometric Morphometrics: ten years of progress following the revolution*. Ital. J. Zool., 71 (1): 5-16.
- AMARAL FRANCO J. (DO), 1990 – *Quercus L.* In: CASTROVEJO S. *et al.* (Eds.), *Flora Iberica* 2: 15-36. C.S.I.C., Madrid.
- AMARAL FRANCO J. (DO), LOPEZ GONZALES G., 1987 – *Notas referentes al genero Quercus*. Anal. Jard. Bot. Madrid, 44(2): 555-558.
- BERNETTI G., 1995 – *Selvicoltura Speciale*. pp. 197-221. UTET, Torino.
- BOOKSTEIN F.L., 1991 – *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge University Press, New York.
- BORAZAN A., BABAC M.T., 2003 – *Morphometric leaf variation in oaks (Quercus) of Bulu, Turkey*. Ann. Bot. Fennici, 40: 233-242.
- BRULLO S., GUARINO R., SIRACUSA G., 1999 – *Revisione tassonomica delle querce caducifoglie della Sicilia*. Webbia, 54 (1): 1-72.
- BRUSCHI P., VENDRAMIN G.G., BUSSOTTI F., GROSSONI P., 2000 – *Morphological and molecular differentiation between Quercus petraea (Matt.) and Quercus pubescens Willd. (Fagaceae) in Northern and Central Italy*. Ann. Bot., 85: 325-333.
- CAMUS A., 1936-54 – *Le Chênes: Monographie du genre Quercus*. Vol. I-III. Edit. P. Lechevalier, Paris.
- CHRISTENSEN K.I., 1997 – *Quercus L.* In: ARNE STRID, KIT TAN, *Flora Hellenica* 1: 42-50. Koeltz Scientific Books, Königstein (Germany).
- CORTI M., 1996 – *Forme e dimensioni. la nuova sintesi*. 57° Congresso UZI, San Benedetto del Tronto, 23-26/9, 1996: 128.
- FILIPPELLO S., VITTADINI M., 1975 – *Ricerche sulle querce caducifoglie italiane. Analisi biometrica e morfologica di esemplari del complesso Q. pubescens – Q. petraea dell'Appennino Pavese*. Webbia, 29 (2): 365-396.
- FORTINI P., VISCOSI V., LOY A., BLASI C., 2005 – *Contributo della morfometria geometrica alla problematica sintassonomica del genere Quercus L. subgen. Quercus (gr. Robur)*. Inform. Bot. Ital., 37 (1, A): 30-31.
- GOVAERTS R., 1995 – *(1195-1197) Proposal to conserve or reject three species names in Quercus L. (Fagaceae)*. Taxon, 44: 631-633.
- GREUTER W., BURDET H.M., LONG G., 1986 – *Med-Checklist*. 3: 225-231. Cons. Jard. Bot., Geneve.
- HEDGE L.C., YALTIRIK F., 1982 – *Quercus L.* In: DAVIS P. H. (Ed.), *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. 7: 659-683. Edinburgh University press.
- IWATA H., UKAI Y., 2002 – *SHAPE ver. 1.2. A computer program package for quantitative evaluation of biological shape based on elliptic Fourier descriptors*. J. Heredity, 93(5): 384-385.
- KREMER A., DUPOUEY L.J., DEANS J.D., COTTRELL J., CSAIKL U., FINKELDEY R., ESPINEL S., JENSEN J., KLEINSCHMIT J., VAN DAM B., DUCOSSO A., FORREST I., DE HEREDIA U.L., LOWE A.J., TUTKOVA M., MUNRO R.C., STEINHOFF S., BADEAU V., 2002 –

- Morphological variation in mixed oak stands (Quercus robur and Quercus petraea) is stable western European population.* Ann. For. Sci., 59: 777-787.
- KUHL F.P., GIARDINA C.R., 1982 – *Elliptic Fourier features of a closed contour.* Comp. Graph. Ima. Proc., 18: 236-258.
- MACLEOD N., 2002 – *Geometrics morphometrics and geological shape-classification systems.* 59 (1-4): 27-47.
- MOGGI G., PAOLI P., 1972 – *Ricerche sulle querce caducifoglie italiane: sul valore di alcuni caratteri biometrici e morfologici.* Webbia, 26 (2): 417-460.
- MONTEIRO L.R., FURTADO DOS RAIS S., 1999 – *Principios de Morfometria Geometrica.* Holos Editora.
- PIGNATTI S., 1982 – *Flora d'Italia.* 1: 113-120. Edagricole, Bologna.
- RIVAS-MARTINEZ S., SAENZ LAIN C., 1991 – *Enumeracion de los Quercos de la Peninsula Iberica.* Rivasgodaya, 6: 101-110.
- ROHLF F.J., 2000 – *TpsRegr 1.23.* Department of Ecology and Evolution, State University New York. Stony Brook.
- , 2003 – *TpsRelative warps 1.35.* Department of Ecology and Evolution, State University New York. Stony Brook.
- , 2004 – *TpsDig 1.40.* Department of Ecology and Evolution, State University New York. Stony Brook.
- ROHLF F.J., MARCUS L.F., 1993 – *A revolution in morphometrics.* Trends Ecol. Evol., 8: 129-132.
- ROHLF F.J., SLICE D., 1990 – *Extension of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmark.* Syst. Zool., 39: 40-59.
- SAVULESCU T., 1952 – *Flora Republicii Populare Romane.* 1: 224-260. Editura Academiei Republicii Populare Romane, Bucarest.
- SCHWARZ O., 1935 – *Nomenclature of Some British and German Oaks.* J. Bot., 83: 49-51. London
- , 1936-39 – *Monographie der Eichen Europas und des Mittelmeergebietes.* Feddes Repert. (Sonderbeih D.) 1: 1 – 200.
- , 1964 – *Quercus L.* In: TUTIN *et al.* (Eds.), *Flora Europaea.* 1: 61-64. Cambridge University.
- , 1993 – *Quercus L.* In: TUTIN *et al.* (Eds.), *Flora Europaea.* 1: 72-76. Ed. 2, Cambridge University.
- TENORE M., 1811-1838 – *Flora Neapolitana.* 5: 261-264. Tipografia Fibreni, Napoli.
- VICIOSO C., 1950 – *Revision del genero Quercus en España.* Bol. Ist. Forest. Invest. Exp., 51: 1-194. Madrid.
- RIASSUNTO – In questo studio le tecniche di morfometria geometrica sono state usate per descrivere la variabilità morfologica fogliare di alcune specie del genere *Quercus* L. subgen. *Quercus*. Punti omologhi (landmarks) e contorni (outlines) sono stati comparati per descrivere la morfologia fogliare di *Q. pubescens*, *Q. virgiliana* e *Q. dalechampii* campionate in sei popolazioni italiane. È stato creato un protocollo di lavoro per superare i problemi della variabilità fogliare a livello intra-individuale e risultati simili sono stati ottenuti quando le coordinate di forma (landmarks) ed i descrittori ellittici di Fourier (outlines) sono stati analizzati mediante analisi discriminante.

AUTORI

Paola Fortini, Anna Loy, Vincenzo Viscosi, Dipartimento S.T.A.T, Università del Molise, località Fonte Lappone, 86090 Pesche (Isernia), e-mail: fortini@unimol.it
 Carlo Blasi, Dipartimento di Biologia Vegetale, Università "La Sapienza" di Roma, Piazzale Aldo Moro 5, 00185, Roma