

La morfometria geometrica come strumento d'indagine nelle collezioni museali: studio sulla variabilità geografica del Delfino comune

Paola Nicolosi

Museo di Zoologia, Università degli Studi di Padova, Via Jappelli, 1a. I-35122 Padova. E-mail: paola.nicolosi@unipd.it

Anna Loy

Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, sede di Pesche, Contrada Fonte Lappone. I-86090 Pesche (IS). E-mail: a.loy@unimol.it

RIASSUNTO

La morfometria geometrica è una tecnica potente per lo studio delle variazioni morfologiche in campo biologico. Le collezioni museali rappresentano una risorsa primaria in tale ambito, in particolare nel caso di specie di difficile reperimento e con areali geografici estesi, come il delfino comune. Per descrivere il modello di variazione geografica ed eventuali adattamenti locali in questa specie, sono stati analizzati 159 crani provenienti da 9 musei europei e riferibili a gran parte dell'areale della specie. Su ciascun cranio sono state rilevate le coordinate cartesiane di punti omologhi bi- e tridimensionali. La taglia e le variabili della forma estratti dalle coordinate dei punti sono state analizzate con metodi di statistica uni- e multivariata. I risultati ottenuti hanno permesso di differenziare morfologicamente i crani appartenenti alle due specie di delfino comune (*D. delphis* e *D. capensis*) e la sottospecie endemica dell'Oceano Indiano, *D. capensis tropicalis*.

Parole chiave:

delfino comune, morfometria geometrica, collezioni museali.

ABSTRACT

Geometric morphometric methods for the study of museum collections: geographic variation in Common dolphin.

Geometric morphometrics is a powerful technique for the study of variations in biological forms. In this domain museum collections represent a primary resource especially for rare species with a wide range such as the common dolphin. Geometric morphometric analysis of the skull was used to point out the geographical variability pattern of the common dolphin throughout its range and evaluate any local adaptation.

*Bi- and three-dimensional landmarks were recorded on 159 skulls from 9 European museum collections. Both size and shape variables were then analysed by the means of uni- and bi-variate statistics. Results allowed to distinguish the two species of common dolphin (*D. delphis* and *D. capensis*), especially the sub-species *D. capensis tropicalis*, endemic to the Indian Ocean, and to describe the pattern of geographic variation of *D. delphis*.*

Key words:

common dolphin, geometric morphometric analysis, museum collections.

INTRODUZIONE

La morfometria geometrica è un potente strumento per indagare sulle variazioni delle forme biologiche (Rohlf & Marcus, 1993).

A differenza della morfometria tradizionale, questa metodologia permette di quantificare le differenze di forma (shape) indipendentemente dalle variazioni di taglia, a partire da coordinate bidimensionali e tridimensionali di punti omologhi (landmarks).

La relazione tra forma e dimensioni può quindi essere indagata per evidenziare modelli di allometria statica o dinamica.

Le collezioni museali rappresentano una risorsa primaria di dati per studi sulla variabilità fenotipica nel tempo e nello spazio (Loy, 2007; Cardini et al., 2009) e diventano uno strumento particolarmente utile nel caso di specie rare e di interesse conservazionistico, come per esempio il Delfino comune dell'area mediterranea (Bearzi, 2003; Hammond et al., 2008; Natoli et al., 2008).

Attualmente sono riconosciute due specie, il Delfino comune dal rostro corto *Delphinus delphis* (Linnaeus, 1758), maggiormente diffuso ed il Delfino comune dal rostro lungo, *D. capensis* Gray, 1828, di dimensioni

AREA GEOGRAFICA DATI	INDO-PAC		PACIFICO		ATLANTICO		MEDIT		TOTALE
	W	E	W	E	N	S	N	S	
2D DORSALI	5	4	26	28	54	25	12	7	159
2D VENTRALI	2	2	22	27	30	21	6	5	115
2D OCCIPITALI	4	4	19	10	48	18	4	7	114
2D MANDIBOLE	2	4	22	20	48	22	3	5	126
3D	4	3	22	23	17	13	8	2	92
TOTALE	34		219		296		59		

Tab. 1. Totale dei campioni, suddivisi in base alle tecniche di analisi utilizzate (2D e 3D) e per area di provenienza (N = nord; S = sud; W = ovest; E = est).

maggiori che popola prevalentemente le aree costiere tropicali e temperato-calde dell'emisfero meridionale. Tale distinzione è stata riconosciuta sulla base di informazioni morfologiche e genetiche (Heyning & Perrin, 1994; Rosel et al., 1994) ma in molti musei i campioni sono ancora tutti classificati come unica specie *D. delphis*.

La presente ricerca è parte di un dottorato focalizzato sull'analisi della variazione geografica del delfino comune.

MATERIALI E METODI

Sono stati analizzati 159 (dati 2D) e 92 (dati 3D) crani di delfini comuni provenienti da 8 aree geografiche (tab. 1). I landmark bidimensionali sono stati

rilevati sulle immagini digitali dei crani utilizzando il software tpsDig (Rohlf, 2006): 24 in norma dorsale, 20 ventrale, 5 occipitale e 7 sull'emimandibola destra; le coordinate 3D di 43 landmark sono state rilevate direttamente sui crani con uno scanner 3D (Microscribe, software Inscribe). Le informazioni relative alla taglia e alla posizione dell'oggetto nello spazio sono state rimosse con la procedura Generalized Procrustes Analysis (GPA, Rohlf & Slice, 1990): le nuove variabili della forma (shape variables), sono poi state analizzate con metodi di statistica uni- e multivariati. Per l'analisi dei dati sono stati utilizzati i pacchetti MorphoJ, tpsRelw e R (Rohlf, 2006; Slice, 1994-2000; Klingenberg, 2011). Un'analisi preliminare sul dimorfismo sessuale ha permesso di cumulare i

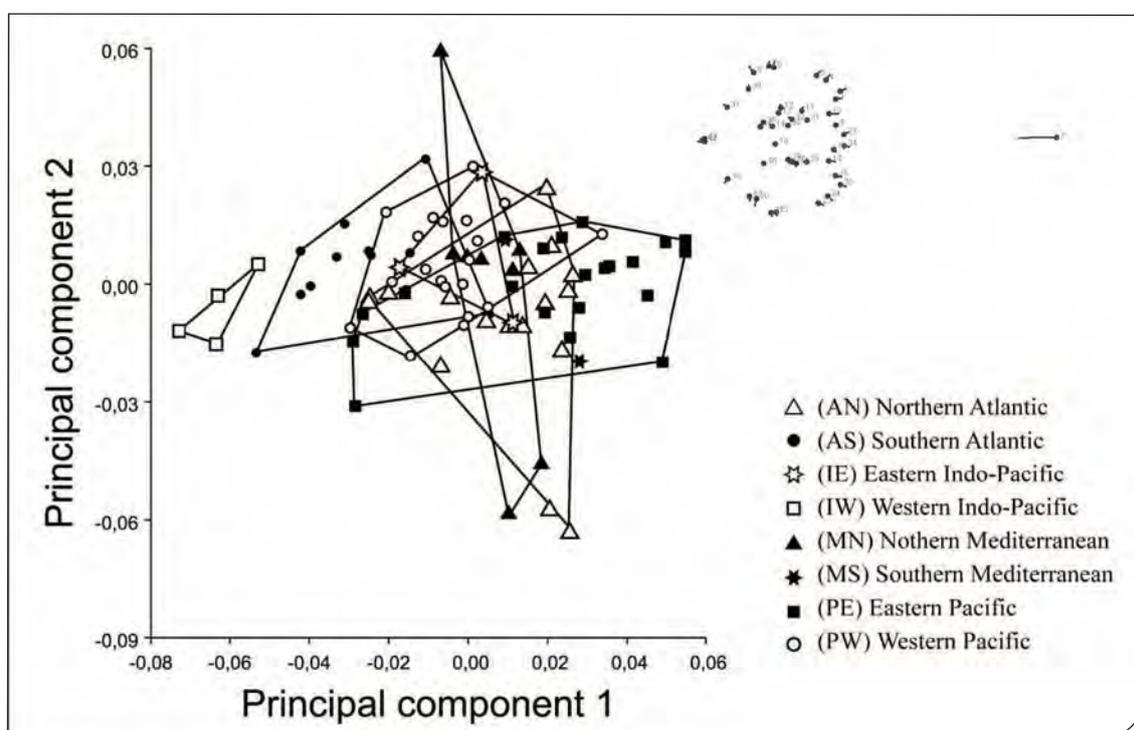


Fig. 1. Analisi delle componenti principali dei dati tridimensionali dell'intero campione di crani (N = 92).

A destra in alto, vettori che mostrano le variazioni di forma della parte dorsale del cranio, associate all'estremo positivo della prima componente principale. I poligoni evidenziano i gruppi di diversa provenienza.

sessi nelle successive analisi sulla variabilità geografica della forma.

Lo studio sulla variazione della taglia è stato svolto su un campione ridotto di 149 e 80 esemplari (dati bi- e tridimensionali), provenienti da 5 aree (Mar Mediterraneo, Oceano Atlantico settentrionale e meridionale, Oceano Pacifico orientale e occidentale) in cui fossero presenti, in numero rappresentativo, esemplari adulti di ambo i sessi.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Analisi tridimensionale della forma

L'Analisi delle Componenti Principali (PCA) mostra una distinzione dello stock Indo-Pacifico occidentale (IW) e di alcuni individui provenienti dall'Oceano Atlantico meridionale (AS) lungo il primo asse (PC1, 22% della varianza), che si differenziano per un rostro più lungo e una scatola cranica più stretta (fig. 1). Questi esemplari sono stati attribuiti alla specie *D. capensis*, in particolare alla sottospecie *D. c. tropicalis*; attribuzione confermata da un successivo confronto di misurazioni craniche (Heyning & Perrin, 1994; Jefferson & Waerebeek, 2002; Westgate, 2007). Questo campione è stato quindi eliminato nelle successive analisi sulla variazione intraspecifica di *D. delphis*, svolte su 73 individui provenienti da 7 aree geografiche. Lungo il primo asse della nuova PCA (PC1, 15% della varianza) si distinguono i campioni dell'Oceano Pacifico orientale e dell'Oceano Atlantico meridionale (estremo sinistro dell'asse PC1), che presentano un rostro più lungo ed un neurocranio visi-

bilmente più stretto (fig. 2). Questi risultati sono stati approfonditi con lo studio bidimensionale, al fine di caratterizzare meglio le differenze di forma nelle diverse componenti e proiezioni craniche.

Analisi bidimensionale della forma

Un approfondimento svolto sulle proiezioni ventrali evidenzia come gli individui provenienti dal Pacifico occidentale presentino un rostro più lungo ed in proporzione una scatola cranica più compatta rispetto allo stock del Pacifico orientale. L'analisi della PCA sulle proiezioni occipitali evidenzia invece una distinzione interessante tra stock mediterraneo e atlantico settentrionale lungo l'asse della PC1 (72% di varianza spiegata), mentre la variazione lungo il secondo asse PC2 (16% di varianza spiegata) permette di distinguere i delfini Mediterranei settentrionali e meridionali (fig. 3). Le indagini bidimensionali hanno consentito di descrivere in modo più dettagliato le componenti anatomiche coinvolte nella distinzione specifica, come la diversa posizione dei forami infraorbitali che negli esemplari Indo-Pacifici occidentali risultano più allineati rispetto all'incisura anterorbitale.

Questi cambiamenti potrebbero derivare da un particolare adattamento locale degli individui alle diverse variabili oceanografiche che caratterizzano l'area in cui i delfini vivono (Amaral et al., 2012), influenzano per esempio le loro abitudini alimentari e forse lo sviluppo del complesso sistema di ecolocazione (posizionato nella parte frontale del rostro e del cranio); infatti la diversa posizione dei forami, attraversati dal nervo tri-

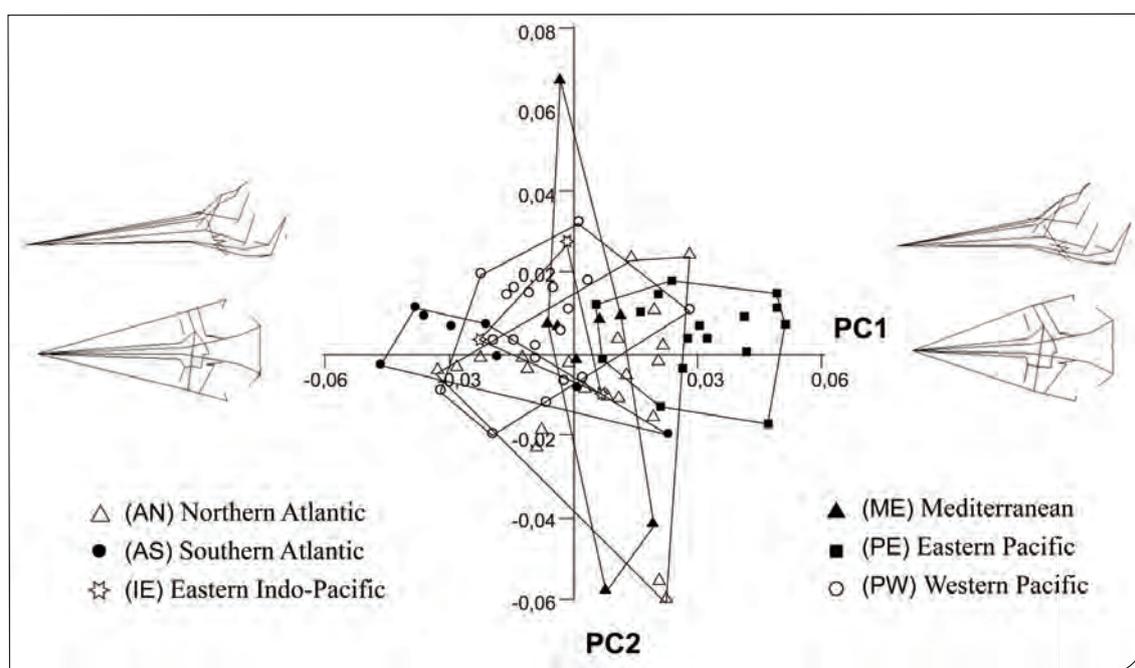


Fig. 2. Analisi delle componenti principali dei dati tridimensionali per il campione ridotto di crani appartenenti solo alla specie *D. delphis* (N = 73).

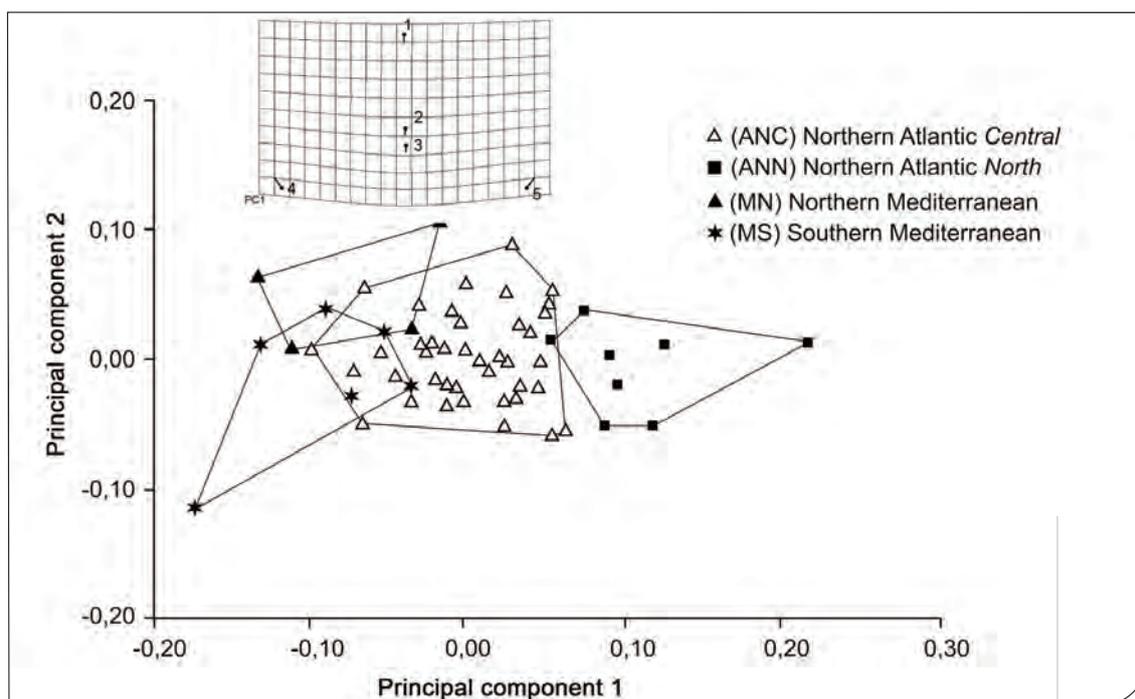


Fig. 3. Analisi bidimensionale delle componenti principali per le proiezioni occipitali dei crani di *D. delphis* provenienti dall'Oceano Atlantico settentrionale (ANC: Atlantico settentrionale Centrale; ANN: Atlantico settentrionale Nord) e dal Mar Mediterraneo (MN: Mediterraneo Nord; MS: Mediterraneo Sud); a sinistra in alto, griglia di deformazione della regione occipitale con i vettori che mostrano le variazioni di forma associate all'estremo positivo della prima componente principale (Northern Atlantic North).

gemino, potrebbe essere legata al sistema di innervazione di tutta la parte frontale del rostrò e del cranio che nei delfini è molto sviluppato poiché delegato appunto alla trasmissione tra il melone e il cervello (Yamagiwa et al., 2009; Oelschläger, 2007).

Variatione delle dimensioni

Lo studio sulla variazione di taglia non ha mostrato differenze significative tra le dimensioni degli esemplari dei gruppi di diversa provenienza geografica, sia nell'analisi dei dati tridimensionali ($F=1,658$; $p=0,169$) che per l'analisi bidimensionale delle proiezioni dorsali ($F=1,776$; $p=0,137$). Per il dimorfismo sessuale l'analisi della varianza svolta sui dati bidimensionali delle proiezioni dorsali mostra una differenza significativa tra i sessi all'interno di ciascuna area ($F=8,9$; $p=0,004$): i maschi risultano più grandi delle femmine, in particolare quelli provenienti dall'Oceano Pacifico occidentale.

L'individuazione di differenze significative tra stock atlantici e mediterranei è in accordo con quanto recentemente osservato in *Stenella coeruleoalba* (Loy et al., 2010), e rafforzano la necessità urgente di tutela dello stock mediterraneo del delfino comune (Bearzi, 2003; Hammond et al., 2008).

In conclusione le indagini di morfometria geometrica, oltre ad essere un potente metodo per indagare sulle variazioni intraspecifiche di dimensione e forma, si

sono rivelate anche un utile strumento per i conservatori museali, permettendo la corretta attribuzione delle specie ai reperti di Delfino comune presenti nelle vecchie collezioni, sulla base dell'attuale aggiornamento sistematico che riconosce due specie distinte (*D. delphis* e *D. capensis*).

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i Direttori, i conservatori e gli assistenti dei musei naturalistici e zoologici che hanno permesso, con la loro disponibilità, l'accesso alle collezioni per la raccolta dei dati (Zoological Museum, Natural History Museum of Denmark, University of Copenhagen; Zoological Museum Amsterdam, University of Amsterdam; Museo Zoologico "La Specola", Università di Firenze; Dip. Biologia Animale e dell'Uomo, Università "La Sapienza" di Roma; Museo Civico di Zoologia di Roma; Museo Civico di Storia Naturale di Genova; Museo Civico di Storia Naturale di Milano). Parte della presente ricerca è stata finanziata dal Synthesis Project, European grant 2009.

BIBLIOGRAFIA

AMARAL A. R., BEHEREGARAY L. B., BILGMANN K., BOUTOV D., FREITAS L., ROBERTSON K.M., SEQUEIRA M., STOCKIN K.A., COELHO M., MÜLLER L.M., 2012. Seascape Genetics of a Globally Distributed, Highly

- Mobile Marine Mammal: The Short-Beaked Common Dolphin (Genus *Delphinus*). *PLoS ONE* 7 (2): e 31482. doi:10.1371/journal.pone.0031482
- BEARZI G., 2003. *Delphinus delphis* (Mediterranean sub-population). In: IUCN 2008. 2008 IUCN *Red List of Threatened Species*. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 29 April 2009.
- CARDINI A., NAGORSEN D., O'HIGGINS P., POLLY P. D., THORINGTON JR R. W., TONGIORGI P., 2009. Detecting biological uniqueness using geometric morphometrics: an example case from the Vancouver Island marmot. *Ecology, Ethology and Evolution*, doi:10.1111/j.1439-0469.2008.00503.x.
- HAMMOND P. S., BEARZI G., BJØRGE A., FORNEY K., KARCZMARSKI L., KASUYA T., PERRIN W. F., SCOTT M. D., WANG J. Y., WELLS R. S., WILSON B. (Assessors), 2008. *Delphinus delphis* (Short-beaked Common Dolphin). 2008 IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/details/6336>
- HEYNING J.E., PERRIN W.F., 1994. Evidence for two species of common dolphins (genus *Delphinus*) from the eastern North Pacific. Natural History Museum of Los Angeles County, *Contributions in Science*, 442: 35 pp.
- JEFFERSON T.A., WAEREBEEK K.V., 2002. The taxonomic status of the nominal dolphin species *Delphinus tropicalis* Van bree, 1971. *Marine Mammal Science*, 18: 787-818.
- KLINGENBERG C. P., 2011. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11: 353-357.
- LOY A., 2007. Morphometrics and Theriology. Homage to Marco Corti. *Hystrix Italian Journal of Mammalogy*, 18(2): 115-136.
- LOY A., TAMBURELLI A., CARLINI R., SLICE D. E., 2010. Craniometric variation of some Mediterranean and Atlantic populations of *Stenella caeruleoalba* (Mammalia, Delphinidae): a 3D geometric morphometrics analysis. *Marine Mammal Science*, doi: 10.1111/j.1748-7692.2010.00431.x
- NATOLI A., CAÑADAS A., VAQUERO C., POLITI E., FERNANDEZ-NAVARRO P., HOELZEL A.R., 2008. Conservation genetics of short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*) in the Mediterranean Sea and in the eastern North Atlantic Ocean. *Conservation Genetics*, doi:10.1007/s.10592-007-9481-1.
- OELSCHLÄGER H.H.A., 2007. The dolphin brain. A challenge for synthetic neurobiology. *Brain Research Bulletin*, 75: 450-459.
- ROHLF F.J., 2006. TpsDig, tpsRelw. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/> (version 1.46 Rohlf, 2008).
- ROHLF F.J., MARCUS L.F., 1993. A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution*, 8: 129-132.
- ROHLF F. J., SLICE D.E., 1990. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology*, 39: 40-59.
- ROSEL P. E., DIZON A. E., HEYNING J. E., 1994. Genetic analysis os sympatric morphotypes of common dolphins (genus *Delphinus*). *Marine Biology*, 119: 159-167.
- SLICE D.E., 1994-2000. R software (version 2.9.0, 2009, R Foundation for Statistical computing).
- WESTGATE A.J., 2007. Geographic variation in cranial morphology of short-beaked common dolphins (*Delphinus delphis*) from the North Atlantic. *Journal of Mammalogy*, 88(3): 678-688.
- YAMAGIWA D., ENDO H., NAKANISHI I., KUSANAGI A., KUROHIMARU M., HAYASHI Y., 2009. Anatomy of the cranial nerve foramina in the Risso's dolphin (*Grampus griseus*). *Annals of Anatomy*, 181: 293-297.