

MATTEO PILI, ANDREA VILLA, LUCA RACCA, SALVADOR BAILON
& MASSIMO DELFINO

ATLANTE OSTEOLOGICO, CHIAVE DICOTOMICA
E FILOGENESI PRELIMINARI DEGLI ANURI EUROPEI

RIASSUNTO

Sul territorio europeo sono presenti 54 specie di anuri (tra autoctone e introdotte), raggruppate in 13 generi (SPEYBROECK *et al.*, 2020). Attualmente manca in letteratura una panoramica completa della loro anatomia scheletrica. Nel tentativo di colmare in parte questa mancanza, è stata descritta l'anatomia scheletrica di 39 individui appartenenti a 23 specie di anuri europei, di cui due introdotte, che rappresentano tutti i generi presenti nel continente a eccezione di *Pelodytes* (del quale esistono dettagliate informazioni in letteratura). A partire da questa descrizione è stata realizzata successivamente una chiave dicotomica che aggiorna ed espande quella sugli anuri di Francia precedentemente pubblicata da BAILON (1999) e prende in considerazione due fondamentali contributi, BÖHME (1977) e FELIX & MONTORI (1986). I risultati ottenuti hanno evidenziato che gli elementi scheletrici maggiormente diagnostici per l'identificazione generica sono il frontoparietale, lo sfenetmoide, la vertebra sacrale, la scapola, l'omero e l'ileo, in linea con quanto riportato da Bailon per gli anuri francesi. Inoltre, al fine di fornire una ricostruzione filogenetica di riferimento per lo studio degli anuri fossili d'Europa, è stata condotta un'analisi filogenetica basata su caratteri osteologici, creando una nuova matrice con le 23 specie qui considerate e utilizzando i 143 caratteri proposti da BÁEZ & GÓMEZ (2017). L'albero filogenetico risultante presenta poche differenze, a livello di genere, con le più recenti filogenesi ottenute su base molecolare.

Parole chiave. Morfologia comparata, Amphibia, anatomia scheletrica, identificazione.

SUMMARY

Preliminary osteological atlas, dichotomous key, and phylogeny of the European anurans. Fifty-four species of anurans (native or introduced) grouped in 13 genera are present on the European territory (SPEYBROECK *et al.*, 2020). A complete overview of their osteological anatomy has not been published yet. To partially fill this gap, the skeletal anatomy of 39 specimens from 23 species of European anurans, two of which introduced, has been described. They represent all the genera present

on the continent, except for *Pelodytes* (of which, however, detailed anatomical information is available in literature). On the base of these descriptions, we created a dichotomous key that updates and expands the one on French anurans published by BAILON (1999) and takes into consideration two other seminal works as well, BÖHME (1977) and FELIX & MONTORI (1986). The most diagnostic skeletal elements for the generic identification turned out to be the frontoparietal, the sphenetmoid, the sacral vertebra, the scapula, the humerus, and the ilium, in line with what has been reported by Bailon for French anurans. Moreover, in order to provide a phylogenetic scaffold for the study of fossil anurans from Europe, a phylogenetic analysis based on osteological characters has been carried out, creating a new matrix with the herein-considered 23 species and the 143 characters proposed by BÁEZ & GÓMEZ (2017). The resulting phylogenetic tree shows few differences, at the level of genera, from the most recent phylogenies based on molecular data.

Key words. comparative morphology, Amphibia, skeletal anatomy, identification.

INTRODUZIONE

Gli anuri europei (autoctoni e introdotti) sono rappresentati da 54 specie raggruppate in 13 generi (SPEYBROECK *et al.*, 2020). Una panoramica completa della loro anatomia scheletrica non è stata ancora redatta e pubblicata a detrimento delle analisi paleontologiche e archeozoologiche, nonché della possibilità di identificare i resti (avanzi di pasto, contenuti stomacali, escrementi) di anuri predati da altri organismi (per un esempio recente si veda SMIROLDO *et al.*, 2019).

Questo lavoro si prefigge di colmare in parte questa mancanza, descrivendo l'anatomia scheletrica e aggregando le informazioni già pubblicate per tutti i generi europei e per il maggior numero di specie.

MATERIALI E METODI

Sono state studiate 23 specie che rappresentano tutti i generi attuali di anuri europei eccetto il genere *Pelodytes* (per cui sono disponibili dettagliate informazioni in letteratura, SANCHIZ *et al.*, 2002). Nello specifico, sono stati direttamente osservati uno o più esemplari delle seguenti specie:

Bombinatoridae: *Bombina variegata*.

Alytidae: *Alytes obstetricans*, *Discoglossus montalentii*, *Discoglossus pictus*, *Discoglossus sardus*.

Pipidae: *Xenopus laevis*.

Pelobatidae: *Pelobates cultripes*, *Pelobates fuscus*.

Hylidae: *Hyla intermedia*, *Hyla meridionalis*, *Hyla sarda*.

Bufoidea: *Bufo bufo*, *Bufo viridis*, *Epidalea calamita*.

Ranidae: *Lithobates catesbeianus*, *Pelophylax esculentus*, *Pelophylax ridi-*

bundus, *Rana arvalis*, *Rana dalmatina*, *Rana italica*, *Rana latastei*, *Rana macrocnemis*, *Rana temporaria*.

Il materiale oggetto di studio comprende 39 scheletri disarticolati, conservati nel Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino e nella collezione del Muséum national d'Histoire naturelle di Parigi. Per le descrizioni osteologiche, si è fatto particolare riferimento ai caratteri utilizzati nella matrice di BÁEZ & GÓMEZ (2017).

Le ossa sono state fotografate singolarmente, in norme differenti, con la tecnica della microscopia multifocale, utilizzando un microscopio Leica M205 attrezzato con il programma Leica Application Suite v 4.10. Il lavoro si è focalizzato sui seguenti elementi scheletrici: frontoparietale; sfenetmoide, parasfenoide, nasale, esoccipitale (fuso con il prootico in qualche caso), pterigoide, squamoso, premascellare, mascellare, vomere, apparato ioideo, atlante, vertebra II, vertebra III, vertebra VIII, vertebra sacrale, urostilo, scapola, soprascapola, clavicola, coracoide, omero, radioulna, ilio, femore, tibiofibula, astragalo-calcagno. I dati osteologici sono stati poi riassunti in una chiave dicotomica che aggiorna ed espande quella sugli anuri di Francia pubblicata da BAILON (1999) più di 20 anni fa.

Al fine di fornire una ricostruzione filogenetica di riferimento per lo studio degli anuri fossili d'Europa, è stata anche condotta un'analisi filogenetica basata su caratteri osteologici, considerando tutte le specie sopracitate a eccezione dei due taxa alloctoni *Xenopus laevis* e *Lithobates catesbeianus* e includendo *Pelodytes punctatus* e l'outgroup *Ascaphus truei* sulla base di dati precedentemente pubblicati (BÁEZ & GÓMEZ, 2017). La matrice creata tramite MorphoBank (O'LEARY & KAUFMAN, 2012) per questa analisi include 23 specie e 143 caratteri (proposti nel precedente lavoro di BÁEZ & GÓMEZ, 2017) ed è stata analizzata con il programma TnT (v1.5, Nov. 2018; GOLOBOFF, FARRIS & NIXON, 2008).

RISULTATI

Gli elementi scheletrici maggiormente diagnostici per l'identificazione generica sono risultati essere il frontoparietale, lo sfenetmoide, la vertebra sacrale, la scapola, l'omero e l'ileo, in linea con quanto riportato da BAILON (1999) per gli anuri francesi. La possibilità di identificare i vari generi sulla base degli elementi scheletrici varia, dal momento che alcuni, in particolare *Pelobates* e *Xenopus*, presentano caratteristiche marcatamente distintive su un maggior numero di elementi rispetto ad altri. Il riconoscimento a livello di famiglia, d'altro canto, è sempre possibile per la maggior parte degli elementi scheletrici considerati, anche se osservati singolarmente.

L'albero filogenetico risultante è abbastanza coerente, a livello di genere, con le più recenti filogenesi ottenute su base molecolare (per confronto, è stata utilizzata quella di PYRON & WIENS, 2011), benché si segnalino delle differenze nella posizione del genere *Discoglossus* e della famiglia Bufonidae. Quest'ultimo, in particolare, è *sister taxon* di Ranidae nella nostra analisi, invece che del genere *Hyla* (e quindi di Hylidae) come riportato da PYRON & WIENS (2011). I risultati su base osteologica sono invece solo parzialmente coerenti con il dato molecolare se si scende a livello di specie.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro dimostra ulteriormente la possibilità di riconoscere tutti i generi di anuri attualmente viventi in Europa sulla base dei singoli elementi scheletrici, e fornisce un supporto importante per tutti coloro che in futuro si confronteranno con la necessità di attribuire un'identificazione a ossa isolate. Grazie all'analisi filogenetica preliminare qui effettuata, inoltre, sarà facilitato lo studio delle relazioni degli anuri estinti conosciuti nel record fossile europeo.

Di seguito, viene riportata a titolo di esempio la chiave dicotomica per l'identificazione generica sulla base dell'ileo (nomenclatura e caratteri adattati da BAILON, 1999; SANCHIZ *et al.*, 2002; GÓMEZ & TURAZZINI, 2016; BÁEZ & GÓMEZ, 2017) che è stato raffigurato in Fig. 1-2:

- 1 Cresta dorsale visibile e ben sviluppata.....2
 - Cresta dorsale assente o molto bassa.....8
- 2 Cresta dorsale relativamente bassa (rapporto con l'altezza del braccio iliaco tra 0,5 e 0,9), incurvata medialmente e prolungata posteriormente nella protuberanza dorsale.....3
 - Cresta dorsale alta e ben visibile (altezza uguale o superiore a quella del braccio iliaco).....4
- 3 Processo ischiatico lungo. Espansione acetabolare ventrale ridotta. Presenza di un tubercolo e di un solco interiliaco visibile in vista posteriore, sul bordo interno della giunzione con ischio e pube.....genere *Discoglossus*
 - Processo ischiatico corto. Espansione acetabolare ventrale espansa. Tubercolo interiliaco assente.....*Rana temporaria*
- 4 Angolo tra il limite posteriore della protuberanza dorsale e il bordo dorsale del processo ischiatico circa di 90°. Protuberanza dorsale ben differenziata e globosa.....genere *Pelophylax*
 - Angolo tra il limite posteriore della protuberanza dorsale e il bordo

- dorsale del processo ischiatico inferiore a 90°. Protuberanza dorsale di solito meno differenziata che nel caso precedente.....5
- 5 Cresta dorsale presenta il suo punto più alto a livello della protuberanza dorsale.....6
- Cresta dorsale più alta della protuberanza dorsale.....7
- 6 In vista mediale e laterale, altezza della cresta dorsale uguale o poco maggiore di quella del braccio iliaco, circa uniforme lungo tutto il braccio iliaco*Rana macrocnemis*
- In vista mediale e laterale, altezza della cresta dorsale evidentemente maggiore di quella del braccio iliaco, digradante verso l'estremità anteriore del braccio iliaco.....*Rana arvalis*
- 7 Fossa sopracetabolare marcata.....*Rana dalmatina*
- Fossa sopracetabolare appena visibile.....*Rana italica, Rana latastei*
- 8 Protuberanza dorsale assente, o appena abbozzata.....9
- Protuberanza dorsale presente.....11
- 9 Espansioni acetabolari dorsale e ventrale poco sviluppate. Processo ischiatico corto. Protuberanza dorsale assente o appena abbozzata. Solco spirale assente.....genere *Bombina*
- Espansioni acetabolari dorsale e ventrale ben visibili. Processo ischiatico moderatamente lungo. Protuberanza dorsale sempre assente. Solco spirale presente.....10
- 10 Braccio iliaco generalmente ben incurvato. A volte, presenza di un piccolo tubercolo sulla superficie dorsale del processo ischiatico (*tuber superior* in SANCHIZ *et al.*, 2002)..... genere *Pelodytes*
- Braccio iliaco poco incurvato. Assenza di un tubercolo sulla superficie dorsale del processo ischiatico. In vista mediale, presenza di un solco interiliaco sull'espansione acetabolare ventra.....genere *Pelobates*
- 11 Lunghezza del processo ischiatico maggiore o uguale del diametro dell'acetabolo. In vista posteriore, presenza di un tubercolo interiliaco.....genere *Alytes*
- Lunghezza del processo ischiatico inferiore al diametro dell'acetabolo.....12
- 12 Protuberanza dorsale globosa e incurvata lateralmente. Braccio iliaco poco incurvato. Espansione acetabolare ventrale espansa anteriormente genere *Hyla*
- Protuberanza dorsale unilobata o bilobata. Braccio iliaco visibilmente incurvato.....13
- 13 Presenza di una cresta allungata (*lame calamite* in BAILON, 1999) in posizione lateroventrale nella porzione posteriore del braccio iliaco. Protuberanza dorsale unilobata.....*Epidalea calamita*
- non come sopra.....14

- 14 Protuberanza dorsale con bordo arrotondato. Zona preacetabolare senza infossamenti distintivi.....*Bufo bufo*
 - Protuberanza superiore bilobata. Zona preacetabolare con un evidente infossamento (= fossa preacetabolare)..... *Bufotes viridis*



Fig. 1 — Ilii destri in vista laterale di *Alytes obstetricans* (A), *Bombina variegata* (B), *Discoglossus montalentii* (C), *Discoglossus pictus* (D), *Discoglossus sardus* (E), *Pelobates cultripes* (F), *Pelobates fuscus* (G), *Hyla intermedia* (H), *Hyla meridionalis* (I), *Hyla sarda* (J). Ileo sinistro in vista laterale di *Pelodytes punctatus* (K), modificato da SANCHIZ *et al.*, 2002. Scala: 1 mm. Abbreviazioni: act: acetabolo; bi: braccio iliaco; cd: cresta dorsale; ead: espansione acetabolare dorsale; eav: espansione acetabolare ventrale; pi: processo ischiatico; pd: protuberanza dorsale; ss: solco spirale/Right ilia of *Alytes obstetricans* (A), *Bombina variegata* (B), *Discoglossus montalentii* (C), *Discoglossus pictus* (D), *Discoglossus sardus* (E), *Pelobates cultripes* (F), *Pelobates fuscus* (G), *Hyla intermedia* (H), *Hyla meridionalis* (I), *Hyla sarda* (J) in lateral view. Left ilium of *Pelodytes punctatus* (K) in lateral view, modified from SANCHIZ *et al.*, 2002. Scale bar: 1 mm. Abbreviations: act: acetabulum; bi: iliac shaft; cd: dorsal crest; ead: dorsal acetabular expansion; eav: ventral acetabular expansion; pi: ischiatic process; pd: dorsal prominence; ss: spiral groove.

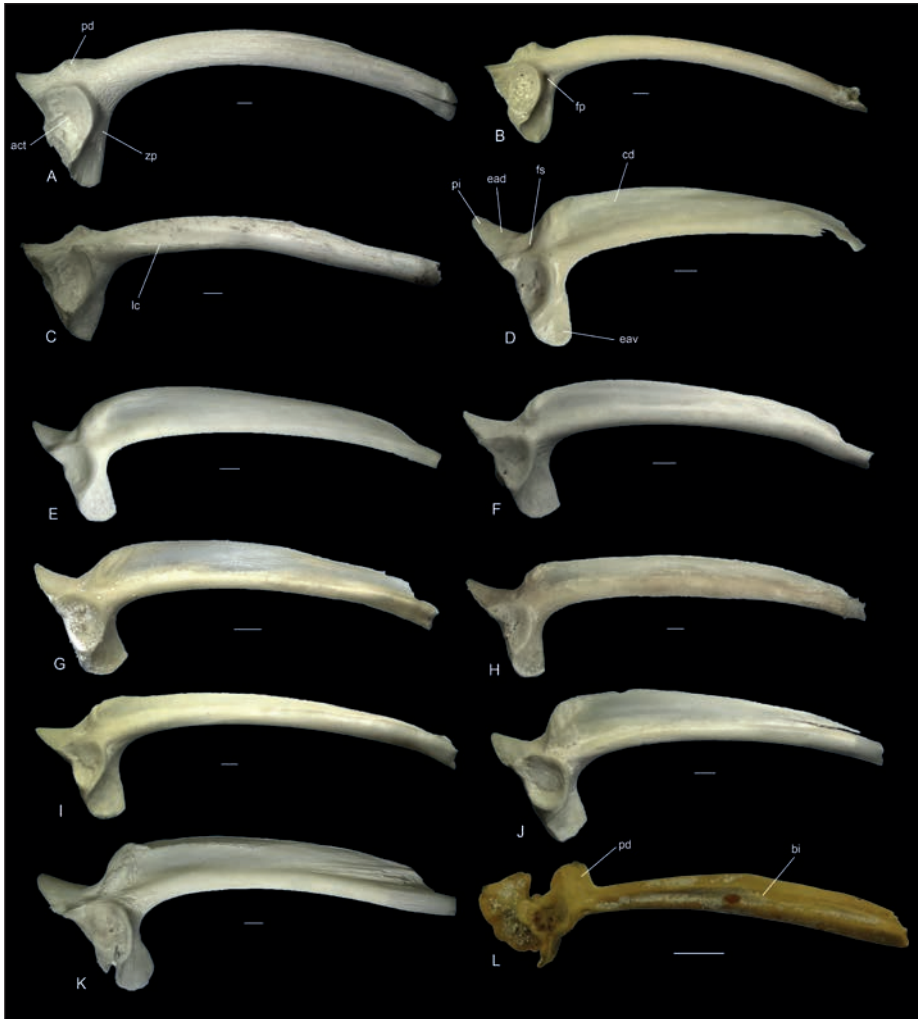


Fig. 2 — Ilii destri in vista laterale di *Bufo bufo* (A), *Bufo viridis* (B), *Epidalea calamita* (C), *Rana arvalis* (D), *Rana dalmatina* (E), *Rana italica* (F), *Rana latastei* (G), *Rana macrocnemis* (H), *Rana temporaria* (I), *Pelophylax esculentus* (J), *Pelophylax ridibundus* (K), *Xenopus laevis* (L) in lateral view. Scale bar: A-K 1 mm; L 5 mm. Abbreviations: act: acetabulum; bi: iliac shaft; cd: dorsal crest; ead: dorsal acetabular expansion; eav: ventral acetabular expansion; fs: supraacetabular fossa; fp: preacetabular fossa; lc: lame calamite sensu BAILON, 1999; pd: dorsal prominence; pi: ischiatic process; zp: preacetabular zone.

BIBLIOGRAFIA

- BÁEZ A.M. & GÓMEZ R.O., 2017. Dealing with homoplasy: osteology and phylogenetic relationships of the bizarre neobatrachian frog *Baurubatrachus pricei* from the Upper Cretaceous of Brazil. *J. Syst. Palaeontol.*, 16(4): 279-308.
- BAILON S., 1999. Fiches d'osteologie animale pour l'archeologie. Série C: Varia. N° 1 Différenciation ostéologique des anoures (Amphibia, Anura) de France. *Centre Rech. Archéol. CNRS*, Paris 41.
- BÖHME G., 1977. Zur Bestimmung quart rer Anuren Europas an Hand von Skelettelementen. *Wiss. Zeit. Humboldt-Universität Berlin, Math.-Nat.*, 26(3): 283-300.
- FELIX J. & MONTORI A., 1986. Determinación de las especies de anfibios anuros del nordeste ibérico mediante el hueso iliún. *Miscellania Zoologica*, 10: 239-246.
- GOLOBOFF P., FARRIS J. & NIXON K., 2008. TNT, a free program for phylogenetic analysis. *Cladistics*, 24: 774-786.
- GÓMEZ R.O. & TURAZZINI G.F., 2016. An overview of the ilium of anurans (Lissamphibia, Salientia), with a critical appraisal of the terminology and primary homology of main ilial features. *J. Vertebr. Paleontol.*, 36(1): 1-12.
- O'LEARY M.A. & KAUFMAN S.G., 2012. MorphoBank 3.0: Web application for morphological phylogenetics and taxonomy. <http://www.morphobank.org>.
- PYRON R.A. & WIENS J.J., 2011. A large-scale phylogeny of Amphibia including over 2800 species, and a revised classification of extant frogs, salamanders, and caecilians. *Mol. phylogenet. evol.*, 61(2): 543-583.
- SANCHIZ B., TEJEDO M. & SÁNCHEZ-HERRÁIZ M.J., 2002. Osteological differentiation among Iberian *Pelodytes* (Anura, Pelodytidae). *Graellsia*, 58(2): 35-68.
- SMIROLDO G., VILLA A., TREMOLADA P., GARIANO P., BALESTRIERI A. & DELFINO M., 2019. Amphibians in Eurasian otter *Lutra lutra* diet: osteological identification unveils hidden prey richness and male-biased predation on anurans. *Mammal Rev.*, 49(3): 240-255.
- SPEYBROECK J., BEUKEMA W., DUFRESNES C., FRITZ U., JABLONSKI D., LYMBERAKIS P., MARTÍNEZ-SOLANO I., RAZZETTI E., VAMBERGER M., VENCES M., VÖRÖS J. & CROCHET P.A., 2020. Species list of the European herpetofauna—2020 update by the Taxonomic Committee of the Societas Europaea Herpetologica. *Amphibia-Reptilia*, 41(2): 139-189.

Indirizzo degli autori — M. PILI, L. RACCA, M. DELFINO, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Torino, Via Valperga Caluso, 35 - 10125 Torino (I); A. VILLA, M. DELFINO, Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici ICTA-ICP, c/ Columnes s/n, Campus de la UAB - 08193 Cerdanyola del Vallès, Barcelona (Spain); S. BAILON, UMR 7209 Archéozoologie, Archéobotanique: Sociétés, pratiques et environnements, MNHN, CNRS, Paris (France); UMR 7194 Histoire naturelle de l'Homme préhistorique, MNHN, UPVD, CNRS, Paris (France).