

## Tesi Botaniche

---

### Tesi Botaniche 9

#### Editoriale

Seppur con approcci diversi e a vari livelli di indagine, l'analisi della biodiversità caratterizza le cinque tesi di laurea magistrale presentate in questo nono numero della rubrica *Tesi Botaniche*. Nel complesso, si tratta di lavori interessanti, non solo dal punto di vista scientifico, ma anche applicativo, in quanto finalizzati, direttamente o indirettamente, alla tutela della biodiversità nativa. In un preoccupante scenario di cambiamenti climatici e di omogeneizzazione dei sistemi biotici a scala mondiale, soprattutto gli studi sulla tassonomia e la corologia vegetale, nonché quelli riguardanti la diversità e lo stato di conservazione delle comunità vegetali, risultano essenziali per pianificare opportune strategie di conservazione. In questo contesto, proprio le tematiche riguardanti la tutela della diversità biologica nativa e la sua valorizzazione devono rappresentare le principali sfide per i Botanici nei prossimi anni.

a cura di

*Adriano Stinca*

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali, Biologiche e Farmaceutiche  
Università della Campania Luigi Vanvitelli, Caserta

F. Mainolfi, L. Ricci, B. Gori, J. Franzoni, E. Pelella

### **Analisi degli habitat di interesse comunitario della Z.S.C. "Catena di Monte Maggiore" (Campania)**

F. Mainolfi

#### Introduzione

La Rete Natura 2000 è il principale strumento della politica dell'Unione Europea per la conservazione della biodiversità ed è attuato mediante l'istituzione di particolari aree protette: Siti di Interesse Comunitario (S.I.C.), Zone Speciali di Conservazione (Z.S.C.), Zone di Protezione Speciale (Z.P.S.). In accordo alla Direttiva Habitat (43/92/CEE), l'individuazione degli habitat di interesse comunitario ed il monitoraggio periodico del loro stato di conservazione sono azioni fondamentali per la tutela a lungo termine e l'ottimizzazione della gestione (Gigante et al. 2018).

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è stato proprio quello di valutare lo stato di conservazione degli habitat di interesse comunitario in un sito della Rete Natura 2000 della regione Campania, la Z.S.C. "Catena di Monte Maggiore" (IT8010006).

#### Materiali e Metodi

L'area di studio è ubicata in provincia di Caserta, nel settore settentrionale della regione Campania (Sud Italia) e risulta compresa tra i circa 200 m ed i 1036 m s.l.m. Dal punto di vista geomorfologico il territorio è ascripto ai rilievi calcarei preappenninici con presenza di coperture piroclastiche discontinue attribuibili soprattutto all'attività eruttiva del vicino vulcano di Roccamonfina. Dall'elaborazione dei dati termo-pluviometrici rilevati dalla stazione di Alife (Caserta) riguardanti il periodo 2000-2020, risulta un clima di tipo mediterraneo.

Le attività di campo, svolte da luglio 2020 a giugno 2021, sono state precedute da un'analisi del formulario standard della Z.S.C. ([ftp://ftp.minambiente.it/PNM/Natura2000/Trasmissione%20CE\\_dicembre2020/](ftp://ftp.minambiente.it/PNM/Natura2000/Trasmissione%20CE_dicembre2020/)) per evidenziare gli habitat di cui era già nota la presenza: 5330-Arbusteti termo-mediterranei e predesertici, 6210-Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*) (\*stupenda fioritura di orchidee), 6220-Percorsi sub-steppici di graminacee e piante annue dei *Thero-Brachypodietea*, 8210-Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofitica, 8310-Grotte non ancora sfruttate a livello turistico, 9210\*-Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*, 9260-Boschi di *Castanea sativa*. Per ogni tipologia

---

di habitat sono stati quindi eseguiti casualmente cinque rilievi della vegetazione applicando la metodologia fitosociologia (Braun-Blanquet 1964), considerando aree di saggio di 4×4 m. Aree di saggio di dimensioni inferiori sono state esaminate esclusivamente per il rilevamento delle fitocenosi ascrivibili agli habitat 8210 (2×2 m), 6220 e 8310 (1×1 m), a causa delle loro ridotte estensioni. L'identificazione delle entità rinvenute è stata principalmente eseguita in base alla Flora d'Italia di Pignatti et al. (2017-2019). Lo stato di conservazione di ciascun habitat è stato valutato mediante la verifica della presenza e della relativa consistenza delle specie diagnostiche (Biondi et al. 2010; <http://vnr.unipg.it/habitat/index.jsp>), ruderali (A. Stinca, oss. pers.) ed esotiche in Campania (Bartolucci et al. 2018, Galasso et al. 2018). È stata anche riscontrata la presenza di specie rilevanti dal punto di vista conservazionistico (Rossi et al. 2013, 2020, Oresenigo et al. 2021). I dati floristico-vegetazionali raccolti sono stati analizzati attraverso statistiche multivariate utilizzando il software Past Statistic ([www.folk.uio.no/ohammer/past](http://www.folk.uio.no/ohammer/past)).

## Risultati

Il lavoro di campo, consistito nella realizzazione di 40 rilievi fitosociologici, ha consentito di confermare la presenza dei sette habitat precedentemente indicati per l'area di studio (5330, 6210\*, 6220, 8210, 8310, 9210\*, 9260) e di accertare la presenza di un ulteriore habitat di interesse comunitario: 9340-Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia*. La composizione specifica e l'abbondanza delle specie censite nelle formazioni vegetali esaminate, nonché le caratteristiche strutturali dei popolamenti, sono risultati, per ciascun habitat, coerenti con la combinazione fisionomica di riferimento riportata dal Manuale Italiano di Interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE (Biondi et al. 2010; <http://vnr.unipg.it/habitat/index.jsp>). Complessivamente sono stati censiti 224 taxa (specie e sottospecie), con una media di 28 taxa/habitat. La maggiore ricchezza floristica (numero medio di specie nei cinque plot ± deviazione standard) è stata rilevata negli habitat 6210\* (51,8±4,1), 5330 (38,2±10,6) e 6220 (18,4±5,0). Una presenza occasionale di specie ruderali, da relazionare ai fenomeni di disturbo (es. incendi), è stata rilevata solo negli habitat 5330 (1±1) e 6210\* (0,6±0,5). Per quanto riguarda le specie aliene, solo nell'habitat 9260 è stata osservata sporadicamente *Mespilus germanica* L., un'archeofita talvolta presente nei boschi antropizzati della Campania. Gli habitat 6210\* e 6220 sono risultati essere quelli maggiormente ricchi di specie di interesse conservazionistico come le orchidee.

La cluster analysis della matrice dei dati (40 rilievi × 224 taxa) ha evidenziato la separazione di cinque gruppi: quattro omogenei corrispondenti ai rilievi degli habitat 9260, 5330, 9340 e 9210\*, ed uno molto eterogeneo in quanto composto da diversi habitat (6210\*, 6220, 8210, 8310) che presentano una elevata percentuale di specie in comune.

## Discussione

Gli habitat analizzati nella Z.S.C. "Catena di Monte Maggiore" hanno mostrato un discreto grado di conservazione. A tale giudizio si è indotti sia dall'elevata corrispondenza in termini di composizione specifica delle cenosi da noi rilevate con i dati riportati da Biondi et al. (2010; <http://vnr.unipg.it/habitat/index.jsp>), sia dalla pressoché totale assenza di specie ruderali ed aliene. Anche dal punto di vista strutturale, i popolamenti esaminati sono apparsi coerenti con le definizioni dei relativi habitat. I nostri risultati hanno anche confermato l'elevata ricchezza floristica che caratterizza i popolamenti erbacei, rispetto a quelli legnosi.

Le forti similitudini floristiche rilevate tra gli habitat 6210\* e 6220, così come tra gli habitat 8210 e 8310, non sorprendono, in quanto, nell'area di studio, i driver che ne regolano la composizione floristica e la struttura sono, rispettivamente, gli incendi e il substrato calcareo roccioso. Relativamente all'habitat 8210 si sottolinea l'assenza di fenomeni di disturbo anche in rapporto alla difficile accessibilità dei popolamenti (Angelini et al. 2016). Con distribuzione puntuale e localizzato all'imboccatura delle poche grotte rilevate nell'area di studio è stato rilevato l'habitat 8310.

La ricerca condotta, oltre a fornire un quadro aggiornato degli habitat attualmente presenti nella Z.S.C. "Catena di Monte Maggiore" e del relativo stato di conservazione, ha consentito anche di migliorare le conoscenze sulla composizione e sulla distribuzione della flora vascolare di questo territorio. In effetti l'area di studio presenta conoscenze floristiche frammentarie e solo nel corso del 2017 è stata oggetto di una indagine da parte del Gruppo per la Floristica, Sistematica ed Evoluzione della Società Botanica Italiana (Stinca et al. in prep.). I risultati ottenuti nel corso di questo lavoro costituiscono anche una base di partenza per la realizzazione di una cartografia degli habitat, al fine di quantificare la superficie ciascun habitat e la distribuzione spaziale degli stessi all'interno della Z.S.C. La mappatura accurata degli habitat consentirà quindi di allestire un geo-database utile ai futuri monitoraggi e per la messa a punto di una zonizzazione finalizzata alla corretta gestione del territorio.

## Letteratura citata

Angelini P, Casella L, Grignetti A, Genovesi P (Eds.) (2016) Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 142/2016, Roma. 281 pp.

- Bartolucci F, Peruzzi L, Galasso G, Albano A, Alessandrini A, Ardenghi NMG, Astuti G, Bacchetta G, Ballelli S, Banfi E, Barberis G, Bernardo L, Bouvet D, Bovio M, Cecchi L, Di Pietro R, Domina G, Fascetti S, Fenu G, Festi F, Foggi B, Gallo L, Gottschlich G, Gubellini L, Iamónico D, Iberite M, Jiménez-Mejías P, Lattanzi E, Marchetti D, Martinetto E, Masin RR, Medagli P, Passalacqua NG, Peccenini S, Pennesi R, Pierini B, Poldini L, Prosser F, Raimondo FM, Roma-Marzio F, Rosati L, Santangelo A, Scoppola A, Scortegagna A, Selvaggi A, Selvi F, Soldano A, Stinca A, Wagensommer RP, Wilhalm T, Conti F (2018) An updated checklist of the vascular flora native to Italy. *Plant Biosystems* 152: 1-127.
- Biondi E, Blasi C, Burrascano S, Casavecchia S, Copiz R, Del Vico E, Galdenzi E, Gigante D, Lasen C, Spampinato G, Venanzoni R, Zivkovic L (2010) Manuale Italiano di Interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Società Botanica Italiana, Roma. 20 pp.
- Braun-Blanquet J (1964) *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. Ed. 3. Springer-Verlag, Wien-New York. 865 pp.
- Galasso G, Conti F, Peruzzi L, Ardenghi NMG, Banfi E, Celesti-Grappow L, Albano A, Alessandrini A, Bacchetta G, Ballelli S, Bandini Mazzanti M, Barberis G, Bernardo L, Blasi C, Bouvet D, Bovio M, Cecchi L, Del Guacchio E, Domina G, Fascetti S, Gallo L, Gubellini L, Guiggi A, Iamónico D, Iberite M, Jiménez-Mejías P, Lattanzi E, Marchetti D, Martinetto E, Masin RR, Medagli P, Passalacqua NG, Peccenini S, Pennesi R, Pierini B, Podda L, Poldini L, Prosser F, Raimondo FM, Roma-Marzio F, Rosati L, Santangelo A, Scoppola A, Scortegagna A, Selvaggi A, Selvi F, Soldano A, Stinca A, Wagensommer RP, Wilhalm T, Bartolucci F (2018) An updated checklist of the vascular flora alien to Italy. *Plant Biosystems* 152: 556-592.
- Gigante D, Acosta ATR, Agrillo E, Armiraglio S, Assini S, Attorre F, Bagella S, Buffa G, Casella L, Giancola C, Giusso del Galdo GP, Marcenò C, Pezzi G, Prisco I, Venanzoni R, Viciani D (2018) Habitat conservation in Italy: the state of the art in the light of the first European Red List of Terrestrial and Freshwater Habitats. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* 29: 251-265.
- Orsenigo S, Fenu G, Gargano D, Montagnani C, Abeli T, Alessandrini A, Bacchetta G, Bartolucci F, Carta A, Castello M, Cogoni D, Conti F, Domina G, Foggi B, Gennai M, Gigante D, Iberite M, Peruzzi L, Pinna MS, Prosser F, Santangelo A, Selvaggi A, Stinca A, Villani M, Wagensommer RP, Tartaglino N, Duprè E, Blasi C., Rossi G (2021) Red list of threatened vascular plant species in Italy. *Plant Biosystems* 155: 310-335.
- Pignatti S, Guarino R, La Rosa M (2017-2019) *Flora d'Italia* 1-4. 2nd ed. Edagricole, Bologna. 1164 pp. vol 1 (2017), 1178 pp. vol 2 (2017), 1288 pp. vol 3 (2018), 1054 pp. vol. 4 (2019).
- Rossi G, Montagnani C, Gargano D, Peruzzi L, Abeli T, Ravera S, Cogoni A, Fenu G, Magrini S, Gennai M, Foggi B, Wagensommer RP, Venturella G, Blasi C, Raimondo FM, Orsenigo S (Eds.) (2013) *Lista Rossa della Flora Italiana*. 1. Policy Species e altre specie minacciate. Comitato Italiano IUCN e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. 54 pp.
- Rossi G, Orsenigo S, Gargano D, Montagnani C, Peruzzi L, Fenu G, Abeli T, Alessandrini A, Astuti G, Bacchetta G, Bartolucci F, Bernardo L, Bovio M, Brullo S, Carta A, Castello M, Cogoni D, Conti F, Domina G, Foggi B, Gennai M, Gigante D, Iberite M, Lasen C, Magrini S, Nicoletta G, Pinna MS, Poggio L, Prosser F, Santangelo A, Selvaggi A, Stinca A, Tartaglino N, Troia A, Villani MC, Wagensommer RP, Wilhalm T, Blasi C (2020) *Lista Rossa della Flora Italiana*. 2 Endemiti e altre specie minacciate. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. 94 pp.

Candidato: *Franco Mainolfi*

Relatore: *Angela Stanisci*

Relatore esterno: *Adriano Stinca*

Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università del Molise, Via Francesco De Sanctis snc, 86100 Campobasso

Anno di discussione: 2021

## **Pattern e drivers di beta diversità di specie vegetali sul massiccio del Velino (Appennino Centrale – Italia)**

L. Ricci

### **Introduzione**

Le comunità vegetali sono sistemi dinamici che subiscono continue variazioni nella composizione specifica (beta diversità) su scala spaziale e temporale in risposta al clima, alla topografia ed alle dinamiche intrinseche alle comunità stesse (Condit et al. 2002). È stato dimostrato come, a livello spaziale, la beta diversità sia fortemente influenzata, sia dalla distanza geografica, sia da quella altitudinale e ambientale (Nekola, White 1999, Condit et al. 2002). All'aumentare di queste tre distanze la similarità delle comunità tende a diminuire ("distance-decay" di similarità) (Wetzel et al. 2012). Studiare i drivers che maggiormente influenzano la distribuzione della diversità vegetale è quindi di fondamentale importanza, non solo dal punto di vista scientifico, ma anche per indirizzare le strategie di conservazione (Nekola, White 1999).

Gli obiettivi di questa tesi sono legati alla comprensione dei drivers che influenzano la beta diversità di comunità

vegetali lungo i gradienti altitudinali, ambientali e spaziali su un transetto altitudinale situato sul massiccio del Velino (Appennino Centrale). Nello specifico gli obiettivi del lavoro sono: 1) studiare i pattern ed i driver di beta diversità lungo i gradienti spaziali, topografici e climatici; 2) predire e spazializzare la beta diversità.

### Materiali e Metodi

L'area di studio è costituita da un transetto altitudinale lungo circa due km, che copre un gradiente altitudinale compreso tra i 1100 ed i 2400 metri s.l.m sul versante SW del Monte Velino. I dati floristici esaminati nel corso di questo lavoro sono stati raccolti nel periodo 2006-2007 all'interno di 83 nested plot di diverse taglie (0,015×0,015 m, 0,031×0,031 m, 0,062×0,062 m, 0,125×0,125 m, 0,25×0,25 m, 0,5×0,5 m, 1×1 m, 2×2 m, 4×4 m, 8×8 m, 16×16 m). I dati climatici spazializzati per l'area di studio (temperatura del suolo, temperatura dell'aria, precipitazioni) sono stati tratti da precedenti lavori non pubblicati. I dati topografici sono stati estratti dal DEM (Digital Elevation Model) con una risoluzione di 10×10 m. Attraverso l'impiego del pacchetto "betapart" è stata calcolata la beta diversità, utilizzando l'indice di similarità di Sørensen per sole tre differenti taglie dei plot (0,5×0,5 m, 2×2 m, 16×16 m), ed i valori ottenuti sono stati confrontati con i "distance-decay" altitudinali e spaziali e con matrici di distanza ambientale elaborate con le variabili climatiche e topografiche. Infine, attraverso i GDM (Generalized Dissimilarity Models), sono stati investigati i drivers di beta diversità utilizzando le variabili sopra citate attraverso il pacchetto "gdm". Tutte le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il programma open source R (R Core Team 2017).

### Risultati

I valori di beta diversità hanno evidenziato maggiori similitudini tra i plot ad una distanza altitudinale e spaziale ridotta. È interessante notare che l'effetto della distanza spaziale è risultato essere diverso tra le fasce altitudinali. Ad alta quota, infatti, la beta diversità è risultata maggiore rispetto alle fasce altitudinali al di sotto dei 1500 m di quota. In generale i modelli di "distance-decay" elaborati per le differenti taglie dei plot hanno mostrato che la variazione di beta diversità tra gli stessi plot è da imputare soprattutto alla distanza altitudinale e, in minor misura, alla distanza spaziale. Inoltre, i modelli di "distance-decay" hanno sottolineato che la beta diversità lungo il gradiente altitudinale sembra essere influenzata maggiormente dalla temperatura del suolo rispetto alle altre variabili prese in esame (temperatura media annua dell'aria, range annuale di temperatura dell'aria, precipitazioni del trimestre più secco, altitudine, pendenza, indice di umidità topografica). Il modello GDM elaborato per l'area di studio ha evidenziato come, per la beta diversità totale, la temperatura media annua del suolo, il range annuale di temperatura dell'aria e la distanza geografica siano i predittori più significativi.

### Discussione

Sul massiccio del Velino, dai risultati ottenuti, i pattern di beta diversità sono maggiormente influenzati dalla distanza altitudinale e, in minor misura, dalla distanza spaziale tra i plot. L'effetto della distanza spaziale è strettamente connesso all'autocorrelazione spaziale e con processi spaziali e temporali a larga scala (Burrascano et al. 2013). Per quanto riguarda la distanza altitudinale, un suo aumento implica il cambiamento nelle condizioni bioclimatiche e topografiche, strettamente connesse con la quota, a cui le specie vegetali sono sottoposte (Grytnes 2003). Tra tutte le variabili ambientali utilizzate per le matrici di distanza ambientale, la temperatura del suolo ha avuto un'influenza rilevante sulla dissimilarità delle comunità vegetali del Velino. La temperatura del suolo, infatti, ha effetti significativi sulla crescita delle piante e sull'insediamento iniziale delle stesse e può quindi agire da fattore limitante per la presenza di alcune specie vegetali (Paudel, Vetaas 2014). I risultati ottenuti dal modello GDM mostrano come la struttura ed il "turnover" compositivo delle comunità vegetali siano il risultato di una complessa interazione tra fattori geografici ed ambientali (König et al. 2017). Nello specifico, la rilevanza della distanza geografica come predittore della beta diversità dipende dal tipo di storia biogeografica e climatica dell'area in esame (Fitzpatrick et al. 2013).

Concludendo, il lavoro svolto può essere molto utile per studi futuri soprattutto per valutare le risposte delle diverse specie vegetali al cambiamento climatico. Inoltre, l'utilizzo dei GDM può essere uno strumento utile per la realizzazione di mappe di beta diversità attraverso cui organizzare piani di conservazione aggiungendo così una misura complementare alla ricchezza di specie.

### Letteratura citata

- Burrascano S, Anzellotti I, Carli E, Del Vico E, Facioni L, Pretto F, Sabatini FM, Tilia A, Blasi C (2013) Drivers of beta-diversity variation in *Bromus erectus* semi-natural dry grasslands. *Applied Vegetation Science* 16: 404-416.
- Condit R, Pitman N, Leigh EG, Chave J, Terborgh J, Foste, RB, Núñez P, Aguilar S, Valencia R, Villa G (2002) Beta-diversity in tropical forest trees. *Science* 295: 666-669.
- Fitzpatrick MC, Sanders NJ, Normand S, Svenning J-C, Ferrier S, Gove AD, Dunn RR (2013) Environmental and historical imprints on beta diversity: insights from variation in rates of species turnover along gradients. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280: 20131201.

- Grytnes JA (2003) Species-richness patterns of vascular plants along seven altitudinal transects in Norway. *Ecography* 26: 291-300.
- König C, Weigelt P, Kreft H (2017) Dissecting global turnover in vascular plants. *Global Ecology and Biogeography* 26: 228-242.
- Nekola JC, White PS (1999) The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography* 26: 867-878.
- Paudel S, Vetaas OR (2014) Effects of topography and land use on woody plant species composition and beta diversity in an arid Trans-Himalayan landscape, Nepal. *Journal of Mountain Science* 11: 1112-1122.
- R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/> [accessed 10.07.2021].
- Wetzel CE, Bicudo DdC, Ector L, Lobo EA, Soininen J, Landeiro VL, Bini LM (2012) Distance Decay of Similarity in Neotropical Diatom Communities. *PLoS ONE* 7: e45071.

Candidato: *Lorenzo Ricci*

Relatrice: *Anna Rita Frattaroli*

Correlatore: *Michele Di Musciano*

Dipartimento di Medicina Clinica, Sanità Pubblica, Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università dell'Aquila, Piazzale Salvatore Tommasi 1, 67100 L'Aquila

Anno di discussione: 2021

## Previsione della distribuzione potenziale di *Ludwigia* spp. in Italia: SDMs come supporto alla gestione di due specie acquatiche invasive

B. Gori

### Introduzione

Le specie aliene invasive sono riconosciute come una delle principali minacce per la biodiversità e per i sistemi naturali e agricoli da cui l'uomo dipende (McNeely et al. 2001). Possono infatti influenzare negativamente la ricchezza delle specie native e modificare le reti trofiche e la diversità filogenetica delle comunità in cui si insediano; hanno la capacità di alterare le funzioni ecosistemiche ed i relativi servizi che essi offrono, compromettendo la struttura degli habitat, i cicli dei nutrienti e quelli idrologici (Pyšek et al. 2020). Le misure atte a prevenire introduzioni volontarie ed accidentali di queste specie costituiscono lo strumento di gestione più efficace di tale problematica. In quest'ottica, nel corso del presente lavoro di tesi è stato realizzato uno "Species Distribution Model" (SDM) per due taxa acquatici invasivi in Italia: *Ludwigia hexapetala* (Hook. & Arn.) Zardini, H.Y.Gu & P.H.Raven (segnalata per la prima volta nel nostro paese nel 1940) e *Ludwigia peploides* (Kunth) P.H.Raven subsp. *montevidensis* (Spreng.) P.H.Raven (introdotta nel 1997). L'obiettivo è quello di identificare le zone suscettibili all'invasione, ove poi poter pianificare azioni di monitoraggio e/o di identificazione precoce ed eradicazione rapida. La costruzione del modello è stata preceduta dall'indagine del processo di invasione dei due taxa, i quali, introdotti a metà Ottocento in Europa dal Sud America per scopi ornamentali, hanno colonizzato corsi d'acqua e corpi idrici poco profondi con acque lente e spesso eutrofiche. In taluni contesti la rapida crescita e la notevole capacità di diffusione per via vegetativa di queste macrofite hanno determinato la formazione di densi tappeti galleggianti con evidenti impatti negativi sull'ambiente acquatico ed i relativi servizi ecosistemici.

### Materiali e Metodi

Un SDM mette in relazione la distribuzione di una specie (variabile di risposta) e le caratteristiche ambientali (fattori predittivi) che la determinano (Elith, Franklin, 2013). La distribuzione attuale in Italia dei due taxa di *Ludwigia* studiati è stata determinata analizzando erbari nazionali e segnalazioni su pubblicazioni e piattaforme online (GBIF, <https://www.gbif.org/>; iNaturalist, <https://www.inaturalist.org/>; Wikiplantbase#Italia, <http://bot.biologia.unipi.it/wpb/italia/index.html>), ottenendo in tal modo 80 punti di presenza, organizzati e armonizzati in un unico dataset per quanto riguarda luogo di rilevamento (di cui si è specificato comune, provincia e regione), coordinate geografiche (WGS 84) e tipo di habitat invaso. I fattori predittivi selezionati riguardano sette variabili bioclimatiche non correlate fra loro, ottenute dal database WorldClim (v.2, Fick, Hijmans 2017, <https://www.worldclim.org/>) [Variazione media giornaliera della temperatura (°C), stagionalità della temperatura (CV), temperatura media del trimestre più piovoso (°C), temperatura media del trimestre meno piovoso (°C), temperatura media del trimestre più caldo (°C), precipitazioni del mese più piovoso (mm) e stagionalità delle precipitazioni (CV)], e l'indice dello "Human Footprint" (v.2, Wildlife Conservation Society et al. 2005). Quest'ultimo indice quantifica il livello di impatto antropogenico sull'ambiente ed è stato selezionato

in quanto la presenza di *L. hexapetala* e *L. peploides* subsp. *montevidensis* è legata ad habitat disturbati (Thiébaud, Dutartre 2009) con acque arricchite in nutrienti derivati dalle attività umane (Thouvenot et al. 2013). Il modello è stato realizzato utilizzando l'algoritmo degli alberi di classificazione e regressione "CART" (Breiman et al. 1984), ricampionato con il metodo della "cross-validation" (5 folds, 3 ripetizioni). Proiettando i risultati del modello nello spazio geografico, è stata ottenuta la mappa di probabilità di occorrenza di *Ludwigia* spp. in Italia. L'esito del modello è stato quindi sottoposto ad alcune semplici valutazioni in termini di: a) accuratezza generale, valutata con l'indice di "correct classification rate", ottenuto da matrice di confusione; b) grado di correttezza delle previsioni, dedotto dall'osservazione del grafico di calibrazione del modello; c) coerenza della distribuzione prevista secondo le attuali conoscenze dell'ecologia delle due macrofite. Parallelamente, è stato indagato il processo di invasione di *Ludwigia* spp. costruendone le relative curve (Antunes, Schamp 2017); sono stati analizzati gli habitat attualmente colonizzati dalle due specie e sono stati eseguiti due rilievi fitosociologici con il metodo di Braun-Blanquet in una zona umida nella provincia di Bologna, con lo scopo di indagare esclusivamente l'invasività di *L. peploides* subsp. *montevidensis*.

## Risultati

La mappa di probabilità di occorrenza indica, con valori compresi fra 0 e 1, la probabilità di un sito con determinate condizioni ambientali di essere suscettibile all'invasione. Per *Ludwigia* spp. valori di probabilità di occorrenza elevati sono stati rilevati in corrispondenza di aree pianeggianti ed antropizzate. Oltre a quelle attualmente già colonizzate da uno o entrambi i taxa (Pianura Padana, Piana fiorentina, circondario del Lago di Bracciano), sono risultate potenzialmente idonee ad ospitare le due macrofite invasive le seguenti aree: gran parte del corso del Fiume Tevere; il territorio fra le catene montuose dei Monti Sabini, Sabatini e Cimini; l'area nelle Marche a S di Ancona, compresa fra il mare Adriatico ed i Monti Sibillini; l'estremo N dell'Abruzzo; una sottile striscia di costa abruzzese, che si prolunga su tutto il Tavoliere delle Puglie ed in parte della Pianura Salentina. Il modello ha mostrato un'elevata accuratezza generale, pari a  $0,92 \pm 0,078$ , e stime per eccesso e per difetto dei valori di probabilità di occorrenza fra 0,4 e 0,6. Le curve di invasione suggeriscono un'attuale espansione di entrambi i taxa, che avviene tuttavia secondo dinamiche differenti, che si ritiene siano in parte dovute alle differenze genomiche in termini di ploidia fra le due specie e all'auto-compatibilità riproduttiva della sola *L. peploides* subsp. *montevidensis* (Okada et al. 2009). I rilievi fitosociologici condotti in provincia di Bologna hanno confermato l'invasività di *L. peploides* subsp. *montevidensis*. La vegetazione sulle sponde dell'area indagata è risultata composta da altre specie aliene invasive e specie igrofile ruderali, indicatrici di un ambiente fortemente disturbato.

## Discussione

Il modello di distribuzione delle specie progettato, benché molto semplice, si è dimostrato utile ad un primo approccio nell'identificazione di aree potenzialmente suscettibili all'invasione da parte di *Ludwigia* spp. Nonostante la buona accuratezza generale del modello, i risultati sono da interpretare tenendo presenti gli errori derivati dall'utilizzo di un dataset di sola presenza delle due specie, e non un dataset di presenza-assenza come auspicabile per la costruzione della maggior parte degli SDM. Esistono modelli più sofisticati, capaci di fornire risultati molto accurati in termini di validità applicativa e, per eventuali miglioramenti futuri, è possibile includere anche altri fattori predittivi di tipo non climatico, in modo da indagare altre variabili determinanti nella distribuzione delle due macrofite invasive [ad esempio la qualità chimica e biochimica delle acque (concentrazione di fosfati e composti azotati), le caratteristiche fisiche dei corpi idrici (profondità dell'alveo, velocità della corrente) e la disponibilità di luce]. Gli enti pubblici preposti alla conservazione della natura delle aree identificate come più suscettibili all'invasione da parte di *Ludwigia* spp. dovrebbero quantomeno essere informati, al fine di attuare strategie di prevenzione, attraverso un monitoraggio attento, o di identificazione e di eradicazione precoce. Tali aree presentano ecosistemi acquatici sottoposti a disturbi e pressioni antropiche che li rendono vulnerabili alle invasioni biologiche (Willby 2007). Analizzando l'uso del suolo in base a quanto riportato nella Corine Land Cover (CLC) del 2018 (European Environment Agency 2018), risultano essere aree classificate come agricole o urbane, le cui periferie sono attualmente in espansione (Munafò 2021). Attività agricole e urbanizzazione sono ritenute causa di disturbo e semplificazione degli habitat, in termini di comunità biologiche e ricchezza delle specie (Riis et al. 2000, Bolpagni, Piotti 2016): gli ecosistemi acquatici presenti risultano dunque caratterizzati da concentrazioni di nutrienti elevate o fluttuanti, presenza di sostanze chimiche inquinanti e regimi idrici alterati della canalizzazione delle acque. Nonostante la pericolosità di *Ludwigia* spp. sia ormai nota in tutta Europa, in Italia la percezione dei danni che la loro diffusione può comportare è ancora scarsa. Tale sottovalutazione è dimostrata dal fatto che, ad oggi, fra le regioni attualmente invase, soltanto le Regioni Lombardia e Piemonte hanno definito delle linee guida per la loro identificazione e gestione (Gruppo di Lavoro Specie Esotiche della Regione Piemonte 2018, Montagnani et al. 2018). Il caso di *Ludwigia* spp. in Italia conferma il necessario e inderogabile utilizzo di strumenti scientifici e tecnologici come supporto alla buona gestione dell'ambiente e degli ecosistemi.

**Letteratura citata**

- Antunes P, Schamp B (2017) Constructing Standard Invasion Curves from Herbarium Data—Toward Increased Predictability of Plant Invasions. *Invasive Plant Science and Management* 10: 293-303.
- Bolpagni R, Piotti A (2016) The importance of being natural in a human-altered riverscape: role of wetland type in supporting habitat heterogeneity and the functional diversity of vegetation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26: 1168-1183.
- Breiman L, Friedman J, Stone CS, Olshen RA (1984) *Classification and Regression Trees*. Brooks/Cole Publishing, Monterey. 358 pp.
- Elith J, Franklin J (2013) Species Distribution Modeling. In: *Encyclopedia of Biodiversity*, 2nd ed.: 692-705. Elsevier Inc.
- European Environment Agency (2018). CLC 2018. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> [accessed 30.08.2021].
- Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37: 4302-4315.
- Gruppo di Lavoro Specie Esotiche della Regione Piemonte (Eds.) (2018) Scheda monografica *Ludwigia peploides*. Regione Piemonte, Torino. <https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/biodiversita-aree-naturali/conservazione-salvaguardia/schede-approfondimento-specie-esotiche-vegetali> [accessed 12.03.2021].
- McNeely JA, Mooney HA, Neville LE, Schei P, Waage JK (Eds.) (2001) *A Global Strategy on Invasive Alien Species*. IUCN Gland, Switzerland, and Cambridge, UK. 50 pp.
- Montagnani C, Gentili R, Citterio S (2018) *Ludwigia* spp. (*L. hexapetala*, *L. peploides* subsp. *montevidensis*). In: Bisi F, Montagnani C, Cardarelli E, Manenti R, Trasforini S, Gentili R, Ardenghi NMG, Citterio S, Bogliani G, Ficetola F, Rubolini D, Puzzi C, Scelsi F, Rampa A, Rossi E, Mazzamuto MV, Wauters LA, Martinoli A. Strategia di azione e degli interventi per il controllo e la gestione delle specie alloctone in Regione Lombardia. <https://www.naturachevale.it/wp-content/uploads/2019/02/Ludwigia-spp.pdf> [accessed 09.03.2021].
- Munafò M (Ed.) (2021) Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2021. Report SNPA 22/1. 369 pp.
- Okada M, Grewell BG, Jasieniuk M (2009) Clonal spread of invasive *Ludwigia hexapetala* and *L. grandiflora* in freshwater watersheds in California. *Aquatic Botany* 91: 123-129.
- Pyšek P, Hulme PE, Simberloff D, Bacher S, Blackburn TM, Carlton J T, Dawson W, Essl F, Foxcroft L, Genovesi P, Jeschke J M, Kühn I, Liebhold AM, Mandrak AE, Meyerson LA, Pauchard A, Pergl J, Roy H E, Seebens H, van Kleunen M, Vilà M, Wingfield MJ, Richardson DM (2020) Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews* 95: 1511-1534.
- Riis T, Sand-Jensen K, Vestergaard O (2000) Plant communities in lowland Danish streams: species composition and environmental factors. *Aquatic Botany* 66: 255-272.
- Thiébaud G, Dutartre A. (2009) Management of invasive aquatic plants in France. In: Nairne GH (Ed.) *Aquatic Ecosystem Research Trends*: 25-46. Nova Science Publishers Inc.
- Thouvenot L, Haury J, Thiebaut G (2013) A success story: water primroses, aquatic plant pests. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 23: 790-803.
- Wildlife Conservation Society - WCS, Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University (2005) Last of the Wild Project, Version 2, 2005 (LWP-2): Global Human Footprint Dataset (IGHP). Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4GF0RFQ> [accessed 30.08.2021].
- Willby N (2007) Managing invasive aquatic plants: problems and prospects. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 17: 659-665.

Candidata: *Benedetta Gori*

Relatrice: *Carla Lambertini*

Correlatori: *Giovanna Pezzi, Fabrizio Buldrini*

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna, Viale Giuseppe Fanin 40-50, 40127 Bologna

Anno di discussione: 2021

**Tassonomia integrata delle popolazioni toscane afferenti al gruppo di *Dianthus virgineus* (Caryophyllaceae)**

J. Franzoni

**Introduzione**

Delle numerose radiazioni evolutive avvenute nel Bacino del Mediterraneo, quella del genere *Dianthus* L. è caratterizzata da uno dei tassi di diversificazione più alti (Valente et al. 2010). L'elevata velocità di speciazione di questa linea evolutiva è accoppiata ad una cospicua variabilità morfologica che, combinata alla presenza di ibridazioni interspecifiche, ha reso difficoltosa la costruzione di una classificazione infragenerica esaustiva

(Carolin 1957). In questo contesto evolutivo e tassonomico si colloca il gruppo di *D. virgineus* L., un complesso di circa 30 taxa distribuiti in Europa centro-meridionale, morfologicamente molto variabili e dalla tassonomia complessa e poco indagata. L'unica revisione tassonomica pubblicata di questo gruppo (Bacchetta et al. 2010) si è concentrata sullo studio delle specie distribuite in Italia centro-meridionale e nelle isole, tralasciando l'Italia centro-settentrionale e quindi anche la Toscana. In questa regione il trattamento delle popolazioni afferenti al gruppo di *D. virgineus* è stato sinora effettuato ricalcando la visione di Caruel (1860), il quale su *D. sylvestris* Wulfen s.l. (facendo riferimento a specie del gruppo di *D. virgineus*, Domina et al. 2021) in Toscana scriveva «dovrà forse distinguersi in due forme o varietà, l'una dell'Appennino, l'altra della regione calda». Attualmente, le popolazioni toscane del settore appenninico e delle Alpi Apuane sono riferite a *D. sylvestris* subsp. *sylvestris*, mentre le popolazioni distribuite nella porzione più mediterranea della regione a *D. longicaulis* Ten. (Peruzzi, Bedini 2015-). Inoltre, la segnalazione di *D. morisianus* Vals. (Bartolucci et al. 2018) per l'Isola di Capraia, che altrimenti sarebbe una specie steno-endemica della Sardegna sud-occidentale, complica ulteriormente il quadro tassonomico a livello regionale.

Gli obiettivi della presente tesi sono: 1) verificare sperimentalmente l'ipotesi tassonomica corrente e 2) chiarire le relazioni sistematiche tra le popolazioni della Toscana continentale e dell'Arcipelago Toscano, con uno studio a livello popolazionale, lungo un gradiente di altitudine e continentalità, che prevede un approccio integrato di tipo morfometrico, cariologico e genetico.

## Materiali e Metodi

Nel periodo giugno-settembre 2020 sono state campionate 12 popolazioni in altrettante località toscane (Isola d'Elba, Isola di Capraia, Monte Pisano, Poggio Pelato, Monterufoli, Argentario, Monte Le Coste, Alpi Apuane, Stribugliano, Sasso di Castro, Pania di Corfino e Libro Aperto), distribuite dalle coste dell'Arcipelago Toscano (39 m s.l.m.) fino alle montagne dell'Appennino (1874 m s.l.m.). Cercando di coprire l'estensione spaziale di ogni popolazione, sono stati raccolti 20 individui fioriti per le indagini morfometriche (solo tre all'Isola di Capraia a causa della difficile accessibilità di tale stazione e 15 a Poggio Pelato per la scarsità di individui fioriti al momento del campionamento) dai quali sono state asportate ed essiccate in silica gel per le indagini genetiche alcune foglie (da 10 individui all'Isola di Capraia), e, in un secondo momento, i semi per le indagini cariologiche.

Per indagare il grado di variazione morfologica delle popolazioni sono stati selezionati e misurati 24 caratteri morfologici quantitativi di organi vegetativi e strutture riproduttive. I dati morfometrici sono stati inizialmente esplorati con un'Analisi delle Componenti Principali (PCA). Successivamente sono state effettuate analisi univariate per testare le differenze dei valori medi delle variabili tra i gruppi, ossia popolazioni e presunte specie (ANOVA parametrica e non parametrica, confronti a coppie non pianificati), e la correlazione tra singoli caratteri e quota (test di correlazione di Spearman). È stata infine eseguita un'Analisi Discriminante Lineare (LDA), per determinare il grado di riconoscibilità morfologica delle ipotetiche specie di partenza.

La determinazione del numero cromosomico è stata effettuata applicando il protocollo di colorazione al Feulgen ad apici radicali di semi in germinazione.

Le indagini genetiche sono state finalizzate alla caratterizzazione di "Single Nucleotide Polymorphisms" (SNP) su scala genomica utilizzando la tecnica ddRAD-seq ("Double Digest Restriction Associated DNA Sequencing") e applicando la "pipeline" bioinformatica dDocent (Puritz et al. 2014). Per esplorare la struttura genetica delle popolazioni studiate è stata inizialmente eseguita un'analisi esplorativa dei dati (PCA) e successivamente un'analisi con STRUCTURE. Infine, per determinare le potenziali cause della struttura genetica osservata, è stata calcolata una matrice di fissazione genetica tra popolazioni ( $F_{ST}$ ), che è stata sottoposta a test di correlazione (Mantel test) con le matrici di distanza geografica (distanza in km), altitudinale (dislivello in m) e morfometrica (distanza euclidea) tra popolazioni.

## Risultati

Il risultato della PCA sul dataset morfometrico, le cui due componenti principali spiegano il 26,1% ed il 13,1% della variazione morfometrica misurata, evidenzia ampie sovrapposizioni tra le popolazioni campionate e una separazione solo parziale delle ipotetiche specie di partenza. Nonostante ciò, i risultati delle analisi univariate evidenziano un lieve grado di differenziazione morfometrica inter-popolazionale. Tendenzialmente, le popolazioni appenniniche (Sasso di Castro, Pania di Corfino e Libro Aperto) sono caratterizzate da un'altezza ridotta, foglie strette, infiorescenze uni- o pauciflore ed un numero di squame dell'epicalice compreso tra 2 e 6. Al contrario, le popolazioni di contesti più mediterranei (Isola d'Elba, Isola di Capraia, Monte Pisano, Poggio Pelato, Monterufoli, Argentario, Monte Le Coste, Alpi Apuane, Stribugliano) presentano piante dall'altezza maggiore, con foglie più larghe, infiorescenze pluriflore ed un numero di squame compreso tra 4 e 8. Le tre variabili che sono significativamente ( $p < 0,01$ ) e negativamente correlate con l'aumento di quota sono: la larghezza delle foglie basali ( $r_s = -0,86$ ) e caulinari inferiori ( $r_s = -0,78$ ) e la lunghezza del calice ( $r_s = -0,84$ ). Infine, la LDA mostra una incompleta capacità di riconoscimento morfologico dei tre taxa ipotizzati in partenza (corretta classificazione a priori "jackknifed" dell'88,89%), con una maggiore confusione nella classificazione



di individui attribuiti a priori a *D. longicaulis* ed a *D. sylvestris* subsp. *sylvestris*.

Tutte le popolazioni studiate sono diploidi con  $2n = 2x = 30$  cromosomi.

Dalla PCA basata sul dataset degli SNP, le cui prime tre componenti principali spiegano solo il 10,59% della variabilità dei dati, è evidente, sia l'estrema affinità, sia la strutturazione genetica su base geografica delle popolazioni studiate. Infatti, lungo la prima componente principale si separano le popolazioni dell'Arcipelago Toscano da quelle continentali, mentre la variazione genetica di queste ultime segue un gradiente latitudinale. L'analisi con STRUCTURE restituisce  $K = 3$  come numero di gruppi geneticamente omogenei secondo la statistica di Evanno. Questi risultati corroborano quelli dell'analisi esplorativa, mostrando come l'appartenenza a gruppi geneticamente distinti sia più verosimile per le popolazioni collocate agli estremi del gradiente geografico, mentre le popolazioni distribuite a latitudini intermedie presentino commistione genetica (admixture) tra i gruppi. I valori degli indici di fissazione ( $F_{ST}$ ) calcolati con confronti a coppie tra le popolazioni hanno un valore medio di 0,04864. La struttura di popolazione è significativamente e positivamente correlata con la distanza geografica tra le popolazioni stesse (Mantel test,  $r = 0,54$ ,  $p < 0,001$ ), tuttavia non è significativamente correlata con il dislivello altitudinale, né con la distanza morfometrica tra popolazioni (Mantel test,  $p > 0,05$ ).

### Discussione

I dati biosistematici ottenuti in questo studio permettono la circoscrizione delle popolazioni toscane afferenti al gruppo di *D. virgineus* in un solo gruppo di diversità, strutturato geneticamente lungo un gradiente geografico e caratterizzato da un numero cromosomico costante  $2n = 2x = 30$ . All'interno di questo gruppo, sono contenuti morfotipi principalmente associati alla variazione altitudinale. Il basso livello di fissazione genetica delle popolazioni suggerisce un certo grado di flusso genico tra le stesse, la cui probabilità diminuisce all'aumentare del distanziamento geografico. Ne deriva che, in termini di unità sistematiche, le popolazioni toscane del gruppo di *D. virgineus* appartenerebbero ad un "commiscuum". Le conclusioni di tipo tassonomico derivabili da questi risultati sono necessariamente limitate, in quanto l'area di studio include una porzione ristretta dell'areale del gruppo e non comprende i loci classici di nessuna delle tre presunte specie. Tuttavia, si può affermare che le popolazioni continentali ed insulari toscane dovrebbero essere incluse in un unico taxon di rango specifico, per cui sarà necessario trovare un nuovo arrangiamento nomenclaturale per le segnalazioni del gruppo di *D. virgineus* in Toscana. L'assenza di correlazione tra la matrice di distanza morfometrica e quella di fissazione genetica mette in evidenza una discrepanza tra la variazione del fenotipo e del genotipo nelle popolazioni toscane del gruppo di *D. virgineus*. In ottica evolutiva, registrare questa discrepanza permette di ipotizzare un importante ruolo delle condizioni ambientali locali nella determinazione della variabilità morfometrica di popolazioni appartenenti al gruppo di *D. virgineus*. Invece, in ottica sistematica, evidenza come l'utilizzo di dati indipendenti, talvolta contrastanti, consenta una più ponderata circoscrizione dei gruppi di diversità.

### Letteratura citata

- Bacchetta G, Brullo S, Casti M, Giusso del Galdo GP (2010) Taxonomic revision of the *Dianthus sylvestris* group (Caryophyllaceae) in central-southern Italy, Sicily and Sardinia. *Nordic Journal of Botany* 28: 137-173.
- Bartolucci F, Peruzzi L, Galasso G, Albano A, Alessandrini A, Ardenghi NMG, Astuti G, Bacchetta G, Ballelli S, Banfi E, Barberis G, Bernardo L, Bouvet D, Bovio M, Cecchi L, Di Pietro R, Domina G, Fascetti S, Fenu G, Festi F, Foggi B, Gallo L, Gottschlich G, Gubellini L, Iamónico D, Iberite M, Jiménez-Mejías P, Lattanzi E, Marchetti D, Martinetto E, Masin RR, Medagli P, Passalacqua NG, Peccenini S, Pennesi R, Pierini B, Poldini L, Prosser F, Raimondo FM, Roma-Marzio F, Rosati L, Santangelo A, Scoppola A, Scortegagna A, Selvaggi A, Selvi F, Soldano A, Stinca A, Wagensommer RP, Wilhelm T, Conti F (2018) An updated checklist of the vascular flora native to Italy. *Plant Biosystems* 152: 1-127.
- Carolin RC (1957) Cytological and hybridization studies in the genus *Dianthus*. *New Phytologist* 56: 81-97.
- Caruel T (1860) Prodromo della flora toscana. Felice Le Monnier, Firenze. 767 pp.
- Domina G, Astuti G, Barone G, Gargano D, Minuto L, Varaldo L, Peruzzi L (2021) Lectotypification of the Linnaean name *Dianthus virgineus* (Caryophyllaceae) and its taxonomic consequences. *Taxon* 70: 1096-1100.
- Peruzzi L, Bedini G (Eds.) (2015-) Wikiplantbase #Toscana v2.1. <http://bot.biologia.unipi.it/wpb/toscana/index.html> [accessed 12.10.2021].
- Puritz JB, Hollenbeck CM, Gold JR (2014) dDocent: A RADseq, variant-calling pipeline designed for population genomics of non-model organisms. *PeerJ* 2: e431.
- Valente ML, Savolainen V, Vargas P (2010) Unparalleled rates of species diversification in Europe. *Proceedings of the Royal Society B* 277: 1489-1496.

Candidato: *Jacopo Franzoni*

Relatore: *Lorenzo Peruzzi*

Correlatore: *Giovanni Astuti*

Relatore esterno: *Simone Fior*

Dipartimento di Biologia, Università di Pisa, Via Derna 1, 56126 Pisa

Anno di discussione: 2021

## La pianta acquatica *Utricularia australis*: un enigma botanico tra fioriture classiche e inattese. Elementi morfologici, ecologici e strategie riproduttive a confronto

E. Pelella

### Introduzione

L'ambiente acquatico pone agli organismi vegetali una serie di sfide per poter sopravvivere e riprodursi. Le risposte adattative alle pressioni tipiche di questi ambienti (es. velocità della corrente, minore disponibilità di luce, scarsità di ossigeno disciolto nella colonna d'acqua) implicano vari gradi di specializzazione delle strutture e delle modalità riproduttive da parte delle piante. In particolare, le strutture fiorali, che sono alla base dei meccanismi riproduttivi nelle Angiospermae, possono andare incontro a modifiche e/o adattamenti morfologico-strutturali e fisiologici in risposta a cambiamenti o diverse condizioni microambientali.

Lo scopo di questa tesi è quello di indagare sulla relazione tra condizioni ambientali e plasticità fenotipica della specie nativa carnivora *Utricularia australis* R.Br. (Lentibulariaceae), con particolare riferimento ai caratteri fiorali. Nello specifico, le indagini svolte sono state finalizzate ad individuare i fattori abiotici e biotici che maggiormente influenzano la struttura e la morfologia fiorale, nonché la fenologia e le strategie di impollinazione di questa macrofita.

### Materiali e Metodi

Il lavoro è stato svolto selezionando 25 stazioni in diversi corpi idrici del Lazio, dell'Umbria e della Toscana caratterizzati dalla presenza di estesi popolamenti di *U. australis*. In corrispondenza di ogni stazione nel periodo 2019-2020 sono state campionate le acque ed eseguite le analisi dei principali parametri ambientali e chimico-fisici (temperatura, luminosità incidente sulla superficie, conducibilità, salinità, concentrazione di ossigeno disciolto e saturazione, concentrazione di ammonio, nitrati e fosfati). Tali dati ottenuti sono stati statisticamente elaborati attraverso l'analisi delle componenti principali (PCA). In ogni stazione in cui *U. australis* si presentava in fase riproduttiva sono stati raccolti tre campioni per le successive analisi di laboratorio dei seguenti caratteri: lunghezza e larghezza della corolla e del labbro superiore e inferiore, lunghezza dello scapo e dei peduncoli fiorali, numero di gemme e di fiori per scapo, lunghezza dello sperone, lunghezza degli stami e delle antere, lunghezza di pistillo e stilo. Inoltre, è stata presa nota delle variazioni in caratteri qualitativi quali la consistenza e il colore dei petali, la forma dello stigma e del polline, il colore dei segnali del nettare. I dati relativi ai caratteri misurati e rinvenuti in diverse condizioni ambientali sono stati confrontati statisticamente mediante test ANOVA e analoghi non parametrici (Kruskal-Wallis) laddove gli assunti di normalità e omoschedasticità non fossero rispettati. Inoltre, in corrispondenza di ogni stazione, in plot standard di 4 m<sup>2</sup> sono state registrate le coperture percentuali di tutte le specie vegetali costituenti la cenosi e, per valutare l'impatto della presenza di specie aliene sui popolamenti ad *U. australis* e sulla sua capacità di fiorire, le coperture delle specie vegetali sono state analizzate con una regressione lineare. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software R, versione 3.6.1 (R Core Team 2017).

### Risultati

In alcune stazioni ubicate presso i Laghi di Bracciano e Bolsena (Lazio) sono state rilevate fitocenosi ad *U. australis* con individui ancorati a 4-6 metri di profondità dove erano presenti popolamenti bentonici a *Chara* sp. Si tratta di una condizione alquanto inusuale per la specie, la quale generalmente si trova liberamente galleggiante nella parte sommitale della colonna d'acqua del corpo idrico dal quale emergono solamente gli scapi fiorali portanti vistosi fiori gialli zigomorfi a tipica impollinazione entomofila. L'interesse scientifico di questi popolamenti è anche legato alla contemporanea presenza di alcuni individui di *U. australis* subacquei che producono fiori a svariati metri al di sotto della superficie dell'acqua e di alcuni in piena fruttificazione. I fiori subacquei dei popolamenti sommersi di *U. australis* presentano differenze morfologiche statisticamente significative rispetto a quelli emergenti dei classici popolamenti galleggianti. In particolare, i fiori subacquei degli individui ancorati al fondo hanno mostrato scapi molto più lunghi (46,4 cm vs. 14,2 cm) e più larghi (1,7 cm vs. 1,4 cm); le dimensioni degli elementi del perianzio (sepali, petali) sono risultati inferiori (lunghezza totale della corolla 1,4 cm vs. 1,6 cm), mentre gli elementi fertili femminili, in particolare gli stili, sono risultati mediamente più lunghi (1,5 cm vs. 1,1 cm). Differenze significative sono state registrate anche in riferimento alla morfologia del polline, al colore delle antere, alla consistenza dei petali ed al tipo di screziatura (segnali del nettare) presente sulla corolla. In generale, i fiori subacquei sono apparsi più piccoli rispetto a quelli emersi tradizionali, pur mantenendo il classico colore giallastro.

Per quanto riguarda le analisi relative ai parametri ambientali che influenzano maggiormente la fase fiorale della specie, è emerso che la fioritura è stata favorita da temperature mediamente elevate (> 28,2°C) e da alti livelli di ossigeno disciolto in acqua (> 5,86 mg/l). I risultati ottenuti hanno evidenziato come anche la luminosità

sulla superficie dell'acqua, la conducibilità del mezzo liquido e la concentrazione di nutrienti, quali fosfati e ioni di ammonio disciolti in acqua, possano influenzare la capacità di fiorire di *U. australis*. Infine, in alcune stazioni lungo la linea di costa del Lago di Bracciano, sono stati ritrovati alcuni popolamenti contratti di *U. australis*, composti da individui galleggianti a causa probabilmente della presenza della specie aliena *Ludwigia hexapetala* (Hook. & Arn.) Zardini, H.Y.Gu & P.H.Raven la cui espansione è stata accertata nel corso di questo studio (registrando tra maggio e settembre le coperture percentuali delle due specie, osservando quindi l'espansione di *L. hexapetala* e la contemporanea contrazione di *U. australis*).

### Discussione

Il ritrovamento di esemplari ancorati a 4-6 metri di profondità anche in piena fruttificazione e produzione di semi, ha significato che quei popolamenti di *Utricularia* sono riusciti, fuori da ogni modello genetico, eco-fisiologico e riproduttivo insito della specie, a produrre sia strutture riproduttive fertili, che del polline capace di fecondare sotto acqua gli ovuli. La tendenza osservata alla riduzione delle dimensioni fiorali nei campioni "bentonici" di *U. australis* potrebbe essere legata ad una perdita della funzione vessillare dei fiori stessi per attirare i "classici" insetti impollinatori della pianta. Infatti, è molto probabile che in ambiente subacqueo manchino i tipici impollinatori di *U. australis* (Plachno et al. 2018), e quindi non sono più necessari i segnali visivi per attirarli, né tantomeno i meccanismi di ricompensa con la produzione di nettare nello sperone, che di fatto manca nei fiori sommersi ma è presente in quelli emersi. Il ritrovamento di una screziatura meno marcata e con segnali del nettare meno visibili nelle fioriture sommerse, sembrerebbe confermare questa ipotesi. L'aumento di temperatura dell'acqua si pone come un segnale ambientale che innesca il processo di fioritura in questa specie. Questo risultato è perfettamente in linea con la fenologia descritta per la pianta, secondo cui *U. australis* fiorisce nei mesi più caldi dell'anno quando le temperature dell'aria raggiungono i valori relativamente più alti (Araki 2000, 2003, Adamec 2011). In generale, il carattere termofilo della specie è stato evidenziato anche da altri autori (Ellwood et al. 2018, Ceschin et al. 2020, 2021), che hanno sottolineato la sua preferenza per acque mediamente calde. Risultati molto rilevanti riguardano l'effetto sulla fioritura della variazione simultanea di luminosità e concentrazione di ossigeno disciolto in acqua. All'aumentare dell'ossigeno e della luminosità si osserva un aumento della fioritura; in condizioni di scarsità di ossigeno, però, un livello elevato di luminosità può, al contrario, influire negativamente sulla fioritura. Una possibile spiegazione sta nel fatto che in condizioni di carenza di ossigeno la pianta va incontro ad una situazione di stress, che viene enfatizzata dall'aumento della radiazione luminosa, con il conseguente subentrare di meccanismi di stress fotochimico e produzione di forme reattive dell'ossigeno. Questo influirebbe negativamente sulla crescita e, di conseguenza, anche sulla fioritura.

Molti degli aspetti relativi ai meccanismi di fioritura e fruttificazione dei popolamenti sommersi devono essere ancora chiariti, così come sono necessari ulteriori dati per comprendere meglio i fattori ambientali e biotici (inquinamento biologico) che influenzano la fioritura della specie target. Tali informazioni saranno utili per preservare i popolamenti dell'Italia Centrale di *U. australis*, la cui sopravvivenza, assieme all'ambiente acquatico in cui si sviluppano, sembra essere sempre più minacciata e compromessa.

### Letteratura citata

- Adamec L (2011) Shoot Branching of the Aquatic Carnivorous Plant *Utricularia australis* as the Key Process of Plant Growth. *Phyton* 51: 133-148.
- Araki S (2000) Variation of sterility and fertility in *Utricularia australis* f. *australis* in Hokkaido, northern Japan. *Ecological Research* 15: 193-201.
- Araki S (2003) Restricted seed contribution and clonal dominance in a free-floating aquatic plant *Utricularia australis* R.Br. in southwestern Japan. *Ecological Research* 18: 599-609.
- Ceschin S., Bellini A, Salituro A, Traversetti L, & Ellwood NTW (2021) Is the capture of invertebrate prey by the aquatic carnivorous plant *Utricularia australis* selective? *Plant Biosystems*. <https://doi.org/10.1080/11263504.2021.1897704>
- Ceschin S, Bellini A, Traversetti L, Zuccarello V, Ellwood NTW (2020) Ecological study of the aquatic carnivorous plant *Utricularia australis* R. Br. (Lentibulariaceae). *Aquatic Ecology* 54: 295-307.
- Ellwood NTW, Congestri R, Ceschin S (2018) The role of phytoplankton in the diet of the bladderwort *Utricularia australis* R.Br. (Lentibulariaceae). *Freshwater Biology* 64: 233-243.
- Plachno BJ, Stpiczynska M, Adamec L, Oliveira Miranda VF, Swiatek P (2018) Nectar trichome structure of aquatic bladderworts from the section *Utricularia* (Lentibulariaceae) with observation of flower visitors and pollinators. *Protoplasma* 255: 1053-1064.
- R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/> [accessed 27.12.2021].

Candidato: *Emanuele Pelella*

Relatrice: *Simona Ceschin*

Dipartimento di Scienze, Università di Roma Tre, Viale Guglielmo Marconi 446, 00146 Roma

Anno di discussione: 2021

## AUTORI

Franco Mainolfi, Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università del Molise, Via Francesco De Sanctis snc, 86100 Campobasso

Lorenzo Ricci, Dipartimento di Medicina Clinica, Sanità Pubblica, Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università dell'Aquila, Piazzale Salvatore Tommasi 1, 67100 L'Aquila

Benedetta Gori, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna, Viale Giuseppe Fanin 40-50, 40127 Bologna

Jacopo Franzoni, Dipartimento di Biologia, Università di Pisa, Via Derna 1, 56126 Pisa

Emanuele Pelella, Dipartimento di Scienze, Università di Roma Tre, Viale Guglielmo Marconi 446, 00146 Roma

Responsabile della Rubrica: Adriano Stinca (adriano.stinca@unicampania.it), Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali, Biologiche e Farmaceutiche, Università della Campania Luigi Vanvitelli, Via Antonio Vivaldi 43, 81100 Caserta

---