

## Tesi Botaniche

---

### Tesi Botaniche 8

#### Editoriale

L'ottavo numero della rubrica *Tesi Botaniche* include tredici tesi di laurea magistrale. Nella maggior parte di tali lavori risulta evidente uno spiccato grado di innovatività, aspetto che conferisce alle ricerche svolte un elevato interesse scientifico ed applicativo. Questo è il segno tangibile del fervore che sta interessando le scienze botaniche anche nell'attuale periodo pandemico.

a cura di

*Adriano Stinca*

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

E. Beccari, F. Dolci, L.A. Santoianni, L. Francesconi, F. Panizzuti, P.A. Cara, L. Ballini, S. Giardini, T. Fogazza, G. Maniscalco, M. Barbero, S. Tassone, E. Ligato

### **Valutazione della diversità funzionale vegetale da immagini multispettrali ad alta risoluzione: un caso studio sull'ecosistema dunale tirrenico**

E. Beccari

#### Introduzione

I cambiamenti globali si stanno verificando con una velocità senza precedenti (Barnosky et al. 2011); per questo, la valutazione di patterns e processi ecologici riveste un ruolo fondamentale, sia per il monitoraggio sia per la conservazione degli ecosistemi naturali. Alla luce dei futuri scenari che prospettano un incremento sensibile della perdita di specie, la valutazione ed il monitoraggio della biodiversità non può più solamente fermarsi alla semplice conta delle specie presenti in un determinato ambiente. È stato dimostrato infatti che la funzionalità ecosistemica è strettamente legata, oltre alle singole specie presenti, anche al ruolo funzionale che esse ricoprono (Díaz et al. 2007). In quest'ottica, la diversità funzionale (definita come variazione dei tratti funzionali tra specie; Petchey, Gaston 2006) ha assunto un ruolo chiave nella valutazione dei processi ecosistemici (Díaz et al. 2003). Tuttavia, la misura dei tratti funzionali richiede un notevole investimento, sia di personale esperto che di risorse; anche per questi motivi i campionamenti dei tratti funzionali risultano spesso estremamente ridotti, sia in termini di area esplorata che di numero di individui e specie campionate (Schneider et al. 2017). È quindi cruciale sviluppare nuove tecnologie in grado di fornire stime della diversità funzionale veloci, precise e su aree vaste. In questa prospettiva, il telerilevamento si è rivelato uno strumento promettente per stimare la diversità funzionale di varie tipologie vegetazionali (Gamon et al. 2019). Sebbene vi sia un'ampia letteratura a supporto della capacità di prevedere da remoto un ampio set di tratti funzionali (chimici o morfologici) soprattutto negli ecosistemi forestali (Schweiger et al. 2017), pochi studi hanno esaminato le possibili relazioni tra diversità funzionale e la sua controparte spettrale in altri ambienti (diversità spettrale definita come variabilità nella risposta spettrale di un'immagine telerilevata; Laliberté et al. 2020). Di questi, pochissimi studi hanno analizzato la diversità spettrale considerando comunità dominate da specie erbacee (Wang et al. 2018) e nessuno ha testato le relazioni presenti in comunità definite da forti gradienti ambientali come quelli presenti negli ecosistemi dunali costieri. Gli ecosistemi dunali costieri sono caratterizzati da forti gradienti ambientali causati dalla presenza di condizioni estremamente limitanti in prossimità del mare. Questi ambienti ospitano specie di grande valore conservazionistico, forniscono servizi ecosistemici indispensabili per l'uomo, e presentano alcuni tra gli habitats più fragili nel bacino del Mediterraneo. Tutto ciò premesso, gli obiettivi di questa tesi sono: 1. esplorare come le diversità tassonomica, funzionale e spettrale si distribuiscono alle varie scale spaziali nell'ecosistema dunale; 2. valutare i patterns di diversità tassonomica, funzionale e spettrale lungo il gradiente mare-terra considerato; 3. stimare le relazioni tra diversità tassonomica, funzionale e spettrale.

#### Materiali e Metodi

La vegetazione è stata campionata lungo sei transetti orientati perpendicolarmente alla linea di costa nell'area

---

protetta costiera “Dune Litoranee di Torre del Lago” a Torre del Lago Puccini (Viareggio, Toscana). Ciascun transetto, di differente lunghezza, è stato suddiviso in una serie di plot quadrati di 2×2 m. In ciascun plot è stata effettuata una stima della copertura visuale per un totale di 288 plot. Per le specie più abbondanti e rappresentative nell’area di studio, è stato misurato un set di tratti funzionali legati all’uso delle risorse (SLA: area fogliare specifica, LDMC: contenuto secco di materia fogliare), all’efficienza del trasporto dell’acqua nelle foglie (architettura delle venature) ed alla resistenza all’aridità (potenziale dell’acqua al punto di perdita di turgore; Cornelissen et al. 2003). Per ogni transetto, sono state acquisite immagini multispettrali ad alta risoluzione (pixel di 3 cm) tramite l’ausilio di un drone. Ciascuna immagine è stata processata attraverso gli algoritmi di classificazione della procedura di Spectral Unmixing presenti nel software ENVI, con l’obiettivo di estrarre l’informazione spettrale contenuta solamente nei pixel di vegetazione, eliminando le informazioni relative a sabbia, ombre o vegetazione secca. Per ogni plot, sono state calcolate diversità tassonomica, funzionale e spettrale ed è stato valutato come queste si partizionano nelle loro componenti  $\alpha$  (ricchezza) e  $\beta$  (complementarietà) tra le diverse scale spaziali (plot, transetto, area di studio). La variazione di ciascuna componente della diversità lungo il gradiente mare-terra è stata analizzata utilizzando modelli additivi generalizzati (GAM) e modelli misti additivi generalizzati (GAMM), questi ultimi sviluppati specificando il transetto come effetto random. Le misure di diversità ottenute sono state poi analizzate tramite partizionamento della varianza per determinare il contributo delle diversità tassonomica e funzionale nello spiegare la variabilità della diversità spettrale.

### Risultati

Le diversità tassonomica e spettrale sono risultate più variabili all’interno dell’area di studio e tra transetti (85 e 80% della variabilità totale rispettivamente), mentre la diversità funzionale è risultata maggiormente variabile tra singoli plot (che esprimevano il 60% della diversità funzionale totale). Tutte e tre le diversità variavano contestualmente al gradiente mare-terra, sebbene con segno ed intensità differenti: i patterns di diversità spettrale a livello di singolo transetto sembravano correlare maggiormente con quelli della diversità funzionale piuttosto che tassonomica. La diversità spettrale è stata fortemente e positivamente relazionata alla diversità funzionale, sia a scala di plot ( $\alpha$ -diversità) che come dissimilarità tra plot ( $\beta$ -diversità), sebbene il grado di varianza spiegata sia dipendente dal transetto ( $R^2$  0,10-0,45 per  $\alpha$ -diversità e 0,27-0,69 per  $\beta$ -diversità); mentre la diversità tassonomica si relazionava alla spettrale solamente in termini di dissimilarità ( $R^2$  0,10-0,45). I GAMM hanno confermato le precedenti relazioni mostrando un forte effetto dei singoli transetti. Correlazioni significative sono state osservate tra le tre diversità considerate (eccetto per l’ $\alpha$ -diversità tassonomica rispetto a quella spettrale). Il 15% della varianza della diversità spettrale risultava spiegata dalla sola diversità funzionale internamente ai plot.

### Discussione

Le immagini spettrali ad alta risoluzione sembrano in grado di catturare una porzione della diversità funzionale delle specie dunali, sorprendentemente a discapito della diretta valutazione tassonomica delle singole specie. Questa mancanza di correlazione potrebbe trovare risposta nell’alta risoluzione spaziale utilizzata, troppo di dettaglio per riuscire a determinare una corrispondenza tra specie e diversità spettrale (Rocchini et al. 2007). È stato infatti dimostrato che la taglia ottimale del pixel capace di catturare la diversità di ecosistemi dominati da specie erbacee, corrisponde approssimativamente alla taglia delle singole specie erbacee (Wang et al. 2018). Per questo un’area del pixel di 9 cm<sup>2</sup> potrebbe risultare troppo piccola per comunità dominate da specie come *Calamagrostis arenaria* (L.) Roth subsp. *arundinacea* (Husn.) Banfi, Galasso & Bartolucci, che ha una taglia media di 6-12 dm. D’altra parte, ipotizziamo che l’elevata risoluzione potrebbe risultare estremamente utile per determinare in dettaglio le caratteristiche morfologico-funzionali delle singole specie. La significatività di queste correlazioni comunque risulta strettamente legata alla diversità dei singoli transetti. Questo potrebbe trovare spiegazione nelle diverse condizioni ambientali catturate a microscala durante il volo del drone (es. aerosol marini, evaporazione) o alla diversa complessità strutturale degli habitat presenti all’interno dei transetti, che potrebbero giocare un ruolo chiave nello spiegare la diversa qualità della rilevazione delle immagini multispettrali. Ad ogni modo, ad ulteriore conferma dell’esistenza della relazione tra diversità funzionale e spettrale osservata alle varie scale, il partizionamento della varianza mostra che la variazione della diversità spettrale è legata per un 14% alla variazione della diversità funzionale e non a quella tassonomica. In questo lavoro per la prima volta abbiamo dimostrato che, attraverso tecniche di remote sensing, è possibile determinare informazioni funzionali anche in ecosistemi erbacei complessi come quelli dunali. Tuttavia alcune cautele sono necessarie quando si interpretano i risultati ottenuti, in quanto immagini a diversa risoluzione possono risentire delle procedure di acquisizione e pulizia e, dunque, correlare con diverse componenti della diversità.

### Letteratura citata

Barnosky AD, Matzke N, Tomiya S, Wogan GOU, Swartz B, Quental TB, Marshall C, McGuire JL, Lindsey EL, Maguire KC, Mersey

- B, Ferrer EA (2011) Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471(7336): 51-57.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, Ter Steege H, Morgan HD, Van Der Heijden MGA, Pausas JG, Poorter, H. (2003) A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380.
- Díaz S, Lavorel S, de Bello F, Quétier F, Grigulis K, Robson TM (2007) Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 20684-20689.
- Díaz S, Symstad AJ, Stuart Chapin F, Wardle DA, Huenneke LF (2003) Functional diversity revealed by removal experiments. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 140-146.
- Gamon JA, Somers B, Malenovsky Z, Middleton EM, Rascher U, Schaepman ME (2019) Assessing vegetation function with imaging spectroscopy. *Surveys in Geophysics* 40: 489-513.
- Laliberté E, Schweiger AK, Legendre P (2020) Partitioning plant spectral diversity into alpha and beta components. *Ecology Letters* 23: 370-380.
- Petchey OL, Gaston KJ (2006) Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters* 9: 741-758.
- Rocchini D, Ricotta C, Chiarucci A (2007) Using satellite imagery to assess plant species richness: The role of multispectral systems. *Applied Vegetation Science* 10: 325-331.
- Schneider FD, Morsdorf F, Schmid B, Petchey OL, Hueni A, Schimel DS, Schaepman ME (2017) Mapping functional diversity from remotely sensed morphological and physiological forest traits. *Nature Communications* 8: 1-12.
- Schweiger AK, Schütz M, Risch AC, Kneubühler M, Haller R, Schaepman ME (2017) How to predict plant functional types using imaging spectroscopy: Linking vegetation community traits, plant functional types and spectral response. *Methods in Ecology and Evolution* 8: 86-95.
- Wang R, Gamon JA, Cavender-Bares J, Townsend PA, Zygielbaum AI (2018) The spatial sensitivity of the spectral diversity-biodiversity relationship: an experimental test in a prairie grassland. *Ecological Applications* 28: 541-556.

*Candidata:* Eleonora Beccari

*Relatore:* Giovanni Bacaro

*Correlatori o Relatori esterni:* Enrico Tordoni, Francesco Petruzzellis

Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste, Via Licio Giorgieri 5, 34127 Trieste

*Anno di discussione:* 2020

## Tra storia e scienza: catalogazione, studio e valorizzazione di alcuni taxa dell'Algario Forti del Museo Botanico dell'Università di Padova

F. Dolci

### Introduzione

L'Erbario del Museo Botanico dell'Orto Botanico di Padova conserva attualmente più di 600.000 essiccata (Antiga, Marcucci 2015). Molto ricco risulta essere l'erbario di macroalghe (Algario) dello scienziato veronese Achille Forti (1878-1937), alla sua morte donato all'Università di Padova.

Gli obiettivi del lavoro di tesi sono stati la catalogazione e lo studio, sia da un punto di vista scientifico che storico, di parte dell'Algario Forti, uno strumento di grande importanza, che può essere considerato un vero e proprio archivio di biodiversità e di storie. In relazione alla sua valenza scientifica e storica, è stato predisposto un programma per la sua valorizzazione mediante la realizzazione di una mostra virtuale.

### Materiali e Metodi

Dei circa 10.000 campioni che costituiscono l'Algario Forti (Tolomio 1995), sono stati presi in esame solo quelli appartenenti ai generi di alghe rosse: *Dilsea* Stackhouse, *Ballia* Harvey, *Halarachnion* Kützing, *Nemastoma* J.Agardh e *Porphyra* C.Agardh. Tali generi sono stati scelti sia per il buono stato di conservazione dei campioni sia in quanto particolarmente interessanti per la realizzazione di una mostra virtuale. In primo luogo è stato realizzato un database con Microsoft Access riportando tutte le informazioni presenti sui cartellini associati ai campioni. Tali dati sono serviti per compilare 208 schede di catalogo utilizzando il sistema informativo SIGECweb e seguendo le direttive dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione per i Beni Naturalistici Botanici (Armiraglio et al. 2007). Tutti i fogli dell'Algario esaminati sono quindi stati scansionati mediante l'utilizzo di HerbScan (un apposito strumento costituito da uno scanner Epson Expression modello 10000XL) e le immagini ottenute sono state associate a ciascuna scheda catalogografica.

Al fine di contestualizzare storicamente e scientificamente l'Algario Forti sono state svolte ricerche bibliografiche all'Archivio Storico presso Palazzo Bo (Padova) e nella Biblioteca dell'Orto Botanico di Padova. Per ottenere informazioni sulle diverse specie appartenenti ai generi scelti per la catalogazione, è stata indispensabile la

consultazione del database AlgaeBase (Guiry, Guiry 2020) e del World Register of Marine Species (AA. VV. 2020). La catalogazione è stata infine seguita dalla progettazione di una mostra virtuale dal titolo “Le alghe di Achille Forti: tra storia e scienza” che verrà caricata sulla piattaforma MOVIO dell’Ateneo di Padova e che è tuttora in fase di ultimazione.

## Risultati

Complessivamente sono stati analizzati 208 fogli d’erbario afferenti a 32 specie. Dai cartellini associati ai campioni è stato possibile ricavare numerosi dati e informazioni, sia di carattere scientifico che storico, che hanno consentito di ricostruire la storia di questa collezione e di collocare i campioni nello spazio e nel tempo. Lo studio ha dimostrato che solo un quarto dei binomi scientifici assegnati tra la fine dell’Ottocento e gli inizi del Novecento è rimasto invariato, chiara conseguenza delle revisioni nomenclaturali che si sono succedute nel tempo. Inoltre, nonostante il ridotto numero di campioni considerato, i luoghi di raccolta sono risultati in numero sorprendentemente elevato (64). Le coste europee sono risultate essere quelle maggiormente rappresentate con alghe provenienti da Italia (53), Francia (29), Slovenia (8), Croazia (6) e Svezia (7). Un buon numero di esemplari è stato raccolto anche in luoghi diversi delle Americhe (26), dell’Australia (39) e dell’Africa (2). Trattandosi di una collezione ottocentesca, sono pochissimi i campioni che riportano nel cartellino informazioni in merito all’habitat (es. tipologia di substrato, profondità, esposizione luminosa), mentre numerosi sono i nomi dei raccoglitori. Poche le donne, solo sette, ma anche questo riflette un periodo storico in cui raramente s’incontrano figure femminili dedite allo studio delle scienze naturali, ad eccezione di qualche nobile dama come la marchesa Vittoria Altoviti Avila Toscanelli (1827-1896). Tra i personaggi maschili figurano molti botanici come Lodovico Caldesi (1821-1884), coautore della Flora Italiana, e Carlo Spegazzini (1858-1926), botanico e micologo italiano che visse buona parte della sua vita in Argentina. Sono menzionati anche nomi di semplici appassionati che non hanno lasciato traccia in campo scientifico e di cui non si è riusciti a trovare informazioni, come G. Roncagli e V. Spinelli. Del gruppo di alghe catalogate facevano inoltre parte alcuni esemplari provenienti da note spedizioni oceanografiche dell’Ottocento, come quella del cutter “Corsaro” (1882) e della pirocorvetta “Vettor Pisani” (1882-1885). In particolare, due campioni appartenenti alla specie *Halarachnion ligulatum* (Woodward) Kützing sono stati raccolti ad Arrecife (Canarie) dal capitano Enrico D’Albertis durante la spedizione del Corsaro. Cinque campioni, appartenenti a *Ballia callitricha* (C.Agardh) Kützing, sono stati raccolti presso lo Stretto di Magellano dai tenenti di vascello della Vettor Pisani, Gaetano Chierchia e Cesare Marcacci. Tutte le informazioni raccolte nel corso di questo lavoro hanno rappresentato la premessa per la progettazione di una mostra virtuale.

## Discussione

L’Algario Forti rappresenta un vero e proprio archivio di biodiversità in quanto permette di confrontare il luogo di raccolta dei singoli campioni con i dati di distribuzione attuale delle singole specie, disponibili in diversi database online come AlgaeBase e WoRMS. In questo modo è possibile verificare se nelle zone di raccolta si è verificata l’estinzione della relativa specie. Tuttavia, poiché i dati contenuti nei cartellini sono talvolta vaghi, il confronto con la situazione attuale rappresenta solo un punto di partenza per una ricerca più approfondita sulla distribuzione delle specie conservate nell’Algario.

La collezione algologica Forti è anche un archivio di storie. In esso, infatti, si trovano spesso riferimenti a personaggi che all’epoca raccolsero e studiarono i campioni. Tra questi si distingue in particolar modo la marchesa Vittoria Altoviti Avila Toscanelli, la quale coltivò una grande passione naturalistica, inusuale per una donna ottocentesca (Peria 2016), ma compaiono anche altre figure femminili, come l’algologa americana Josephine Tilden (1869-1957). Questo Algario è inoltre testimone di spedizioni geografiche in cui lo svolgimento di missioni diplomatiche o lo studio topografico si affiancavano alla raccolta di esemplari nei vari luoghi visitati. Nello specifico, nella collezione di Achille Forti sono conservate alghe provenienti dalle missioni della Vettor Pisani e del Corsaro che hanno anche permesso di conoscere figure come quella di Enrico D’Albertis (1846-1932), avventuriero, scrittore, fotografo e giovanissimo capitano, e di Gaetano Chierchia (1850-1922), tenente di vascello ma anche naturalista e scrittore di un resoconto legato alla spedizione della Vettor Pisani.

I musei naturalistici spesso ospitano collezioni di inestimabile valore scientifico e storico, ma che non sempre sono adeguatamente valorizzate, rischiando di rimanere sconosciute ad un pubblico di non addetti ai lavori. Per questo motivo si è ritenuto opportuno progettare una mostra sullo scienziato veronese Achille Forti e il suo Algario, tenendo in considerazione le “storie” da esso raccontate, il suo potenziale come strumento di ricerca scientifica e il valore economico che alcune specie attualmente rivestono, per esempio nell’industria alimentare e nell’acquacoltura integrata multitrofica (Wang et al. 2020).

## Letteratura citata

AA. VV. (2020) World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org> [accessed 19.11.2020].

Antiga M, Marcucci R (2015) Una collezione di lastre fotografiche di Achille Forti (1878-1937): Diatomee, Sargassi e materiale

- storico. *Museologia Scientifica* 9: 30-34.
- Armiraglio S, Cucchini P, Dal Lago A, Mancinelli ML, Martellos S, Pesce GB, Scandurra B (2007) Strutturazione dei dati delle schede di catalogo. Scheda BNB, Beni Naturalistici - Botanica. Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione.
- Guiry MD, Guiry GM (2020) *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org> [accessed 19.11.2020].
- Peria G (2016) Una nobildonna dell'Ottocento e il mare dell'Isola d'Elba: Vittoria Altoviti Avila Toscanelli. *Lo Scoglio: Elba ieri, oggi, domani*: 8-11.
- Tolomio C (1995) Le collezioni algologiche. In: Minelli A (Ed.) *L'Orto Botanico di Padova 1545-1995*: 267-270. Marsilio, Venezia.
- Wang X, He L, Ma Y, Huan L, Wang Y, Xia B, Wang G (2020) Economically important red algae resources along the Chinese coast: History, status and prospects for their utilization. *Algal Research* 46: 101817.

*Candidata*: Francesca Dolci

*Relatore*: Elena Canadelli

*Correlatori o Relatori esterni*: Rossella Marcucci, Isabella Moro

Dipartimento di Biologia, Università di Padova, Via Trieste 75, 35121 Padova

*Anno di discussione*: 2020

## Come è cambiata la vegetazione d'alta quota del Parco Nazionale della Majella negli ultimi vent'anni?

L.A. Santoianni

### Introduzione

Il massiccio della Majella (Italia centrale) costituisce un importante nodo biogeografico con una grande ricchezza di entità endemiche, relitti glaciali e specie a distribuzione anfiadriatica (Pirone 1992), minacciate oggi dai cambiamenti climatici e d'uso del suolo (Stanisci et al. 2010). In questo studio sono state analizzate due delle fitocenosi d'alta quota del Parco Nazionale della Majella, alle quote comprese tra i 2400 ed i 2794 metri s.l.m.: la vegetazione dei ghiaioni (Habitat 8120, Allegato I della Direttiva 92/43/CEE) e la vegetazione delle vallette nivali (Habitat 6170, Allegato I della Direttiva 92/43/CEE). L'obiettivo del presente lavoro è quello di fornire un contributo alla comprensione degli effetti che i cambiamenti globali stanno causando sulle comunità vegetali di alta quota nel Parco.

### Materiali e Metodi

È stato utilizzato il metodo di re-visitation in aree permanenti georiferite negli ambienti di ghiaione e dolina, campionate la prima volta nel 2003 (Pelino 2004). I rilievi sono stati estratti dal database vegetazionale VIOLA (Stanisci et al. 2016a). Il campionamento è stato effettuato nel periodo di Luglio-Agosto 2020, ricampionando un totale di 22 plot di 16 m<sup>2</sup>: 7 nella vegetazione di ghiaione e 15 nella vegetazione di dolina. Per ogni plot sono state individuate le specie di piante vascolari presenti ed i loro valori di copertura utilizzando la scala di Braun-Blanquet. Per descrivere la variazione nella composizione specifica e nella copertura della vegetazione nel tempo (2003-2020), le matrici di dati (50 specie × 14 rilievi per i ghiaioni, 75 specie × 30 rilievi per le doline) sono state sottoposte ad un'analisi SIMPER (Similarity Percentage) con l'utilizzo del software PAST. Questo ha consentito di determinare quali specie hanno subito variazioni di copertura significative contribuendo maggiormente al cambiamento della vegetazione nel tempo. Per determinare le differenze nella struttura della vegetazione le specie sono state classificate in forme di crescita, utilizzando il sistema Raunkiaer (1934). La significatività dei risultati è stata valutata attraverso il test di Mann-Whitney.

### Risultati

I risultati ottenuti hanno evidenziato un significativo aumento del numero di specie negli ambienti di ghiaione. In questo tipo di vegetazione, infatti, il numero di specie è più che raddoppiato passando dalle 21 campionate nel 2003 (Pelino 2004), alle 48 rilevate nel 2020. Sono state rinvenute ad esempio: *Anthyllis vulneraria* subsp. *pulchella*, *Armeria majellensis*, *Cynoglossum magellense*, *Festuca violacea* subsp. *italica*, *Salix retusa*, *Silene acaulis* subsp. *bryoides*, *Trifolium pratense* subsp. *semipurpureum*. Dall'analisi SIMPER, la specie che maggiormente ha contribuito al cambiamento nella composizione floristica dal 2003 al 2020 in questi ambienti è risultata *Isatis apennina*, una geofita rizomatosa che ha diminuito la sua copertura, passando dal 13,1% all'8,4%. Nei ghiaioni, l'analisi della variazione della copertura delle forme di crescita nel tempo ha evidenziato un aumento (seppur

non significativo) delle emicriptofite cespitose, ed una diminuzione delle emicriptofite scapose. Per quanto riguarda gli ambienti di dolina, è stata riscontrata nel tempo una diminuzione, seppur non significativa, del numero di specie, le quali sono passate dalle 70 del 2003 (Pelino 2004) alle 60 del 2020. In questi particolari ambienti non sono state ritrovate alcune specie, quali: *Crepis pygmaea*, *Herniaria glabra* subsp. *nebrodensis* e *Sagina glabra*. Dall'analisi SIMPER, la specie che maggiormente ha contribuito al cambiamento nella composizione vegetale negli anni analizzati è *Trifolium thalii*, seguita da *Plantago atrata* subsp. *atrata*: la copertura di tali specie è aumentata nel tempo, la prima dal 30,0% al 36,1%, mentre la seconda dal 31,6% al 34,0%. Anche in questo ambiente, la copertura delle emicriptofite cespitose è aumentata, mentre quella delle emicriptofite scapose è diminuita.

### Discussione

L'incremento del numero di specie negli ambienti di ghiaione può essere ricondotto al fenomeno di "stabilizzazione dei versanti" (Cannone, Gerdol 2003). Il processo avviene ad opera di specie in grado di formare con il loro apparato radicale delle "isole" relativamente stabili, come ad esempio *Poa alpina*, che creano condizioni favorevoli all'insediamento di specie litofile non specializzate. Si verificano cioè fenomeni di "ingressione" (Di Pietro et al. 2004) da parte di specie provenienti dai settori marginali normalmente più stabili; tali trasgressioni possono dar luogo a variazioni nella composizione floristica, nel breve termine con la presenza di "specie casuali", insediate temporaneamente nel contesto dei ghiaioni, oppure, nel medio-lungo termine con il passaggio da vegetazione "glareicola" a vegetazione di prateria discontinua su versanti scoscesi (Cannone, Gerdol 2003). Un recente studio (Carlson et al. 2017) ha documentato un diffuso "inverdimento" dei versanti con detrito a causa dell'aumento delle temperature e della diminuzione della durata del manto nevoso come i principali fattori scatenanti. La presenza e l'influenza dei camosci appenninici (*Rupicapra pyrenaica* subsp. *ornata*) in questi territori è riscontrabile anche nell'aumento delle emicriptofite cespitose, essendo queste più coriacee, meno appetibili e non raggiungibili dalla bocca degli animali (Daget, Godron 1995).

La vegetazione di dolina ha mostrato una bassa variazione della sua composizione specifica e della sua struttura nell'arco temporale analizzato. L'incremento della copertura di *Trifolium thalii* e *Plantago atrata* subsp. *atrata* può essere associato al fatto che sono specie esigenti in termini di azoto e umidità. La loro maggiore copertura nel tempo può essere correlata all'incremento dei tassi di decomposizione causati dall'aumento delle temperature e della deposizione di azoto atmosferico (Gong et al. 2015), ma anche derivato dal pascolo. L'aumento della copertura di alcune forme biologiche rispetto ad altre è riconducibile al processo del range-filling (Calabrese et al. 2018), maggiormente presente al piede dei ghiaioni, soprattutto a carico delle specie generaliste (Dullinger et al. 2012).

In conclusione, sono già presenti dei segnali che indicano un effetto greening determinato in primo luogo dall'espansione delle graminacee stress-tolleranti, come riscontrato anche in altri studi (Stanisci et al. 2016b). Dai risultati ottenuti si può ipotizzare una concomitanza di risposte ecologiche legate ai vari disturbi ambientali in atto. Al fine di confermare i trend attualmente in atto, futuri campionamenti di re-visitation sono auspicabili. Questa tecnica di rilevamento fornisce, infatti, dati vegetazionali accurati e confrontabili nel tempo, che contribuiscono ad aumentare le conoscenze sui processi ecologici in corso negli ecosistemi naturali montani.

### Letteratura citata

- Calabrese V, Carranza ML, Evangelista A, Marchetti M, Stinca A, Stanisci A (2018) Long-Term Changes in the Composition, Ecology, and Structure of *Pinus mugo* Scrubs in the Apennines (Italy). *Diversity* 10: 70.
- Cannone N, Gerdol R (2003) Vegetation as an Ecological Indicator of Surface Instability in Rock Glaciers. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 35: 384-390.
- Carlson BZ, Corona MC, Dentant C, Bonet R, Thuiller W, Choler P (2017) Observed long-term greening of alpine vegetation - A case study in the French Alps. *Environmental Research Letters* 12: 114006.
- Daget P, Godron M (1995) *Pastoralisme: troupeaux, espaces et sociétés*. Hatier, Paris. 510 pp.
- Di Pietro R, Proietti S, Fortini P, Blasi C (2004) La vegetazione dei ghiaioni nel settore sud-orientale del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise. *Fitosociologia* 41: 3-20.
- Dullinger S, Willner W, Plutzer C, Englisch T, Schrott-Ehrendorfer L, Moser D, Ertl S, Essl F, Niklfeld H (2012) Post-glacial migration lag restricts range filling of plants in the European Alps. *Global Ecology and Biogeography* 21: 829-840.
- Gong S, Guo R, Zhan T, Guo J (2015) Warming and Nitrogen Addition Increase Litter Decomposition in a Temperate Meadow Ecosystem. *PLoS ONE* 10: e0116013.
- Pelino G (2004) Conservazione della fitodiversità nel piano alpino della Majella (Italia Centrale). Tesi di Dottorato di Ricerca. Università degli Studi del Molise. 207 pp.
- Pirone G (1992) Lineamenti vegetazionali della Majella. Quaderni d'Abruzzo. La valle dell'Orte (ambiente, cultura, società): 14: 31-50.
- Raunkiaer C (1934) *The life forms of plants and statistical plant geography*. The Clarendon press, Oxford. 632 pp.
- Stanisci A, Carranza ML, Pelino G, Chiarucci A (2010) Assessing the diversity pattern of cryophilous plant species in high elevation habitats. *Plant Ecology* 212: 595-600.
- Stanisci A, Evangelista A, Frate L, Stinca A, Carranza ML (2016a) VIOLA - Database of High Mountain Vegetation of Central

Apennines. *Phytocoenologia* 46: 231-232.

Stanisci A, Frate L, Morra Di Cella U, Pelino G, Petey M, Siniscalco C, Carranza ML (2016b) Short term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosystems* 150: 227-235.

*Candidata*: Lucia Antonietta Santoianni

*Relatrice*: Angela Stanisci

*Correlatore o Relatore esterno*: Marco Varricchione

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

*Anno di discussione*: 2020

## Pattern di diversità e struttura filogenetica delle comunità di licheni terricoli nel massiccio della Majella (montagne mediterranee)

L. Francesconi

### Introduzione

Il cambiamento climatico rappresenta una sfida complessa per tutti i livelli di biodiversità, compresa la diversità filogenetica, la quale quantifica la diversità genetica di un insieme di taxa di una comunità, riflettendo così la loro storia evolutiva. Inoltre, gli studi di ecologia filogenetica hanno rilevato l'importanza dell'evoluzione nei processi di assemblaggio delle comunità (Cavender-Bares et al. 2009). Mentre questi aspetti sono relativamente ben esplorati per le piante vascolari, gli studi che si concentrano sulle comunità di licheni terricoli sono scarsi. A causa della loro natura peciloidrica, i licheni sono estremamente sensibili alle condizioni ambientali di temperatura e umidità e sono tra gli organismi più minacciati dal cambiamento climatico negli ecosistemi terrestri (Oliver et al. 2000). In particolare, ciò si verifica per gli ambienti di alta quota dove le comunità sono composte principalmente da specie adattate al freddo, che potrebbero risentire dell'aumento delle temperature e dell'aridità (Gobiet et al. 2014). Questa problematica potrebbe essere esacerbata nelle montagne mediterranee, dove le specie si trovano al loro confine più meridionale di distribuzione (Nogués Bravo et al. 2008). In questo studio, è stata analizzata la relazione tra le variabili climatiche e gli indici di diversità e struttura filogenetica lungo un gradiente altitudinale nel Massiccio della Majella (Appennino Centrale), l'area montuosa mediterranea più meridionale con una fascia alpina e subalpina in Italia.

### Materiali e Metodi

L'area di studio si trova lungo la cresta del massiccio della Majella tra il Blockhaus e Guado di Coccia. I campionamenti sono stati effettuati lungo un transetto che include i versanti nord e sud del massiccio, con un gradiente altimetrico di circa 1000 m di dislivello (1800-2793 m s.l.m.). Il transetto è stato suddiviso in 10 fasce di 100 m di altitudine, dentro le quali sono stati selezionati casualmente 7 plot di 1x1 m. In ciascun plot sono stati identificati i licheni terricoli presenti. In seguito, per ciascuna specie di micobionte rilevata sono state scaricate da Genbank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) le corrispondenti sequenze genetiche disponibili per sei marcatori molecolari: ITS, nucLSU, nucSSU, mtSSU, RPB1 e RPB2. Sono stati assemblati due dataset multigenici, il primo combinando tre marcatori (ITS, mtSSU, e nucLSU) e il secondo combinando tutti i sei marcatori. I due dataset sono stati analizzati con l'approccio della Maximum Likelihood e dell'inferenza bayesiana. Come outgroups sono state utilizzate le specie del dataset appartenenti all'ordine *Verrucariales* Mattick ex D.Hawksw. & O.E.Erikss, ritenute sufficientemente distinte dagli altri gruppi. Sulla base della filogenesi ottenuta, sono stati calcolati quattro indici filogenetici: Faith's phylogenetic diversity (PD; Faith, 1992) altamente correlato con la ricchezza in specie; evolutionary distinctiveness (ED; Isaac et al, 2007) per misurare il contributo relativo delle specie alla diversità filogenetica; Net Relatedness Index (NRI) e Nearest Taxon Index (NTI) per determinare la struttura filogenetica di ciascun plot (valori positivi = clustering filogenetico, comunità più imparentate rispetto all'atteso; valori negativi = sovradisersione filogenetica, comunità meno imparentate rispetto all'atteso). NRI è più sensibile alla struttura a livelli più profondi della filogenesi, mentre NTI a livelli più superficiali (Webb et al. 2002). Per ogni plot sono state scaricate quattro variabili bioclimatiche dal database CHELSA (<http://chelsa-climate.org/>), rappresentative del periodo 1979-2013 e ridimensionate da una risoluzione di 1 km<sup>2</sup> a 20m/pixel: Temperatura media annuale (BIO1), Intervallo di temperatura annuale (BIO7, differenza tra temperatura massima e minima), Precipitazione annuale (BIO12) e Precipitazione del trimestre più secco (BIO17). L'effetto del clima è stato valutato tramite Modelli Additivi Generalizzati (GAMs), includendo le interazioni tra le variabili BIO1-BIO12 e tra BIO1-BIO17. Per ogni indice filogenetico è stata selezionata la formula che massimizzava la

quantità di devianza spiegata (D-squared) e minimizzava il criterio di informazione di Akaike (AIC). Le curve di risposta delle variabili climatiche singole sono state eseguite con le “inflated response curves” (Zurell et al. 2012), modificate per le variabili quantitative.

### Risultati

In seguito al confronto tra le topologie dei quattro alberi filogenetici risultanti, è stata selezionata la filogenesi ottenuta utilizzando il dataset di tre geni, con il metodo di inferenza bayesiana (61 tips e 60 nodi interni, in seguito alla rimozione delle politomie). I modelli mostrano una performance buona, con valori di D-squared tra 0,26 e 0,43. PD e ED aumentano all'aumentare delle precipitazioni annuali (BIO12). Riguardo alla temperatura, PD diminuisce solamente a bassi valori di BIO1 (< 0 °C), mentre ED mostra un picco a valori medio-bassi di BIO1 (0-0,5 °C nel nostro studio). L'interazione tra BIO1 e BIO12 evidenzia un picco positivo di PD in corrispondenza di temperature basse e precipitazioni abbondanti. Un andamento simile è stato osservato con l'interazione BIO1-BIO17. Ad alti valori di precipitazione annuale (BIO12), sia NRI che NTI presentano valori negativi, denotando comunità sovradisperse. Al contrario, con scarse precipitazioni NRI indica clustering filogenetico, mentre NTI un pattern random. Ad alti valori di temperatura media annuale (BIO1) e di range di temperatura annuale (BIO7), sia NRI che NTI presentano valori positivi (clustering), mentre a basse temperature annuali solamente NRI presenta valori positivi. Con l'interazione BIO1-BIO17, NTI presenta valori positivi in condizioni di alta temperatura e scarse precipitazioni del trimestre più secco.

### Discussione

I nostri risultati suggeriscono che la disponibilità idrica potrebbe essere il principale fattore limitante per la diversità filogenetica in Majella. Pertanto, qualsiasi riduzione prevista delle precipitazioni avrebbe probabilmente un impatto non solo sulla ricchezza di specie delle comunità licheniche, ma anche sulla loro storia evolutiva. La mancanza di un effetto rilevabile della temperatura sulla diversità filogenetica potrebbe essere legata al gradiente preso in esame, fortemente spostato verso le alte quote. Al contrario, la relazione tra ED e la temperatura media suggerisce che un futuro aumento delle temperature potrebbe determinare la scomparsa delle specie con una storia evolutiva distinta dalle altre. L'interazione tra precipitazioni e temperatura conferma che la diminuzione delle precipitazioni e l'aumento delle temperature porterebbero ad un generale calo della biodiversità, a causa della scomparsa delle specie adattate al freddo.

Per quanto riguarda la struttura filogenetica, sia NRI che NTI mostrano sovradispersione in condizioni di precipitazioni abbondanti. La coesistenza di specie poco imparentate tra loro può essere attribuita alla prevalenza dell'esclusione competitiva in quella comunità, supponendo che essa sia più forte tra taxa più imparentati, che solitamente condividono un uso simile delle risorse (Cavender-Bares et al. 2009). Al contrario, le comunità clusterizzate filogeneticamente sono spesso il risultato della predominanza del filtraggio ambientale, con la sopravvivenza delle sole specie adattate (Webb et al. 2002). Le precipitazioni scarse agirebbero quindi da filtro ambientale solamente a livelli tassonomici maggiori, in quanto solo NRI indica clustering filogenetico. Anche il freddo intenso mostra un effetto simile sulle comunità, mentre alte temperature e ampio range di temperature annuali sembrano agire come filtro ambientale lungo tutta la filogenesi. Infine, l'interazione tra temperature medie annue e precipitazioni del quadrimestre più secco mostra come le alte temperature in condizioni di scarse precipitazioni agiscano come filtro ambientale sulla parte terminale della filogenesi, tra specie co-genetiche. In generale, con il previsto aumento della temperatura e dell'aridità dovuto al cambiamento climatico, è probabile che le specie più vulnerabili vengano escluse, portando a comunità sempre più clusterizzate.

Il nostro studio evidenzia così l'importanza di valutare la struttura e la composizione filogenetica della comunità per prevedere i processi ecosistemici e gli impatti del cambiamento globale.

### Letteratura citata

- Cavender-Bares J, Kozak KH, Fine PVA, Kembel SW (2009) The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology Letters* 12: 693-715.
- Faith DP (1992) Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation* 61: 1-10.
- Gobiet A, Kotlarski S, Beniston M, Heinrich G, Rajczak J, Stoffel M (2014) 21st century climate change in the European Alps— A review. *Scienc of the Total Environment* 493: 1138-1151.
- Isaac NJB, Turvey ST, Collen B, Waterman C, Baillie JEM (2007) Mammals on the EDGE: Conservation Priorities Based on Threat and Phylogeny. *PLoS ONE* 2: e296.
- Nogués Bravo D, Araújo MB, Lasanta T, López Moreno JJ (2008) Climate change in Mediterranean mountains during the 21st century. *Ambio* 37: 280-285.
- Oliver MJ, Tuba Z, Mishler BD (2000) The evolution of vegetative desiccation tolerance in land plants. *Plant Ecology* 151: 85-100.
- Webb CO, Ackerly DD, McPeck MA, Donoghue MJ (2002) Phylogenies and Community Ecology. *Annual Reviews of Ecology*



and Systematics 33: 475-505.

Zurell D, Elith J, Schröder B (2012) Predicting to new environments: tools for visualizing model behaviour and impacts on mapped distributions. *Diversity and Distributions* 18: 628-634.

*Candidata*: Luana Francesconi

*Relatore*: Juri Nascimbene

*Correlatrici o Relatrici esterne*: Lucia Muggia, Chiara Vallese

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, Via Irnerio 42, 40126 Bologna

*Anno di discussione*: 2021

## **Fioriture mucillaginose nelle foreste profonde di gorgonie dell'Area Marina Protetta di Tavolara Punta Coda Cavallo: prime informazioni sulle microalghe responsabili e sui danni alle specie più abbondanti**

F. Panizzuti

### **Introduzione**

Le gorgonie (Anthozoa, Octocorallia, Alcyonacea) sono annoverate tra i principali "ecosystem engineers" del coralligeno, una biocenosi composta da organismi bentonici sessili animali e vegetali, accomunati dalla capacità di fissare il carbonato di calcio (Ballesteros 2006). Le quattro *Gorgonacea* più abbondanti nel Mar Mediterraneo sono *Eunicella cavolini* (Koch, 1887), *Eunicella singularis* (Esper, 1791), *Eunicella verrucosa* (Pallas, 1776) e *Paramuricea clavata* (Risso, 1826). Le gorgonie sono attualmente soggette a diverse minacce, alcune determinate da caratteristiche intrinseche, come il limitato successo nel reclutamento larvale tipico di questi organismi, altre da fattori esterni, primo fra tutti l'innalzamento della temperatura correlato al global warming (Sini et al. 2015). I cambiamenti climatici, inoltre, stanno determinando un incremento nella frequenza e nell'intensità delle fioriture algali, causate da micro o macroalghe, bentoniche o planctoniche, produttrici sia di sostanze tossiche sia di mucillagine (Masó, Garcés 2006), un aggregato amorfo organico formato prevalentemente dai polisaccaridi essudati dalle alghe (Del Negro et al. 2005). La deposizione degli aggregati porta al diretto soffocamento degli organismi bentonici sessili e, a causa della seguente biodegradazione degli ammassi, allo svilupparsi di condizioni anossiche sui fondali (Masó, Garcés 2006).

Obiettivi di questo studio sono: 1. la determinazione degli impatti di un bloom mucillaginoso (estate 2020) sulle colonie di *E. cavolini* e *P. clavata*, le due gorgonie più abbondanti nell'Area Marina Protetta (AMP) Tavolara Punta Coda Cavallo (NE Sardegna); 2. l'identificazione delle specie algali responsabili della fioritura. Lo studio è stato condotto nell'ambito delle attività identificate dalla Strategia per l'Ambiente Marino e dall'Interreg Mediterranean project MPA-ADAPT (Monitoring climate-related responses in Mediterranean Marine Protected Areas and beyond).

### **Materiali e metodi**

Il progetto è stato realizzato in due siti della succitata AMP, rispettivamente con substrato calcareo e granitico (due transetti ciascuno). Sono stati sviluppati due differenti disegni sperimentali, il primo finalizzato a valutare la mortalità e il danno alle colonie, ed il secondo volto alla determinazione delle specie algali responsabili della fioritura. La valutazione dell'abbondanza totale, in relazione alla taglia (piccole: diametro < 10 cm; medie: diametro 10-15 cm; grandi: diametro > 15 cm; Gori et al. 2011) e allo stato di salute (sane; danneggiate: più del 10% dei rami denudati o coperti da epibionti; Perez et al. 2000) delle colonie di *E. cavolini* e *P. clavata* è stata condotta in relazione al substrato, tramite analisi di immagine su fotogrammi estratti da video ricavati in immersione. Per la stima del danno, invece, anch'esso valutato tramite analisi di immagine (dieci fotogrammi per transetto), si è scelto di focalizzare l'attenzione su *P. clavata*, non avendo riscontrato differenze nell'abbondanza tra le due gorgonie, ed essendo questa la specie più importante e carismatica per il coralligeno dell'AMP. In particolare, per ciascuna colonia è stata stimata la percentuale di rami sani (LTL), ricoperti da epibionti (INJE) o denudati (INJD), sia su granito che su calcare. Infine, per l'identificazione delle specie algali, si è scelto di lavorare su colonie di *P. clavata* su calcare, poiché su di esso sono state osservate differenze tra i transetti nell'abbondanza e nell'entità del danno che potevano essere correlate alla fioritura; allo scopo, sono stati raccolti campioni di acqua e mucillagine. Le microalghe presenti nell'acqua sono state analizzate al microscopio invertito per mezzo di camere di sedimentazione (metodo di sedimentazione di Uthermöl). Inoltre,

considerando che le specie più abbondanti nella mucillagine sono anche quelle che più probabilmente hanno causato la fioritura, è stata effettuata anche un'analisi degli aggregati su vetrino.

### Risultati

I dati ottenuti non hanno evidenziato, per entrambe le specie, differenze significative, sia nell'abbondanza totale di colonie sia nell'abbondanza in relazione al loro stato di salute su entrambi i substrati considerati. Al contrario, relativamente alla taglia, le colonie di maggiori dimensioni (diametro > 15 cm) sono risultate significativamente più abbondanti delle medie (diametro 10-15 cm) e delle piccole (diametro < 10 cm). Infine, per quanto riguarda la stima del danno per le colonie di *P. clavata*, queste ultime sono risultate per più del 50% ricoperte da tessuti sani (LTL), mentre i rami coperti da epibionti (INJE) si sono attestati intorno a valori pari al 15,47% e i denudati (INJD) non hanno superato il 6,80%. Anche dall'analisi dei campioni di acqua e mucillagine sono emersi alcuni interessanti risultati. La fioritura mucillaginosa si è rivelata monospecifica ed è stata prodotta dalla Bacillariofita *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Lewin & Reiman, 1964, unica specie di questo genere presente sia in sospensione nella colonna d'acqua sia sul substrato e sulle gorgonie. *C. closterium*, infatti, specie facilmente riconoscibile perché caratterizzata da una forma affusolata ad ago, con due plastidi e un nucleo in posizione centrale, è risultata la più abbondante in tutti i campioni analizzati e la sua fioritura si è rivelata uniforme nei due transetti, senza differenze significative nella densità cellulare.

### Discussione

Il numero significativamente maggiore di colonie di grandi dimensioni osservato in entrambi i siti può essere spiegato partendo dal presupposto che, per quanto riguarda le gorgonie, maggiore è la dimensione del corallo e il tessuto sano che circonda la parte danneggiata, più sarà l'energia che potrà essere riallocata per la rigenerazione del cenerchima e dunque superiori saranno le possibilità di recupero (Henry, Hart 2005). Inoltre, poiché in caso di danno l'energia che viene spesa per la rigenerazione è quella normalmente impiegata nella riproduzione, l'esaurimento di tali risorse può portare a una situazione di sterilità nei coralli che sopravvivono a ripetuti eventi di mortalità di massa (Henry, Hart 2005). Ad ogni modo, il fatto che le colonie siano risultate in media sane per più del 50%, sottolinea che, come osservato anche da Mistri, Ceccherelli (1996), *P. clavata* sembra essere in grado di competere con gli epibionti e di rigenerare integralmente i suoi tessuti. Infine, in relazione al bloom, il fatto che sia stato causato da una diatomea conferma che tra le specie produttrici di fioriture mucillaginose non si annoverano solo macroalghe filamentose, ma anche microalghe come *C. closterium*, i cui bloom stanno diventando frequenti nel Mediterraneo (Piazza et al. 2019).

In conclusione, nonostante i fattori che possono determinare la sopravvivenza delle gorgonie siano molteplici (Cerrano, Bavestrello 2008), nell'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo le maggiori fonti di stress per questi organismi appaiono essere le ripetute fioriture mucillaginose, che, col tempo, stanno riducendo la capacità riproduttiva delle popolazioni delle specie più importanti. Considerando inoltre l'elevata mortalità che caratterizza le gorgonie più piccole, è possibile affermare che i bloom stiano provocando una selezione verso le colonie di maggiori dimensioni. Poiché le gorgonie sono importanti "ecosystem engineers" del coralligeno, drastici cambiamenti nelle loro foreste profonde potrebbero portare in futuro, in una zona di spiccato interesse naturalistico come l'AMP Tavolara Punta Coda Cavallo, a una significativa trasfigurazione dei fondali.

### Letteratura citata

- Bellestros E (2006) Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 44: 123-195.
- Cerrano C, Bavestrello G (2008) Medium-term effects of die-off of rocky benthos in the Ligurian Sea. What can we learn from gorgonians? *Chemistry and Ecology* 24(S1): 73-82.
- Del Negro P, Crevatin E, Larato C, Ferrari C, Totti C, Pompei M, Giani M, Berto D, Fonda Umami S (2005) Mucilage microcosms. *Science of the Total Environment* 353: 258-269.
- Gori A, Rossi S, Linares C, Berganzo E, Orejas C, Dale MRT, Gili J (2011) Size and spatial structure in deep versus shallow populations of the Mediterranean gorgonian *Eunicella singularis* (Cap de Creus, northwestern Mediterranean Sea). *Marine Biology* 158: 1721-1732.
- Henry LA, Hart M (2005) Regeneration from Injury and Resource Allocation in Sponges and Corals – a Review. *International Review of Hydrobiology* 90: 125-158.
- Masó M, Garcés E (2006) Harmful microalgae blooms (HAB); problematic and conditions that induce them. *Marine Pollution Bulletin* 53: 620-630.
- Mistri M, Ceccherelli VU (1996) Effects of a mucilage event on the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. I - Short term impacts at the population and colony levels. *Italian Journal of Zoology* 63: 221-230.
- Perez T, Garrabou J, Sartoretto S, Harmelin J, Francour P, Vacelet J (2000) Mortalité massive d'invertébrés marins: un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. *Sciences de la Vie* 323: 853-865.
- Piazza G, Buzzi F, Caronni S, Citterio S, Provera I, Chimenti G (2019) Prime osservazioni sul bloom mucillaginoso dell'estate 2018 sui fondali a coralligeno delle isole Tremiti. *Biologia Marina Mediterranea* 26: 320-321.

---

Sini M, Kipson S, Linares C, Koutsoubas D, Garrbou J (2015) The Yellow Gorgonian *Eunicella cavolini*: Demography and Disturbance Levels across the Mediterranean Sea. PLoS ONE 10: e0126253.

*Candidata*: Francesca Panizzuti

*Relatore*: Rodolfo Gentili

*Correlatrice o Relatrice esterna*: Sarah Caronni

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1 e 4, 20126 Milano

Anno di discussione: 2021

## I rifugi per la biodiversità durante l'Antropocene

P.A. Cara

### Introduzione

Il termine "rifugio" o "refugium" indica "un'area geografica in cui il biota può ritirarsi, crescere e sopravvivere durante lunghi periodi di condizioni climatiche regionali avverse" (Birks 2015) e dalla quale le specie possono colonizzare nuovamente le zone circostanti qualora il clima regionale torni favorevole (Keppel et al. 2015). Durante le glaciazioni del Quaternario, i rifugi hanno evitato l'estinzione di numerose specie vegetali o favorito la formazione di nuove specie (Médail, Diadema 2009). Tuttavia, occorre chiarire il loro ruolo nell'Antropocene, in una fase di rapido riscaldamento globale (Gentili et al. 2015a). La presente tesi ha lo scopo di localizzare e caratterizzare i rifugi a livello globale tramite una revisione della letteratura e l'analisi di casi studio tramite modelli di distribuzione con il fine ultimo di valutarne l'importanza attuale e futura per la biodiversità.

### Materiali e Metodi

È stata condotta una metanalisi sugli articoli scientifici pubblicati negli ultimi cinque anni (2016-2020) inerenti i rifugi per le specie vegetali ed animali. La ricerca ha considerato 200 articoli raccolti inserendo su "Scopus" le parole chiave "Climatic\* Climate\* Refugia". Da ogni articolo, le informazioni di interesse sono state estrapolate e raccolte in un database. I records rappresentano i rifugi per una data specie o comunità biotica e gli attributi ne indicano le caratteristiche salienti, quali posizione geografica, habitat interessato, estensione e funzionalità, ossia un indice relativo alla capacità di un rifugio di ridurre il rischio di estinzione delle specie. Gli indici di funzionalità e le frequenze dei diversi attributi riferibili al rifugio sono state analizzate tramite i test delle mediane (Kruskal-Wallis) e del Chi-quadro, rispettivamente. Infine, tramite il pacchetto "Wallace" in ambiente "R" sono stati costruiti i modelli di distribuzione delle specie (SDMs) di *Salix herbacea* L. (entità artico-alpina) e *Holcus setiglumis* Boiss. & Reut. (entità mediterranea). I modelli sono stati proiettati nel 2070, sulla base dei dati climatici del GCM "CCSM4" (scenario RCP 8.5).

### Risultati

Il Bacino del Mediterraneo contiene il più elevato numero di rifugi; seguono poi la Cina sub-tropicale (Himalaya, Bacino di Sichuan), California, Messico e Panama. I biomi più rappresentati sono quelli montano/alpini (27%), temperati (24%), tropicali (18%) e mediterranei (16%); solo il 6% dei rifugi appartiene a biomi marini. Gli habitat più ricorrenti sono la foresta temperata (26%) e tropicale (15%) e la prateria (13%). Il 57% dei rifugi studiati appartiene alla classe dei macrorefugia, e solamente nel 22% e nel 21% dei casi sono stati individuati rispettivamente mesorefugia e microrefugia. Buona parte (54%) dei rifugi è descritta solo per il passato; il 30% dei rifugi è riferito esclusivamente all'Antropocene. Infine, nel 16% dei casi si tratta di rifugi "storici", attivi durante tutte le epoche del Quaternario (incluso l'Antropocene). È stato riscontrato un numero molto simile di rifugi per le specie vegetali e animali. Anche le fasi climatiche glaciali e interglaciali sono rappresentate dallo stesso numero di rifugi.

La tipologia di impatto dei cambiamenti climatici sulle specie nei rifugi viene determinata da due variabili: il periodo temporale in cui esistono i rifugi, e la loro estensione spaziale. È emerso che, nel 65% dei casi, le specie hanno subito (o subiranno) drastiche riduzioni dell'areale e di abbondanza delle popolazioni. Tale fenomeno riguarda il 93% dei rifugi dell'Antropocene, e solo la metà dei rifugi esistenti in passato e dei rifugi storici (differenza di frequenza significativa:  $\chi^2 = 29,884$ ;  $p = 4.5858 \cdot 10^{-8}$ ). Risulta che nel 55% dei macrorefugia si verificano i suddetti effetti negativi; tale percentuale è significativamente più bassa di quella dei mesorefugia (83%;  $\chi^2 = 12.317$ ;  $p = 0,00044879$ ) e dei microrefugia (76%;  $\chi^2 = 6,9136$ ;  $p = 0,0085543$ ).

La funzionalità dei rifugi viene influenzata unicamente dal periodo temporale di riferimento: i rifugi

---

dell'Antropocene mostrano un punteggio medio dell'indice di funzionalità pari a 2.2 (su un massimo di 3, che esprime un rischio di estinzione minimo, ed un minimo di 1, che esprime un rischio elevato); è significativamente inferiore ( $\chi^2 = 17,49$ ;  $p = 1,497 \cdot 10^{-6}$ ) rispetto a quello dei rifugi del passato (2,7), ed anche rispetto a quello (2,5) dei rifugi storici ( $\chi^2 = 3,793$ ;  $p = 0,03552$ ).

Risulta che il metodo di indagine più utilizzato (41% dei casi) per l'individuazione e lo studio dei rifugi sia la modellistica (SDMs); altri tipi di studio (27%) si basano su approcci interdisciplinari, che integrano le evidenze paleontologiche, sperimentali o filogeografiche. Riguardo ai rifugi dell'Antropocene, si è fatto affidamento unicamente ai modelli di distribuzione nel 64% dei casi.

Per quanto riguarda i modelli di distribuzione testati in questo lavoro, le proiezioni al 2070 indicano una forte riduzione degli habitat europei occupati da *Salix herbacea*, e la scomparsa di piccole stazioni in Scozia, sull'Appennino e sulle Alpi Dinariche. Le valli a quota maggiore di Alpi e Carpazi manterranno probabilmente il ruolo di rifugi meridionali. Il modello di *Hoculus setiglumis* ha evidenziato anomalie nelle proiezioni al 2070 e bassi livelli di suitability, probabilmente a causa delle condizioni climatiche future "non-analoghe" a quelle odierne (Elith et al. 2010).

### Discussione

A livello globale, tutte le regioni geografiche più ricche di rifugi corrispondono a degli hotspots di biodiversità, come evidenziato da Médail, Diadema (2009) per il Bacino del Mediterraneo. Lo stretto legame tra rifugi e biodiversità è confermato dai numerosi casi di speciazione allopatrica riscontrati negli studi rivolti al passato. Ciononostante, le zone più remote del pianeta (Siberia, Africa Centrale) appaiono ancora poco investigate relativamente ai rifugi, così come le aree marine, seppure possano essere molto importanti durante l'Antropocene (Barceló et al. 2017).

Data l'abbondanza di rifugi nei biomi montano/alpini, appare che l'eterogeneità topografica e geomorfologica incrementa la varietà di habitat locali, quindi anche la probabilità di formazione di ambienti ideali per proteggere le specie dai cambiamenti climatici, come sostengono Gentili et al. (2015a) per le montagne dell'Europa Meridionale. Attualmente, le specie vegetali coinvolte nelle dinamiche di rifugio appartengono perlopiù alla foresta temperata e tropicale, minacciate da disboscamento e desertificazione in alcune zone alle medie latitudini. Analogamente, specie di praterie alpine retrocedono verso quote maggiori sotto la spinta competitiva di piante più termofile, sebbene diverse specie possano ancora trovare rifugio a bassa quota, al di sotto del limite degli alberi (Gentili et al. 2020).

Durante l'Antropocene le specie potranno essere esposte a rischi maggiori rispetto al passato, dovuti principalmente ai cambiamenti climatici molto rapidi in sinergia con l'azione umana. Ciononostante, gli studi evidenziano una buona funzionalità dei rifugi presenti e futuri. Visto che la maggioranza degli studi orientati al futuro si è affidata unicamente ai SDMs, è possibile che l'esistenza di molti microrefugia – la cui importanza è stata dimostrata da Gentili et al. (2015b) – sia stata totalmente ignorata: quest'ultimi hanno una ridotta estensione, persino di pochi metri quadrati, mentre i dati climatici utilizzati nei modelli possiedono una risoluzione dell'ordine dei chilometri quadrati. Difatti, in questi articoli sono stati individuati soprattutto macrorefugia (estesi  $10^3$ - $10^5$  km<sup>2</sup>). Anche l'esito del modello di distribuzione di *Salix herbacea* potrebbe essere affetto dallo stesso tipo di errore, mentre il modello di *Hoculus setiglumis* evidenzia un altro notevole limite di queste tecniche di machine learning, ossia quello di prevedere le variazioni climatiche in modo accurato.

In conclusione, i rifugi possono rivestire un ruolo decisivo per la conservazione della biodiversità durante l'Antropocene. Per comprendere al meglio il potenziale dei rifugi, serviranno nuovi studi sperimentali e integrati, e dati climatici di maggiore dettaglio per l'individuazione di un maggior numero di aree rifugio a livello globale. Inoltre, occorre considerare le ulteriori minacce legate alle attività antropiche e, in ultima analisi, integrare i rifugi nella rete delle aree naturali protette.

### Letteratura citata

- Barceló C, Ciannelli L, Brodeur RD (2017) Pelagic marine refugia and climatically sensitive areas in an eastern boundary current upwelling system. *Global Change Biology* 24: 668-680.
- Birks HJB (2015) Some reflections on the refugium concept and its terminology in historical biogeography, contemporary ecology and global-change biology. *Biodiversity* 16: 196-212.
- Elith J, Kearney M, Phillips S (2010) The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1: 330-342.
- Gentili R, Bacchetta G, Giuseppe F, Cogoni D, Abeli T, Rossi G, Salvatore MC, Baroni C, Citterio S (2015a) From cold to warm-stage refugia for boreo-alpine plants in southern European and Mediterranean mountains: the last chance to survive or an opportunity for speciation? *Biodiversity* 16: 247-261.
- Gentili R, Baroni C, Caccianiga M, Armiraglio S, Ghiani A, Citterio S (2015b) Potential warm-stage microrefugia for alpine plants: Feedback between geomorphological and biological processes. *Ecological Complexity* 21: 87-99.
- Gentili R, Baroni C, Panigada C, Rossini M, Tagliabue G, Armiraglio S, Citterio S, Carton A, Salvatore MC (2020) Glacier shrinkage and slope processes create habitat at high elevation and microrefugia across treeline for alpine plants during warm stages. *Catena* 193: 104626.

- Keppel G, Mokany K, Wardell-Johnson G, Phillips WBL, Reside AE (2015) The capacity of refugia for conservation planning under climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 13: 106-112.
- Médail F, Diadema K (2009) Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography* 13: 1333-1345.

*Candidato:* Paolo Antonio Cara

*Relatrice:* Sandra Citterio

*Correlatore o Relatore esterno:* Rodolfo Gentili

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1 e 4, 20126 Milano

*Anno di discussione:* 2021

## **Analisi morfologica, palinologica ed elementare di tre tisane composte**

L. Ballini

### **Introduzione**

L'utilizzo dei prodotti erboristici, noti come "Botanicals", è diffuso in tutto il mondo. In base al Regolamento (CE) n. 178/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio tutti i prodotti erboristici sono da intendersi soggetti alla normativa sulla sicurezza alimentare. Possono inficiare la sicurezza degli alimenti erboristici: errori di identificazione delle materie prime, adulterazione con altre specie o parti di pianta diverse da quelle dichiarate in etichetta, presenza di contaminanti ambientali o biologici (metalli pesanti, pesticidi, micotossine etc.) e aggiunta di sostanze illegali (Coppens et al. 2006, Sanzini et al. 2011). I metodi stabiliti per l'identificazione delle specie vegetali utilizzate sono l'esame organolettico, l'osservazione macroscopica e microscopica, analisi palinologiche, genetiche e cromatografiche (Walker 2004, WHO 2011). Non essendoci limiti specifici nella normativa comunitaria per il contenuto di contaminanti nelle erbe essiccate usate in infusione a scopo alimentare, le aziende e le associazioni del settore erboristico hanno sviluppato alcuni documenti di autoregolamentazione in cui sono posti dei valori soglia in tali alimenti, come il Codex Herbarum (2009). Tale codice propone limiti di concentrazione per i seguenti metalli pesanti: piombo (3,0 mg/kg), cadmio (1,0 mg/kg), mercurio (0,1 mg/kg) ed arsenico (3,0 mg/kg).

Questo lavoro di tesi ha come obiettivo l'analisi di qualità di tre tisane composte commerciali relativamente all'identificazione delle componenti vegetali, mediante analisi morfologica, ed alla quantificazione dei metalli in traccia (piombo, cadmio e mercurio), mediante tecniche di spettrofotometria ad assorbimento atomico. Ulteriore obiettivo di questo studio è l'analisi del contenuto pollinico del deposito di fondo delle tisane, in primo luogo per quantificare i granuli pollinici rinvenibili in una tazza di tisana ed anche per valutare la potenzialità di questa analisi nella ricostruzione dell'ambiente di coltivazione delle materie prime utilizzate.

### **Materiali e Metodi**

Le tisane composte analizzate sono costituite da componenti che variano sia nei rapporti di quantità che nelle parti di pianta impiegate (foglie, fiori, frutti, fusti e rizomi). Per l'identificazione delle componenti sono stati prelevati campioni rappresentativi di ciascun prodotto (circa 20 g per confezione di 100 g) e sono stati osservati al microscopio stereoscopico. I caratteri diagnostici dei frammenti vegetali sono stati analizzati sulla base delle descrizioni bibliografiche e per confronto con materiale disponibile nell'Orto Botanico di Firenze. Una volta identificata la specie di appartenenza dai frammenti, questi sono stati separati in capsule petri distinte per svolgere analisi successive. L'analisi elementare è stata svolta sui preparati secchi composti e sulle singole componenti separate in fase di identificazione, per valutare se alcune di esse fossero responsabili di un apporto maggiore di metalli in traccia rispetto ad altre. Inoltre, la quantificazione dei metalli in traccia è stata condotta sui prodotti finali delle tisane, preparati secondo le indicazioni d'uso riportate in etichetta: l'infuso liquido, il residuo solido filtrato e, esclusivamente per il mercurio, il vapore rilasciato. Per la quantificazione di piombo e cadmio cinque repliche di ciascun campione sono state sottoposte a mineralizzazione mediante lo strumento di digestione acida a microonde CEM MARS 6. Le soluzioni di digestione chiare ottenute sono state analizzate con lo spettrofotometro ad assorbimento atomico e ionizzazione a fiamma PinAAcle 500 PerkinElmer, che ha fornito i valori di concentrazione dei metalli nelle soluzioni stesse, poi convertiti nei valori di concentrazione dei campioni iniziali. Per la quantificazione del mercurio è stato utilizzato l'analizzatore portatile della serie Lumex modello RA 915-M, specifico per misurare le concentrazioni del mercurio gassoso elementare nell'aria ambiente e nei gas naturali. Il vapore rilasciato dagli infusi appena preparati è stato accumulato all'interno di un essiccatore a chiusura ermetica, nel quale sono state condotte le misurazioni.

Lo studio palinologico è stato svolto sul deposito di fondo delle tisane. I depositi sono stati disidratati tramite

una serie ascendente di alcol etilico, per poi essere sottoposti ad acetolisi. Le soluzioni acetolitiche sono state portate a volume di 1 ml ed osservate con il microscopio Leica DM2500 LED. Le immagini sono state esaminate tramite il software LAS X Core. Per ciascuna tisana è stato calcolato il valore di Frequenza Pollinica Assoluta ed è stato realizzato il relativo spettro pollinico.

### Risultati

L'analisi morfologica delle tisane ha confermato la presenza delle componenti indicate in etichetta, senza apprezzabile aggiunta di altre piante o di parti diverse delle piante dichiarate. Come asserito sulla confezione, le componenti erano presenti come foglie, fiori, frutti, fusti e rizomi.

L'analisi elementare ha evidenziato un contenuto leggermente superiore alla soglia, prevista dal Codice di autoregolamentazione, di cadmio nei preparati secchi composti:  $2,8 \pm 0,3$  mg/kg,  $2,4 \pm 0,3$  mg/kg e  $1,5 \pm 0,4$  mg/kg. Il piombo non è stato rilevato in nessuno di essi. Analizzando le singole componenti separatamente sono state identificate quelle responsabili di un maggior apporto di metalli in traccia nel prodotto composto. Esempi di tali componenti sono: fiori di *Achillea millefolium* L., frutti di *Illicium verum* Hook.f. e foglie di *Mentha x piperita* L. Negli infusi liquidi i metalli in traccia non sono presenti in concentrazioni significative. Il mercurio non è presente in quantità rilevanti nei vapori rilasciati dalle tisane.

Mediante l'analisi palinologica sono state individuate quantità significative di granuli pollinici rinvenibili negli infusi. I valori di Frequenza Pollinica Assoluta sono risultati compresi tra 152.500 e 2.325.000 granuli per grammo di prodotto secco utilizzato nella preparazione della tisana. Negli spettri pollinici sono rappresentate sia le piante componenti del prodotto stesso, sia altri granuli presumibilmente derivati dall'ambiente di coltivazione delle materie prime, granuli che cioè si sono depositati sulle superfici delle piante coltivate e vi sono rimasti adesi. Tra i granuli pollinici derivanti dall'ambiente di coltivazione sono presenti indicatori ambientali.

### Discussione

L'identificazione dei frammenti essiccati di foglie, fiori, fusti, frutti e rizomi ha confermato la presenza delle componenti vegetali nelle tisane dichiarate dai produttori, garantendo l'assenza della frode alimentare di adulterazione. La quantificazione dei metalli in traccia ha evidenziato l'eccesso di contenuto di cadmio in tutte le tisane analizzate, ma non di piombo. Inoltre, sono state identificate le singole componenti di tali prodotti che presentano una quantità eccessiva di metalli in traccia e quindi responsabili di un loro apporto maggiore. Anche se le concentrazioni di piombo, cadmio e mercurio rilasciate dalle componenti secche nelle tisane - i prodotti effettivamente consumati - sono risultate non significative, è necessario tenere in considerazione che il Codex Herbarum (2009) fa riferimento ai prodotti essiccati e non agli infusi. Per tale motivo, i valori ottenuti mediante questa analisi non soddisfano i requisiti di qualità espressi da tale testo normativo, nonostante essa sia certificata sull'etichetta dei prodotti. Il calcolo dell'FPA ottenuto a partire dai depositi delle tisane ha mostrato che la quantità di granuli pollinici rilasciati nell'infuso è notevole. Considerando che, secondo le indicazioni d'uso riportate sulle confezioni, una tazza di tisana viene preparata a partire da 2 g di preparato, in una porzione di tisana possono essere presenti fino a 4.650.000 granuli. Gli spettri pollinici ricavati dai sedimenti di fondo delle tisane rappresentano la somma della pioggia pollinica dei luoghi di coltivazione di tutte le componenti. La grande quantità di granuli ritrovati ha comunque delineato la possibilità di raccogliere informazioni sull'ambiente di provenienza delle materie prime una volta che queste vengano analizzate separatamente.

### Letteratura citata

Codex Herbarum (2009) Revisione 2 del 16 Settembre 2009. 16 pp.

Coppens P, Delmulle L, Gulati O, Richardson D, Ruthsatz M, Sievers H, Sidani S (2006) Use of Botanicals in Food Supplements. *Annals of Nutrition and Metabolism* 50: 538-554.

Regolamento (CE) n. 178/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 28 gennaio 2002, che stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare. OJ L 31, 1.2.2002: 1-24.

Sanzini E, Badea M, Santos AD, Restani P, Sievers H (2011) Quality control of plant food supplements. *Food & Function*: 740-746.

Walker R (2004) Criteria for risk assessment of botanical food supplements. *Toxicology Letters* 149: 187-195.

WHO (2011) Quality control methods for herbal materials. Updated edition 2011. World Health Organization. 173 pp.

*Candidato:* Lorenzo Ballini

*Relatrice:* Marta Mariotti

*Correlatrici o Relatrici esterne:* Cristina Gonnelli, Ilaria Colzi

Dipartimento di Biologia, Università di Firenze, Via Giorgio La Pira 4, 50121 Firenze

*Anno di discussione:* 2021

## Caratterizzazione dell'enzima fitochelatina sintasi di *Marchantia polymorpha* in risposta a cadmio, ferro (II) e rame (II)

S. Giardini

### Introduzione

La fitochelatina sintasi (PCS) è una  $\gamma$ -glutamylcisteina-dipeptidil-(trans)peptidasi appartenente al "Clan CA" delle cisteina proteasi "papain-like" (Vivares et al. 2005). La PCS è responsabile della sintesi citosolica delle cosiddette fitochelatine (PCn) a partire dal tripeptide tiolico glutatione (GSH). Le PCn sono oligopeptidi con struttura generale ( $\gamma$ -Glu-Cys) n-Gly (n = 2–5), aventi un'elevata affinità con i metalli di transizione grazie ai gruppi tiolici presenti nella loro struttura (Grill et al. 1989). Pertanto le PCn sono in grado di formare complessi con molti metall(oid)i, i quali vengono compartimentati all'interno del vacuolo, riducendone così i potenziali effetti tossici (Kneer, Zenk 1997). È ormai noto che tale meccanismo di complessazione e segregazione intravacuolare abbia un ruolo chiave nella disintossicazione delle cellule vegetali da metalli tossici quali cadmio, mercurio e piombo, nonché dal metalloide arsenico. Oltre a ciò, la PCS potrebbe essere coinvolta anche nella regolazione del fabbisogno omeostatico di alcuni micronutrienti metallici, quali ferro, rame e zinco. Questo lavoro di tesi magistrale ha pertanto l'obiettivo di indagare, in un'ottica evolutiva, aspetti molecolari e funzionali della risposta al cadmio e a due micronutrienti metallici (sommministrati in eccesso), con particolare attenzione all'attivazione metallo-indotta della PCS ed alla conseguente biosintesi delle PCn.

### Materiali e Metodi

Gli esperimenti sono stati eseguiti su colture axeniche di gametofiti femminili dell'epatica (Marchantiophyta) *Marchantia polymorpha* L. subsp. *ruderalis* Bischl. & Boisselier. Tale briofita presenta genoma completamente sequenziato ed è di particolare rappresentatività nella storia evolutiva delle piante terrestri. Sui gametofiti, coetanei ed omogenei, sono stati effettuati trattamenti indipendenti con cadmio (10, 20 e 36  $\mu\text{M Cd}^{2+}$ ), rame (200  $\mu\text{M Cu}^{2+}$ ) e ferro (300  $\mu\text{M Fe}^{2+}$ ) per 6, 14, 24, 72 e 120 ore. I gametofiti così trattati (e di controllo) sono stati utilizzati sia per la determinazione quali-quantitativa dei peptidi tiolici, analizzati in HPLC-ESI-MS-MS (Bellini et al. 2019), sia per l'estrazione dell'RNA totale, al fine di valutare mediante RT-PCR l'espressione del gene della PCS di *M. polymorpha* (MpPCS). Inoltre, si è proceduto a saggiare in vitro l'attività della PCS ricombinante di *M. polymorpha* in presenza di opportune concentrazioni di Cd, Cu e Fe, in accordo con quanto riportato in Petraglia et al. (2014) e Li et al. (2019). Le PCn prodotte in vitro sono state analizzate in HPLC-ESI-MS-MS.

### Risultati

Nell'analisi in vivo, la produzione di PCn (fino all'oligomero PC<sub>4</sub>) aumenta già a partire dalle prime ore di trattamento con tutti e tre i metalli, e rimane rilevabile a tutti i tempi di esposizione. In accordo, i saggi in vitro della PCS mostrano che Cd, Cu e Fe attivano prontamente l'enzima, pur se a livelli diversi. È confermata inoltre l'espressione del gene MpPCS, sia nei campioni di controllo, sia in quelli trattati con i metalli, dove si è osservato un aumento significativo di tale espressione a tempi diversi, a seconda del metallo utilizzato. Inoltre, i tempi di esposizione nei quali si è riscontrato il picco massimo di espressione del gene sono gli stessi in cui si è registrato un incremento di PC<sub>3</sub> e PC<sub>4</sub>, ovvero di PCn a maggior grado di oligomerizzazione. Sembra pertanto che un aumento del potere chelante complessivo sia sostenuto da una maggiore espressione dell'enzima. Infine, nei campioni trattati con Cd e Fe si è rilevata una riduzione dei livelli di GSH proprio in corrispondenza del picco massimo di espressione del gene MpPCS, laddove in presenza di Cu si è osservato sostanzialmente il contrario.

### Discussione

Lo studio dell'attività in vitro della PCS ricombinante di *M. polymorpha* ha permesso di verificare che, a seguito di esposizione a Cd e ad eccesso di micronutrienti metallici quali Cu e Fe, l'enzima sintetizza PCn a diverso grado di polimerizzazione. Pertanto, sia Cd, sia Cu e Fe, sono in grado di catalizzare la reazione di transpeptidazione della PCS di *M. polymorpha*. Inoltre, in accordo con quanto riportato da Degola et al. (2014), i dati ottenuti confermano il ruolo costitutivo della PCS anche in questa epatica. Pertanto, la PCS risulta espressa ed attiva, il che consente a tale enzima di sintetizzare prontamente le PCn, coerentemente con l'aumento della concentrazione intracellulare degli ioni metallici. Ciò rappresenta un efficace e sensibile meccanismo di difesa di "prima linea" nei confronti della tossicità di tali ioni.

### Letteratura citata

Bellini E, Borsò M, Betti C, Bruno L, Andreucci A, Ruffini Castiglione M, Saba A, Sanità di Toppi L (2019) Characterization and

quantification of thiol-peptides in *Arabidopsis thaliana* using combined dilution and high sensitivity HPLC-ESI-MS-MS. *Phytochemistry* 164: 215-222.

- Degola F, De Benedictis M, Petraglia A, Massimi A, Fattorini L, Sorbo S, Basile A, Sanità di Toppi L (2014). A Cd/Fe/Zn-responsive phytochelatin synthase is constitutively present in the ancient liverwort *Lunularia cruciata* (L.) Dumort. *Plant and Cell Physiology* 55: 1884-1891.
- Grill E, Löffler S, Winnacker E-L, Zenk MH (1989) Phytochelatin, the heavy-metal-binding peptides of plants, are synthesized from glutathione by a specific g-glutamylcysteine dipeptidyl transpeptidase (phytochelatin synthase). *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 86: 6838-6842.
- Kneer R, Zenk MH (1997) The formation of Cd-phytochelatin complexes in plant cell cultures. *Phytochemistry* 44: 69-74.
- Li M, Stragliati L, Bellini E, Ricci A, Saba A, Sanità di Toppi L, Varotto C (2019) Evolution and functional differentiation of recently diverged phytochelatin synthase genes from *Arundo donax* L. *Journal of Experimental Botany* 70: 5391-5405.
- Petraglia A, De Benedictis M, Degola F, Pastore G, Calcagno M, Ruotolo R, Mengoni A, Sanità di Toppi L (2014) The capability to synthesize phytochelatin and the presence of constitutive and functional phytochelatin synthases are ancestral (plesiomorphic) characters for basal land plants. *Journal of Experimental Botany* 65: 1153-1163.
- Vivares D, Arnoux P, Pignol D (2005) A papain-like enzyme at work: Native and acyl-enzyme intermediate structures in phytochelatin synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 18848-18853.

*Candidata:* Silvia Giardini

*Relatori:* Andrea Andreucci, Luigi Sanità di Toppi

*Correlatrice o Relatrice esterna:* Erika Bellini

Dipartimento di Biologia, Università di Pisa, Via Luca Ghini 13, 56126 Pisa

*Anno di discussione:* 2020

## Caratteristiche morfologiche e risposte di crescita in coltivazione di *Alocasia robusta* M.Hotta, endemica del Borneo

T. Fogazza

### Introduzione

*Alocasia robusta* M.Hotta è una specie tropicale endemica del Borneo, appartenente alla famiglia delle Araceae, nota per avere le più grandi foglie indivise del regno vegetale. Gli studi e i dati relativi a questa specie sono scarsi, soprattutto le informazioni inerenti alla reale distribuzione e contingenza delle popolazioni naturali. Questa tesi, tenendo conto delle osservazioni dirette condotte in habitat nel Borneo malese, ha sperimentato approcci di conservazione ex situ di *A. robusta*, specie di difficile coltivazione, prendendo in esame la capacità e la velocità di crescita degli individui in funzione dei parametri ambientali, di differenti tipi di substrato e di vari trattamenti eseguiti. È stata anche posta particolare attenzione alla morfologia degli individui coltivati, in quanto provenienti da una popolazione del Nord-Ovest del Kalimantan, non censita né studiata finora, diversificata per la presenza di caratteri peculiari rispetto alle popolazioni note del Borneo malese, tra cui una distintiva colorazione viola scuro del picciolo.

### Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto su piante derivanti da 30 semi e da 18 tuberi di lunghezza compresa tra 1 e 10 cm. Su questo materiale sono state condotte tre prove di coltivazione: una basata sulla semina, una sulla coltivazione di tuberi con impiego di microrganismi e funghi micorrizici oppure di felci, e una basata su tuberi interrati senza addizione di microrganismi e di funghi. La semina è avvenuta in ambiente controllato con temperature costanti comprese tra i 30 °C (diurni) e i 25 °C (notturni) e con umidità all'85%. Un lotto di tuberi è stato coltivato in serra caldo-umida privata, dotata di telo ombreggiante al 70%, con temperature comprese tra i 18 e i 30 °C e umidità tra il 70 e il 90%. Un altro lotto di tuberi è stato coltivato in una seconda serra caldo-umida presso l'Orto Botanico di Palermo, avente temperature comprese tra i 31 e i 38 °C e umidità media pari a 50,3%. Le prove di coltivazione su semi e tuberi sono state condotte testando varie combinazioni di substrato, incentrate sulla percentuale minore o maggiore di inerti (pomice, zeolite, perlite e vermiculite). Alcuni esemplari sono stati piantati in Air-pot, speciali vasi forati in PVC che permettono una buona aereazione del substrato e di conseguenza delle radici della pianta. Diversi tuberi sono stati trattati ogni 15 giorni con una miscela di microrganismi (*Arthobacter globiformis*, *Bacillus brevis*, *B. coagulans*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. polymyxa*, *B. pumilus*, *B. subtilis*, *B. thuringiensis*, *Paenibacillus polymyxa*, *Pseudomonas chlororaphis*, *P. putida*) e funghi (*Glomus aggregatum*, *G. intraradices*, *G. mosseae*, *Rhizopogon amylopogon*, *R. fulvigleba*, *R. villosulus*, *Trichoderma*



*harzianum*, *T. kongii*, *T. viride*). Altri tuberi, invece, sono stati piantati insieme a felci del genere *Nephrolepis* (*N. biserrata*) e *Athyrium* (*A. filix-femina* e *A. nyponicum*).

Lo studio delle caratteristiche morfologiche dei campioni sottoposti alle diverse condizioni colturali è stato condotto prendendo in considerazione i parametri misurabili evitando di creare stress e perturbazioni agli esemplari. In totale sono stati presi in esame 30 diversi caratteri le cui misurazioni sono state condotte in funzione della fenologia delle piante in esame. Per ogni parametro morfometrico è stata elaborata la statistica descrittiva, rilevando sia gli indici di tendenza centrale, sia quelli di variazione o dispersione.

Le variazioni dei valori dei parametri di crescita in funzione del tempo e della natura del substrato di coltivazione sono state analizzate mediante ANOVA a due vie. Il confronto multiplo tra le medie per entrambi i fattori e relativa interazione è stato effettuato mediante due test post-hoc, HSD di Tukey e LSD di Fisher, entrambi a un intervallo di confidenza del 95%.

## Risultati

I semi di *A. robusta* sono molto piccoli, circa 1-2 mm, con tempi di germinazione in linea con le altre specie di *Alocasia* endemiche del Borneo (*A. bisma*, *A. nebula*, ecc.). Le plantule e i tuberi piantati in vasi di plastica con substrato composto dal 40-60% di inerti hanno mostrato una crescita ridotta o assente, anche a distanza di un anno. La marcescenza è sopraggiunta su molti tuberi. Inoltre, essi hanno affrontato lunghi periodi di dormienza e di ripresa vegetativa. Gli esemplari rinvasati in Air-pot, usando un substrato con una percentuale di inerti (perlite) del 70-80% addizionato con i microrganismi e funghi, hanno mostrato una crescita poderosa, fino a 80 cm di altezza totale in soli 6 mesi. Inoltre, questi esemplari non hanno effettuato più cicli di dormienza e ripresa vegetativa che ne condizionavano la crescita. Alcuni tuberi coltivati nella serra dell'Orto Botanico di Palermo sono morti per via delle condizioni ambientali più secche (ca. 50% di umidità), ma non quelli coltivati in associazione alle felci, che invece si sono perfettamente sviluppati. Il tempo medio di completa espansione di una foglia è stato calcolato equivalente in media a 13 giorni, con differenze legate alla dimensione dei tuberi, distinguendo tra tuberi piccoli (4 giorni), medi (12 giorni) e grandi (23 giorni). I trattamenti con microrganismi, invece, non sembrano influire sul tempo di distensione fogliare. Per i tuberi di grandi dimensioni, coltivati in associazione alle felci, il tempo medio si è ridotto a 5 giorni. L'analisi morfologica degli esemplari coltivati provenienti da una popolazione nuova rispetto ai dati di letteratura, quindi ancora non censita né studiata, ha in particolare permesso di accertare la costanza di un carattere peculiare, sia in habitat naturale che *ex situ*, rappresentato da un evidente colore violaceo scuro del picciolo. Le popolazioni conosciute del Sarawak, Brunei e Sabah presentano invece una colorazione del picciolo verde o al massimo porpora tendente al verde (Hotta 1967). In base allo stadio di crescita degli esemplari sono state riscontrate tre diverse colorazioni:

- le piante giovani, di piccole dimensioni, presentano una colorazione verde del picciolo, uguale a quella delle popolazioni del Borneo malese;
- le piante medio-adulte, di medie dimensioni, cominciano a manifestare piccole macchie viola scuro di 1-3 mm di diametro, con una notevole concentrazione nella parte inferiore del picciolo;
- le piante adulte, di grandi dimensioni, mostrano una colorazione diffusa viola scuro del picciolo fino a circa 4-5 cm al di sotto dell'inserzione alla base della foglia.

## Discussione

L'applicazione di batteri e funghi simbiotici negli esemplari di *A. robusta* ha favorito l'incremento della velocità di crescita e indotto una protezione maggiore dall'abbassamento notturno della temperatura durante il periodo invernale e in generale ha migliorato la risposta agli stress esterni. Inoltre, l'alternanza di cicli di dormienza e di ripresa vegetativa si è arrestata, in quanto gli esemplari hanno mantenuto costantemente la parte epigea. L'uso di Air-pot e di inerti nel substrato ha permesso una migliore ossigenazione del suolo e quindi del tubero. Anche l'aggiunta di felci ha contribuito in maniera positiva a evitare il marciume dei tuberi, di solito molto frequente; le radici, infatti, trattengono l'acqua in eccesso mantenendo un giusto tasso di umidità e riducendo il ristagno idrico. Inoltre, l'associazione con le felci ha migliorato la resistenza e la capacità di sviluppo dei tuberi in un ambiente più secco, cosa che, a causa del riscaldamento climatico, potrebbe verificarsi anche nell'habitat naturale; la presenza delle felci si rivela essenziale per la creazione di un microclima umido intorno ai tuberi di *A. robusta* grazie alle loro radici. È da segnalare un'ottima resistenza sia delle felci che di *Alocasia* a temperature molto elevate (fino a 38 °C) che non ne rallentano la crescita. Infine, le peculiari caratteristiche morfologiche riscontrate negli esemplari in coltivazione, in particolare il colore viola scuro del picciolo, si mantiene costante sia in natura, che in coltivazione, e non risulta influenzato da parametri ambientali, né a livello climatico né a livello edafico. Nel complesso, le indagini svolte hanno permesso di incrementare le conoscenze, relativamente scarse, sul comportamento fenologico di questa specie, sui metodi più idonei per la conservazione *ex situ*, anche al di fuori del contesto tropicale, e sulle risposte della crescita e della sopravvivenza delle piante a possibili cambiamenti climatici. Ulteriori analisi sono in corso per testare le interazioni biotiche nel caso dei substrati arricchiti con microrganismi, funghi o felci.

### Letteratura citata

Hotta M (1967) Notes on Bornean plants. Acta Phytotaxonomica et Geobotanica 22: 159.

*Candidato:* Tancredi Fogazza

*Relatrice:* Cristina Salmeri

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche, Chimiche e Farmaceutiche, Università di Palermo, Viale delle Scienze snc, Ed. 16, 90128 Palermo

*Anno di discussione:* 2021

## Analisi morfometrica e dei parametri di crescita di *Amorphophallus titanum* in coltivazione

G. Maniscalco

### Introduzione

Lo studio degli aspetti morfologici e fenologici di *Amorphophallus titanum* Becc. in coltivazione al di fuori del contesto ambientale naturale, indagandone le specifiche esigenze colturali e le risposte a condizioni di stress ambientale, permette di costruire solide basi per le azioni di conservazione *ex situ* della specie, ad oggi in forte declino a causa delle pressioni antropiche (Hadiah 2018).

Lo scopo principale di questa ricerca è quello di definire un modello di sviluppo ottimale della specie in coltivazione ed individuare quali fattori ambientali ne migliorino lo sviluppo e la crescita e quali, invece, rappresentino dei fattori limitanti per la formazione di piante adulte a partire da seme. A tale scopo sono state analizzate in dettaglio le caratteristiche morfologiche e il comportamento fenologico della pianta in ambienti controllati, tramite monitoraggio e misurazione dei principali parametri di crescita anche in funzione di diversi substrati di coltivazione.

### Materiali e Metodi

Il materiale utilizzato per la sperimentazione è rappresentato da 59 semi di *A. titanum*. Un primo lotto di 19 semi è stato seminato nel marzo 2020 in uno stesso tipo di substrato (Mix 1), costituito da perlite 40%, vermiculite 40% e terra 20%, e mantenuto in una serra caldo-umida privata, riscaldata mediante due stufe a pellet non canalizzate (15 Kw/h e 10 Kw/h), con temperatura media di circa 25 °C e umidità del 70-80%. Un secondo lotto di 40 semi è stato impiantato nel dicembre 2020, in una seconda serra caldo-umida presso l'Orto Botanico di Palermo, mantenuta a temperatura media di 28 °C e umidità costante in media del 63%; i semi sono stati piantati in 4 mix differenti di substrato, 10 semi per ogni tipologia di substrato: a) Mix 1: 40% perlite, 40% vermiculite, 20% terra; b) Mix 2: 50% perlite, 20% sabbia, 30% terra; c) Mix 3: 60% zeolite, 40% terra; d) Mix 4: 80% pomice di grana grossolana, 20% terra.

Sugli esemplari derivati dal primo lotto di semi, a circa 9 mesi dalla semina, è stata condotta un'analisi morfometrica utilizzando 21 parametri vegetativi relativi alla pianta intera ed a sue parti discriminanti, come il tubero e la foglia, unitamente alla durata della quiescenza e della persistenza della parte epigea, come di seguito riportato: - altezza totale dell'individuo (misurata da terra sino alla punta della lamina più alta); - larghezza totale dell'individuo (diametro massimo della chioma, misurata tra le punte di due lamine fogliari opposte); - dimensioni del tubero (altezza e larghezza); - numero e lunghezza delle radici; - lunghezza del picciolo (misurata da terra sino al punto di dissezione); - diametro del picciolo, sia alla base che alla sommità (poco sotto il punto di dissezione della lamina); - lunghezza e larghezza del rachide fogliare; - lunghezza e larghezza della lamina fogliare.

Per i campioni del secondo lotto, è stata dapprima condotta l'analisi morfometrica delle caratteristiche dei semi (parametri di taglia, forma e colore) mediante foto-acquisizione e analisi di immagine (ZEISS AxioVision Rel. 4.8). Inoltre, è stata monitorata l'emergenza e la crescita delle plantule, mediante misurazioni con calibro, eseguite ad intervalli di 5 giorni, dei parametri morfologici rilevabili in fase iniziale, ovvero altezza del germoglio, larghezza alla base del germoglio, numero di catafilli.

### Risultati

Le analisi morfometriche condotte sui 19 esemplari del primo lotto hanno evidenziato una crescita piuttosto

omogenea e regolare. L'altezza media degli esemplari, a circa 8 mesi dalla semina, è 37 cm, con valori minimi e massimi che vanno da 8,5 a 58 cm per i campioni in vegetazione. Il diametro maggiore del tubero è risultato in media circa 11 mm, con un range da 4 a 20,5 mm. L'analisi di regressione lineare, sia bivariata (dimensione pianta/dimensione tubero), sia multivariata (parametri dimensionali delle piante / parametri dimensionali tubero), non ha mostrato al momento correlazioni significative tra la crescita degli esemplari e le dimensioni originarie del bulbo. La protrusione della radichetta e la formazione del tubero si sono osservate circa un mese dopo la semina, mentre la completa emersione della pianta è avvenuta a distanza di 2 mesi. La crescita delle piante si è arrestata attorno al mese di agosto, ma la parte aerea è rimasta persistente. A distanza di un anno dalla semina, purtroppo gran parte di questi primi esemplari, tutti mantenuti nel substrato del tipo Mix 1, sono deceduti per marcescenza del tubero; ne sono sopravvissuti solamente 4. Le analisi morfometriche condotte sui 40 semi del secondo lotto hanno evidenziato una distribuzione normale relativamente alla taglia dei semi che in media risultano grandi  $31 \pm 3,4 \times 13 \pm 1,4$  mm, con una lunghezza che varia da ca. 38 a 24 mm e una larghezza che va da 16,5 a 10,5 mm. I semi pesano in media  $2 \pm 0,5$  g, con un range che varia da 3,2 a 1 g, mentre il volume è in media  $283 \pm 78,5$  cm<sup>3</sup> con un minimo di 152 cm<sup>3</sup> e un massimo di 504 cm<sup>3</sup>. Quasi tutti i semi, posti in vaso con substrati di diverso tipo, hanno avviato la crescita delle plantule. Relativamente all'influenza della natura dei substrati di coltivazione sulla crescita generale delle plantule a parità di condizioni ambientali, i risultati mostrano che il primo substrato (Mix 1) ha comportato una risposta di crescita maggiore e ben più rapida rispetto agli altri 3 mix. Analizzando l'andamento di crescita delle plantule nel complesso, indipendentemente dal substrato, si è notato come questo sia stato pressoché omogeneo nel tempo per tutti gli individui, con un incremento maggiore all'ultima rilevazione. Per verificare se la diversa natura dei substrati avesse un'influenza significativa sulla crescita degli individui è stata effettuata un'analisi della varianza in funzione sia dei soli substrati, sia dei substrati anche in rapporto al fattore tempo, applicando per i confronti multipli sia il Test di Tukey (HSD: Honestly Significant Difference), sia il Test di Fisher (LSD: Least Significant Difference) e quello di Bonferroni, tutti a un livello di significatività del 95%. I risultati indicano per tutte le comparazioni una differenza significativa degli effetti del primo substrato rispetto agli altri tre utilizzati.

### Discussione

Dalle informazioni raccolte durante il periodo di crescita degli esemplari a partire da seme è stato possibile comprendere meglio quali fossero le esigenze ambientali della specie, riuscendo a tenere traccia dello sviluppo delle piante e a monitorarne la morfometria sin dalle prime fasi di emergenza. Le informazioni raccolte possono essere adoperate come base per determinare quali condizioni colturali influiscano positivamente o negativamente sulla crescita di *A. titanum* e sullo stato generale di salute delle piante in coltivazione. Il substrato 1 è quello che nel tempo sembra garantire una crescita più rapida delle piante, anche se nel complesso la crescita delle plantule, soprattutto nelle prime fasi, non mostra differenze statisticamente significative per i 4 diversi substrati utilizzati, che rappresentano valide alternative compatibili con una buona crescita delle piante. Rispetto al substrato 1, più comunemente adoperato, le altre varianti testate presentano una traspirazione intrinseca superiore, grazie alla maggiore presenza di inerti che quindi non solo non compromettono la crescita, ma, nel lungo periodo, potrebbero avvantaggiare la conservazione del tubero, spesso soggetto a marciumi a causa di uno scarso ricambio d'aria nel substrato (Lobin et al. 2007). Le piante cresciute unicamente nel substrato tradizionale (Mix 1), infatti, a circa un anno dalla semina (primo lotto) hanno subito una marcata moria che potrebbe essere dipesa da una scarsa traspirazione del substrato con conseguente marcescenza del tubero in piante a maggiore accrescimento. Il testare la risposta a substrati diversi può quindi rivelarsi una strategia vincente per un'ottimale propagazione e una efficiente conservazione *ex situ* della specie, oggi gravemente minacciata.

### Letteratura citata

- Hadijah JT (2018) IUCN Red List of Threatened Species: *Amorphophallus titanum* [WWW Document]. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/search?query=Amorphophallus%20titanum%20&searchType=species>
- Lobin W, Neumann M, Radscheit M, Barthlott W (2007) The cultivation of Titan arum (*Amorphophallus titanum*) – A flagship species for Botanic Gardens. *Sibbaldia* 5: 69-86.

*Candidato:* Gabriele Maniscalco

*Relatrice:* Cristina Salmeri

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche, Chimiche e Farmaceutiche, Università di Palermo, Viale delle Scienze snc, Ed. 16, 90128 Palermo

*Anno di discussione:* 2021

## Ricostruzione della storia invasiva di due piante acquatiche attraverso dati d'erbario: il caso studio di *Elodea canadensis* Michx. ed *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John in Italia

M. Barbero

### Introduzione

Gli erbari forniscono un'immensa mole di dati che possono essere utilizzati nei modi più disparati. La descrizione della biodiversità del passato può essere uno strumento per individuare patterns applicabili a problematiche odierne. Nell'approcciarsi ai dati da erbario è particolarmente importante conoscerne gli errori per prevedere la distorsione dei risultati e utilizzarli come guida rispetto alle domande da porre al dataset. Lo scopo di questo lavoro è quello di ricostruire una storia invasiva utilizzando i dati forniti da erbari italiani ed evidenziando gli errori che li affliggono. A tal fine i casi studio selezionati sono relativi ad *Elodea canadensis* Michx. ed *Elodea nuttallii* (Planch.) H.St. John.

### Materiali e Metodi

Le due specie di *Elodea* sono state selezionate per la loro lunga storia invasiva in Italia e perché sono ben rappresentate negli erbari. I dati, provenienti da 47 fonti, includono campioni da erbario, pubblicazioni e segnalazioni. Le informazioni contenute comprendono generalmente: dati sul raccoglitore, data di raccolta, luogo di raccolta e note aggiuntive. La costruzione del dataset per *E. canadensis* ed *E. nuttallii* ha inizio con l'armonizzazione dei dati, forniti originariamente in formati vari. Come parte di questo processo i dati sono stati georeferenziati in mancanza di coordinate fornite. La nuova organizzazione del dataset inoltre fa distinzione tra le fonti (erbari, pubblicazioni e segnalazioni), attribuisce un livello di precisione alla data e alla localizzazione fornita, e classifica gli habitats in macrocategorie, tutto questo agevola l'interazione con il dataset e lo svolgimento di analisi statistiche. I dati così georeferenziati sono stati mappati e inseriti in una griglia di 10×10 km (Cervellini et al. 2020). Il possibile errore di raccolta, legato alla natura non sistematica della raccolta di campioni per erbario, è stato testato utilizzando un grafico che vede il logaritmo cumulativo del numero di quadranti occupati all'ordinata e gli anni all'ascissa (Crawford, Hoagland 2009). Di quest'ultimo sono state confrontate le rette di regressione lineare per dati riguardanti campioni da erbario e pubblicazioni, la pendenza della retta è indice della somma di due fattori: il tasso di espansione della specie e l'errore di raccolta; dal momento che si stanno confrontando dati della stessa specie, ma con origini diverse, il tasso di espansione sarà lo stesso e l'eventuale differenza di pendenza sarà quindi da attribuire all'errore di raccolta. Infine, sono state costruite curve di invasione con la somma cumulativa di quadranti occupati sull'ordinata e gli anni sull'ascissa (Crawford, Hoagland 2009, Antunes, Schamp 2017).

### Risultati

I dati riguardanti *E. canadensis* ed *E. nuttallii* sono prevalentemente provenienti dal Nord Italia, con un picco di dati provenienti dall'erbario di Brescia (201 su 1132). Le mappe di distribuzione mostrano come *E. canadensis* sia stata segnalata per la prima volta nel 1857 nella provincia di Vercelli; successivamente l'espansione della specie proseguirà in tutto il nord Italia (prevalentemente in Veneto e Lombardia), con sporadiche segnalazioni nel centro e sud. *E. nuttallii* è segnalata per la prima volta nel 1989 nel lago d'Idro, per poi espandere il suo areale a Lombardia e Veneto; appare sporadicamente nelle altre regioni del nord e in Emilia-Romagna, senza interessare il sud. Il confronto tra le rette di regressione restituisce una differenza di pendenza non significativa per entrambe le specie. La curva di invasione di *E. canadensis* mostra un andamento singolare con due fasi di espansione distinte, mentre la curva di *E. nuttallii* presenta una fase di adattamento seguita da una di espansione.

### Discussione

La distribuzione nelle città di Pisa e Roma suggerirebbe una correlazione tra la presenza della specie nei rispettivi orti botanici e la sua successiva diffusione nelle zone limitrofe. Gli errori incontrati nell'osservazione del dataset sono molteplici:

- sottostima del tempo di introduzione (probabilmente dovuta ad un iniziale errore nell'identificazione di *E. nuttallii*);
- identificazione tassonomica errata (la conservazione dei campioni fisici gioca un ruolo fondamentale nella correzione di questo errore, garantendo la possibilità di riesame);
- lo sforzo di raccolta varia a seconda della stagione, del territorio e del raccoglitore;
- mancanza di dati spaziali o temporali;
- assenza di un formato prestabilito per l'etichettatura del campione (ciò rende il formato in cui vengono

presentati e le informazioni contenute variabili a seconda dell'istituzione di provenienza, impedendo un confronto agevole).

La differenza di pendenza non significativa fra le rette di regressione lineare indica un errore di raccolta trascurabile e quindi come la disomogeneità nella frequenza di raccolta per area venga mitigata dall'applicazione di una griglia, che va a ridurre la ridondanza di dati in un singolo quadrante e può di conseguenza essere impiegata per la costruzione di curve di invasione. La letteratura suggerisce sia avvenuta una sostituzione di *E. canadensis* da parte di *E. nuttallii* (Simpson 1990, Erhard, Gross 2006, Zehnsdorf et al. 2015), ciò tuttavia non traspare dalle curve di invasione: *E. canadensis* mostra una fase di espansione coincidente con quella di *E. nuttallii*. Questa corrispondenza potrebbe essere indice di un effettivo aumento del tasso di espansione di *E. canadensis* (dovuto, per esempio, alla conquista di nuovi habitat) oppure di un errore di identificazione di esemplari di *E. nuttallii*. In entrambe le specie la fase di espansione risulta rallentata nell'ultimo decennio, facendo presumere l'avvicinarsi della fase di plateau. Nonostante la presenza di errori che potrebbero intaccare i risultati, i dati da erbario opportunamente elaborati possono essere di grande utilità per identificare la fase invasiva in cui si trova una specie alloctona. Gli erbari italiani possono vantare secoli di attività e rappresentano un'instimabile fonte di informazioni troppo spesso sottovalutate. Ottenere dei dataset armonici e comparabili permetterebbe l'accesso a una banca dati di dimensioni ragguardevoli che può essere impiegata per molteplici scopi: dall'indagine storica all'individuazione di pattern di espansione, passando per tutte le possibili forme di studio a cui più di tre secoli di dati e campioni possono essere sottoposti.

#### Letteratura citata

- Antunes PM, Schamp BS (2017) Constructing standard invasion curves from herbarium data – Towards increased predictability of plant invasions. *Invasive Plant Science and Management* 10: 293-303.
- Cervellini M, Zannini P, Di Musciano M, Fattorini S, Jiménez-Alfaro B, Rocchini D, Field R, Vetaas OR, Irl SDH, Beierkuhnlein C, Hoffmann S, Fischer J-C, Casella L, Angelini P, Genovesi P, Nascimbene J, Chiarucci A (2020) A grid-based map for the Biogeographical Regions of Europe. *Biodiversity Data Journal* 8: e53720.
- Crawford PHC, Hoagland BW (2009) Can herbarium records be used to map alien species invasion and native species expansion over the past 100 years? *Journal of Biogeography* 36: 651-661.
- Erhard D, Gross EM (2006) Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phytoplankton. *Aquatic Botany* 85: 203-211.
- Simpson DA (1990) Displacement of *Elodea canadensis* Michx by *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St John in the British Isles. *Watsonia* 18: 173-177.
- Zehnsdorf A, Hussner A, Eismann F, Rönike H, Melzer A (2015) Management options of invasive *Elodea nuttallii* and *Elodea Canadensis*. *Limnologica* 51: 110-117.

*Candidata*: Martina Barbero

*Relatrice*: Giovanna Pezzi

*Correlatori o Relatori esterni*: Carla Lambertini, Fabrizio Buldrini

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, Via Irnerio 42, 40126 Bologna

*Anno di discussione*: 2021

## Analisi floristica e proposta di miglioramento di un'area verde privata: il Parco Giardino "Trapani Lombardo" del Circolo di Società di Reggio Calabria

S. Tassone

### Introduzione

La vegetazione viene considerata come un elemento insostituibile ed imprescindibile per il buon funzionamento di un contesto sociale, svolgendo funzioni salutari ed architettoniche di prioritaria importanza. Le aree verdi se ben concepite e correttamente gestite possono fornire una serie di servizi ecosistemici essenziali (Chiesura 2009). A soddisfare le necessità urbane, a poco servono i singoli alberi e qualche aiuola sofferente; molto può fare invece la presenza di "boschi urbani", di parchi e l'agricoltura urbana che, se ben rapportate e distribuite, possono alleviare sicuramente la condizione termica a cui le città sono sottoposte (Barbera 2017). L'area verde privata oggetto di studio è situata ad Archi, quartiere a Nord di Reggio Calabria, ed è caratterizzata da un clima di tipo mediterraneo; l'associazione di estati secche con inverni piovosi rappresenta un carattere peculiare di questo tipo di clima. La presenza del mare, inoltre, influenza notevolmente il clima, e determina escursioni termiche giornaliere ed annue modeste (nell'ordine di 20 °C). La Calabria, per via della presenza di due mari e

per la grande catena montuosa che l'attraversa, contiene una notevole varietà di microclimi che ne caratterizzano il territorio (Berlecci et al. 2006).

### Materiali e Metodi

Gli obiettivi di questo lavoro comprendono la classificazione tassonomica delle specie rilevate, la mappatura delle specie all'interno delle aiuole, un elaborato CAD (Computer Aided Design) della mappatura delle piante e delle proposte che potrebbero migliorare gli aspetti ornamentali di questo grande giardino privato. L'area oggetto di studio occupa una superficie di circa un ettaro ed al suo interno sono collocate diverse strutture ricettive, tra cui fabbricati, varie aree sportive e una piscina, il tutto immerso in un giardino composto da diverse specie vegetali che caratterizzano due distinti strati; quello arboreo, composto dagli individui con portamento arboreo, quello arbustivo composto da individui con portamento arbustivo ed erbaceo e/o rinvenuti in vaso. L'intera area è stata suddivisa in sei aiuole distinte in base a caratteri dimensionali, morfologici, floristici o in base agli elementi topografici più rilevanti e che subito apparivano evidenti (dislivelli, cordoli, bordure, etc.). Per la fase preliminare di campionamento sono risultate necessarie: le mappe delle aiuole in cui annotare il numero progressivo della pianta rilevata; tabelle appositamente preparate, dove si inseriva la specie individuata, l'eventuale varietà, la famiglia, la posizione sulla mappa di riferimento e i dati morfologici necessari per eventuali riconoscimenti successivi. In questo modo è stato possibile costruire un archivio di piante per ogni aiuola rilevata, correlato con un abbozzo di mappa con la posizione in cui le piante risultavano collocate. Per la fase di posizionamento si è utilizzato un programma di tipo CAD (Computer Aided Design) in cui è stato possibile sovrapporre un'ortofoto di QGIS (Quantum GIS) con il file DWG del Circolo di Società. Attraverso questo metodo la posizione delle piante precedentemente individuata nella fase di campionamento è stata successivamente riportata all'interno della specifica aiuola in ambiente CAD prendendo come riferimento le piante facilmente visibili dall'ortofoto. Gli individui rilevati sono stati inseriti in ambiente CAD utilizzando dei loghi appositamente costruiti; questi sono sempre correlati con un numero ID (identificativo del taxon). Le piante che man mano costruivano la mappa sono state archiviate mediante dei fogli digitali di Microsoft Excel® in cui, per ogni individuo rilevato veniva identificato: il *taxon*, il nome comune, la famiglia, il tipo corologico, la forma biologica, l'origine, l'esoticità, l'aiuola, lo strato ed il C.ID.U. (codice identificativo univoco). Quest'ultimo è composto rispettivamente dal codice ID del taxon, dal numero dell'aiuola in cui è stato rilevato e dal numero progressivo dell'individuo rilevato all'interno di una specifica aiuola; attraverso questo codice è possibile risalire alla posizione dell'individuo sulle mappe delle aiuole che compongono il Parco Giardino.

### Risultati

Nell'area di studio sono stati censiti 461 individui riconducibili a 100 taxa distinti (includendo specie, sottospecie, varietà, cultivar e ibridi), appartenenti a 80 generi inclusi in 49 famiglie. Tutti i risultati ottenuti sono riferibili sia agli individui censiti sia ai taxa censiti. Tra i taxa censiti, i più rappresentati sono quelli appartenenti al genere *Ficus* L. (4 taxa), seguiti dai generi *Aloë* L., *Citrus* L., *Phoenix* L. e *Salvia* L. (3 taxa ciascuno). Gli individui censiti (e i relativi taxa) sono riconducibili a 11 forme biologiche e 14 tipi corologici. Se riferita agli individui censiti, la forma biologica più rappresentata è quella delle Fanerofite scapose (P scap) con il 29% degli individui, seguita da Fanerofite cespitose (P caesp) con il 27%, da Nano fanerofite (NP) con il 20% e da Fanerofite lianose (P lian) con il 17%. La restante parte (> 5%) risulta essere costituita da Fanerofite succulente (P succ), Fanerofite lianose (P lian), Emicriptofite scapose (H scap), Geofite bulbose (G bulb), Camefite succulente (Ch succ), Camefite fruticose (Ch frut). Se la forma biologica è riferita ai taxa censiti le P scap rappresentano il 39%, le P caesp il 25%, le NP il 16% e le P lian e le G rhiz (Geofite rizomatose) il 6% ciascuna. Minore del 2%, invece, è la percentuale di P succ, H scap, G bulb, Ch succ e Ch frut. Se riferito agli individui, il tipo corologico più numeroso risulta essere quello mediterraneo (105 individui), seguito dal tipo americano (84 individui) e dal tipo avventizio (58 individui). È presente, inoltre, un elevato numero di individui (102) per i quali non è stato possibile risalire al tipo corologico (ND), in quanto trattasi di entità generiche (es. *Rosa* sp.), ibridi (es. *Abelia* × *grandiflora* (Rovelli ex André) Rehd.) o alcuni taxa alloctoni di origine incerta. Se questi dati vengono confrontati con i tipi corologici dei singoli taxa, si può notare, invece, che il più rappresentato è il tipo americano (18 taxa), seguito da quello mediterraneo (16), dal tipo euroasiatico e da quello avventizio (rispettivamente con 12 e 10). Anche in questo caso, è presente un elevato numero di taxa (19) per i quali non è disponibile un dato corologico certo (ND). Dal punto di vista dell'origine geografica dei singoli individui, 96 di essi (21%), riconducibili a 15 taxa (15%), sono risultati essere autoctoni (e quindi Entità Indigene), mentre 365 individui (79%), riconducibili a 85 taxa (85%), sono alloctoni. In particolare, di questi ultimi, 53 individui sono Archeofite (11%) e 224 sono Neofite (49%). Più nel dettaglio, tra le Archeofite 19 sono casuali (4%) e 34 naturalizzate (7%). Invece, tra le Neofite 127 sono casuali (28%), 64 naturalizzate (14%) e 33 invasive (7%). Infine, 88 individui (19%) sono risultati appartenere a specie alloctone non riscontrate in Italia allo stato spontaneo (ND). L'esoticità riferita ai taxa risulta essere: 24% Neofite casuali, 22% Neofite naturalizzate, 9% Neofite invasive, 5% Archeofite casuali,

8% Archeofite naturalizzate, 15% Entità indigene ed infine 17% ND. Per quanto riguarda la diversità floristica, la più ricca risulta essere l'aiuola N° 3 con 46 taxa presenti (27%), seguita dall'aiuola N° 2 con 36 taxa (21%), dall'aiuola N° 4 con 32 taxa (19%), dall'aiuola N° 1 con 30 taxa (18%), dall'aiuola N° 5 con 18 taxa (11%) ed infine dall'aiuola N° 6 con soli 7 taxa (4%). L'aiuola più densamente popolata risulta essere l'aiuola N° 4 con 115 individui (25%), seguita dall'aiuola N° 2 con 100 individui (22%), dall'aiuola N° 3 con 84 individui (18%), dall'aiuola N° 5 con 64 individui (14%), dall'aiuola N° 1 con 56 individui (12%) e dall'aiuola N° 6 con 42 individui (9%). In base ai dati raccolti ed alla loro elaborazione, ed in base alle caratteristiche osservate all'interno del parco giardino, si è deciso di proporre delle modifiche di tipo floristico-stilistico, per consentire di migliorare gli aspetti ornamentali delle aiuole. All'interno del giardino sono state rilevate delle aree che, se pur potenzialmente valide dal punto di vista ornamentale e della fruibilità, risultano invece poco frequentate. A tal fine sono state appositamente ideate delle opere che potrebbero apportare notevoli migliorie agli aspetti ornamentali di questo giardino. In seguito vengono elencate le seguenti proposte di miglioramento: per l'aiuola N°1 la corretta gestione delle potature dei rampicanti e l'inserimento di apposite etichette botaniche; per l'aiuola N°2 la gestione delle piante rampicanti, la sistemazione della presa idrica, l'infoltimento della fioriera e la perimetrazione delle aiuole mediante materiali eco-compatibili; per l'aiuola N° 3 è stato previsto un percorso di piante aromatiche composto prevalentemente da piante tipiche mediterranee, come la lavanda vera (*Lavandula angustifolia* Mill.), il rosmarino (*Salvia rosmarinus* Spenn.), la salvia domestica (*Salvia officinalis* L.), la menta piperita (*Mentha × piperita* L.), la maggiorana (*Origanum majorana* L.), l'origano comune (*Origanum vulgare* L.), la sistemazione della zona delle piante succulente e di quella agrumicola; per l'aiuola N° 4 il rinfoltimento del filare di rose e l'inserimento di un aranceto ornamentale; per l'aiuola N° 5 è stata prevista la perimetrazione delle aree verdi, il rinfoltimento dell'area parcheggio a *Nerium oleander* L. e l'inserimento di una barriera naturale a protezione della "zona logistica"; per l'aiuola N° 6 è stata prevista la sistemazione degli spazi verdi adiacenti la zona sportiva. Al piano primo dell'edificio principale inoltre è stato previsto un giardino pensile caratterizzato dalla presenza di due specie arboree dominanti: olivo (*Olea europea* L.) e melograno (*Punica granatum* L.) e da piante aromatiche, come la lavanda vera (*Lavandula angustifolia* Mill.) e la salvia domestica (*Salvia officinalis* L.).

### Discussione

Si può notare che in entrambi i casi (sia se riferito agli individui, che riferito ai taxa) tra le forme biologiche le fanerofite scapose (P scap) prevalgono nettamente rispetto alle altre, facendoci dedurre che vi è una presenza importante di piante arboree. Inoltre, dando uno sguardo ai tipi corologici si può dedurre che il Parco Giardino "Trapani Lombardo" possiede nel complesso la maggior parte delle piante con tipo corologico mediterraneo: ciò consente una più facile gestione colturale delle piante appartenenti a questo tipo in quanto esse si trovano in un ambiente che dal punto di vista climatico risulta favorevole alla loro crescita. Le proposte di miglioramento hanno come scopo la possibilità di arricchire dal punto di vista ornamentale parte dell'area esaminata al fine di renderla più facilmente fruibile, più ricca in elementi floristici, più ordinata nel suo complesso e con più particolarità tali da stimolare nel fruitore una maggiore curiosità ed allo stesso tempo una migliore sostenibilità della stessa.

### Letteratura citata

- Barbera G (2017) *Abbracciare gli Alberi*. Il Saggiatore. 259 pp.  
Berlecci C, Casella L, Colacino M, Federico S (2006) *Il clima della Calabria*. Aracne. 124 pp.  
Chiesura A. (2009) *Gestione ecosistemica delle aree verdi urbane: analisi e proposte*. ISPRA, Roma. 68 pp.

*Candidato:* Salvatore Tassone

*Relatore:* Carmelo Maria Musarella

*Correlatore o Relatore esterno:* Giovanni Spampinato

Dipartimento di Agraria, Università "Mediterranea" di Reggio Calabria, Località Feo di Vito, 89122 Reggio Calabria

*Anno di discussione:* 2021

## La flora endemica dei monti Nebrodi: caratteristiche tassonomiche ed ecologiche

E. Ligato

### Introduzione

Il presente lavoro di tesi prende in considerazione la flora vascolare endemica dei monti Nebrodi, una catena montuosa collocata nella parte centro-settentrionale della Sicilia, tra i monti Peloritani ad est e le Madonie ad

ovest. In relazione alla suddivisione fitogeografica della Sicilia di Brullo et al. (1995), l'area di studio fa parte del "distretto nebrodese", che appartiene al "sotto-settore nord-orientale", al "settore eusiculo" del "dominio siculo". Il territorio in esame, che ricade in gran parte all'interno del Parco Regionale dei Nebrodi, è caratterizzato da una notevole varietà di ambienti che ospitano un ricco patrimonio floristico, solo in parte tutelato da leggi e normative regionali, nazionali o comunitarie.

### Materiali e Metodi

L'elaborato è stato condotto attraverso indagini bibliografiche e d'erbario finalizzate al censimento della flora vascolare endemica dei monti Nebrodi. In particolare, sono stati presi in considerazione gli aggiornamenti floristici e tassonomici che hanno portato alla realizzazione di diverse checklist, sia per la Sicilia sia per l'intero territorio nazionale (Giardina et al. 2007, Raimondo et al. 2010, Peruzzi et al. 2014, Bartolucci et al. 2018). Sono stati considerati anche gli studi sulla flora endemica di altri territori siciliani, come i monti Peloritani (Sciandrello et al. 2015) ed i monti Iblei (Brullo et al. 2011), gli studi sulle emergenze floristiche e vegetazionali del Parco dei Nebrodi (Schicchi 2004, Giardina 2008) ed i siti web sulla flora siciliana (Cambria 2012).

Attraverso una comparazione dei dati disponibili è stato possibile redigere una lista aggiornata della flora vascolare endemica nebrodese, includendo il binomio scientifico aggiornato, in accordo a Pignatti et al. (2017-2019), la famiglia di appartenenza, il corotipo, la forma biologica in base al sistema di Raunkjær, il tipo di habitat, lo stato di conservazione in relazione ai criteri della IUCN (2018), l'inserimento tra gli allegati alla Direttiva Habitat ed alla CITES. Per ciascun endemita sono stati riportati la distribuzione, con particolare riguardo per la scala regionale, e lo status di conservazione in accordo con i criteri della IUCN, confrontando le liste rosse regionali e nazionali (Conti et al. 1997, Scoppola, Spampinato 2005, Rossi et al. 2013, Orsenigo et al. 2018).

### Risultati

Lo studio svolto ha permesso di riferire alla flora dei Nebrodi 80 taxa endemici specifici e infraspecifici, di cui 52 specie e 28 sottospecie, distribuite in 25 famiglie. Le famiglie più ricche di endemismi sono risultate le Asteraceae con 13 taxa, le Lamiaceae con 7 taxa e le Brassicaceae con 6 taxa. L'analisi dello spettro biologico della flora endemica censita ha evidenziato che il gruppo più rappresentativo è costituito dalle emicriptofite con il 46% dei taxa, seguite dalle geofite con il 20%, camefite 13% e fanerofite 12%. Lo spettro ecologico ha evidenziato che la maggior parte delle specie esaminate è localizzata nei pascoli montani (30%) e nei boschi (24%); tali ambienti assumono, quindi, un'importanza notevole nella conservazione delle specie endemiche. Il confronto tra habitat e forma biologica ha messo in evidenza che, sia nei pascoli montani, sia nelle aree boschive, la forma biologica che predomina è quella emicriptofitica. Lo stato di conservazione di 6 specie rientra nelle categorie di minaccia; si tratta di: *Euphorbia gasparrinii* Boiss. subsp. *gasparrinii* (CR, gravemente minacciata), *Aristolochia sicula* Tineo e *Petagnaea gussonei* (Spreng.) Rauschert (EN, minacciata), *Callitriche truncata* Guss. subsp. *occidentalis* (Rouy) Braun-Blanq., *Fraxinus excelsior* L. subsp. *siciliensis* Ilardi & Raimondo e *Gagea chrysantha* Schult. & Schult.f. (VU, vulnerabile). Prossimi ad essere minacciati (NT, quasi minacciata) sono 9 taxa, mentre per 13 specie non è disponibile alcuna valutazione (NE, non valutata). La maggior parte dei taxa censiti (62%) è classificata come LC (minore preoccupazione).

Sono state prese in considerazione anche le specie protette da normative internazionali e solo 2 sono tutelate dalla Direttiva Habitat: *Leontodon siculus* (Guss.) Nyman, con codice 1790\*, specie di tipo prioritario, e *Petagnaea gussonei*, con codice 1602, classificate rispettivamente come NT (Quasi Minacciata) e come EN (Minacciata) nella categoria della IUCN globale. Sono tutelate dalla Convenzione CITES tutte le orchidee, tra cui si rinvencono le endemiche *Ophrys lacaitae* Lojac., *Ophrys oxyrhynchos* Tod. subsp. *oxyrhynchos* e *Orchis brancifortii* Biv., distribuite in tutta la Sicilia, destando minore preoccupazione (LC) nella categoria IUCN.

Nella flora endemica in esame figurano sia elementi esclusivi della Sicilia, in particolare 35 taxa, di cui 2 presenti soltanto nel comprensorio nebroideo, sia non esclusivi, 40 taxa, quindi presenti anche nelle regioni vicine o entro i confini nazionali, sia subendemici, 5 taxa, presenti principalmente sul territorio italiano, ma con limitati sconfinamenti nei Paesi vicini.

I taxa endemici del distretto nebrodese sono condivisi soprattutto con i distretti madonita (71 taxa) e peloritano (56 taxa) e più in generale con il sotto-settore nord-orientale di cui fa parte, insieme al distretto etneo, con 49 taxa in comune, ed a quello eolico, con 21 taxa in comune. Il numero degli endemiti conferma, quindi, antichi collegamenti paleo-geografici tra il limite del distretto nebrodese e l'Arco Calabro Peloritano.

### Discussione

Lo scopo della tesi è stato quello di realizzare un inventario della flora vascolare endemica dei Nebrodi e di proporre interventi su alcune specie finalizzati alla salvaguardia dei loro habitat, assicurando al contempo lo svolgimento delle attività antropiche tradizionali non impattanti sull'ambiente. Tra le specie endemiche del territorio dei Nebrodi destano particolare interesse 3 taxa su cui centrare gli sforzi di conservazione, dei quali 2 esclusivi del comprensorio nebroideo, vale a dire *Centaurea heywoodiana* Raimondo, Spadaro & Di Grist.



(Raimondo et al. 2020), che rientra nella categoria NE (non valutata) della classificazione IUCN, presente nei pascoli, e *Fraxinus excelsior* L. subsp. *siciliensis* (Ilardi, Raimondo 1999), classificata come VU (vulnerabile), localizzata in alcune formazioni forestali mesofile molto localizzate. A queste è da aggiungere *Petagnaea gussonei*, specie relitta della flora Terziaria, localizzata lungo alcuni piccoli corsi d'acqua principalmente sui Nebrodi, ma anche in alcune aree confinanti dei monti Peloritani, valutata come EN (minacciata). Su queste specie andrebbero intraprese delle strategie di tutela mirate, salvaguardando i relativi habitats minacciati dalle attività antropiche che nel tempo ne hanno ridotto le popolazioni.

#### Letteratura citata

- 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.
- Brullo C, Minissale P, Sciandrello S, Spampinato G (2011) Phytogeographic survey on the endemic vascular flora of the Hyblaean territory (SE Sicily, Italy). *Acta Botanica Gallica* 158: 617-631.
- Brullo S, Minissale P, Spampinato G (1995) Considerazioni fitogeografiche sulla flora della Sicilia. *Ecologia Mediterranea*. 21: 99-117.
- Cambria S (2012) Vegetazione della Sicilia. <https://cambriasalvatore.wixsite.com/flora-della-sicilia/page2/> [accessed 10.01.2021].
- Conti F, Manzi A, Pedrotti F (1997) Liste Rosse Regionali delle Piante d'Italia. WWF Italia, Società Botanica Italiana, CIAS, Univ. Camerino. 139 pp.
- Giardina G (2008) Conoscere le piante dei Nebrodi. AG Edizioni, Catania. 178 pp.
- Giardina G, Raimondo F M, Spadaro V (2007) A catalogue of plants growing in Sicily. *Boccone* 20: 5-582.
- Ilardi V, Raimondo F M (1999) The genus *Fraxinus* L. (Oleaceae) in Sicily. *Flora Mediterranea* 9: 305-318.
- IUCN (2018) The IUCN Red List of Threatened Species 2018™.
- Orsenigo S, Montagnani C, Fenu G, Gargano D, Peruzzi L, Abeli T, Alessandrini A, Bacchetta G, Bartolucci F, Bovio M, Brullo C, Brullo S, Carta A, Castello M, Cogoni D, Conti F, Domina G, Foggi B, Gennai M, Gigante D, Iberite M, Lasen C, Magrini S, Perrino EV, Prosser F, Santangelo A, Selvaggi A, Stinca A, Vagge I, Villani MC, Wagensommer RP, Wilhelm T, Tartaglioni N, Duprè E, Blasi C, Rossi G (2018) Red Listing plants under full national responsibility: extinction risk and threats in the vascular flora endemic to Italy. *Biological Conservation* 224: 213-222.
- Peruzzi L, Conti F, Bartolucci F (2014) An inventory of vascular plants endemic to Italy. *Phytotaxa* 168: 1-75.
- 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).
- Raimondo F M, Domina G, Spadaro V (2010) Checklist of the vascular flora of Sicily. *Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata* 21: 189-252.
- Raimondo FM, Spadaro V, Di Cristina E (2020) *Centaurea heywoodiana* (Asteraceae), a new species from the Nebrodi Mountains (NE-Sicily). *Flora Mediterranea* 30: 369-376.
- 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.
- Schicchi R (2004) Materiali per una carta tematica delle emergenze floristiche e vegetazionali del Parco dei Nebrodi. *Naturalista Siciliano* 28: 139-163.
- Sciandrello S, Guarino R, Minissale P, Spampinato G (2015) The endemic vascular flora of Peloritani Mountains (NE Sicily): Plant functional traits and phytogeographical relationships in the most isolated and fragmentary micro-plate of the Alpine orogeny. *Plant Biosystems* 149: 838-854.
- Scoppola A, Spampinato G (Eds.) (2005) Atlante delle specie a rischio di estinzione. Versione 1.0. CD-Rom allegato al volume: Scoppola A, Blasi C (Eds.) Stato delle conoscenze sulla flora vascolare d'Italia. Palombi Editori, Roma. 256 pp.

*Candidato:* Eleonora Ligato

*Relatore:* Giovanni Spampinato

*Correlatore:* Carmelo Maria Musarella

Dipartimento di Agraria, Università "Mediterranea" di Reggio Calabria, Località Feo di Vito, 89122 Reggio Calabria

Anno di discussione: 2021

#### AUTORI

Eleonora Beccari, Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste, Via Licio Giorgieri 5, 34127 Trieste

Francesca Dolci, Dipartimento di Biologia, Università di Padova, Via Trieste 75, 35121, Padova

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

Luana Francesconi, Martina Barbero, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, Via Irnerio 42, 40126 Bologna

Francesca Panizzuti, Paolo Antonio Cara, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1 e 4, 20126 Milano

Lorenzo Ballini, Dipartimento di Biologia, Università di Firenze, Via Giorgio La Pira 4, 50121 Firenze

Silvia Giardini, Dipartimento di Biologia, Università di Pisa, Via Luca Ghini 13, 56126 Pisa

Tancredi Fogazza, Gabriele Maniscalco, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche, Chimiche e Farmaceutiche, Università di Palermo, Viale delle Scienze snc, Ed. 16, 90128, Palermo

Salvatore Tassone, Eleonora Ligato, Dipartimento di Agraria, Università "Mediterranea" di Reggio Calabria, Località Feo di Vito, 89122 Reggio Calabria

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

---