

Coesistenza tra produzione di riso e specie vegetali minacciate: il caso di *Marsilea quadrifolia* L. in Pianura Padana

Anna Corli¹, Simone Orsenigo¹, Renato Gerdol², Stefano Bocchi³, Alfons P. Smolders⁴, Lisa Brancaleoni², Maria Teresa Caffi¹, Thomas Abeli⁵, Graziano Rossi¹

¹Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università di Pavia, Via S. Epifanio 14, 27100 Pavia, Italia

²Dipartimento di Scienze della Vita e Biotecnologie, Università di Ferrara, Corso Ercole I d'Este 32, 44121 Ferrara, Italia

³Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali, Università di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano, Italia

⁴Dipartimento di Ecologia Acquatica e Biologia Ambientale, Istituto per la Ricerca sull'Acqua e sulle Zone Umide e Centro di Ricerca B-Ware, Università Radboud, Toernooiveld 1, 6525 ED Nimega, Olanda

⁵Dipartimento di Scienze, Università degli Studi Roma Tre, Viale Guglielmo Marconi 446, 00146 Roma, Italia

Riassunto

Marsilea quadrifolia L., comunemente conosciuta come quadrifoglio acquatico, è una felce tipica di ambienti umidi, considerata in passato un'infestante delle risaie dell'Europa meridionale. Tuttavia, l'avvento della Rivoluzione Verde a partire dagli anni '50 e il conseguente cambiamento delle pratiche agronomiche (tra le tante, l'utilizzo di prodotti chimici, la meccanizzazione e la rotazione semplificata) hanno portato a un drammatico declino della specie, tanto che attualmente è considerata in uno stato di conservazione sfavorevole nella maggior parte dei paesi Europei. Per tale motivo la specie è inserita negli Allegati II e IV della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e nell'Allegato I della Convenzione di Berna; a livello nazionale è classificata come "Minacciata" (*Endangered*, EN) nelle Liste Rosse della Flora Italiana.

Nelle risaie della Pianura Padana, dove viene prodotto oltre il 50% del riso europeo, sono state recentemente trovate alcune stazioni di *Marsilea quadrifolia*, probabilmente a seguito del miglioramento delle condizioni ambientali grazie da un lato alla coltivazione con metodo biologico e dall'altro ad un utilizzo di erbicidi più selettivi nelle coltivazioni convenzionali, come richiesto dalla Direttiva 2009/128/CEE. Tuttavia, la diffusione della specie in ambienti estremamente antropizzati può essere messa a repentaglio dalla frammentazione del paesaggio e dalle pratiche associate all'agricoltura intensiva.

Il mantenimento di uno stato favorevole di conservazione delle specie che vivono negli agro-ambienti, può scontrarsi con le necessità produttive degli agricoltori. Per tentare di risolvere questi conflitti, il Piano di Sviluppo Rurale (PSR), declinato dalla Politica Agricola Comune (PAC) dell'Unione Europea potrebbe offrire la possibilità di coniugare la conservazione di specie spontanee e la produttività agricola offrendo incentivi *ad hoc* per gli agricoltori.

Con l'obiettivo di stimolare l'adozione di misure specifiche per la conservazione di *M. quadrifolia*, abbiamo investigato la possibilità di coltivare con successo il quadrifoglio acquatico in risaie a diversa conduzione (biologico, in transizione, convenzionale) della provincia di Pavia. Dopo aver introdotto zolle di *M. quadrifolia* in diverse risaie, sono stati monitorati i dati relativi a crescita e diffusione della specie, così come variabili eco-fisiologiche e ambientali. Durante la sperimentazione gli agricoltori hanno gestito il campo come di consueto, adottando l'utilizzo di fertilizzanti ed erbicidi nelle risaie a conduzione convenzionale.

Questo studio ha dimostrato che la coltivazione di *M. quadrifolia* in risaie a conduzione biologica rappresenta un'importante opportunità per preservare la specie dall'estinzione; tuttavia, il quadrifoglio acquatico è in grado di sopravvivere anche in risaie convenzionali caratterizzate da un ridotto apporto di erbicidi. Le differenze nel chimismo delle acque tra i sistemi di conduzione non hanno influito sulla performance di *M. quadrifolia*. Le condizioni di ombreggiamento create dalla copertura del riso hanno garantito un micro-habitat adatto alla crescita di *M. quadrifolia* rispetto a condizioni di completa assenza del riso. Le aree aperte vengono infatti rapidamente colonizzate da specie invasive esotiche quali *Heteranthera reniformis* Ruiz & Pav., *Ammannia coccinea* Rottb. e *Cyperus microiria* Steud, la cui presenza influisce negativamente su *Marsilea quadrifolia*.

Dato che la specie è tutelata a livello europeo e la sua conservazione è obbligatoria, un piano di gestione è urgente e deve necessariamente prendere in considerazione sia i requisiti ecologici della specie, che le esigenze delle parti interessate (es: agricoltori, proprietari terrieri). Si suggerisce dunque che incentivi agroambientali *ad hoc*, previsti nell'ambito del PSR possano rappresentare un valido strumento per conciliare entrambe le esigenze.

Parole chiave: agroecologia, biodiversità, Politica Agricola Comune, conservazione delle piante, reintroduzione

Introduzione

Molte specie vegetali e animali associate agli ambienti agricoli hanno subito un forte declino delle loro popolazioni durante il secolo scorso (Meyer et al. 2013; Arbeiter et al. 2018). Tra queste, il quadrifoglio acquatico [*Marsilea quadrifolia* L. (Marsileaceae)] può essere considerata una specie emblematica. Questa felce è tipica di acque leggermente eutrofiche, stagni temporanei e risaie (Gentili et al. 2010) e in passato veniva considerata un'infestante delle risaie dell'Europa meridionale (Viggiani et al. 2003). Tuttavia, con l'avvento della Rivoluzione Verde a partire dagli anni '50, gli agricoltori hanno iniziato a modificare le tecniche agronomiche introducendo nuove pratiche quali la meccanizzazione, l'utilizzo di prodotti chimici e una rotazione semplificata (Ferrero e Vidotto 2010; Hill et al. 1991). Queste innovazioni gestionali hanno portato ad un drastico declino della specie che oggi è considerata in uno stato di conservazione sfavorevole nella maggior parte dei paesi Europei (EEA 2019) compresa l'Italia (Rossi et al. 2016). Le preoccupazioni riguardo il suo stato di conservazione hanno portato all'inclusione della specie negli Allegati II e IV della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e nell'Allegato I della Convenzione di Berna, i principali strumenti giuridici che si occupano della salvaguardia di specie e habitat in Europa (Appendice 1). Specie e habitat elencati nella Direttiva 92/43/CEE richiedono una protezione rigorosa e la loro sopravvivenza a lungo termine dovrebbe essere garantita anche attraverso la realizzazione della Rete Natura 2000, un sistema di aree adibite alla conservazione della flora e della fauna che si estende in tutti i paesi dell'Unione Europea, attraverso l'istituzione di Zone Speciali di Conservazione (ZSC). Tuttavia, in ambiente altamente antropizzati quali la Pianura Padana, le ZSC sono in stretto contatto o includono parzialmente aree caratterizzate da agricoltura intensiva.

Nella Pianura Padana, una regione che ospita oltre il 50% delle aree europee di produzione risicola con una resa totale di 1 512 228 tonnellate l'anno (Kraehmer et al. 2017; Enterisi 2018), nuovi ritrovamenti di *M. quadrifolia* sono stati recentemente effettuati in alcune risaie, probabilmente a seguito del miglioramento delle condizioni ambientali legate all'utilizzo di pratiche biologiche o a ridotto input di erbicidi (Hazra et al. 2018) anche nei sistemi a gestione convenzionale, come previsto dalla Direttiva Europea sull'uso sostenibile degli erbicidi (Direttiva 2009/128/CEE; Appendice 1). Nonostante questo, il quadrifoglio acquatico rimane ad elevato rischio di scomparsa.

La reintroduzione di *M. quadrifolia* in aree agricole può rappresentare un'opportunità per migliorare lo stato di conservazione della specie, così come già dimostrato dai tentativi di reintroduzione di popolazioni vitali nelle risaie europee del Parco Naturale del Delta dell'Ebros, Spagna (Estrelles et al. 2001), ma può creare conflitti con gli agricoltori.

La Politica Agricola Comune dell'Unione Europea (PAC) fornisce fondi specifici nell'ambito del Piano di Sviluppo Rurale (PSR) (Appendice 1) per gli agricoltori che vogliono contribuire alla conservazione degli habitat e delle specie (Paracchini et al. 2015). Sebbene queste misure siano ancora da considerare non sufficienti (Pe'er et al. 2020), in alcuni casi possono rilevarsi molto efficaci in quanto in grado di trasformare potenziali conflitti tra la conservazione della natura e la produttività in nuovo reddito e nuove possibilità per gli agricoltori.

Con l'obiettivo di stimolare l'adozione di misure specifiche per la conservazione di *M. quadrifolia* (e altre specie di habitat simili come *Isoetes malinverniana* Ces. & De Not. e *Lindernia procumbens* (Krocker) Philcox) in aree ad agricoltura intensiva, abbiamo indagato la possibilità di coltivare con successo *M. quadrifolia* nelle risaie. Nello specifico, ci siamo proposti di rispondere alle seguenti domande: (i) le condizioni ambientali delle risaie sono in grado di promuovere la condivisione di spazi tra produzione agricola e *Marsilea quadrifolia*? (ii) la performance di *M. quadrifolia* è influenzata dalla tipologia di conduzione della risaia? (iii) in che modo *M. quadrifolia* è influenzata dalla presenza del riso? Rispondendo a queste domande vorremmo contribuire a sviluppare e applicare un piano di conservazione per *M. quadrifolia* negli agro-ambienti dell'Europa meridionale.

Materiali e metodi

Descrizione delle risaie e tecniche di coltivazione

M. quadrifolia è stata coltivata in quattro aziende agricole della provincia di Pavia caratterizzate da un diverso sistema di conduzione: due aziende a conduzione biologica, una a conduzione convenzionale e una in transizione (dal convenzionale al biologico). Secondo il Regolamento (CE) n. 834/2007 relativo alla produzione biologica e

all'etichettatura dei prodotti biologici (Appendice 1) e il suo recepimento nella Normativa Nazionale (ultimo aggiornamento D.M. n. 3286/2016), le aziende biologiche sono riconosciute e distinte da quelle convenzionali in quanto la concimazione è attuata con fertilizzanti naturali di origine animale o con materia organica. Inoltre, la fertilità e l'attività biologica del suolo sono mantenute e potenziate mediante la rotazione pluriennale delle colture. Più in generale, l'agricoltura biologica coinvolge sistemi complessi, regolati da processi biologici a lungo termine (ad esempio, la formazione di humus) ed effetti non lineari; la sua efficacia è sito- e tempo-specifica. Diversamente, l'agricoltura convenzionale prevede l'utilizzo di tecniche standardizzate, applicate a sistemi colturali semplificati e specializzati, gestiti con un approccio a breve termine basato sull'azione rapida di input esterni (Duru et al. 2015; Orlando et al. 2020). Le aziende in transizione sono quelle che sono state convertite dal sistema di conduzione convenzionale ma non sono ancora state riconosciute legalmente come biologiche. Durante la coltivazione sperimentale di *M. quadrifolia* gli agricoltori hanno gestito le aziende come di consueto, adottando le normali tecniche previste dalla loro tipologia di conduzione, compreso l'utilizzo di fertilizzanti ed erbicidi nell'azienda convenzionale. In base alle infestanti presenti nei campi, sono stati utilizzati diversi trattamenti erbicidi in entrambi gli anni (Appendice 2). Le cultivar utilizzate sono: Ronaldo nelle aziende biologiche, Baldo nell'azienda in transizione e Selenio nel convenzionale; le minime differenze tra le tre varietà non hanno influenzato la performance di *Marsilea quadrifolia*.

Coltivazione sperimentale di M. quadrifolia

La coltivazione sperimentale di *M. quadrifolia* è stata condotta nel 2017 in otto campi, due per ogni azienda, mentre nel 2018 la sperimentazione è stata limitata a sei campi. Sei zolle di *M. quadrifolia* (20 × 20 cm) sono state messe a dimora in ciascun campo lungo un transetto, previa loro standardizzazione mediante taglio a 1 cm di altezza per uniformare la biomassa iniziale. Nel 2017 le zolle di *M. quadrifolia* sono state messe a dimora ad inizio luglio dopo il primo (pre-semine) e il secondo (post-emergenza) trattamento erbicida nell'azienda convenzionale. Nel 2018 le zolle sono state messe in campo a fine maggio subito dopo la semina del riso, così che la specie è stata sottoposta all'intero spettro dei trattamenti erbicidi. Nel 2018 il riso è stato rimosso per creare un'area aperta di 1 m² attorno alle zolle, al fine di valutare come le condizioni micro-ambientali (ambiente soleggiato vs ambiente ombreggiato) possano influire sulla crescita di *M. quadrifolia* in risaia. Visto che *M. quadrifolia* si è diffusa ben oltre il confine delle aree aperte sotto la copertura del riso, la sua crescita è stata valutata in entrambe le aree.

Raccolta e analisi statistica dei dati

La biomassa totale di *M. quadrifolia* è stata raccolta in entrambi gli anni a fine settembre in un'area dal raggio di 3 m attorno le zolle; la biomassa è stata essiccata in stufa a 100 °C per 24 ore e pesata nei laboratori dell'Università di Pavia. Un campione di suolo e due campioni di acqua sono stati prelevati nel 2017 in ciascun campo al momento della messa a dimora delle zolle e analizzati rispettivamente da Vassanelli Food and Drink analysis s.r.l., Bussolengo (Italia) e dall'Università di Nimega, Olanda (Appendice 3). Nel 2018, la temperatura e l'intensità luminosa sono state monitorate a intervalli di 15 minuti da data-logger (Hobo, Onset Bourne, MA, USA) posti a 1 m di altezza durante la settimana antecedente la raccolta del riso, in aree aperte e sotto la copertura del riso. A inizio settembre è stata determinata su campo la fluorescenza della clorofilla (Fv/Fm) in foglie di *M. quadrifolia* mediante fluorometro modulato (Opti Sciences, OS1-FL, Tyngsboro, MA, USA), sia in aree aperte che sotto la copertura di riso. Campioni fogliari di *M. quadrifolia* sono stati raccolti e utilizzati per la determinazione mediante spettrofotometro (UV-Vis, Pharmacia Biotech Ultrospec, 2000) della concentrazione di clorofilla *a*, clorofilla *b* e carotenoidi totali, utilizzando i coefficienti di estinzione di Lichtenthaler (1987). Poiché *M. quadrifolia* nel 2018 non è sopravvissuta all'applicazione di erbicidi nell'azienda convenzionale, sono state prese in considerazione solo le aziende biologiche e in transizione. I dati relativi alla biomassa sono stati trasformati logaritmicamente e analizzati mediante analisi della varianza (ANOVA) ad una via; il sistema di conduzione del campo è stato utilizzato come variabile esplicativa mentre i campi e le zolle come covariate. Il confronto tra i sistemi di conduzione è stato eseguito con il test post-hoc LSD di Fisher. I dati relativi alla temperatura, intensità luminosa, fluorescenza della clorofilla, concentrazione e rapporti dei pigmenti fotosintetici sono stati analizzati statisticamente mediante ANOVA ad una via dove il micro-ambiente (soleggiato vs ombreggiato) è stato utilizzato come variabile esplicativa. È stata eseguita un'analisi discriminante multivariata

per il chimismo di suoli e acque in relazione al sistema di conduzione. Le analisi statistiche sono state effettuate con R v3.6.1 (R Core Team 2019) e STATISTICA 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Risultati

Biomassa e chimismo di acque e suoli

M. quadrifolia ha riportato una maggiore biomassa totale nelle aziende biologiche sia nel 2017 che nel 2018 (Figura 1). L'ANOVA non ha riportato differenze significative della biomassa tra sistemi di conduzione del 2017 ($F_{2,43} = 3,12$; $p = 0,054$). Al contrario, le differenze sono risultate significativamente diverse nel 2018 ($F_{2,31} = 32,54$; $p < 0,001$). L'effetto delle covariate non è risultato significativamente diverso tranne che nel 2017 ($F_{1,43} = 8,11$, $p = 0,007$). Nel 2018, *M. quadrifolia* non è sopravvissuta nell'azienda convenzionale.

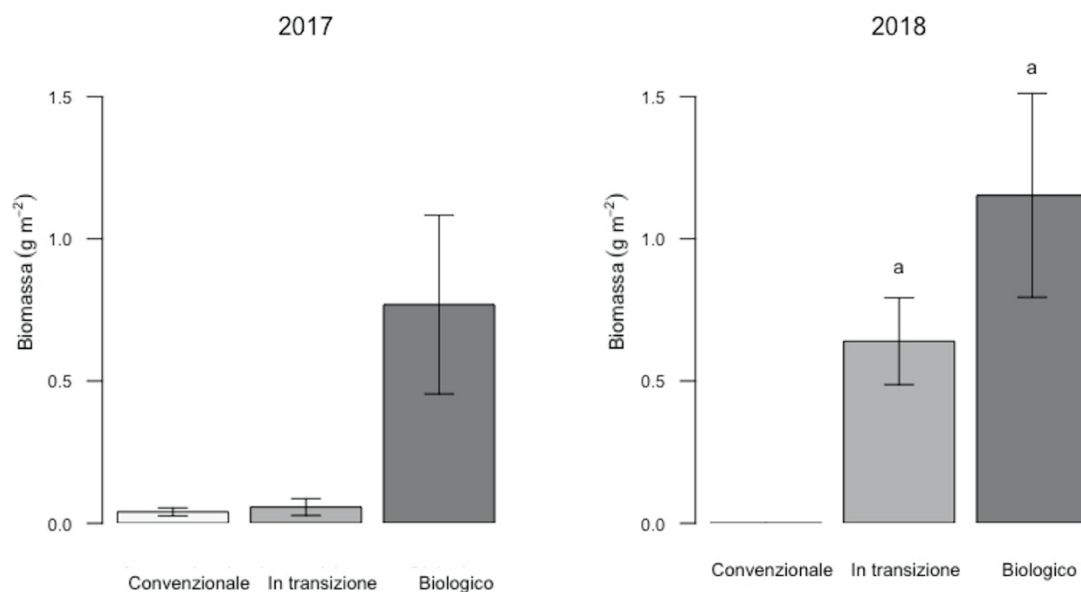


Fig. 1 Media (\pm ES) della biomassa totale di *M. quadrifolia* raccolta nelle aziende a diversa conduzione. Le lettere minuscole indicano differenze significative ($p < 0,05$) tra i sistemi di conduzione, in base al test post-hoc LSD di Fisher

L'analisi discriminante multivariata ha rilevato differenze tra i sistemi di conduzione in termini di chimismo dell'acqua ($F_{14,14} = 8,81$, $p < 0,001$; *Wilk's* $\Lambda = 0,010$). Il chimismo dell'acqua nell'azienda in transizione è differito notevolmente sia da quello della risaia convenzionale che da quello delle risaie biologico, dato osservabile da una netta separazione dei due gruppi lungo il primo asse discriminante (Figura 2). Infatti, l'acqua nell'azienda in transizione era più ricca di ioni disciolti, in particolare HCO_3^- , NO_3^- and SO_4^{2-} , oltre ad avere una maggiore conduttività elettrica (Appendice 3). Al contrario, il chimismo dei suoli non era significativamente diverso nei campi a diversa conduzione ($F_{10,2} = 1,11$, $p < 0,56$; *Wilk's* $\Lambda = 0,023$; Appendice 3).

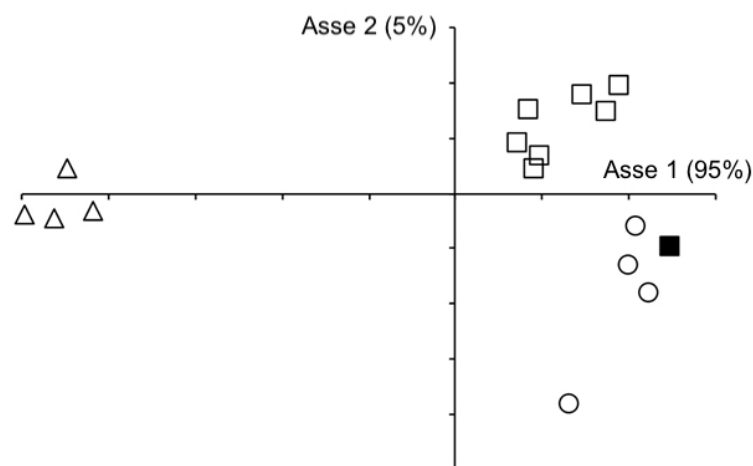


Fig. 2 Valori lungo i primi due assi dell'analisi discriminante multivariata relativi al chimismo di acqua. La percentuale della varianza rappresentata da ciascun asse è riportata tra parentesi. Cerchi: campi convenzionali. Triangoli: campi in transizione. Quadrati: campi biologica (il quadrato nero indica l'unico caso di errata classificazione)

Micro-ambiente ed efficienza fotosintetica

Sono state osservate differenze significative tra le temperature registrate nei diversi micro-ambienti (ambiente soleggiato vs ambiente ombreggiato; $F_{1,22} = 33,32$; $p < 0,001$), con una temperatura media più alta ($23,70 \pm 0,17$ °C) nelle aree aperte rispetto a quelle sotto la copertura del riso ($22,15 \pm 0,21$ °C). Analogamente, l'intensità luminosa ha differito significativamente tra i micro-ambienti ($F_{1,22} = 49,33$; $p < 0,001$), con valori medi oltre due volte maggiori nelle aree aperte ($101\ 104 \pm 7\ 621$ kW) rispetto a quelle sotto la copertura del riso ($41\ 656 \pm 3\ 681$ kW). La fluorescenza della clorofilla è risultata significativamente più alta sotto il riso (Tabella 1). Le concentrazioni di pigmenti fotosintetici e i loro rapporti non sono risultati diversi tra i micro-ambienti (Tabella 1).

	Aree aperte	Sotto il riso
Fluorescenza della clorofilla	$0,69 \pm 0,01$	$0,76 \pm 0,01$
Clorofilla <i>a+b</i> ($\mu\text{g/g PS}$)	$17,9 \pm 2,2$	$20,0 \pm 2,7$
Carotenoidi ($\mu\text{g/g PS}$)	$4,1 \pm 0,5$	$3,8 \pm 0,4$
Clorofilla <i>a</i> / Clorofilla <i>b</i>	$3,02 \pm 0,05$	$2,91 \pm 0,03$
Clorofilla <i>a+b</i> / Carotenoidi	$4,67 \pm 0,33$	$5,01 \pm 0,23$

Tabella 1 Media (\pm ES) della fluorescenza della clorofilla, concentrazioni e rapporti di pigmenti fotosintetici in foglie di *M. quadrifolia* analizzate in aree aperte e sotto la copertura del riso. In grassetto vengono riportati i valori significativamente diversi ottenuti dall'ANOVA ad una via ($p < 0,01$)

Discussione

Questo studio ha dimostrato che la coltivazione di *M. quadrifolia* in risaie a conduzione biologica rappresenta un'importante opportunità per preservare la specie dall'estinzione in zone caratterizzate da un'agricoltura intensiva. Nelle due aziende biologiche *M. quadrifolia* ha mostrato una migliore performance rispetto a quella osservata nelle aziende in transizione e convenzionale. È importante sottolineare come l'esperimento sia stato eseguito in un contesto di reale produzione di riso, senza la possibilità di standardizzare completamente la metodologia tra le aziende e tra gli anni. Sebbene questo aspetto possa rappresentare un potenziale fattore limitante del nostro design sperimentale, l'osservazione del comportamento in un contesto agricolo reale e non standardizzato fornisce informazioni preziose rispetto ad un esperimento condotto in un contesto standardizzato ma lontano dalla realtà.

Nell'azienda convenzionale *M. quadrifolia* è sopravvissuta all'applicazione di erbicidi nel 2017 ma non nel 2018, probabilmente come conseguenza del trattamento pre-semina effettuato unicamente nel 2018 a cui è stata esposta la specie. Infatti, *M. quadrifolia* è sensibile a un'ampia gamma di erbicidi, ma il tipo e l'intensità degli effetti variano notevolmente. Aura è considerato l'erbicida più dannoso, già a concentrazioni di 1:100 e 1:1000, mentre Clincher One e Viper non precludono la sopravvivenza di *M. quadrifolia* (Bruni et al. 2013). Il glifosato

utilizzato nel trattamento pre-semina 2018 non dovrebbe essere dannoso come gli erbicidi citati (Bruni et al. 2013), ma la sua applicazione in una fase di sviluppo precoce (metà maggio) potrebbe aver avuto un effetto più dannoso portando ad una moria di *M. quadrifolia*.

I nostri risultati dimostrano come *M. quadrifolia* prediliga le risaie biologiche, ma può sopravvivere anche in quelle convenzionali con un ridotto apporto di erbicidi. La crescente preoccupazione sull'uso di sostanze chimiche nell'UE ha portato a importanti Direttive come la 2009/128/CEE - e successivi aggiornamenti 2019/782/CEE - con l'obiettivo di ridurre l'utilizzo di sostanze chimiche e di migliorarne la selettività (ad esempio verso infestanti più aggressive; Lamichhane et al. 2016). Ciò potrebbe aprire nuove opportunità di condivisione di spazi tra specie minacciate e produzione agricola. Sebbene siano state riscontrate differenze locali nel chimismo delle acque, principalmente dovute alla distanza tra le aziende e alla diversa gestione dell'approvvigionamento idrico, gli effetti di queste differenze sulla crescita della specie sono stati nel complesso limitati. Studi precedenti hanno riportato infatti un'ampia variabilità ecologica di *M. quadrifolia* rispetto al chimismo delle acque (Bolpagni e Pino 2017) e ai livelli di nutrienti sia nell'acqua che nel suolo (Abbasi et al. 2018).

M. quadrifolia ha mostrato inaspettatamente un maggiore potenziale di crescita sotto la copertura del riso rispetto alle aree aperte (indipendentemente dalla cultivar), il che suggerisce che le performance migliori della specie si abbiano in mezzo alla risaia piuttosto che in aree aperte ai margini del campo. L'acclimatazione a lungo termine delle piante vascolari all'intensità luminosa si basa principalmente sulla regolazione del processo fotosintetico. Il nostro studio ha rivelato una scarsa capacità di *M. quadrifolia* di regolare la composizione dei pigmenti al livello di luce, dove valori inferiori di fluorescenza della clorofilla dimostrano che la specie è andata incontro a stress in habitat con maggiore intensità luminosa. L'ombra garantita dalla copertura del riso crea quindi un micro-ambiente adatto per la crescita di *M. quadrifolia*. Inoltre, le aree aperte vengono rapidamente colonizzate da specie invasive esotiche quali *Heteranthera reniformis* Ruiz & Pav., *Ammannia coccinea* Rottb. e *Cyperus microiria* Steud. Questa è una scoperta importante che suggerisce che una reintroduzione di *Marsilea quadrifolia* in aree ad agricoltura intensiva potrebbe avere maggiori possibilità di successo se la specie viene piantata sotto la copertura del riso, specialmente in aziende biologiche.

Dato che *M. quadrifolia* è elencata nella Direttiva 92/43/CEE e nella Convenzione di Berna, la sua conservazione è obbligatoria nell'Unione Europea. Di conseguenza, un piano di gestione della conservazione per la specie è urgente e non può prescindere dal contesto agricolo e semi-naturale in cui in molti casi la specie si trova. Considerando che le risaie sono riconosciute in tutto il mondo come habitat surrogati per le specie tipiche di zone umide (Lawler 2001) e molte risaie nel distretto culturale dell'Italia nord-occidentale sono incluse in aree protette (vedi ad esempio la ZPS "Risaie della Lomellina", con un'estensione di 30,940 ha), un piano di conservazione dovrebbe prendere in considerazione contemporaneamente i requisiti ecologici della specie e le esigenze delle parti interessate (quali agricoltori, proprietari terrieri e portatori di interesse locali). Sugeriamo dunque che compensazioni o incentivi agroambientali *ad hoc* vengano previsti dal Piano di Sviluppo Rurale (PSR) per sostenere anche economicamente gli agricoltori che desiderano reintrodurre e mantenere *M. quadrifolia*.

Rimangono ovviamente diverse questioni aperte relative a: i) il livello di competizione e conseguenti effetti di *M. quadrifolia* sulla produttività del riso, ii) le interazioni tra *M. quadrifolia* e altre specie aliene invasive, iii) gli effetti delle rotazioni colturali ravvicinate adottate dalle aziende biologiche sulla sopravvivenza e persistenza in campo di *M. quadrifolia* e iv) la possibilità che gli erbicidi selettivi possano consentire a *M. quadrifolia* di crescere anche nelle aziende convenzionali.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano gli agricoltori Rosalia Caimo Duc (Candia Lomellina), Elena Bianchi (Torre de Negri) Cristiano Carturan (Candia Lomellina) e Aldo Paravicini † (Beregardo) che hanno gentilmente messo a disposizione le loro aziende agricole per la sperimentazione. Si ringraziano anche: Laura Tomasi, Marco Canella, Alfredo W. Rossi, Mattia Marangon, Francesco Ferrari, Maria Chiara Mariani e Silvano Lodetti per il supporto fornito durante il lavoro in campo. Ringraziamo infine Paolo Cauzzi (Università di Pavia) per la coltivazione di *Marsilea quadrifolia* presso l'Orto Botanico di Pavia.

Bibliografia

- Abbasi SA, Ponni G, Tauseef SM (2018). Marsilea quadrifolia: a new bioagent for treating wastewater. *Water Air Soil Pollut* 229(4):133. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3743-z>
- Arbeiter S, Roth T, Helmecke A, Haferland HJ, Tanneberger F, Bellebaum J (2018) Conflict between habitat conservation and Corncrake *Crex crex* brood protection in managed floodplain meadows. *Agricult Ecosys Environ* 265:15-21. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.030>
- Bolpagni R, Pino F (2017) Sediment nutrient drivers of the growth dynamics of the rare fern *Marsilea quadrifolia*. *Hydrobiologia* 792:303-314. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3064-4>
- Bruni I, Gentili R, De Mattia F, Cortis P, Rossi G, Labra M (2013). A multi-level analysis to evaluate the extinction risk of and conservation strategy for the aquatic fern *Marsilea quadrifolia* L. in Europe. *Aquat Bot* 111:35-42. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.08.005>
- Duru M, Therond O, Martin G, Martin-Clouaire R, Magne MA, Justes E, Journet EP, Aubertot JN, Savary S, Bergez JE, Sartou JP (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron Sustain Dev* 35 (4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- EEA (2019). European Environmental Agency. Conservation status and trends of habitat and species. <https://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/state-of-nature-in-the-eu/article-17-national-summary-dashboards/conservation-status-and-trends>. Accessed 04 March 2020
- Enterisi (2018) Riso - Evoluzione di mercato e sue prospettive. http://www.enterisi.it/upload/enterisi/bilanci/RelazioneMIPAFT2018w_15916_1443.pdf. Accessed 12 December 2019
- Estrelles E, Ibars AM, Morales F, Iranzo J (2001) Recuperación y reintroducción de *Marsilea quadrifolia* en los arrozales del delta del Ebro (Tarragona, España). *Bot Complut* 25:251-259
- Ferrero A, Vidotto F (2010) History of rice in Europe. In: Sharma SD (ed) *Rice. Origin, antiquity and history*, 1st edn. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp 341-372
- Hazra KK, Swain DK, Bohra A, Nath CP (2018) Organic rice: potential production strategies, challenges and prospects. *Organic Agriculture* 8(1):39-56. <https://doi.org/10.1007/s13165-016-0172-4>
- Hill JH, Bayer DE, Bocchi S, Clampett WS (1991) Direct seeded rice in the temperate climates of Australia, Italy and North America. *IRRI Monograph*. International Rice Research Institute, Los Baños, Pilippines pp 91-103
- Gentili R, Rossi G, Labra M, Selvaggi A, Gariboldi L, Bedini G, Dallai D, Petraglia A, Alessandrini A, Bonafede F, Villani C, Sgorbati S, Brusoni M (2010) *Marsilea quadrifolia* L. *Inform Bot Ital* 42(2):605-609
- Kraehmer H, Thomas C, Vidotto F (2017) Rice Production in Europe. In Chauhan B, Jabran K, Mahajan G (ed) *Rice Production Worldwide*, 1st edn. Springer International USA, pp 93-116
- Lamichhane JR, Dachbrodt-Saaydeh S, Kudsk P, Messéan A (2016) Towards a reduced reliance on conventional pesticides in European agriculture. *Plant Dis* 100(1):10-24. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-15-0574-FE>
- Lawler SP (2001) Rice fields as temporary wetlands: a review. *Isr J Zool* 47(4):513-528
- Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol* 148:350-382 [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Meyer S, Wesche K, Krause B, Leuschner C (2013) Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950/60s - A cross-regional analysis. *Divers Distrib* 19:1175-1187 <https://doi.org/10.1111/ddi.12102>
- Orlando F, Alali S, Vaglia V, Pagliarino E, Bacenetti J, Bocchi S, organic rice network (2020) Participatory approach for developing knowledge on organic rice farming: Management strategies and productive performance. *Agr Syst* 178: 102739. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102739>
- Paracchini ML, Bulgheroni C, Borreani G, Tabacco E, Banterle A, Bertoni D, Rossi G, Parolo G, Origgi R, De Paola C (2015) A diagnostic system to assess sustainability at a farm level: The SOSTARE model. *Agr Syst* 133: 35-53. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.10.004>
- Pe'er G, Bonn A, Bruelheide H, Dieker P, Eisenhauer N, Feindt PH, Hagedorn G, Hansjürgens B, Herzon I, Lomba A, Marquard E, Moreira F, Nitsch H, Oppermann R, Perino A, Röder N, Schleyer C, Schindler S, Wolf C, Zinngrebe Y, Lakner S (2020) Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. *People and Nature* 2(2):305-316. <https://doi.org/10.1002/pan3.10080>.

- Rossi G, Orsenigo S, Montagnani C, Fenu G, Gargano D, Peruzzi L, Wagensommer RP, Foggi B, Bacchetta G, Domina G, Conti F, Bartolucci F, Gennai M, Ravera S, Cogoni A, Magrini S, Gentili R, Castello M, Blasi C, Abeli T (2016) Is legal protection sufficient to ensure plant conservation? The Italian red list of policy species as a case study. *Oryx* 50(3):431-436. <https://doi.org/10.1017/S003060531500006X>.
- Viggiani P, Tabacchi M, Angelini R (2003) Vegetazione spontanea di risaie e canali. Bayer Crop Science. L'Informatore Agrario, Verona, Italy

Appendice

Appendice 1

- DIRETTIVA del CONSIGLIO 92 /43 /CEE del 21 maggio 1992 relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, anche conosciuta come “Direttiva Habitat”
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0043&from=ENCouncil>
- CONVENZIONE relativa alla conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa, anche conosciuta come “Convenzione di Berna”
[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:21979A0919\(01\)&from=IT](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:21979A0919(01)&from=IT)
- DIRETTIVA 2009/128/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 21 ottobre 2009 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria ai fini dell'utilizzo sostenibile dei pesticidi
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0128&from=EN>
- REGOLAMENTO (UE) N. 1305/2013 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 17 dicembre 2013 sul sostegno allo sviluppo rurale da parte del Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale (FEASR) e che abroga il regolamento (CE) n. 1698/2005 del Consiglio
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1305&from=EN>
- REGOLAMENTO (CE) N. 834/2007 DEL CONSIGLIO del 28 giugno 2007 relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici e che abroga il regolamento (CEE) n. 2092/91
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0834&from=IT>
- REGOLAMENTO (CE) N. 889/2008 DELLA COMMISSIONE del 5 settembre 2008 recante modalità di applicazione del regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici, per quanto riguarda la produzione biologica, l'etichettatura e i controlli
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R0889&from=IT>

Appendice 2

Trattamenti erbicidi forniti durante la coltivazione sperimentale nel campo convenzionale nel 2017 e 2018

Anno	1° trattamento	2° trattamento	3° trattamento
2017	Clincher One 1200 g/ha - Aura 450 g/ha (fine maggio)	Most Micro 1995 g/ha - Command 300 g/ha (inizio giugno)	Viper 3000 g/ha (inizio luglio)
2018	Glyfos Dakar 3000 g/ha - Codacide 900 g/ha - Novatec 900 g/ha (metà maggio)	Most Micro 1995 g/ha - Command 300 g/ha (fine maggio)	Clincher One 1200 g/ha - Aura 450 g/ha (metà giugno)

Clincher One: Cialofop-butile 20.02% (200 g/l);

Aura: 20 g Profoxydim

Command: Clomazone 30.7% (360.0 g/l)

Viper: Penoxsulam 1.6% (=16 g/l) Triclopyr-butotilpuro 16.7%

Coformulated q.s to 100 g with 1,2-benzisothiazol-3-(2H)-one.

Codacide: Rapeseed Oil (CAS 8002-13-9)

Glyfos dakar: Glyphosate Acid pure

Appendice 3

Media \pm ES delle variabili analizzate da campioni di acqua e suolo raccolti nelle aziende a diversa conduzione

Variabile	Acqua						pH
	HCO ₃ ⁻ (μ mol/l)	NO ₃ (μ mol/l)	Fe (μ mol/l)	PO ₄ ³⁻ (μ mol/l)	SO ₄ ²⁻ (μ mol/l)	Conduttività elettrica (μ s/cm)	
Biologico	1090 \pm 205	26,54 \pm 6,15	4,97 \pm 1,20	4,10 \pm 0,87	252 \pm 19	164 \pm 10	8,40 \pm 0,17
In transizione	3311 \pm 185	103,10 \pm 4,47	6,49 \pm 2,70	4,08 \pm 0,86	371 \pm 2	368 \pm 4	7,46 \pm 0,06
Convenzionale	952 \pm 88	17,18 \pm 11,06	4,87 \pm 0,35	2,16 \pm 0,14	202 \pm 2	172 \pm 20	8,85 \pm 0,13

Variabile	Suolo					pH
	Azoto (% PS)	PO ₄ ³⁻ (mg/kg)	C/N (% PS)	Argilla (% PS)		
Biologico	0,13 \pm 0,01	33,2 \pm 9,6	9,8 \pm 3,1	6,88 \pm 0,63	4,88 \pm 0,47	
In transizione	0,15 \pm 0,01	33,5 \pm 1,3	9,4 \pm 0,5	8,75 \pm 1,25	5,6 \pm 0,65	
Convenzionale	0,15 \pm 0,01	21,3 \pm 0,4	8,2 \pm 0,1	8,75 \pm 1,25	4,05 \pm 0,05	