

Dario Savini, Anna Occhipinti Ambrogio, Jonathan Nicolao, Marianna Perrone,
Laura Garzoli, Marinella Rodolfi, Anna Maria Picco

IL GAMBERO INVASIVO *PROCAMBARUS CLARKII* (GIRARD, 1852) NELLA LANCA DELLA RISERVA NATURALE INTEGRALE “BOSCO SIRO NEGRI”

Dipartimento di Ecologia del Territorio, Università degli Studi di Pavia, via S. Epifanio 14
email: dario.savini@unipv.it

Abstract

The invasive crayfish Procambarus clarkii (Girard) in the pond of the Natural Reserve “Bosco Siro Negri”. The present paper summarizes the results of research activities performed from October 2005 to November 2007 in a pond bordering the “Bosco Siro Negri” Natural Reserve. The aim of the work was to assess the ecological impact caused by the non-native red swamp crayfish (*P. clarkii*), probably of recent introduction in the study area. Crayfish samples were collected systematically (every 1-2 week) by *ad hoc* built traps in order to investigate structural parameters of the population (spatial distribution, abundance, size-class frequency, sex ratio). Impact on habitat structure was assessed in mesocosms replicated both in the study area and laboratory. A subsample of crayfishes was investigated for diet composition by stomach content analysis. Results of autoecological investigations on *P. clarkii* were integrated with a constant monitoring of the study area by collecting information on: water level, pH, oxygen concentration, water temperature, distribution of aquatic macrophytes and a qualitative assessment of the ecosystem biodiversity value (taxonomic identification of the major groups of invertebrates and vertebrates by visual census and crayfish trap by-catches). A subsample of *P. clarkii* specimens was selected for mycological investigations, with the aim of isolating the pathogen *Aphanomyces astacii* (Schikora), causal agent of the “crayfish plague”. The whole integrated data set revealed a severe impact of the red swamp crayfish in the study area. Mesocosm experiments foresaw a fast reduction of macrophytes coverage in the basin and the possible local extinction of native species such as *Potamogeton natans* (L.) which is characterised by a relatively lower production, insufficient to contrast the herbivory pressure of *P. clarkii*. Ground truth observation totally confirmed experimental outputs. The last survey conducted in autumn 2007 reported a severe reduction in aquatic macrophyte coverage and the local extinction on *P. natans*. Other two macrophytes species present in autumn 2005, *Potamogeton crispus* (L.) and *Myriophyllum spicatum* (L.), were not recorded in 2007. This rapid habitat modification activity had indeed a strong repercussion on the structure of biocoenoses living in relation to the aquatic vegetation (from macroinvertebrate to fishes), whose richness effectively dropped from 8 taxa (2005) to 3 taxa (2007). Mycological investigation showed the absence of the pathogen *A. astacii* and the presence of a rich microfungus colonization that will be object of further studies.

In conclusion, this study has confirmed the dangerousness of *P. clarkii* establishment in the wild, being this species able to exert strong impact on habitat, native communities, and ecosystem functioning.

Key words: bioinvasion, freshwater pond, Natural Reserve, alien crayfish, *Procambarus clarkii*

Riassunto

Il presente lavoro riporta una sintesi dei risultati delle ricerche svolte da ottobre 2005 a novembre 2007 nella lanca sita al confine Nord occidentale della Riserva Naturale Integrale “Bosco Siro Negri”. Lo scopo del lavoro era di verificare l’impatto ecologico del gambero rosso delle paludi (*Procambarus clarkii*), recentemente introdotto nell’area di studio. Si è effettuata una raccolta sistematica di esemplari di gambero (circa ogni 1-2 settimane) utilizzando nasse costruite *ad hoc* per l’ambiente di studio, allo scopo di investigare i principali parametri strutturali della popolazione residente (distribuzione, abbondanza, frequenza delle classi di taglia, ripartizione sessuale). L’impatto del gambero sulla struttura dell’habitat è stato valutato sperimentalmente mediante allestimento di mesocosmi, replicati nell’area di studio e in laboratorio. Inoltre un sub-campione di gamberi è stato sottoposto ad analisi del contenuto stomacale per stabilire la composizione della dieta. I risultati delle indagini autoecologiche su *P. clarkii* sono stati integrati da un continuo monitoraggio dell’area di studio raccogliendo dati su: variazioni di livello delle acque del bacino, pH, concentrazione di ossigeno disciolto, temperatura dell’acqua, distribuzione e identificazione delle principali macrofite acquatiche presenti e una valutazione qualitativa dei valori di biodiversità dell’ecosistema (identificazione tassonomica dei principali gruppi di vertebrati ed invertebrati per visual *census* e identificazione e successiva reintroduzione di tutte le catture accessorie avvenute nelle trappole per gamberi). Un subcampione di esemplari di *P. clarkii* è stato sottoposto ad analisi micologiche per la ricerca del microrganismo patogeno *Aphanomyces astacii* (Schikora), agente causale della “peste del gambero”. L’integrazione dell’insieme dei dati raccolti ha rivelato come l’area di studio sia sottoposta ad un severo impatto da parte del gambero rosso di palude. I risultati sperimentali condotti in mesocosmo hanno mostrato un forte rischio di riduzione della copertura a macrofite acquatiche nel bacino fino alla locale estinzione di specie native quali *Potamogeton natans* (L.), specie caratterizzata da una produttività relativamente bassa, insufficiente a contrastare efficacemente l’attività di pascolo di *P. clarkii*. Le osservazioni sul campo hanno confermato i risultati sperimentali rivelando in autunno 2007 una generale riduzione delle macrofite acquatiche e la totale scomparsa di *P. natans* dall’ambiente di studio. Altre due macrofite acquatiche, *Potamogeton crispus* (L.) e *Myriophyllum spicatum* (L.), presenti nell’autunno del 2005, non sono state più ritrovate nel 2007. Questa rapida attività di modificazione dell’habitat ha certamente causato forti ripercussioni sulla struttura delle biocenosi che dipendono dalla presenza di vegetazione acquatica, dai macroinvertebrati ai pesci, la cui ricchezza specifica è infatti diminuita dagli 8 taxa presenti nel 2005, a 3 taxa riscontrati nel 2007. L’analisi micologica ha evidenziato l’assenza del patogeno *A. astacii* e la presenza di una ricca colonizzazione microfungina che sarà oggetto di ulteriori approfondimenti.

In conclusione il presente studio conferma la pericolosità di *P. clarkii* per gli ambienti naturali colonizzati, essendo la specie in grado di esercitare un severo impatto nei confronti dell’habitat, delle comunità native e del funzionamento degli ecosistemi.

Parole chiave: invasione biologica, lanca, Riserva Naturale, gambero alieno, *Procambarus clarkii*.

tamogeton natans (L.), *Potamogeton crispus* (L.), *Lindernia* (sp), *Lagarosiphon major* (Ridley) Moos, *Myriophyllum spicatum* (L.), di canneti misti lungo le sponde (*Phragmites australis* (Cav.) Trin, *Cyperus glomeratus* (L.), *Typha latifolia* L., *Polygonum minus* Hudson, *Schoenoplectus tabernaemontani* (Gmelin)) e di una fauna ittica piuttosto diversificata, con 8 specie presenti: *Esox lucius* (L.), *Ictalurus melas* (Rafinesque), *Lepomis gibbosus* (L.), *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel), *Rhodeus amarus* (Block), *Gambusia holbrooki* (Girard), *Cobitis taenia bilineata* (Canestrini) e *Tinca tinca* (L.). Tra gli invertebrati acquatici le specie maggiormente rappresentate erano il mollusco bivalve *Unio* sp., il coleottero acquatico *Hydrophilus piceus* (L.) e il gasteropode *Viviparus contectus* (Millet), oltre ovviamente al gambero invasivo *P. clarkii*, da noi rinvenuto per la prima volta nell'area di studio quell'occasione.

2. Materiali e Metodi

2.1. Analisi di struttura della popolazione

Dall'autunno 2005 a fine luglio 2006 si è provveduto alla cattura sistematica di esemplari di *P. clarkii* mediante posizionamento di 18 nasse a sezione triangolare, innescate con mangime umido per gatti. Le nasse (imboccatura: lato 30 cm; lunghezza:

50 cm; rete esterna di plastica maglia: 8 mm; inganno a forma di imbuto di rete in nylon con maglie di 4 mm di diametro) sono state controllate settimanalmente, rimuovendo dall'ambiente gli esemplari catturati, i quali venivano immediatamente trasportati in laboratorio e surgelati alla temperatura di -18° C, in attesa di successive analisi. Tutte le catture accessorie delle nasse (pesci, macroinvertebrati acquatici) sono state registrate e gli animali involontariamente catturati liberati. Successivamente i gamberi raccolti sono stati sottoposti alle seguenti analisi di laboratorio: misure biometriche (lunghezza totale, lunghezza cefalotorace, peso fresco sgocciolato), ripartizione sessuale, conta uova (femmine fecondate) e analisi della componente microfungina associata.

2.2 Tassi di erbivorismo

In primavera e autunno 2007 sono stati allestiti *in loco* 12 mesocosmi (acquari) sperimentali (Fig. 2) per la verifica dei tassi di erbivorismo di *P. clarkii* nei confronti delle due idrofite sommerse più abbondanti nel sito di studio: *Lagarosiphon major* e *Potamogeton natans*. Ciascun acquario è stato riempito di sedimento (circa 3 cm) contenente un'uguale biomassa (21 g, peso fresco) delle due specie di idrofite. Sono stati così realizzate repliche sperimentali in acquari: quattro contenenti piante



| | | | | | |
|----|----|----|----|-----|-----|
| C1 | C2 | D1 | D2 | DD1 | DD2 |
| C3 | C4 | D3 | D4 | DD3 | DD4 |

Fig. 2: Schema del disegno sperimentale per la valutazione dei tassi di erbivorismo di *P. clarkii*. C = controllo, sedimento + idrofite; D = densità 1, sedimento + idrofite + 1 gambero; DD = densità 2, sedimento + idrofite + 2 gamberi.

e 1 gambero, quattro contenenti piante e 2 gamberi e quattro, di controllo, con solo piante. I tassi di erbivorismo sono stati valutati per differenza di peso delle piante dopo 15 giorni. Allo stesso modo è stata valutata la produzione di biomassa vegetale delle due specie di idrofite nelle vasche di controllo. L'esperimento è stato inizialmente effettuato con esemplari maschi (maggio 2007) e replicato con le femmine (settembre-ottobre 2007). I gamberi impiegati per lo studio sono stati catturati nei mesi precedenti gli esperimenti, selezionati in base alla taglia (lunghezza totale: circa 10 cm; peso: circa 50 g) e mantenuti in stabulazione in loco in ampie gabbie. Quarantotto ore prima dell'inizio dell'esperimento i gamberi sono stati privati del cibo in modo da standardizzarne i livelli di fame.

2.3 Analisi del contenuto stomacale

Un sub campione di 163 individui catturati è stato sottoposto ad analisi del contenuto stomacale mediante applicazione e successiva modifica del metodo proposto da Correia (2003). Si è deciso di considerare tre categorie principali di alimento ingerito dal gambero: animale, vegetale e detrito. Queste tre classi sono state valutate in percentuale rispetto al volume medio (circa 2 ml) degli stomaci (Garzoli et al, in stampa) mediante identificazione allo stereomicroscopio su piastre Petri, cui è stata applicata una griglia di riferimento divisa in 100 riquadri. Gli stomaci sono stati rimossi sollevando il carapace dal cefalotorace; per esporre gli organi interni sono state effettuate due incisioni: una lungo il bordo della cuticola nella parte ventrale, a livello della saldatura con gli otto segmenti del torace, e una per recidere la sottile membrana ("finestra dorsale") che si forma nella sovrapposizione del cefalotorace con l'addome. Ciascuno stomaco veniva successivamente riposto al centro delle piastre Petri, inciso trasversalmente e svuotato di tutto il contenuto, lavandone anche le pareti con una siringa. Il materiale era distribuito in modo da occupare tutta la griglia, dove ogni riquadro rappresentava 1/100 del contenuto stomacale. Sono stati quindi contati e rapportati al volume totale i riquadri occupati da ciascuna delle tre categorie alimentari: i frammenti di vegetali (facilmente riconoscibili in quanto è ben visibile la parete cellulare), la componente animale (parti di esoscheletro di macroinvertebrati acquatici, vertebre di pesce, ecc.), il detrito, insieme di particolato organico (vegetale e animale) e inorganico (sedimento minerale) non ascrivibile alle altre due categorie.

2.4 Indagini sulla componente fungina associata

Un sub campione di 36 esemplari di *P. clarkii* è stato sottoposto ad analisi micologica secondo la metodologia proposta da Alderman & Polglase (1986), specifica per la diagnosi dell'Oomycete *Aphanomyces astacii*, ma anche favorevole all'individuazione di taxa microfungini a carattere patogenico e saprotrofico. In particolare, per ogni individuo esaminato sono state indagate tre piccole porzioni (2-5 mm²), rispettivamente prelevate dalla cuticola addominale superiore e inferiore, e dai punti di inserzione dei pleiopodi. In seguito a deposizione su terreno a base di estratto di lievito e glucosio addizionato di antibiotici, i campioni sono stati incubati a 20°C e osservati allo stereomicroscopio con cadenza settimanale fino a un mese della loro deposizione in piastre Petri. Ogni struttura microfungina sviluppatasi è stata sottoposta ad identificazione microscopica (400x) morfometrica con il supporto di adeguate chiavi analitiche e a successivo isolamento in sterilità su terreno colturale generico per i microfunghi (PDA, Potato Dextrose Agar). Si è così valutata la presenza/assenza dei taxa microfungini colonizzanti ciascun individuo, riportata successivamente in termini di frequenza rispetto al totale degli individui analizzati.

2.5 Ricchezza floristica e faunistica

Nel corso del triennio 2005-2008 sono stati raccolti stagionalmente dati qualitativi relativi alle componenti floristiche e faunistiche del bacino. Sono state disegnate *in loco* mappe di distribuzione della flora acquatica e si è tenuto conto delle catture accessorie di vertebrati e invertebrati nelle nasse per gamberi come dato indicativo generale della ricchezza in specie presenti

2.6 Analisi statistica

I dati sono stati sottoposti ad analisi statistiche utilizzando il software Minitab 12 (McKenzie & Goldman, 1999). Sono stati applicati i test parametrici di analisi della varianza ANOVA, a una e due vie, previa verifica delle necessarie condizioni di normalità (test di Normalità di Anderson-Darling) e omogeneità della varianza (test di Bartlett).

3. Risultati

3.1 Struttura di popolazione

Le catture sono state relativamente contenute e incostanti (media annuale: 33 ± 22 individui mese⁻¹) ma continue per l'intero periodo di ricerca (settembre 2005-luglio 2006), con un massimo di

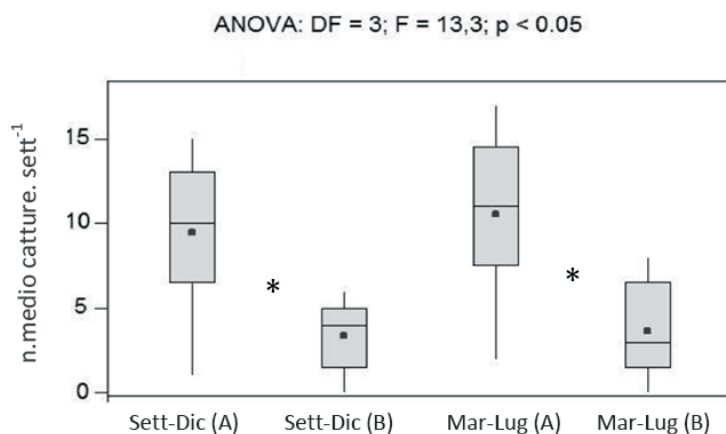


Fig. 3: Frequenza e valori medi delle catture settimanali di *P. clarkii* nella zona A (Braccio O), nella zona B (Braccio NO) della lanca, in periodo autunno-inverno (Sett-Dic) e primavera-estate (Mar-Lug). L'asterisco (*) indica differenze significative al 95% di confidenza, stimate mediante applicazione del test statistico ANOVA a una via (McKenzie & Goldman, 1999).

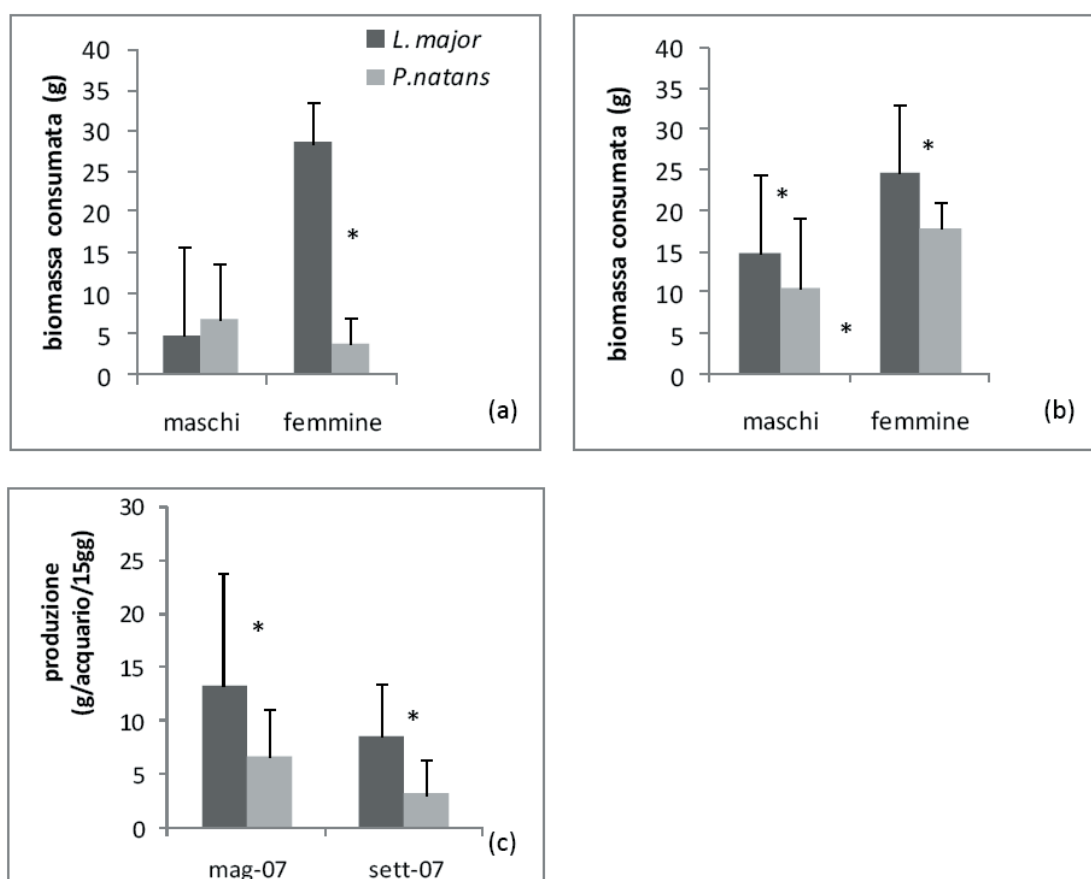


Fig. 4: Valori medi di consumo e produzione di biomassa negli acquari nell'esperimento di maggio con esemplari maschi, e in quello di settembre con esemplari femmine; a) biomassa di idrofite acquatiche (*L. maior*; *P. natans*) consumata da 1 esemplare di *P. clarkii* in 15 giorni; b) biomassa consumata da 2 esemplari di *P. clarkii* in 15 giorni; c) produzione di biomassa in assenza del predatore (acquari di controllo). Gli asterischi (*) indicano differenze significative al 95% di confidenza stimate mediante applicazione del test statistico ANOVA a due vie (McKenzie & Goldman, 1999).

individui catturati in ottobre (48) e maggio (68). La moda delle distribuzioni di frequenza delle classi di taglia è risultata pari a 10,5 cm di lunghezza totale del carapace e corrispondente ad un'età di circa 1-2 anni. Non sono state riscontrate differenze significative nel numero di catture in periodo autunnale-invernale e primaverile-estivo. Tuttavia, le catture sono state maggiori nell'area ovest (Zona A) della lanca (Fig. 3), dove è possibile che si verifichino condizioni microclimatiche favorevoli allo sviluppo di questa specie (Savini 2007).

L'analisi della ripartizione sessuale sull'intero campione (282 individui) mostra un numero maggiore di esemplari maschi (circa 66%). Si sono riscontrate catture equilibrate di maschi e femmine (rapporto circa 1:1) solo nel mese di dicembre. Nel corso della ricerca sono state catturate solo 7 femmine ovigere, 4 in settembre e 3 in aprile. La conta delle uova di questi esemplari ha dimostrato un elevato potenziale riproduttivo della popolazione (media: 738 ± 14 uova).

3.2 Tassi di erbivorismo

Gli esperimenti sui tassi di erbivorismo hanno dimostrato come un singolo individuo sia in grado di consumare in media 10 – 30 g di idrofite in 15 giorni. Le femmine mostrano consumi maggiori, al limite dell'intervallo superiore (circa 30 g), rispetto ai maschi (circa 10 g). Nonostante si evidenzino una preferenza piuttosto netta per l'idrofita alloctona *Lagarosiphon major*, la minor produttività dell'autoctona *Potamogeton natans* nelle vasche di controllo, indica la possibilità che questa specie possa subire, a breve termine, un maggior impatto dall'attività predatoria del gambero (Fig. 4).

3.3. Contenuto stomacale

Le analisi del contenuto stomacale di *P. clarkii* confermano l'attitudine all'onnivorismo e all'opportunità di questa specie. I dati riportano un elevato consumo di materiale vegetale in primavera estate (47% della dieta) e di detrito/ materia organica in decomposizione nei mesi invernali (75%). Il consumo di invertebrati acquatici e giovani pesci risulta quantitativamente inferiore (10-20 %), ma costante in tutte le stagioni (Fig. 5; Fig. 6). A gennaio e febbraio 2006, a causa di estese formazioni di ghiaccio nella lanca, non è stato possibile effettuare campionamenti; per questo motivo non vengono presentati dati relativi al contenuto stomacale in questi mesi.

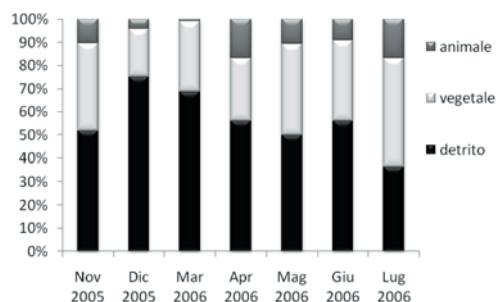


Fig. 5: Variazione del contenuto stomacale



Fig. 6: Fotografia di una vertebra di pesce (sp. ind.) rinvenuta nello stomaco di un esemplare di *P. clarkii*.

3.4 Componente microfungina

Le indagini micologiche effettuate sui 36 esemplari di *P. clarkii* hanno evidenziato, in primo luogo, l'assenza del pericoloso patogeno *Aphanomyces astacii*. Inoltre, hanno permesso di segnalare una ricca colonizzazione fungina, quantificabile in 23 taxa rappresentativi di 16 generi e 18 specie (Tab. 1). Fra questi, è possibile distinguere taxa ubiquitari e di comune riscontro nell'ambiente (*Acremonium fusidioides*, *A. kiliense*, *Alternaria alternata*, *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Gliocladium* spp., *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus stolonifer*, *Trichoderma* sp.) e taxa maggiormente specializzati nella colonizzazione di specifici substrati (quali la specie entomopatogena *Acremonium larvarum*, le specie fitopatogene *Cladosporium chlorocephalum*, *Phoma eupyrena* e *P. lingam*, la specie con potenziale attività antibatterica *Penicillium corylophilum*, la specie saprotrofa *Volutella ciliata*) (Raper & Fennel, 1965; Domsch et al., 1980, Ellis 1971, 1976; Gams 1971; Sutton

| Taxa fungini | Frequenza % |
|---|-------------|
| <i>Acremonium larvarum</i> (Petch) W. Gams | 16 |
| <i>Acremonium fusidioides</i> (Nicot) W. Gams | 2 |
| <i>Acremonium kiliense</i> Grütz | 2 |
| <i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl. | 2 |
| <i>Ascomycetes</i> | 2 |
| <i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen. | 2 |
| <i>Aspergillus niger</i> Tiegh. | 2 |
| <i>Aspergillus</i> sp. | 2 |
| <i>Aureobasidium pullulans</i> var. <i>pullulans</i> (de Bary) Arnaud | 12 |
| <i>Botrytis cinerea</i> Pers. | 2 |
| <i>Cladosporium chlorocephalum</i> (Fresen.) Mason & Ellis | 20 |
| <i>Fusarium</i> spp. | 4 |
| <i>Gliocladium</i> spp. | 4 |
| <i>Penicillium chrysogenum</i> Thom | 2 |
| <i>Penicillium corylophilum</i> Dierckx | 2 |
| <i>Penicillium</i> sp. | 2 |
| <i>Phoma eupyrena</i> Sacc. | 4 |
| <i>Phoma lingam</i> (Tode) Desm. | 2 |
| <i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill. | 4 |
| <i>Rhodotorula rubra</i> (Schimon) Harrison | 2 |
| <i>Sporobolomyces roseus</i> Kluyver & Niel | 2 |
| <i>Trichoderma</i> sp. | 6 |
| <i>Volutella ciliata</i> (Alb. & Schwein.) Fr. | 2 |

Tab. 1: Taxa fungini isolati dai campioni di *P. clarkii* indagati e rispettive frequenze.

1980). In quanto specie potenzialmente patogena per l'uomo si segnala il riscontro di *Aspergillus fumigatus*, le cui spore aerodiffuse possono divenire pericolosi contaminanti di alimenti in fase di conservazione e di ambienti confinati (Samson *et al.*, 2004). E' stata infine osservata anche la presenza di lieviti, rappresentati dalle specie *Rhodotorula rubra* e *Sporobolomyces roseus*.

3.5 Ricchezza floristica e faunistica

Le osservazioni qualitative sulla distribuzione e copertura delle principali idrofite confermano una forte riduzione della ricchezza floristica in seguito all'acclimatazione di *P. clarkii*. In soli due anni si è verificata la totale scomparsa dalla lanca di *P. natans* e di altre due specie un tempo presenti: *Potamogeton crispus* e *Myriophyllum spicatum* (Fig. 7). I dati delle catture accessorie nelle nasse utilizzate per i campionamenti del gambero (Fig. 8) mostrano una forte riduzione delle seguenti specie ittiche: *Ictalurus melas*, *Lepomis gibbosus*, *Rhodeus*

amarus, *Pseudorasbora parva*, *Cobitis taenia*. Allo stesso modo si è rinvenuta una diminuzione dei più comuni invertebrati acquatici un tempo presenti nel bacino, quali il gasteropode *Viviparus contectus* e il coleottero acquatico *Hydrophilus piceus*.

4. Discussione e Conclusioni

L'analisi dei dati di struttura di popolazione indica una completa acclimatazione del gambero rosso della Louisiana nell'area di studio. In accordo con quanto riportato da altri autori (Gherardi *et al.* 1999) in Italia sono stati identificati due periodi di reclutamento in primavera e a fine estate (aprile, settembre). In questo ambiente le femmine producono in media più di 700 uova, valore molto più elevato di quanto riportato in bibliografia per l'Italia (circa 400 uova) (Gherardi 2006). Le catture sono state massime nel periodo post riproduttivo (ottobre 48 ind.; maggio 68 ind.) in accordo con quanto riportato da Dörr *et al.* (2006), in quanto le femmine abbandonano le loro tane in cerca di cibo dopo aver ri-

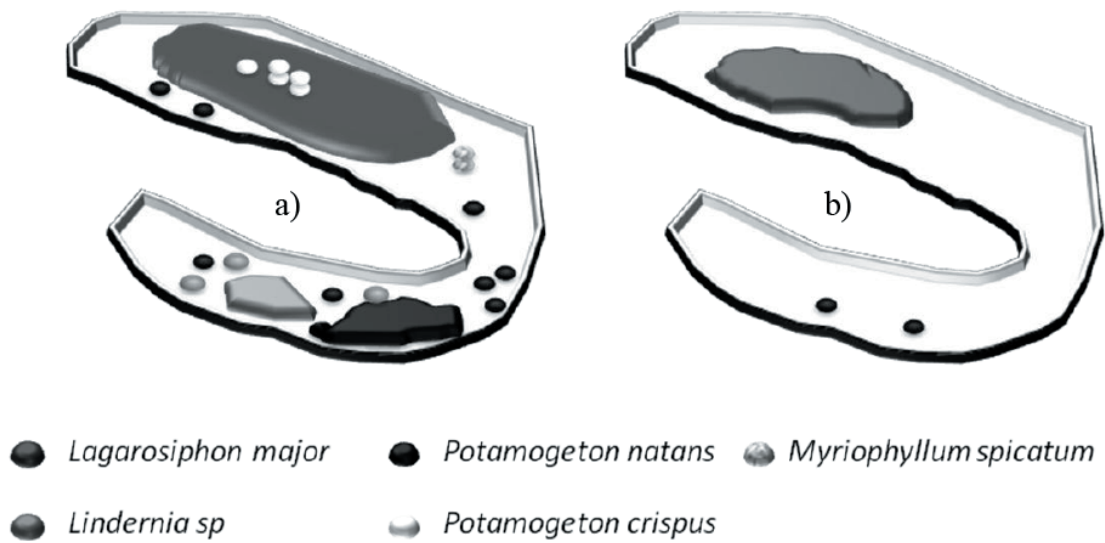


Fig. 7: Distribuzione e copertura delle principali specie di idrofite della lanca. a) settembre 2005; b) settembre 2007.

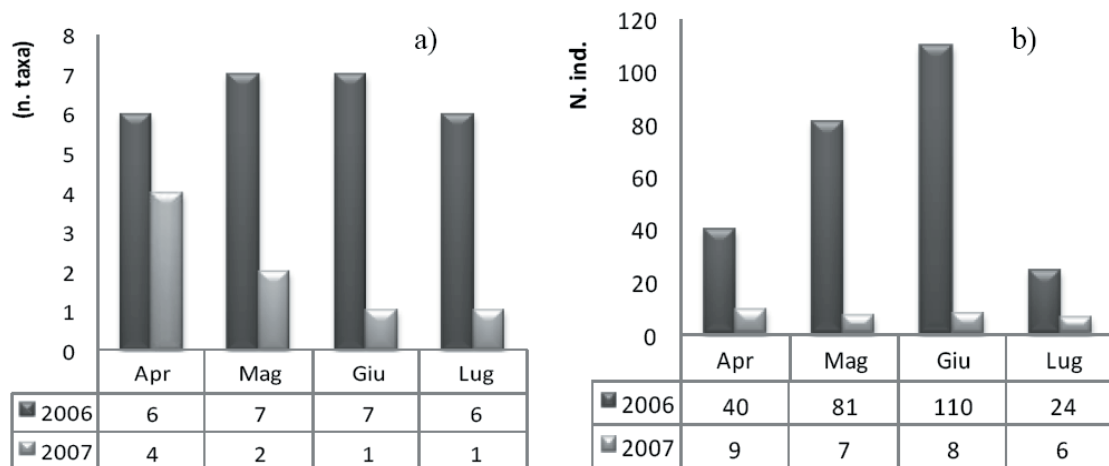


Fig. 8: Confronto tra i valori di ricchezza specifica (a) e abbondanza totale (n. ind.) (b) di vertebrati ed invertebrati acquatici rinvenuti nelle nasse per gamberi in primavera-estate 2006 e 2007. I valori rappresentano il totale mensile delle catture accessorie.

lasciato i piccoli nell'ambiente e possono essere più facilmente catturate. La moda della distribuzione delle frequenze di taglia (10.5 cm lunghezza totale) indica la presenza di una popolazione piuttosto giovane (circa 1-2 anni) e in espansione; ipotesi confermata dal primo rinvenimento avvenuto nell'agosto 2004 (Bogliani, com pers.). A causa di un probabile elevato tasso di immigrazione dagli ambienti umidi circostanti (canali, fiume Ticino, risaie), la continua rimozione di esemplari nel corso dei due anni di studio a lungo termine non sembra aver prodotto alcun effetto sulla densità di popolazione.

Alcune caratteristiche peculiari dell'ambien-

te di studio sembrano inoltre aver facilitato l'acclimatazione di questa specie. La temperatura dell'acqua è un fattore molto importante per la crescita di *P. clarkii* (Ramirez *et al.* 1994). Nella zona A del bacino (braccio O), a causa della risalita di acque di subalveo a temperatura costante, sono state rilevate condizioni più miti (Savini, 2007). Qui è stato infatti ritrovato un maggior numero di gamberi. Tuttavia, il maggior numero di catture nel braccio O potrebbe anche risultare da una presenza limitata di specie ittiche, potenziali predatori del gambero in alcuni periodi dell'anno. Infatti, nei mesi invernali di febbraio-marzo e in quelli estivi di giugno-luglio-

agosto le due estremità del bacino risultano isolate in seguito al congelamento o alla forte evaporazione della zona centrale del bacino; è quindi plausibile che in questi mesi i grossi predatori, come il pesce gatto (*Ictalurus melas*) e il luccio (*Esox lucius*), si spostino verso le acque più profonde del braccio NO (zona B).

Gli esperimenti sui tassi di erbivorismo e le analisi del contenuto stomacale confermano come *P. clarkii* sia in grado di esercitare un forte impatto sulla componente a macrofite acquatiche, come riportato in letteratura anche per altre specie non native di gamberi (Lodge & Lorman, 1987; Chambers *et al.*, 1990, 1991; Olsen *et al.*, 1991; Barbaresi & Gherardi, 2000). In particolare, il nostro studio rivela come piante caratterizzate da crescita più lenta e minor produttività (e.g. *Potamogeton natans*) siano maggiormente soggette a rischio di estinzione locale. La componente vegetale risulta molto importante per la dieta del gambero (20-50% del contenuto stomacale), soprattutto nei periodi di crescita vegetativa (primavera-inizio estate). Le osservazioni sul campo confermano *in toto* i dati sperimentali. In soli due anni di studio si è assistito ad una rapida riduzione della copertura a idrofite nel bacino, con la totale scomparsa di specie prima ben rappresentate quali: *P. natans* e *P. crispus* e altre invece meno abbondanti, come *M. spicatum*. La rimozione delle macrofite acquatiche comporta un'importante riduzione di habitat utile allo sviluppo di vertebrati e invertebrati acquatici. Infatti, le nostre osservazioni più recenti riportano anche un'evidente diminuzione di catture accessorie delle più comuni specie acquatiche di animali (pesci, coleotteri, gasteropodi), un tempo abbondanti nell'area di indagine.

Fortunatamente, i risultati preliminari delle indagini micologiche effettuate non hanno evidenziato la presenza del microrganismo patogeno *Aphanomyces astacii*, noto agente causale della

cosiddetta "peste del gambero", di cui *P. clarkii* è riconosciuto portatore sano (Edgerton *et al.*, 2004). Ciò nonostante sui campioni analizzati di gamberi del Bosco Negri è stata rilevata una ricca e inaspettata comunità microfungina, composta da 23 taxa in parte ubiquitari e polifagi, in parte maggiormente specializzati e dotati di una potenziale intensa attività metabolica. Questo inatteso risultato giustifica la necessità di continuare a investigare, in futuro, la componente microfungina associata al gambero; particolare riguardo verrà dedicato alla valutazione di tale colonizzazione in termini di adattabilità ecologica e potenzialità patogenica (nei confronti non solo della salute del gambero invasivo e autoctono, ma anche dell'uomo in quanto possibile utilizzatore di *P. clarkii*).

In conclusione, il presente studio conferma come *P. clarkii* rappresenti una reale minaccia per la conservazione della biodiversità in ambienti umidi d'acque interne. L'impatto ecologico di questa specie è risultato evidente anche nei tempi brevi del presente studio che rappresenta, fra l'altro la prima quantificazione dell'impatto ambientale di questa specie in un'area protetta del territorio regionale lombardo. Nonostante le forti pressioni delle maggiori organizzazioni internazionali che si occupano di conservazione della biodiversità (e.g. IUCN, FAO, RAC SPA), a livello nazionale non siano state ancora messe a punto strategie efficaci di contenimento e gestione delle bioinvasioni, sia nei riguardi di questa specie, sia di altre potenzialmente dannose introdotte sul territorio nazionale. Nel caso di specie altamente invasive, potenzialmente in grado di espandersi su tutto il territorio nazionale, come il gambero rosso della Louisiana, si corre rischio che i sacrifici dedicati alla conservazione della biodiversità vengano vanificati dal forte impatto che queste possono esercitare nei confronti delle specie native.

Ringraziamenti

Si ringraziano la Dr. Silvia Assini e il Prof. Francesco Bracco, per l'identificazione tassonomica delle macrofite acquatiche del Bosco Negri. Il Sig. Gianpaolo Sacchi per il supporto tecnico sul campo. Ringraziamo, infine, il Prof. Francesco Sartori per aver messo a disposizione i fondi necessari allo svolgimento della presente ricerca (finanziamento del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio).

Bibliografia

- ALDERMAN D.J., POLGLASE J.L., 1986, *Aphanomyces astacii: isolation and culture*, J. Fish Dis., 7: 401-405.
 BARBARESI S., GHERARDI F., 2000, *The invasion of the alien crayfish Procambarus clarkii in Europe, with particular reference to Italy*, Biol. Invas., 2: 259-264.
 BARBARESI S., SALVI G., GHERARDI F., 2001, *Il gambero Procambarus clarkii: Distribuzione, dinamica di popolazione e impatto*, In: *Lungo le rotte migratorie: progetti di ricerca sulla vegetazione, l'avifauna e le specie aliene*, Quaderni del Padule di Fucecchio, 1: pp. 195-212.

- CHAMBERS P.A., HANSON J.M., BURKE J.M., PREPAS E.E., 1990, *The impact of the crayfish Orconectes viridis on aquatic macrophytes*, Freshwat. Biol., 24: 81–91.
- CHAMBERS P.A., HANSON J.M., BURKE J.M., PREPAS E.E., 1991, *The effect of aquatic plant chemistry and morphology on feeding selectivity by the crayfish, Orconectes viridis*, Freshwat. Biol., 25: 339–348.
- CORREIA A., 2003, *Food choice by the introduced crayfish Procambarus clarkii*, Ann. Zool. Fennici, 40: 517–528.
- CORREIA A.C., FERREIRA O., 1995, *Burrowing behaviour of the introduced red swamp crayfish Procambarus clarkii (Decapoda, Cambaridae) in Portugal*, J. Crust. Biol., 15: 248–257.
- DOMSCH K.H., GAMS W., ANDERSON T.H., 1980, *Compendium of soil fungi*. Academic Press, London, 859 pp.
- DÖRR A.J., LA PORTA G., PEDICILLO G., LORENZONI M., 2006, *Biology of Procambarus clarkii (Girard, 1852) in the Lake Trasimeno*, Bull. Fr. Peche Piscic., 380–381: 1155–1170.
- EDGERTON B.F., HENTTONEN P., JUSSILA J., MANNONEN A., PAASONENS P., TAUGBØL T., EDSMAN L., SOUTY-GROSSET C., 2004, *Understanding the disease in European freshwater crayfish*, Cons. Biol., 18: 1466–1474.
- ELLIS M.B., 1971, *Dematiaceous hyphomycetes*, Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England, pp. 608.
- ELLIS M.B., 1976, *More dematiaceous hyphomycetes*, Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England, 507 pp.
- GAMS W., 1971, *Cephalosporium-artige Schimmelpilze (Hyphomycetes)*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, pp. 147.
- GARZOLI L., SAVINI D., OCCHIPINTI-AMBROGI A., in stampa, *Analisi del contenuto stomacale di Procambarus clarkii (Girard, 1852), gambero invasivo nella riserva naturale “Bosco Siro Negri” (Zerbolò, Pv)*, Acta Biol.,
- GHERARDI, 2006, *Crayfish invading Europe: the case study of Procambarus clarkii*, Mar. Freshw. Behav. Phy., 39: 175–191.
- GHERARDI F., BALDACCINI G.N., BARBARESI S., ERCOLINI P., DE LUISE G., MAZZONI D., MORI M., 1999, *Alien crayfish: the situation of Italy*, In: GHERARDI F., HOLDICH D.M. (Eds), *Crayfish in Europe as Alien Species: How to Make the Best of a Bad Situation?*, pp 107–128. A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands.
- GHERARDI F., BARBARESI S., VASELLI A., F. BENCINI, 2002, *A comparison of trace metal accumulation in indigenous and alien freshwater macro-decapods*, Mar. Freshw. Behav. Phy., 35: 179–188.
- GROPPALI R., 2003, *Acclimatazione del gambero della Louisiana Procambarus clarkii (Girard) nella Provincia di Pavia*, Riv. Piem. St. Nat., 24.
- HUNER J.V., 1988, *Procambarus in North America and elsewhere*, In HOLDICH D.M., LOWERY R.S., *Freshwater crayfish, biology, management and exploitation*, Timber Press, pp. 239–262.
- HUNER J.V., AVAULT J.W.JR., 1979, *Introductions of Procambarus spp.*, Freshwat. Crayfish, 4:191–194.
- HUNER J.V., BARR J.E., 1984, *Red swamp crayfish: biology and exploitation*, Louisiana Sea Grant College Program, Baton Rouge, Louisiana, 136 pp.
- LODGE D.M., LORMAN J.G., 1987, *Reductions in submersed macrophyte biomass and species richness by the crayfish Orconectes rusticus*, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44: 591–597.
- McKENZIE J.D., GOLDMAN R.N., 1999, *The student edition of Mintabfor Windows 95 and Windows NT*, Addison-Wesley, Reading: 464 pp.
- OLSEN T.M., LODGE D.M., CAPELLI G.M., HOULIHAN R.J., 1991. *Mechanisms of impact of introduced crayfish (Orconectes rusticus) on littoral congeners, snails, and macrophytes*, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48: 1853–1861.
- RAMIREZ L.F.B., HERRERA F.D., SANDOVAL F.C., SEVILLA B.B., RODRIGUEZ M.H., 1994, *Deil thermoregulation of the crayfish Procambarus clarkii (Crustacea, Cambaridae)*, J. Therm. Biol., 19: 419–422.
- RAPER K.B., FENNEL D.I., 1965, *The genus Aspergillus*, The Williams & Wilkins Company, Baltimore, 686 pp.
- RENAI B., GHERARDI F., 2004, *Predatory efficiency of crayfish: comparison between indigenous and non-indigenous species*, Biol. Invas., 6: 89–99.
- SAMSON R.A., HOEKSTRA E.S., FRISVAD J.C., 2004. *Introduction to food- and airborne fungi*. 7th ed. CBS, Utrecht, The Netherlands, 389 pp.
- SAVINI D., 2007, *Rinvenimento della specie aliena invasiva Procambarus clarkii (Atracidea: Cambaridae) nella riserva naturale “Bosco Siro Negri” (Zerbolò- Pavia)*. Acta Biol., 83: 33–37.
- SUTTON B.C., 1980, *The Coelomycetes*, Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England, 697

pp.

TOMASELLI R., GENTILE S., 1971, *La riserva naturale integrale "Bosco Siro Negri" dell'Università di Pavia*, Atti Ist. Bot. Lab. Critt. Univ. Pavia, ser. 6, Vol VII: 41-70.

VOGT G., 1999, *Diseases of European freshwater crayfish, with particular emphasis on interspecific transmission of pathogens*, In: GHERARDI F., HOLDICH D.M. (Eds.), *Crayfish in Europe as Alien Species: How to Make the Best of a Bad Situation*, pp. 87-103, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam.

