



Università degli Studi di Milano – Bicocca
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELL'AMBIENTE E DELLA TERRA

**Corso di Laurea Magistrale in
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio**

**Valutazione degli effetti di contenimento e proposte di
gestione della specie alloctona invasiva *Procambarus
clarkii* nel sito Natura2000 "Torbiere d'Iseo"**

Relatore:
Prof.ssa Barbara Leoni

Tesi di Laurea di:
Nicola Della Torre

Correlatori:
Prof. Luciano Bani
Dott. Marco Mancini

Matricola:
820638

*30 anni sono passati, pochi o tanti che
siano, non smettere mai di credere nei
tuoi sogni.*

INDICE

RIASSUNTO	4
ABSTRACT	7
1. LA RISERVA NATURALE TORBIERE DEL SEBINO.....	10
1.1 Origine morfologica	10
1.2 Storia e preistoria	13
1.3 Le Torbiere: da risorsa economica a bene ambientale.....	17
1.4 Caratteristiche del sito Natura2000 "IT 2070020"	22
2. PROCAMBARUS CLARKII	30
2.1 Origine della specie e processo di importazione e diffusione sul territorio nazionale.....	30
2.2 Sistematica e morfologia	34
2.3 Biologia riproduttiva	36
2.4 Caratteristiche che favoriscono la diffusione di <i>Procambarus clarkii</i> ...	45
2.5 La relazione di <i>Procambarus clarkii</i> con l'habitat e la biocenosi (impatto ecologico)	50
3. GESTIONE DELLE SPECIE ALLOCTONE INVASIVE	63
3.1 Inquadramento normativo e procedure per le attività di gestione	64
3.2 Specie alloctone invasive inserite nella lista nera presenti all'interno delle Torbiere	66
4. OBIETTIVO DEL LAVORO	71
5. MATERIALI E METODI.....	72
6. RISULTATI E DISCUSSIONE	77
6.1 Entità delle catture.....	77
6.2 Rapporto tra i sessi e analisi delle differenze morfologiche di <i>P. clarkii</i> tra i siti di cattura	81
6.3 Variazione nella struttura di popolazione.....	84
6.4 Relazioni allometriche	87
6.7 Asimmetrie nelle chele	93
VALUTAZIONE DELLE METODOLOGIE ADOTTATE E PROPOSTE DI GESTIONE.....	95
CONSLUSIONI.....	97
BIBLIOGRAFIA	99

RIASSUNTO

Il gambero rosso della Louisiana, *Procambarus clarkii*, è un crostaceo originario dell'America Centro-Meridionale. Sbarcato in Spagna nel 1973 e segnalato in Italia nel 1989, sta colonizzando tutto il continente Europeo, tanto da essere inserito nella lista nera delle specie invasive di rilevanza unionale oggetto di monitoraggio, controllo e eradicazione. Le caratteristiche che lo rendono un ottimo invasore sono la strategia riproduttiva *r*-selezionata, la plasticità del ciclo vitale, l'abitudine di rifugiarsi in tane sotterranee, l'elevata capacità di dispersione anche in ambiente terrestre e un'alimentazione generalista e opportunista. A causa di queste sue caratteristiche intrinseche è in grado di proliferare rapidamente causando un elevato impatto sugli ecosistemi e sulla conservazione della biodiversità, per mezzo di interazioni competitive e predatorie sulla componente vegetale e animale autoctona.

La "Riserva Naturale Regionale delle Torbiere del Sebino (o d'Iseo)" tutela un'area umida di circa 360 ha considerata di importanza internazionale ai sensi della convenzione di Ramsar, *Important Bird and Biodiversity Area* (IBA) e riconosciuta come Zona di Protezione Speciale (ZPS) e Zona Speciale di Conservazione (ZSC) ai sensi delle Direttive comunitarie (Dir. 79/409/CEE "Direttiva Uccelli" e Dir. 92/43/CEE "Direttiva Habitat"). La conservazione della biodiversità è quindi un obiettivo fondamentale che la Riserva deve perseguire mettendo in atto tutte le azioni necessarie per il mantenimento degli habitat in uno stato di conservazione soddisfacente e, per questi motivi, l'eradicazione e/o il contenimento di specie alloctone invasive come *P. clarkii* diventa essenziale.

Il lavoro svolto si inserisce nell'ambito di un'attività di contenimento più ampia, comprendente anche il controllo di *Silurus glanis* e volta indagare, per la prima volta, la biologia e l'ecologia di *P. clarkii* all'interno dell'area protetta. L'obiettivo specifico della tesi è stato quello di mettere in atto una procedura di rilevamento di *P. clarkii* al fine di (a) studiare le caratteristiche morfologiche della popolazione locale, (b) definire la struttura della popolazione e la sua fenologia, (c) valutare gli effetti derivanti dalla rimozione degli individui catturati sulla popolazione, (d) proporre un protocollo per il controllo e/o l'eradicazione della specie.

Le modalità di rilevamento di *P. clarkii* sono state effettuate in due modi: il primo per mezzo della ricerca degli individui in ambiente terrestre e all'interno dei canali che circondano l'area umida; il secondo con il metodo del trappolaggio per mezzo del posizionamento di nasse in acqua. Il monitoraggio e l'attività di rimozione degli esemplari a terra è avvenuta all'incirca ogni due settimane nel periodo compreso tra luglio e ottobre 2018 e tra maggio e settembre 2019. Complessivamente sono stati rimossi 231 gamberi a terra. Le nasse sono state calate la prima volta ad ottobre 2018 e rimosse a dicembre 2018, ed hanno consentito la cattura di 112 gamberi; in seguito sono state ricollocate a maggio 2019, svuotate all'incirca ogni due settimane, e rimosse a settembre 2019, con la cattura di 209 gamberi. Tutti gli esemplari catturati sono stati rimossi e congelati. Successivamente sono state registrate le caratteristiche dei singoli individui (sesso, assenza di chele, presenza di uova, malformazioni); inoltre, sono stati effettuate le seguenti misure biometriche: lunghezza totale, lunghezza del cefalotorace, peso totale e peso delle singole chele. Alla fine, gli esemplari sono stati smaltiti nella frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU).

Al fine di studiare le caratteristiche morfologiche della popolazione sono stati confrontati i dati raccolti in relazione anche al sesso degli individui. Inoltre, al fine di valutare gli effetti della rimozione degli individui catturati sulla struttura della popolazione, è stata effettuata un'analisi sull'andamento delle catture e sulla variazione della taglia media degli esemplari catturati. Per poter valutare eventuali stress all'interno della popolazione di *P. clarkii* dovuti a disturbi di origine genetica o ambientale è stata effettuata un'analisi alla ricerca di eventuali asimmetrie all'interno delle chele. Le analisi statistiche sono state effettuate con il software *open source* R.

Le catture a terra sono rappresentate prevalentemente da individui di sesso maschile, mentre in acqua i sessi risultano sostanzialmente equiripartiti. Tuttavia, le analisi mostrano come vi sia una differenza delle dimensioni, con i maschi a terra che risultano significativamente più grandi rispetto a quelli in acqua. L'andamento delle catture non ha mostrato una diminuzione significativa, ma si è invece riscontrata una diminuzione significativa della taglia media degli individui catturati. Dalle misure biometriche è emerso come i maschi abbiano chele

significativamente più grosse delle femmine, mentre il peso netto (senza le chele) degli individui non varia tra i sessi. Questa relazione mostra come lo sviluppo delle chele sia il carattere sessuale secondario più evidente negli esemplari catturati mentre non ci sono differenze tra i sessi nello sviluppo corporeo. Vista l'elevata presenza di individui senza chele o con chele ricresciute sono state ricercate correlazioni con l'età (connessa con la taglia degli individui che aumenta durante tutto il ciclo vitale) ed il sesso degli individui; i risultati mostrano che la probabilità di avere chele amputate è correlata con l'avanzare dell'età degli individui. Inoltre, la taglia degli individui maschi amputati risulta significativamente più grande rispetto a quelli integri (questa differenza non si riscontra invece nelle femmine). L'analisi delle asimmetrie nelle chele non ha mostrato differenze significative.

I risultati ottenuti mostrano come all'interno della Riserva sia presente una popolazione stabile di *P. clarkii* e come questa preliminare attività di rimozione non abbia portato a un calo nel numero delle catture ma abbia invece influito sulle dimensioni medie degli individui della popolazione. Il campionamento a terra è stato efficace e può essere svolto anche da personale non specializzato senza particolari strumentazioni. Questa attività dovrebbe essere portata avanti annualmente nel periodo estivo anche da volontari coordinati dal personale dell'Ente. Il campionamento in acqua è stato limitato solo ad una piccola porzione dell'area protetta. Le catture sono state costanti ma vincolate all'utilizzo della barca, la quale richiede personale qualificato e la presenza di due operatori. Per ottimizzare il metodo di cattura in acqua con nasse bisognerebbe posizionare le stesse nasse in prossimità dei percorsi pedonali, evitando così l'utilizzo della barca; ciò permetterebbe di aumentare lo sforzo di campionamento e coprire più zone. Per aumentare l'efficacia delle azioni di contenimento sarebbe necessario integrare le azioni di trappolaggio con la *Sterile Male Release Technique* (SMRT), ossia il rilascio di maschi sterili, tecnica che ha ottenuto buoni risultati in ambienti simili invasi da *P. clarkii*.

Concludendo, questo lavoro è servito a delineare le caratteristiche della popolazione di *P. clarkii* all'interno della Riserva, atte a predisporre misure necessarie all'eradicazione e/o contenimento di questa specie invasiva.

ABSTRACT

The Red Swamp Crayfish, *Procambarus clarkii*, is a crustacean native to south-central USA. Introduced in Spain in 1973 and observed in Italy in 1989, it is dangerously spreading in several European Countries. For this reason, the species is included in the blacklist of invasive alien species of Union concern, subject to restrictions and management. Many characteristics clearly reveal its invasive potential, such as the r-selection reproductive strategy, ecological plasticity in its life cycle, the ability to withstand environmental extremes related to the underground burrowing activity, the high dispersal capacity also in terrestrial ecosystems and its displays of generalist and opportunistic feeding habits. Due to these properties, the successful invasion process of crayfish continues and have serious adverse impact on ecosystems and biodiversity conservation, throughout competitive and predator-prey interactions with animal and vegetal native species.

The “Torbiere del Sebino” natural reserve safeguards a damp area of 360 ha declared a “wetland of international importance” under the Ramsar Convention, Important Bird and Biodiversity Area (IBA) and designated a Special Protection Area (SPA) and a Special Area of Conservation (SAC) in according to the European Union Directives (Dir. 79/409/EEC “Birds Directive” and dir. 92/43/EEC “Habitats Directive”). The conservation of biodiversity is a fundamental aim, which the Reserve is trying to pursue through the practice of habitat conservation, to protect and restore habitats and prevent species extinctions. For these reasons, it is of vital importance to contain and/or eradicate invasive species like *P. clarkii*.

This containment action within the Reserve study area is part of a wider activity of invasive species control, which also includes the control of *Silurus glanis* and aims to locally investigate for the first time the biology and ecology of *P. clarkii*.

The main purpose of this dissertation is to carry out a survey procedure on order to (a) study the morphologic characteristics of *P. clarkii* local population, (b) define the population structure and its phenology, (c) evaluate the effects of removal on the population (d) propose methods for the control and/or eradication of the species.

The activity of research on the ground and in the canals around the damp area, through the placement of traps (creels) in the water, led to the collection of a large number of individuals. The collection on the ground, which took place every two weeks from July to October 2018 and from May to September 2019, led to the removal of 231 crayfishes. The same activity in the water led to the removal of 112 individuals from October to December 2018, while from May to September 2019 were captured 209 crayfishes. After that, the frozen individuals were analysed in order to take note of the following characteristics and biometric measurements: sex, presence or absence of claws, eggs and malformations, total length, weight, cephalothorax length and claws weight. After these measurements, the specimens were disposed in the organic compound of the municipal solid waste.

The comparison of the collected data, in relation with the crayfish sex, allowed to study the morphological features of the whole *P. clarkii* population. Moreover, further analysis of the catch trend and the medium size variation allowed investigating the effects caused by the removal of the captured individuals on the whole population structure. Another analysis looking for asymmetries in the claws were performed in order to evaluate the potential stress into the *P. clarkii* population, due to genetic disorders or environmental disturbances. All the statistical analysis were carried out using the software R.

On the ground, mainly males were captured, while in the water we did not find the differences between sexes. The analysis showed that males captured on the ground were bigger than males captured in the canals. Besides, the capture trend did not show a substantial reduction in the capture rate. However, it was observed a significant decrease in the medium size of individuals. From the biometric measurements emerged that male claws were bigger than female ones, while the net weight (i.e. without claws) was not significantly different. This relation between sex and claws size showed that the claws size was the more evident secondary sexual characteristic in the crayfish, while there were no differences between sexes regarding the body size. Because of the high presence of individuals without claws or with regrew ones, were also investigated the correlations between claws and age (considering the fact that crayfishes size increases during

their whole life circle) and between claws and sex. The results showed that the probability of having amputee claws is related to increasing age. Furthermore, the amputee males are significantly bigger than those amputee (this difference was not observed in females). Lastly, the analysis of eventual asymmetries in the claws did not show any significant difference.

The results proved the presence into the Reserve of a stable *P. clarkii* population and how this preliminary removal campaign did not lead to a decrease in the capture rate, but it affected only the medium size of the trapped individuals. The sampling activity on the ground, carried out without any particular equipment and, above all, by non-qualified staff, was successful. Volunteers coordinated by the Reserve staff should conduct this massive removal every summer. On the other hand, the sampling activity in the canals was restricted only to small areas: the capture trend was stable but bound to the use of boats, which need qualified staff and the presence of two operators at least. In order to optimize the capture method over a wider sampling area, the traps should be located near pedestrian pathways, so it could be possible not to use boats. In wider terms, in order to enhance the *P. clarkii* removal, it would be necessary to combine the trapping activity with the Sterile Male Release Technique (SMRT). The SMRT consists in the release of large numbers of sterile males, which has already showed good results in similar environments invaded by *P. clarkii*.

In conclusion, this activity has led to the outlining of the main features of *P. clarkii* population into the Reserve, a necessary activity to organize invasion management campaigns needed to contain and/or eradicate this invasive species.

1. LA RISERVA NATURALE TORBIERE DEL SEBINO

1.1 Origine morfologica

Le Torbiere del Sebino fanno parte di quel grande complesso di formazioni palustri intermoreniche che caratterizzano il margine meridionale delle Alpi. Durante gli ultimi 800 mila anni si sono susseguiti, più o meno regolarmente, periodi glaciali e periodi interglaciali. Nella conca del Sebino i periodi glaciali sono ben rappresentati dai segni lasciati dall'azione erosiva e di deposito del ghiacciaio dell'Adamello, la cui massima estensione è avvenuta nel periodo glaciale chiamato "Gunz" avvenuto circa 600 mila anni fa, di cui restano poche tracce (fig. 1). È con la seconda glaciazione, nel periodo Mindeliano (circa 480 mila anni fa), che si formano le prime colline moreniche più esterne dell'area della Franciacorta (Adro, Erbusco, Calino e Passirano). I segni più evidenti si hanno con la terza glaciazione, detta del "Riss", avvenuta circa 200 mila anni fa, che edificò l'arco di colline immediatamente interno a quello del Mindel, formando una cerchia ovale quasi perfetta, il più regolare arco morenico dei laghi lombardi, l'anfiteatro morenico della Franciacorta. Durante l'ultima glaciazione, detta del "Wurm", terminata circa 10 mila anni fa, viene a definirsi l'ultimo massimo glaciale che vede la sua massima estensione nell'area tra Cremignane e il versante orientale del Monte Cognolo (fig. 1), in questa area si creerà quella depressione che conterrà in seguito le Torbiere. In questa fase il ghiacciaio lascia due cordoni morenici ben distinti, uno che va dalla stazione di Provaglio d'Iseo per Timoline, il più esterno, e uno lungo la litoranea Iseo-Clusane, che oggi divide le Torbiere dal Lago d'Iseo.

L'acqua che scorreva sotto la massa glaciale dell'Adamello, che ricopriva il lago d'Iseo e la Valle Camonica, defluiva principalmente attraverso due estuari: uno in corrispondenza dell'emissario principale del lago, il fiume Oglio e l'altro posto a Sud delle Torbiere, il fiume Longherone, le cui tracce sono ancora evidenti nella morfologia tra Bornato e Calino. Alla fine dell'ultima glaciazione, il livello del lago superava l'altezza del cordone Wurmiano di Iseo-Clusane, non costituendo così ostacolo al deflusso delle acque. Il lago raggiungeva così il cordone di Provaglio-Timoline, creando una vera e propria ansa che ricopriva tutta la zona oggi

occupata dalle Torbiere (Vecchia, nel 1954, stimava che il livello fosse circa 12 metri più alto di quello attuale).

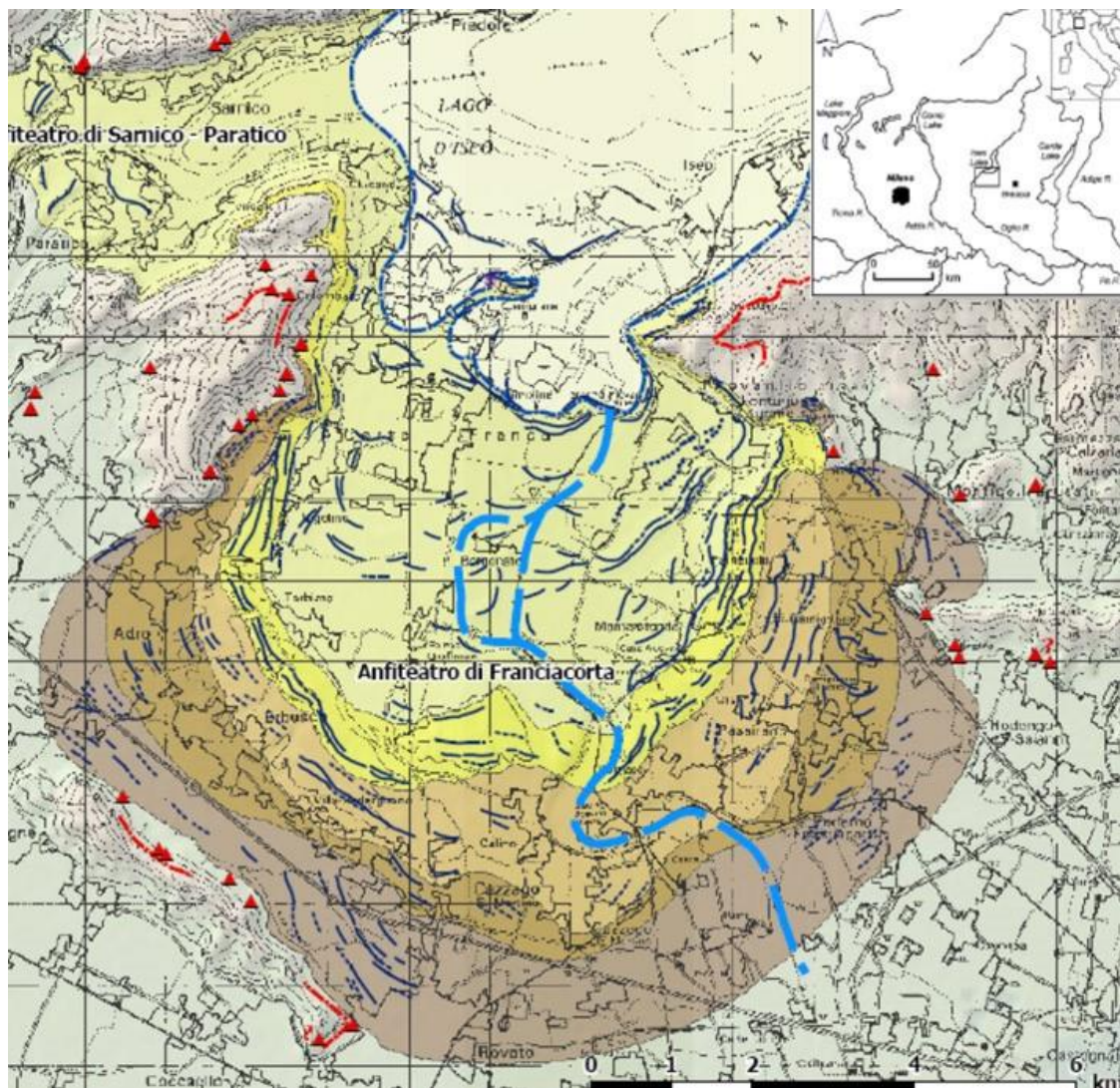


Fig. 1 – Rappresentazione cartografica dell'anfiteatro morenico della franciacorta, i diversi colori rappresentano le diverse ere glaciali (Gunz, Mindel, Riss e Wurm). Le linee rosse rappresentano la massima estensione glaciale mentre la linea blu l'ultimo massimo glaciale. Viene rappresentato in azzurro il paleoalveo del fiume Longherone (Carta Geologica Lombarda).

Con l'andare del tempo il territorio si è modificato profondamente, il fiume Oglio ha inciso sempre di più l'alveo, determinando l'abbassamento delle acque del Sebino e la scomparsa del fiume Longherone. In conseguenza all'abbassamento del livello del lago è venuto alla luce il cordone morenico di Iseo-Clusane, che ha determinato la chiusura dell'ansa meridionale costituita dalle Torbiere e dando origine ad un piccolo lago intermorenico che, col passare del tempo, si è ricoperto

di una rigogliosa vegetazione palustre e perilacuale tipica delle zone umide con acque semiferme. I materiali vegetali derivanti dal ciclo di vita delle piante palustri si sono quindi sedimentati a partire dai bordi e hanno lentamente invaso tutto l'antico specchio d'acqua. Depositandosi sul fondo, hanno formato uno strato di materia organica che, non riuscendo a decomporsi completamente per mancanza di ossigeno, si è fossilizzata dando origine alla torba. Al posto dell'antico lago intermorenico si è quindi formata una grande prateria di erbe palustri, con zone ancora allagate ed altre con terreno dalla consistenza spugnosa. Il profilo stratigrafico del deposito torboso, dello spessore di oltre 5 m, riassume l'evoluzione del paesaggio vegetale nel periodo post-glaciale in funzione del differente regime climatico delle epoche di formazione (fig. 2). L'occlusione è perseguita indisturbata sino in epoca storica quando l'uomo è intervenuto, con attività quali il pascolo e lo sfalcio, senza tuttavia apportare modifiche sostanziali all'ambiente.

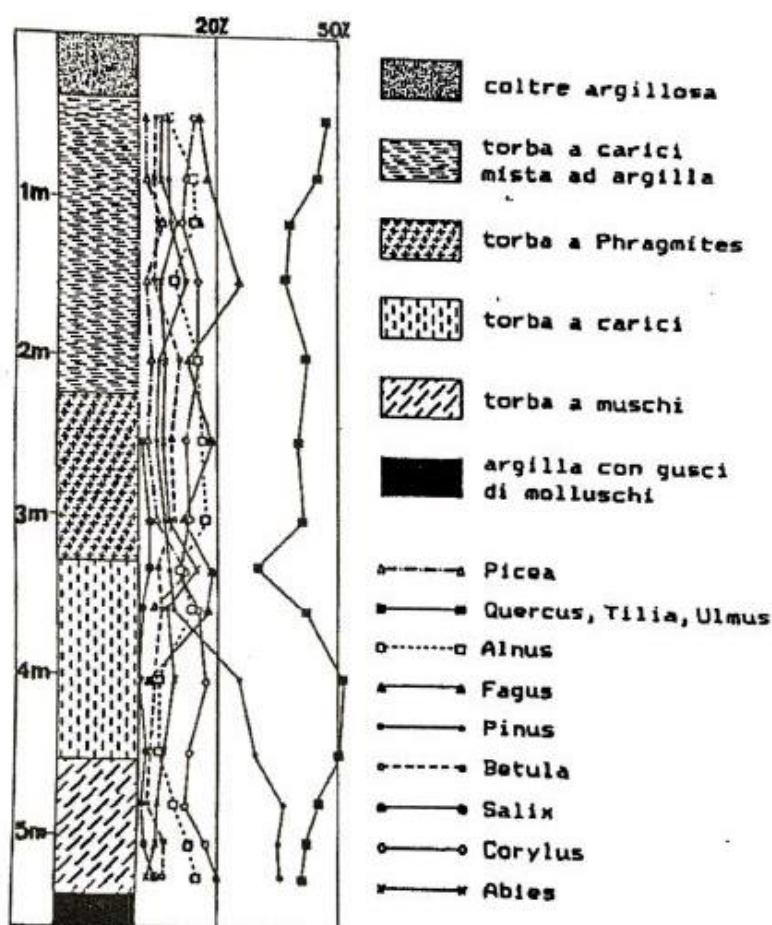


Fig. 2 – Profilo stratigrafico del deposito torboso (da Andreis et al., 1993).

1.2 Storia e preistoria

A seguito dell'evoluzione morfologica del territorio e della mitigazione climatica, si osserva anche un graduale processo di adattamento delle specie vegetali e animali. Queste condizioni hanno creato un ambiente idoneo all'insediamento dell'uomo preistorico, dedito prevalentemente alla raccolta, alla caccia e alla pesca. Nel 1862, con l'inizio sistematico dell'estrazione della torba, vengono alla luce i primi reperti archeologici attribuiti in massima parte all'età del Bronzo e illustrati, per la prima volta, nel 1887 da Castelfranco Pompeo, il quale evidenzia l'importanza archeologica delle Torbiere. Le ricerche condotte negli anni settanta dal Museo civico di storia naturale di Brescia hanno dimostrato come le prime tracce di antropizzazione dell'area finora rilevati siano da far risalire al Mesolitico, tra i 7.000 e i 5.000 anni fa.

I mesolitici di Provaglio d'Iseo

La prima stazione mesolitica è stata segnalata nel 1971 nei pressi della strada che da Provaglio d'Iseo scorre verso Timoline, ed è localizzata sul cordone morenico wurmiano. Il sito, ricchissimo di reperti di selce scheggiata, si distingue per i reperti molto caratteristici per il periodo come i trapezi di selce di dimensioni minuscole, atti ad armare arponi da pesca e frecce da uccellazione. Il tipo di selce impiegato e il materiale non rifinito, indica, da una parte, che i mesolitici di Provaglio si approvvigionavano nelle vicine miniere del Monte Alto; dall'altra che il materiale veniva lavorato in *loco*. A causa delle abitudini nomade non è facile individuare il momento preciso in cui i mesolitici di Provaglio d'Iseo abbiano fatto sosta nella zona.

L'età del bronzo

Le Torbiere sono una delle più importanti stazioni riconducibili all'età del bronzo del Sebino e della Franciacorta. Le ricerche di Castelfranco (1887) e Ruffoni (1891) elencano una grande quantità di reperti fittili, litici e metallici. Studi dettagliati degli strumenti in Bronzo fatti da Raffaele de Marinis (fig. 3, 1972) dimostrano come il sito sia stato probabilmente insediato per un periodo di tempo molto lungo che va dal termine dell'età del Rame fino alla metà dell'età del Bronzo. I reperti fittili conservatisi sono piuttosto scarsi e frammentati,

comprendono prevalentemente frammenti di scodelle a impasto fine e ceramiche a impasto grossolano. La mancanza dettagliata di questi elementi si deve anche al fatto che durante gli scavi fu chiesto agli operai di trattenere i reperti litici e metallici poiché ritenuti di maggior valore. Questi strumenti caratterizzano l'archeologia delle Torbiere, dimostrando consistenti testimonianze dell'età del Bronzo.

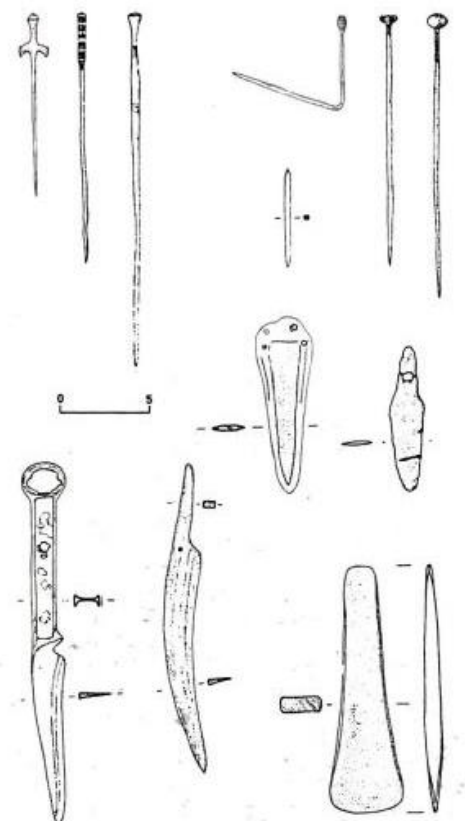


Fig. 3 – strumenti in bronzo provenienti dalle Torbiere, tra cui spilloni, lame di pugnale, coltelli ed un'ascia piatta (da De Marinis, 1975).

Lo scavo della torba e la rinascita della Lama

Alla fine del Settecento il naturalista bresciano Cristoforo Pilati scrisse che nella zona delle Torbiere cresceva *“un'erba miserabile, la quale sia verde che secca serve piuttosto a dimagrire che a ingrassare i bovini”*. Così a quel tempo risultava la descrizione del sito sulla base di attendibili ricostruzioni storiche (raccolte da Capelli, 2014): *“La parte centrale è costituita da una distesa pianeggiante ricoperta da erbe dure e taglienti, prevalentemente carici, che hanno uno scarsissimo valore nutritivo e quindi non possono essere utilizzate per il pascolo. Gli alberi ad alto fusto sono scarsi; alcune zone sono ancora allagate mentre in*

altre, dove il terreno è cedevole ed intriso di acqua, la palude tende a riprendere il sopravvento specie nei periodi piovosi. Nelle zone periferiche si trova una cintura di canna palustre e, dove il suolo è maggiormente consolidato, ci sono dei piccoli appezzamenti di terra nei quali il costante sfalcio delle dure erbe palustri ha privilegiato le foraggere. Alcuni terreni di modesta estensione, sono stati messi a coltura in seguito ad intervento di drenaggio e canalizzazione delle acque”.

Questo paesaggio è destinato a cambiare quando si scopre che la torba può essere utilizzata come combustibile. Cocchetti nel 1858 scrive che avanzavano già esperimenti e provvedimenti che indirizzavano l'uso industriale della torba, infatti già nel 1774 la si scavava a Iseo ed il “benemerito Pilati la sperimentava quindi per la trattura della seta” (Pilati, 1794). L'inizio dei lavori sistematici avviene nel 1862, quando il consorzio torinese “Società Italiana Torbiere” acquista la maggior parte delle Torbiere centrali, cominciando lo sfruttamento intensivo, affiancato da numerosi privati. È bene ricordare l'importanza che ha avuto la torba nello sviluppo industriale, certo da sola non resse la richiesta energetica,

ma su di essa l'industria locale contò “strutturalmente”.

Il lavoro di scavo vero e proprio era preceduto e seguito da altre operazioni, così che se ne possono individuare quattro fondamentali: 1. La spelatura del lotto, cioè l'eliminazione del terriccio depositatosi sullo strato torboso; 2. Lo scavo vero e proprio; 3. Il taglio della torba e l'ammucchiamento della stessa per l'essiccazione, vicino al luogo dello scavo; 4. Il trasporto della torba essiccata alle baracche sulla terraferma. (Franco Pagnoni).

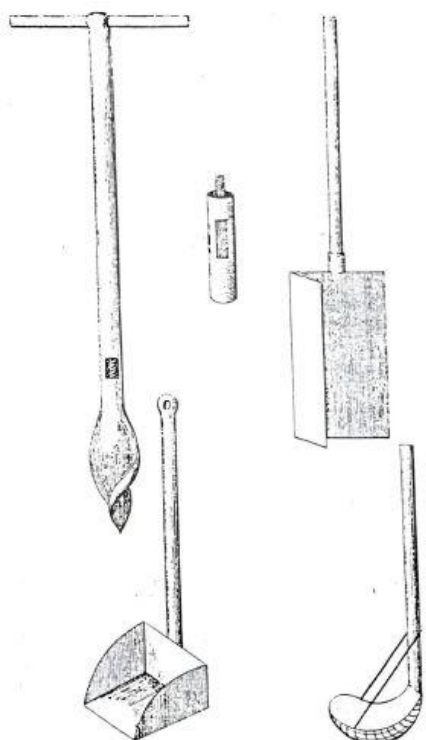


Fig. 4 – Antichi attrezzi per l'escavazione della Torba.

Ognuna delle quattro principali operazioni veniva eseguita con particolari attrezzi (fig. 4) e secondo certe modalità, che rimasero identici per tutti i cent'anni degli scavi.

I dati sui quantitativi di torba scavati sono imprecisi ed emerge poca chiarezza in merito ai racconti raccolti da diversi ex-scavatori. Tenendo presente l'estensione della zona scavata in cent'anni (circa 150 ettari) e una profondità media di tre metri, possiamo stimare che furono scavati in tutto 4,5 milioni di metri cubi di torba, cioè 9 milioni di quintali di torba secca (all'incirca 90 mila quintali all'anno). L'utilizzo della torba cessò completamente intorno agli anni '50, periodo in cui il paesaggio della zona era completamente trasformato dal lavoro dell'uomo e con esso anche la flora e la fauna esistente. Si venne così a ricreare la "*Lama*" ambiente molto simile all'antico lago intermorenico presente 10 mila anni fa (fig. 5).

L'attività umana nell'area delle torbiere non finì con lo scavo della Lama. A nord del cordone morenico che divide le Torbiere dal lago si era formata una situazione simile a quella trattata in precedenza, ma di formazione più giovane, che verrà denominata "*Lametta*". La torba qui presente fu scavata dagli anni '60 ai '70, con metodo meccanico, per usi florovivaistici. Il padrone di tali appezzamenti era il campione Italiano di motociclismo Giacomo Agostini. L'area intermorenica inoltre ospita, a sud della lama, in confine con il cordone morenico esterno, estesi depositi di argille lacustri che sono rimaste all'asciutto a seguito dell'abbassamento del lago. Anche questi giacimenti sono stati sfruttati, l'argilla scavata è stata utilizzata per la produzione di laterizi, lasciando vasche alimentate da acqua di falda profonde fino a 10 metri.



Fig. 5 – Foto panoramica delle Torbiere.

1.3 Le Torbiere: da risorsa economica a bene ambientale

Negli anni '60 l'area è stata completamente sfruttata, la torba ha perso il suo valore commerciale, l'escavazione per usi florovivaistici non è più economicamente sostenibile e anche tutta l'argilla lacustre nell'area di Timoline/Corte Franca è stata estratta. Una domanda riempie il dibattito politico/popolare, quale destino attendono le Torbiere? Lentamente il degrado ambientale comincia ad affliggere il sito: a Iseo sorge uno stabilimento per lo stoccaggio di bombole di gas naturale (ora Centro di Educazione Socio Ambientale Permanente), sui terreni limitrofi si effettua il tiro al piattello e si pratica la caccia agli anatidi, il luogo è anche sede di circhi erranti (leggende narrano di un elefante rimasto inghiottito dall'acqua delle lame, al più probabilmente un cavallo). A Provaglio d'Iseo un allevamento intensivo di anatidi crea numerosi problemi di ordine igienico-sanitario, inoltre il comune decide che lo sfioratore di troppo pieno della fognatura deve convogliare le sue acque all'interno delle Lame. Comincia ad essere frequente una nuova pratica, ossia

quella di ritombare e spianare le aree al fine di guadagnare terreno utile e seppellire rifiuti. I casi sono molti e disparati, il Comune di Iseo apre una discarica, il proprietario dell'allevamento avicolo utilizza materiali inerti da demolizione per ampliare la superficie utile, a Corte Franca invece vengono interrati ingenti quantitativi di materiale non precisamente identificato per spianare una notevole porzione di territorio. Si deve dire che anche la classe politica ha ignorato questo problema, permettendo indirettamente la degradazione dell'ambiente, per insensibilità e scarsa fantasia di un utilizzo futuro delle torbiere.

Il fattore ultimo che avvia un processo di svolta sull'azione dell'opinione pubblica è il Decreto 29 luglio 1965 del Ministro dei Lavori Pubblici di concerto col Ministro delle Finanze con il quale si consentiva al Consorzio dell'Oglio di invasare risorsa idrica alla quota massima di 185.65, cioè fino a m. 0.50 sopra lo zero idrometrico di Sarnico, e di impiegarne i volumi fino alla quota di 182.35, cioè fino a m. 2.80 al di sotto dello zero idrometrico. La prospettiva che le Torbiere divenissero un serbatoio idrico, per quanto di importanza per l'agro-zootecnia locale, fu la definitiva causa di una reazione politico/popolare che avviò i processi di nascita dell'attuale Riserva Naturale.

Protezione giuridica e coscienza ecologica: parco o riserva?

Nel dicembre del 1969 si esprime per la prima volta la volontà politica di destinare le Torbiere a parco pubblico in un ordine del giorno del consiglio comunale di Iseo:

<<Dopo ampio dibattito, si decide di sollecitare la Sovrintendenza alle belle arti affinché sia posto il vincolo di tutela paesaggistica alle torbiere (...) per la eccezionale bellezza delle stesse e per la preservazione di un ambiente naturale ancora incorrotto e di notevole interesse sia da un punto di vista archeologico, essendovi stati scoperti reperti dell'età palafitticola, sia per la fauna (il luogo è una riserva naturale di varie specie ittologiche e di volatili ormai in via di estinzione), sia per la flora palustre (ninfee, salici, betulle, pioppi, canneti). Tale vincolo è sollecitato anche perché esso dovrebbe essere la premessa necessaria per la difesa di un'area che in futuro potrebbe essere la premessa necessaria per la difesa di un'area

che in futuro potrebbe essere costituita come parco pubblico consorziale fra i comuni di Iseo, Corte Franca e Provaglio d'Iseo (...)>>.

L'energica azione intrapresa dal comune di Iseo, guidato dal sindaco Sig. Angelo Franceschetti, ha trovato favorevole accoglimento nella Commissione Provinciale per la tutela delle Bellezze Naturali che, nell'adunanza del 25-VI-1970, ha deliberato di sottoporre a vincolo paesaggistico l'intero perimetro delle Torbiere. Ormai la questione è sollevata, nel giugno 1970 arriva anche il parere del Consiglio Nazionale delle Ricerche, col quale si dichiarano le Torbiere un biotopo di eccezionale importanza e rarità da conservare sia dal punto di vista naturalistico che da quello paesistico. Contemporaneamente, il C.N.R., segnala questo territorio quale area destinata alla conservazione, inserendolo nell'elenco dei biotopi italiani da proteggere

Il 22 novembre 1970 viene organizzato ad Iseo un convegno dal titolo emblematico "Conservazione e Valorizzazione delle Torbiere Sebine". Il convegno, è la prima pietra su cui verranno fondate le Torbiere. Viene presentata la relazione di gruppo "Le Torbiere come bene collettivo" preparata da intellettuali iseani come: Tino Bino, Eugenio Quarantini, Enzo Quarenghi, Sergio Tonti e Franco Zaniboni, che già intravedevano come i beni ambientali avessero un elevato valore intrinseco per la comunità.

"L'uomo moderno, diversamente dal suo antenato greco-romano, si mette in un rapporto alienato nei confronti del mondo naturale in cui vive. In altri termini non si sente più parte della natura di cui è integrato, ma piuttosto vive la rottura, la lacerazione da essa, come separazione tra l'uomo e il mondo che è concepito come economico, proprietà da utilizzare, miniera di sfruttamento" (Tino Bino)

La questione relativa alle Torbiere non si limita alle motivazioni esclusivamente scientifiche, il vero problema è infatti legato al mantenimento in vita, tramite esse e cioè in senso emblematico, l'ambiente dell'uomo. Il risultato operativo di quel convegno è la proposta di legge per l'istituzione del "Parco regionale delle Torbiere Sebine", presentato dalla comunità del Sebino Bresciano due anni dopo, il 17 novembre 1972, nel corso di una riunione su problemi riguardanti il lago

d'Iseo. In sostanza lo schema di legge non voleva rispecchiare solo un atteggiamento conservazionistico delle risorse naturali e paesaggistiche, quanto proporre, alla luce degli strumenti culturali e tecnici disponibili, ipotesi di intervento che rendessero effettivamente fruibili tali risorse secondo modalità capaci di far superare la corrispondenza tra utilizzo e progressiva distruzione (Eugenio Quarantini). La proposta si rivelò impraticabile per la mancanza di riferimenti normativi, infatti i primi tentativi falliti di definire una legge quadro regionale sui parchi e sulle riserve convinsero i legislatori dell'opportunità di ripiegare su una normativa di salvaguardia, la Legge Regionale n. 33 del 27 luglio 1977 *"Provvedimenti in materia di tutela ecologica e ambientale"* con questa legge la Regione Lombardia sottopone a tutela le Torbiere inserendole tra le Riserve Naturali. Con successiva deliberazione del Consiglio Regionale n. 471 del 3 dicembre 1981 *"approvazione del primo elenco di biotopi e geotopi (art. 4, ultimo comma della legge regionale n.33 del 1977)"* le Torbiere vengono dichiarate ufficialmente biotopo.

Con tale deliberazione entrano anche in vigore i divieti e i vincoli alle attività antropiche in attesa che fossero prese le opportune determinazioni in ordine alla gestione degli ambienti tutelati. Nel frattempo gli Enti Locali mettono in moto la procedura per l'istituzione di un Consorzio di Gestione, procedura lenta e macchinosa ma che si conclude con la deliberazione del Consiglio Regionale n.26442 del 15 marzo 1983 *"Approvazione della costituzione del Consorzio per la Gestione della Riserva Naturale delle Torbiere del Sebino tra la Provincia di Brescia, la Comunità Montana del Sebino e i Comuni di Cortefranca, Iseo e Provaglio d'Iseo"*. Con la Legge Regionale n. 86 del 30 novembre 1983 e con successiva deliberazione del Consiglio Regionale n. III/1846 del 19 dicembre 1984 viene istituita come Riserva Naturale Orientata "Torbiere del Sebino (o d'Iseo)" stabilendone il regime definitivo della Riserva ed affidandone la gestione al Consorzio.

Evoluzione giuridica

Con il Decreto ministeriale 11 giugno 1984 viene dichiarata zona umida di importanza internazionale ai sensi della Convenzione relativa alle zone umide firmata a Ramsar nel 1971.

Con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 35842 del 13 settembre 1988 viene approvato il primo piano di Gestione della Riserva.

Con decreto del Ministero dell'Ambiente del 3 aprile 2000 *"Elenco delle Zone di Protezione Speciale designate ai sensi della Direttiva 79/409/CEE e dei Siti di Importanza Comunitaria proposti ai sensi della Direttiva 92/43/CEE"* pubblicato sul supplemento ordinario n. 65 alla Gazzetta Ufficiale n.95 del 22 aprile 2000, la Riserva Naturale "Torbiere del Sebino" è proposta come ZPS (Zona di Protezione Speciale codice IT 2070020 "Torbiere di Iseo" – allegato A) e SIC (Sito di Importanza Comunitaria codice IT 2070020 "Torbiere di Iseo").

In relazione anche a quest'ultimo decreto vengono recepiti anche: il Decreto del Presidente della Repubblica n. 357 del 8 settembre 1997 "Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatiche"

Con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 14106 del 8/8/2003 viene individuato il Consorzio per la Gestione della Riserva Naturale quale Ente Gestore anche del SIC.

Successivamente l'elenco dei SIC proposto dal Ministero è stato approvato con Decisione della Commissione Europea 798/2004/CE del 7 dicembre 2004 *"Stabilisce, ai sensi della Direttiva 92/43/CEE del Consiglio, l'elenco dei siti di importanza comunitaria per la regione biogeografica continentale"*.

Con decreto del Ministero dell'ambiente del 9 Luglio 2009 l'area delle Torbiere viene individuata come ZPS IT2070020 ed inserita all'interno dell'elenco delle Zone di Protezione Speciale classificate ai sensi della direttiva 79/409/CEE.

Per uniformare il perimetro della Riserva Naturale al Perimetro del SIC e ZPS, e per aggiornare il Piano di Gestione anche in conformità con la nuova normativa di Rete Natura 2000 viene approvato con D.g.r. n. IX/3578 del 6 giugno 2012

l'attuale Piano di Gestione della Riserva, del SIC e della ZPS IT2070020 "Torbiere del Sebino o d'Iseo" in forma integrata.

Con il Decreto del Ministero dell'ambiente del 15 luglio 2016 le Torbiere d'Iseo vengono designate come Zona Speciale di Conservazione per la regione biogeografica continentale entrando ufficialmente a far parte della Rete Ecologia Europea "NATURA 2000".

1.4 Caratteristiche del sito Natura2000 "IT 2070020"

La tutela normativa garantisce alla Riserva uno dei massimi gradi di protezione in Italia. In tutta Europa questi delicati ecosistemi sono gravemente minacciati dalla mano dell'uomo per ottenere nuovi terreni agricoli o edificabili, inoltre le paludi venivano considerate solo come terre improduttive e pericolose a causa della Malaria. Ora questi particolari ambienti sono considerati come preziosi scrigni pieni di vita, indispensabili a migliaia di uccelli migratori che hanno necessità di trovare luoghi tranquilli e ricchi di insetti per rifocillarsi durante i loro lunghi viaggi. La Riserva, trovandosi nel centro della Pianura Padana, così intensamente antropizzata e coltivata, riveste un'importanza ecologica ancora maggiore: è una vera e propria "oasi nel deserto" per migliaia di uccelli che altrimenti non saprebbero dove trovare un riparo sicuro nel raggio di molti chilometri, sia durante la migrazione autunnale e primaverile, sia durante il periodo della nidificazione. Gli uccelli sono la componente più vistosa degli esseri viventi che popolano le Torbiere, ma non bisogna dimenticare la gran quantità di specie di piante palustri, di pesci e, non meno importanti di insetti, basti pensare che erano state trovate qui le uniche popolazioni stabili in Italia di *Nehalania speciosa* e di *Leucorrhinia pectoralis* (fig. 6).

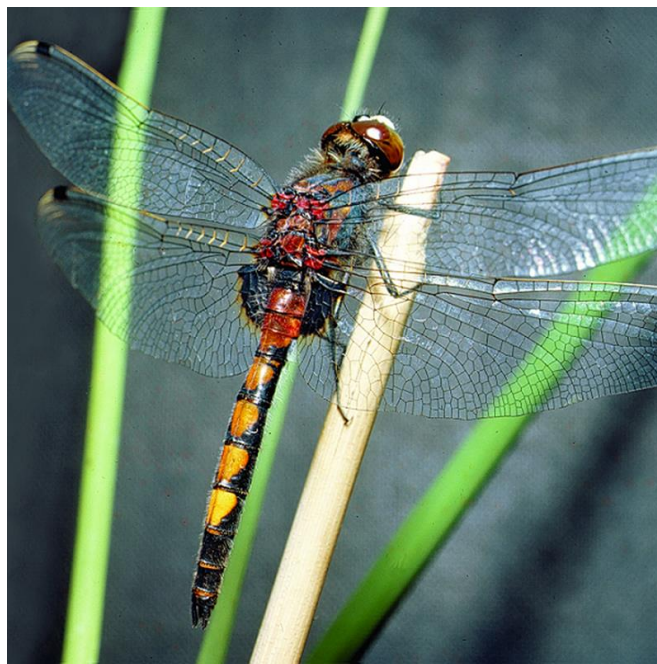


Fig. 6 – *Leucorrhinia pectoralis* (foto di Eugenio Balestrazzi).

Flora

L'escavazione della torba ha avuto il merito di aver contribuito alla realizzazione di un insieme di piccoli ambienti differenti che si intersecano tra loro dando luogo ad un "mosaico ecologico" complesso, di grande valore biologico. L'impronta fondamentale del paesaggio vegetale della Riserva è data dalla cannuccia di palude (*Phragmites australis*) che si sviluppa in grandi estensioni (fig. 7). Di elevato interesse conservazionistico sono presenti *Cladium mariscus* e *Alnus glutinosa* che sono caratterizzanti, con la loro presenza, due habitat prioritari della direttiva habitat. L'elenco floristico aggiornato conta all'interno delle Torbiere ben 477 piante vascolari (Gariboldi L.), confermando l'elevato valore delle Torbiere a tutela della fitodiversità, anche se risultano da segnalare l'estinzione dal territorio di due specie di notevole pregio naturalistico (*Hottonia palustris* e *Menyanthes trifoliata*) e molte altre la cui presenza è da riconfermare. È inoltre da segnalare la presenza non indifferente di specie esotiche. Da ciò risulta quindi possibile dedurre come sia in atto un processo di "banalizzazione", che potrebbe portare alla perdita di molti, se non tutti, gli elementi di pregio presenti in questo territorio.



Fig. 7 – Canneto allagato con *Phragmites australis*.

Avifauna

L'avifauna rinvenibile all'interno della Riserva è molto varia, dimostrando l'elevato valore per la tutela della biodiversità in Europa. Dai monitoraggi condotti dal Comitato Tecnico Scientifico e dal Gruppo di Ricerca Avifauna è possibile ricavare un quadro articolato e aggiornato dei popolamenti faunistici nel territorio delle Torbiere, con particolare attenzione all'avifauna, che ne contraddistingue gli ambienti. Nelle Torbiere sono state, fino ad ora, osservate 259 specie (Trotti et al., 2018). Nella zona centrale, laddove sono presenti ampi specchi d'acqua aperta con presenza di piante acquatiche galleggianti (come ninfea e nannufero) e ai cui bordi crescono molte specie erbacee caratteristiche (tra cui equiseti, felce di palude, carici, giunchi e arbusti come l'indaco) si possono incontrare specie tuffatrici come lo Svasso (*Podiceps cristatus*), il Tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*), varie specie di anatre e, sui bordi, la Nitticora (*Nycticorax nycticorax*), il Tarabusino (*Ixobrychus minutus*), la Salciaiola (*Locustella luscinioides*), il Migliarino di palude (*Emberiza schoeniclus*), l'Usignolo di fiume (*Cettia cetti*), il Pendolino (*Remiz pendulinus*). La fascia perimetrale, che circonda la zona

centrale, è formata da una fitta vegetazione palustre medio-alta con prevalenza di Cannuccia di palude (*Phragmites australis*) e Tifa (*typha latifolia*) e frequentata dal Germano reale (*Anas platyrhynchos*), dal Porciglione (*Rullus aquaticus*), dall’Airone rosso (*Ardea purpurea*), dal Falco di palude (*Circus aeruginosus*), dal Basettino (*Panurus biarmicus*), dalla Gallinella d’acqua (*Gallinula chloropus*), dalla Folaga (*Fulica linnaeus*), dalla Cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*) e dal Cannareccione (*Acrocephalus arundinaceus*). Nella zona periferica di transizione tra la palude e la campagna, caratterizzata dalla prevalenza di piccoli prati incolti (Cariceti) o semi-coltivati, si incontrano tutte le specie della campagna come Fringuello (*Fringilla coelebs*), Merlo (*Turdus merula*), cinciallegra (*Parus major*) e Cardellino (*Carduelis carduelis*). Bisogna ricordare inoltre come le Torbiere sia un luogo molto importante anche per specie che non sono inserite nella Direttiva Habitat. È da sottolineare, ad esempio, come la popolazione nidificante del basettino (*Panurus biarmicus*), presente con almeno 6 coppie, sia di elevato interesse conservazionistico perché situato in una zona umida interna. Inoltre risulta essere la popolazione esistente più a occidente del suo areali di distribuzione in Italia (fig. 8). In totale all’interno delle Torbiere sono presenti 50 specie nidificanti certe e 15 probabili, di queste 65 specie 35 appartengono all’ordine dei passeriformi mentre 30 ai non-passeriformi. Il numero di uccelli acquatico-palustri nidificanti per l’anno 2017 è risultato pari a 23 (anatra muta compresa). (Trotti et al., 2018)



Fig. 8 – Basettino (*Panurus biarmicus*) foto di Sergio Filippini.

Erpetofauna

Gli anfibi hanno subito negli ultimi 10-15 anni un notevolissimo calo dovuto prevalentemente all'isolamento creato dalle strade che ormai circondano l'intero perimetro della Riserva. La presenza di un notevole numero di pesci predatori ha portato ad una sistematica e significativa riduzione dei girini da tutte le vasche dove vi sia acqua a sufficienza per ospitare stabilmente fauna ittica. Ne consegue che le uniche zone dove si può ancora ritrovare gli anfibi sono rappresentate da aree marginali, in vicinanza di rigagnoli e piccoli ristagni d'acqua. Le specie ad oggi segnalate sono la Rana verde (*Pelophylax* spp.), la Raganella italiana (*Hyla*

intermedia) e la Rana agile (Rana dalmatina). È inoltre presente il Tritone crestato italiano (*Triturus carnifex*) specie di elevato valore conservazionistico (fig. 9).

All'interno della Riserva è abbastanza comune la Natrice dal collare (*Natrix natrix*) ed è inoltre presente anche la Natrice tassellata (*Natrix tessellata*). Lungo i margini delle pozze è inoltre possibile rinvenire il Biacco (*Hierophis viridiflavus*).



Fig. 9 – Tritone crestato italiano (*Triturus carnifex*).

Invertebrati

La presenza del gambero di fiume autoctono (*Austropotamobius pallipes*) è stata segnalata fino alla fine degli anni '80, la sua scomparsa si deve principalmente alla scarsità dei siti riproduttivi ed all'eutrofizzazione delle acque. Ben più importante è la presenza degli Odonati. Nel 1970 venne condotta una delle primissime ricerche nel territorio delle Torbiere, che permise di dimostrarne il grande valore di biodiversità: Balestrazzi e Bucciarelli, con circa 70 uscite in 6 anni, segnarono la presenza di metà di tutte le specie di libellule presenti sul territorio italiano. Di estremo interesse conservazionistico è anche *Leucorrhinia pectoralis*, specie inserita nell'allegato II della Direttiva Habitat. Nelle Torbiere era possibile trovare l'unica popolazione stabile di questa specie per tutto il territorio italiano, ad oggi questa specie non è più segnalata e si ritiene localmente estinta. Il motivo della sua scomparsa nelle Torbiere è dovuto principalmente alla modificazione del suo habitat riproduttivo, come è possibile osservare, in fig. 10, le aree in cui veniva storicamente segnalata si stanno interrando a causa dei

normali processi di successione ecologica degli habitat. Non è da escludere, vista l'impossibilità di accedere a questi luoghi, che possano ancora trovarvisi degli esemplari residui. Va comunque sottolineato che, dall'istituzione della Riserva Naturale e dall'inserimento nella Rete Ecologica Natura 2000, non sono mai state messe in atto misure di conservazione specifiche per questa componente faunistica, come il ripristino e il mantenimento degli habitat larvali e la creazione di nuovi corpi d'acqua adeguati alla specie. Nel caso di *L. pectoralis*, oltre alla modificazione dell'habitat, non è da escludere che il declino e la scomparsa di questa specie possa essere ricondotta all'immissione di specie alloctone, come *P. clarkii*.



Fig. 10 – Evoluzione ecologica degli habitat.

All'interno delle Torbiere è presente anche un altro Odonato presente nell'allegato II della Direttiva Habitat: *Oxygastra curtisii*.

Ittiofauna

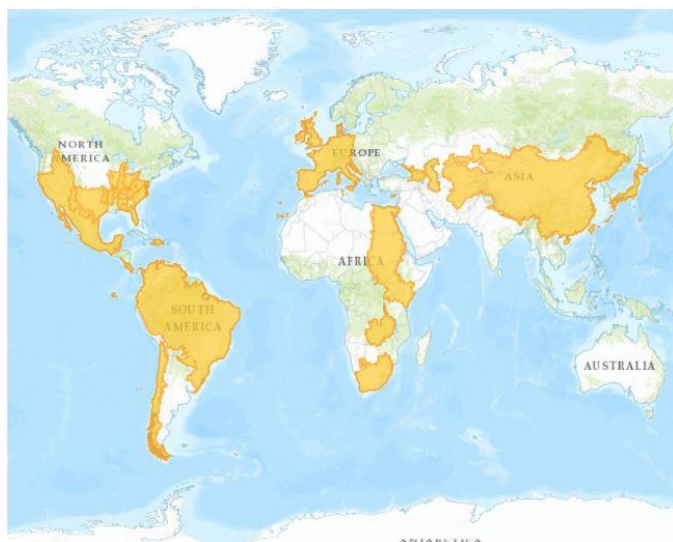
Dai recenti campionamenti, la fauna ittica si dimostra abbastanza costante in termine di specie e biomassa presenti. Nelle Lame, area indipendente dal lago, predomina la presenza del siluro (*Silurus glanis*), carpa (*Cyprinus carpio*), carassio (*Carassius carassius*), scardola (*Scardinius erythrophthalmus*), gambusia (*Gambusia affinis*), persico sole (*Lepomis gibbosus*) e del triotto (*Rutilus aula*), mentre specie come la tinca (*Tinca tinca*), il luccio (*Esox lucius*), il persico reale (*Perca fluviatilis*) e l'alborella (*Alburnus alburnus arborella*) risultano meno rappresentati. La situazione è analoga nelle Lamette, mentre, nelle vasche derivanti dall'escavazione dell'argilla, è presente in abbondanza il persico trota (*Micropterus salmoides*).

2. PROCAMBARUS CLARKII

2.1 Origine della specie e processo di importazione e diffusione sul territorio nazionale

L'introduzione mediata dall'uomo di specie al di fuori del loro areale nativo è recentemente emerso come uno dei "grandi cinque" problemi di interesse per la conservazione della biodiversità (Sala *et al.*, 2000). Molte di queste introduzioni causano minimi impatti ambientali mentre solo un piccolo, ma significativo, numero di specie diventa invasiva, numericamente ed ecologicamente predominante e spesso in grado di sopraffare le popolazioni e le comunità indigene. C'è una lunga storia di introduzioni intenzionali od accidentali di gamberi; Hobbs *et al.*, nel 1989, hanno compilato un elenco di 20 specie che sono state introdotte nei nuovi bacini fluviali, stati o continenti di tutto il mondo. Il più delle volte queste introduzioni sono state effettuate per l'elevato valore commerciale dei gamberi, ma una volta introdotto per l'acquacoltura e tenuto in stagni all'aperto, i gamberi quasi inevitabilmente fuggono (Hobbs *et al.*, 1989) e una parte di loro può stabilire popolazioni autosufficienti negli habitat colonizzati.

Procambarus clarkii si trova naturalmente nel nord – est del Messico e negli Stati Uniti centro-meridionali. In questi territori è stato ampiamente allevato e per motivi economici introdotto in tutti gli Stati Uniti. Al di fuori del continente



americano *P. clarkii* ha avuto successo in tutti i luoghi in cui è stato portato, rendendolo ad oggi il gambero più cosmopolita poiché è riuscito a trovare habitat a lui adatti in tutti i continenti tranne in Australia e in Antartide (fig. 11).

Fig. 11 - diffusione continentale di *P. clarkii* (Crandall, 2010).

La prima introduzione di *P. clarkii* in Europa è stata ben documentata: nel 1973 un lotto da 100 kg è stato importato da New Orleans, Louisiana (USA) in una fattoria della provincia spagnola di Badajoz, e un anno dopo un secondo lotto più grande (400 kg), è stato rilasciato in uno stagno di anguille nella parte inferiore del Guadalquivir (vicino a Siviglia). L'assenza di filtri nei siti di rilascio ha permesso ai gamberi di fuggire e colonizzare fossati e canali nelle vicinanze. Questa colonizzazione è stata inoltre accelerata dai pescatori (Gutierrez-Yurrita *et al.*, 1999). Questo è stato il primo passo della sua successiva espansione in tutta la penisola iberica, comprese le Azzorre, le Baleari e le Isole Canarie, nonché della sua traslocazione contemporanea in diversi altri paesi europei.

Forti motivi economici e sociali sembrano aver portato alla prima introduzione di *P. clarkii* in Europa. Infatti, le popolazioni indigene erano state ridotte in numero e distribuzione a causa della peste del gambero, ed a causa dell'eccessivo sfruttamento e del prelievo di pesca. D'altra parte, c'era una grande richiesta nel mercato europeo dei gamberi, considerati un piatto sano e tradizionale in molti Paesi, come Italia e Svezia. Le prime introduzioni in Spagna, sono quindi state aiutate, e persino incoraggiate, dalle Istituzioni locali impegnate a migliorare i bassi livelli economici di aree povere. C'era anche il consenso di esperti americani che hanno precedentemente visitato la Spagna per identificare le zone appropriate per le introduzioni di gamberi (Hasburgo-Lorena, 1986). Dato che *Austropotamobius pallipes* non era presente, e che poco era noto sul potenziale di *P. clarkii* di trasmettere la peste, c'era fiducia, scientificamente sostenuta, che sarebbe stato innocuo. Sfortunatamente, non si manifestò alcuna preoccupazione per l'impatto ecologico negativo di questa specie potenzialmente invasiva (Geiger *et al.*, 2005).

Gamberi d'acqua dolce presenti in Italia

Attualmente sul territorio Italiano sono presenti le seguenti specie di gamberi considerate autoctone:

- *Austropotamobius pallipes* complex: originario dell'Europa occidentale e presente su tutto il territorio nazionale, tranne che in Puglia, il gambero di

fiume è in rarefazione in tutto il suo areale di distribuzione, ed è considerato in pericolo critico dall'IUCN.

- *Astacus astacus*: originaria dell'Europa centro-orientale questa specie è presente in Italia solo in alcune zone di confine del Friuli Venezia Giulia.
- *Austropotamobius torrentium*: diffusa in Europa Centro orientale e nei Balcani questa specie è presente con una popolazione esigua nella sola provincia di Udine.

Tutte queste specie appaiono in forte contrazione numerica, in contrapposizione alle specie alloctone che, invece, sono in forte espansione:

- *Procambarus clarkii*: presenta popolazioni molto abbondanti in Italia settentrionale, dove si sta rapidamente espandendo in particolare in Pianura Padana, invadendo ambienti diversificati. Nel 1989, comparve per la prima volta in natura nel bacino idrografico del torrente Banna, un affluente del Po, dopo la fuga di alcuni esemplari da uno stabilimento di acquacoltura sperimentale (Delmastro, 1992). Si è ampiamente diffuso in Lombardia (fig. 12) ed è presente in tutti i laghi prealpini e in tutte le province, ad esclusione (per quanto è noto) di quella di Sondrio. La specie è presente perlopiù nei territori pianiziali lombardi. In Italia centrale, la specie è ampiamente diffusa nelle Marche, in Abruzzo, nel Lazio (Chiesa *et al.*, 2006), in Umbria (Dörr *et al.*, 2006) ed in Toscana (Gherardi *et al.*, 1999), in particolare nell'area limitrofa al Lago di Massaciuccoli da cui sembrano essersi originate le popolazioni naturalizzate nell'Italia centrale, in seguito alla tracimazione di vasche di allevamento a causa di una alluvione nel 1993 (Gherardi *et al.* 1999a). Nell'Italia meridionale e insulare, la specie è presente in Basilicata, nel Lago Tarsia in provincia di Cosenza in Calabria, nelle province di Trapani in Sicilia (D'Angelo & Lo Valvo 2003) e di Sassari e Cagliari in Sardegna. *P. clarkii* risulta quindi presente in quasi tutte le regioni Italiane, comprese le isole, dimostrando la sua ampia capacità di dispersione (sicuramente facilitata dall'uomo) e di adattabilità (escluso l'arco alpino).
- *Orconectes limosus*: originario dell'America del nord, è presente all'interno della Riserva in numero ridotto, se ne trovano invece elevate quantità nel

lago d'Iseo, dove è stato segnalato per la prima volta in Italia (Delmastro, 1992). È ampiamente diffuso in tutta la Pianura Padana.

(Esemplare di *Orconectes limosus* catturato all'interno delle Torbiere)



- *Pacifastacus leniusculus*: originario dell'America del nord, in Italia è segnalato in provincia di Bolzano, nel lago Brugneto, in alcune zone della Savona Ligure ed in alcune località del Piemonte.
- *Astacus leptodactylus*: gambero di origine Ponto-Caspica (Turchia) è segnalato in Italia nel Lazio, in provincia di Milano, in due laghetti di pesca sportiva siti nella provincia di Bologna ed in Liguria.

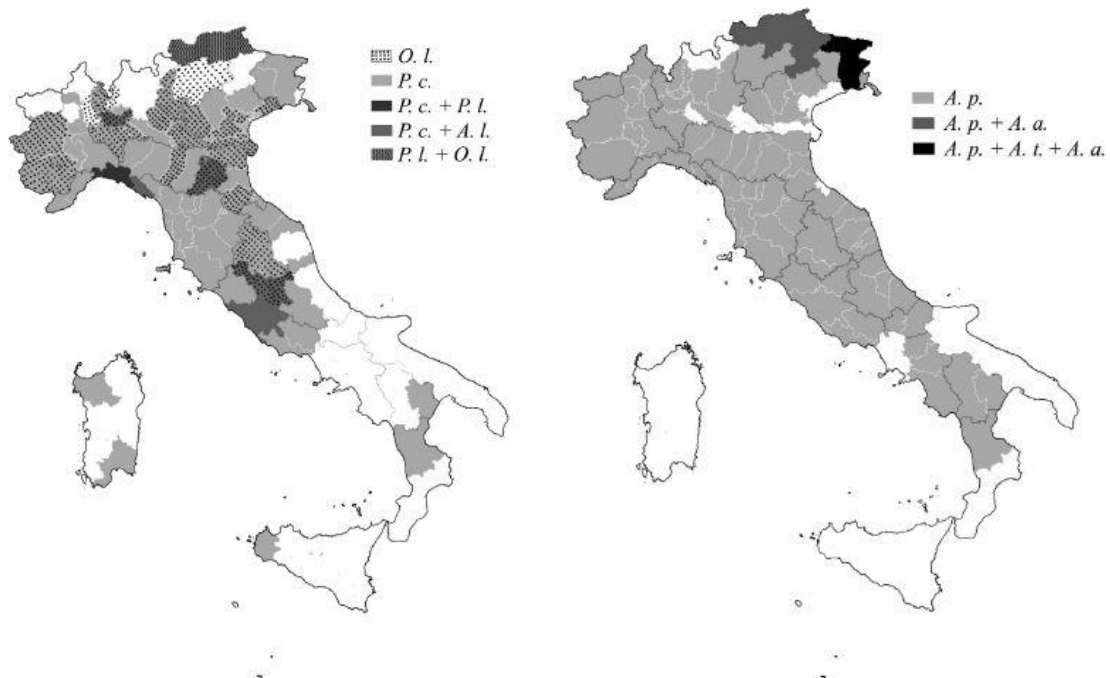


Fig. 12 – Distribuzione dei gamberi d'acqua dolce in Italia: nell'immagine a sinistra la distribuzione delle specie Alloctone, a destra le specie Autoctone.

2.2 Sistematica e morfologia

P. clarkii presenta la classificazione sistematica di seguito riportata (Hobbs, 1974):

PHYLUM: Arthropoda
CLASSE: Malacostraca
ORDINE: Decapoda
FAMIGLIA: Cambarinae
GENERE: *Procambarus*
SPECIE: *Procambarus clarkii*

Esso presenta una morfologia e struttura anatomica tipica dell'ordine di appartenenza (fig. 13):

- Corpo interamente protetto da un esoscheletro chitinoso – proteico generato dal tegumento e rinforzato dall'infiltrazione di sali di Calcio (che possono rappresentare fino al 40 % del peso secco dell'animale). (Mancini, 1986);
- Corpo segmentato ripartito in una parte anteriore chiamata cefalotorace (comprendente capo e torace) caratterizzata da 14 segmenti e protetta da un carapace dorsale – laterale ed una zona posteriore (addome) composta da 6 metameri e terminante in un telson (coda);

L'intero corpo, escluse le articolazioni, è rivestito da un esoscheletro abbastanza spesso ma flessibile, che regolarmente viene abbandonato per permettere l'accrescimento dell'animale (muta). La porzione di esoscheletro che ricopre il cefalotorace è detta carapace. Ogni segmento del corpo ha un paio di appendici modificate in base alle funzioni a cui sono predisposte, *P. clarkii* ne porta in totale otto paia: tre con funzione masticatoria (primo, secondo e terzo massillipede) e quattro atte alla locomozione (secondo e quinto pereiopode). Il primo pereiopode è una chela molto sviluppata, di dimensioni maggiori negli individui maschi e dotata di spine sul carpo. Essa è costituita da una porzione mobile (dattilopodite) e da una fissa (propodite) articolata su un segmento detto carpo. Il secondo ed il terzo pereiopode sono dotati di piccole chele, mentre il quarto ed il quinto ne sono privi.

Ai lati del cefalotorace, riparate dal carapace e demarcate dorsalmente dal solco brachiocardico, sono presenti le camere branchiali contenenti le lamelle branchiali. Sul lato ventrale del torace sono siti gli sbocchi dell'apparato genitale. L'addome è incluso tra il torace ed il telson ed è composto da sei segmenti a forma anulare, formati da una parte superiore (tergite) ed una inferiore (sterno). Esso porta cinque paia di arti addominali (pleopodi) poco sviluppati; nei maschi le prime due paia di pleopodi sono modificate in organi copulatori (gonopodi), mentre nelle femmine il primo paio è piuttosto semplificato. Il sesto paio di appendici addominali (uropodi), di grandezza superiore ed a forma di paletta, definiscono, assieme al telson, il ventaglio caudale con funzione natatoria.

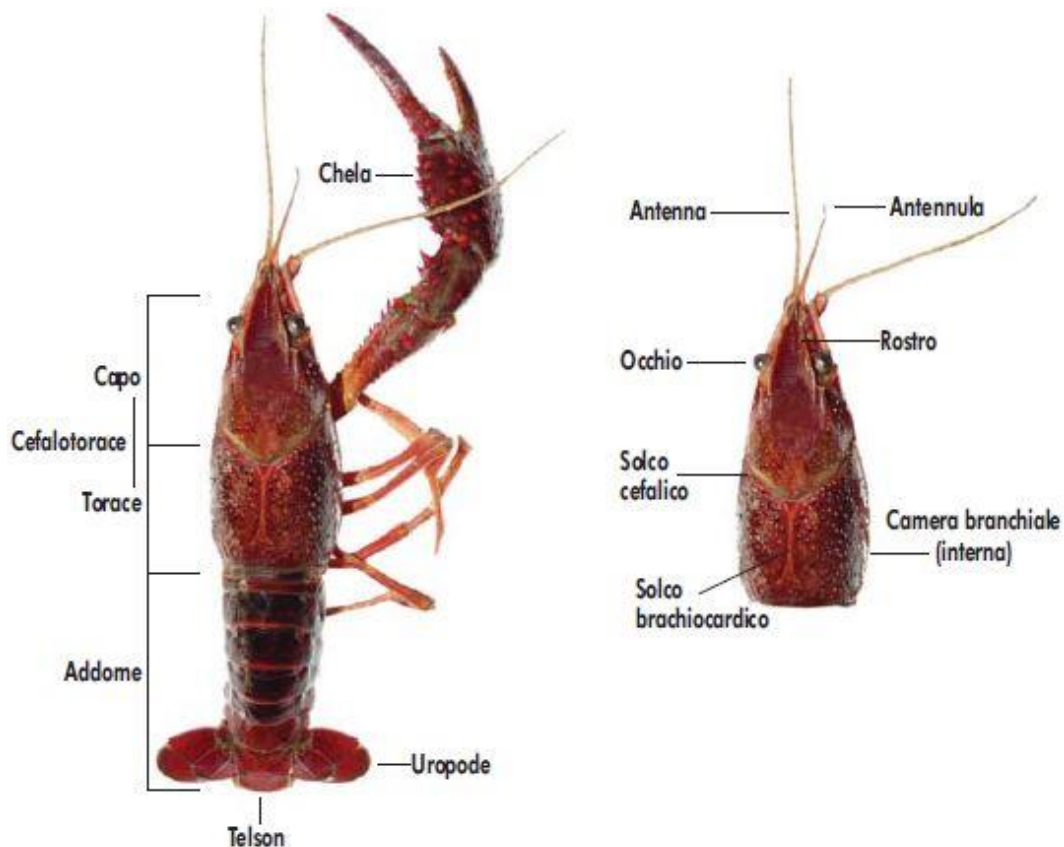


Fig. 13 – Anatomia esterna di *P. clarkii*, visione dorsale (Mazzoli, 2004).

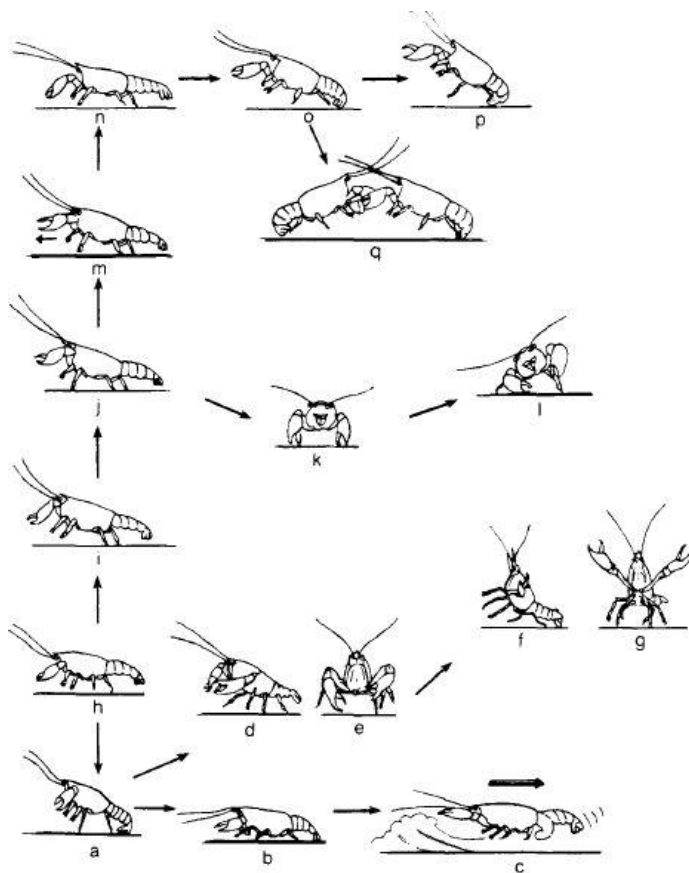
2.3 Biologia riproduttiva

La conoscenza della strategia riproduttiva di una specie invasiva è fondamentale per la comprensione della sua ecologia di invasione in quanto determina il potenziale per l'aumento della popolazione e il suo range di espansione.

Comportamento e interazione sociale

Il comportamento è una complessa serie di risposte che un organismo può eseguire nel suo ambiente. I modelli di comportamento programmati geneticamente vengono chiamati comportamenti innati, mentre quelli che si sviluppano a seguito di esperienze passate sono chiamati comportamenti appresi. Gran parte del comportamento del gambero è innato, poiché il suo sistema nervoso centrale è meno sviluppato di quello dei vertebrati. Sebbene gli artropodi non siano normalmente considerati intelligenti, apprendono determinati comportamenti (Huner e Barr, 1991). Diversi comportamenti innati nei gamberi sono abbastanza conosciuti, come la ritrazione dell'occhio in uno spazio sotto il rostro e l'auto-amputazione. L'auto-amputazione (autotomia) è un riflesso unico che permette lo sganciamento di un arto a livello dell'articolazione. Questo meccanismo è simile a quello di alcuni rettili che, come strategia evasiva, possono distaccare la parte terminale della coda per sfuggire ai predatori. Allo stesso modo dei rettili, anche i gamberi, così amputati, sono in grado di rigenerare una nuova appendice nel corso di diversi mesi (Huner e Barr, 1991). Nei comportamenti appresi, invece, il cervello è sempre coinvolto e può verificarsi una serie di eventi. Un determinato stimolo iniziale scatena nel gambero una specifica reazione; lo stesso solleverà gli artigli in una posizione di difesa se minacciato da un altro gambero, le quali azioni conseguenti determineranno quelle del rivale (attacco, combattimento o fuga). In questo paragrafo verrà analizzato il comportamento e le interazioni sociali di *P. clarkii*.

Otto comportamenti sono stati individuati dall'americano William Hayes del Murray State College (Hayes, 1975), per le attività dei gamberi durante l'interazione sociale: allerta, approccio, minaccia, combattimento, sottomissione, evitamento, fuga e corteggiamento (fig. 14).



- a. Evitamento
- b. Sottomissione
- c. Fuga
- d. Bassa intensità in risposta al predatore, vista laterale.
- e. Bassa intensità in risposta al predatore, vista frontale.
- f. Alta intensità in risposta al predatore, vista laterale
- g. Alta intensità in risposta al predatore, vista frontale
- h. Allarme
- i. Approccio
- j. Basso grado di minaccia
- k. Corteggiamento
- l. Movimento pre accoppiamento
- m. Alta intensità di minaccia
- n. Combattimento a bassa intensità
- o. Combattimento a alta intensità
- p. Combattimento di massima intensità
- q. Combattimento

Fig. 14 – Modelli comportamentali di *Procambarus clarkii* (Hayes, 1975).

Corteggiamento e accoppiamento

I gamberi mostrano un distinto comportamento di corteggiamento. La copula può richiedere un periodo molto lungo, oltre un'ora e mezza. Tale lentezza si può spiegare nel fatto che il maschio pulisce molto accuratamente il ricettacolo seminale prima di depositarvi lo sperma.

La presenza delle chele non è essenziale per la buona riuscita dell'accoppiamento, anche l'assenza di una o di entrambe nel maschio non pregiudica la buona riuscita dell'amplesso. *P. clarkii* si accoppia facilmente, anche in condizioni affollate e con molta luce, inoltre, dopo che si verifica l'accoppiamento, gli spermatozoi rimangono vitali nel recipiente seminale per più di otto mesi (Huner e Barr, 1991).

Recenti studi hanno dimostrato un'alta prevalenza della paternità multipla riscontrata in natura in *P. clarkii* (Hua Yue *et al.*, 2010). Il contributo di ciascun maschio al numero di piccoli per ogni nidiata è diverso: gran parte della prole proviene da un primo maschio ma la maggior parte delle femmine si accoppia con un numero di maschi variabile da 2 a 4. Lo sperma, una volta trasferito al ricettacolo seminale della femmina, viene conservato in un serbatoio di stoccaggio che, dopo l'accoppiamento, può essere sigillato da un tappo di liquido seminale. Questa barriera non impedisce tuttavia la paternità da parte di altri maschi, ma sembra invece avere la funzione di mantenere in vigore lo sperma. È probabile che questa paternità multipla sia una strategia messa in atto dalle femmine per portare a fecondazione più uova e selezionare lo sperma di migliore qualità, incrementando così il numero e la qualità della progenie (Hua Yue *et al.*, 2010). Per garantire la sopravvivenza nel lungo periodo della specie, la variabilità genetica è infatti molto importante. Pertanto, l'alta frequenza di paternità multipla osservata in *P. clarkii* può essere considerata un fattore fondamentale per garantire la produzione di un elevato numero di nati di ottima qualità genetica, mantenendo così efficaci le dimensioni della popolazione e garantendo a quest'ultima una buona capacità di espandersi in nuovi habitat (Hua Yue *et al.*, 2010).

Apparato riproduttore e aspetti riproduttivi

P. clarkii presenta gonocorismo e non presenta partenogenesi. Nei maschi sessualmente attivi, le prime due paia di pleopodi (arti addominali) sono robuste e sclerificate, nettamente distinguibili dalle altre e trasformate in organi copulatori (gonopodi) i quali trasferiscono lo sperma alla femmina. Il primo paio di gonopodi trasferisce il seme mentre il secondo paio preme posteriormente per facilitare l'eiaculazione. Gli ovidutti iniziano a livello dell'unione delle metà anteriori, sono brevi, irrobustiti da una guaina muscolare e sboccano a livello delle papille genitali situate alla base della terza coppia di pereopodi. Prima e dopo la deposizione delle uova, le aperture sono coperte da uno strato molto sottile di esoscheletro. La fecondazione avviene tramite il trasferimento da parte del maschio, di spermatofores tubuliformi alla femmina; le spermatofores del maschio vengono ricevute negli appositi ricettacoli seminali che, nei cambaridi, per

l'appunto, formano una caratteristica struttura impari mediana, conosciuta con il nome di *annulus ventralis* o *seminal receptacle*.

I gamberi sessualmente maturi, maschi e femmine, assumono distintive caratteristiche sessuali secondarie. Il maschio mostra il cambiamento più evidente nelle proporzioni del corpo, le chele si allungano e si allargano notevolmente, inoltre alla base del terzo e quarto pereopode appaiono distinti ganci, caratteristica unica dei gamberi della famiglia Cambaridi. Questi ganci, e le grosse chele, servono a trattenere meglio la femmina durante l'accoppiamento. I cambiamenti fisici della femmina non sono così evidenti, sebbene le chele si allarghino anche in questo sesso. Questo evidente divario di dimensioni permette al maschio la possibilità di afferrare le chele della femmina durante l'accoppiamento e di immobilizzarla.

Dopo l'accoppiamento inizia generalmente la costruzione della tana, tuttavia non è assolutamente necessario che le femmine vadano in una tana per deporre le uova, possono tranquillamente deporre anche in pozze artificiali o acquari (caratteristica che li rende adatti all'acquacoltura). Poiché le tane di solito contengono sia gamberi maschi sia femmine, la femmina spesso caccia il maschio dalla tana al momento della deposizione delle uova. Tipicamente, il maschio si trova vicino all'ingresso della tana e la femmina è dietro il maschio vicino alla parte inferiore della tana (Huner e Barr, 1991).

In genere la deposizione delle uova da parte di *P. clarkii* inizia nella tana durante la primavera o alla fine dell'estate, in base al ciclo riproduttivo, e continua in estate/autunno, nei climi caldi la deposizione delle uova può avvenire tutto l'anno (Gherardi, 2006). Prima che le uova vengano deposte, subiscono un cambiamento sia nel colore che nelle dimensioni: le piccolissime uova bianche (0,012 mm), appena deposte, maturano rapidamente man mano che crescono, cambiando costantemente il colore. Una modifica sequenziale vede un cambiamento dal bianco al giallo (0,4 mm), quindi marrone chiaro (1,0 mm) ed infine a un marrone scuro (1,6 mm). Quando le uova vengono deposte, sono seminate dallo sperma immagazzinato nel recipiente seminale (*seminal receptacle*). Il ciclo di maturazione delle uova varia da sei settimane a otto mesi,

in funzione alla temperatura (Gherardi, 2006). In funzione di tale fattore, il periodo di incubazione può variare da due a tre settimane nel periodo estivo, a due o tre mesi nel periodo invernale. Il numero di uova prodotte nell'ovario della femmina è direttamente proporzionale alla sua taglia (Huner e Barr, 1991). Una femmina di 7 cm può produrre fino a 100 uova, una di 8,5 cm può produrne fino a 300 uova, mentre una femmina di 10 cm può produrre fino a 500 uova (fig. 15). Il numero di uova effettivamente deposte risulta mediamente più basso rispetto al numero prodotto dall'ovario. La mortalità delle uova sull'addome della femmina può essere considerevole, oltre che possono andare perse a causa di danni fisici, o se la femmina è costretta a scavare una tana, o è costretta a muoversi su terra asciutta (Gherardi, 2006).

Crescita e sviluppo

Come in molti animali appena nati, la testa e la regione ottica sono sproporzionati al resto del corpo. *P. clarkii*, appena covato, è sostanzialmente dotato di tutte le parti necessarie per la sopravvivenza, ma deve rimanere con la madre e subire due mute prima di potersi difendersi da solo. Secondo quanto osservato da Tetsuya Suko della Saitama University in Giappone (1956, 1958), lo sviluppo embrionale dipende dalla temperatura, condizione che è quindi in grado di influenzarne la crescita. È infatti stato osservato come, ad una temperatura di circa 8,8 °C, lo sviluppo si porti a compimento in circa 150 giorni, mentre alle temperature di 15 °C e 22 °C, dura rispettivamente 46 e 19 giorni. La temperatura fisiologica limite, al di sotto della quale non si osserva alcuno sviluppo embrionale, è stata identificata in 5,5 °C. La maggior parte della deposizione delle uova ha luogo intorno ai 20 °C, mentre la temperatura più bassa alla quale si osserva la deposizione delle uova risulta pari a 15 °C e la temperatura più alta pari a 28 °C. La femmina presta molta attenzione alla cura delle uova durante il periodo di incubazione. Nei periodi più caldi, quando il livello dell'acqua è ridotto e la temperatura sale, all'interno della tana si possono creare situazioni di anossia, per questo motivo la femmina fuoriesce dall'acqua e dalla tana, ma senza allontanarsi dal rifugio, pulisce le uova dal fango e comincia ad ossigenarle energicamente agitando le proprie appendici addominali come se fossero dei ventagli. Questo comportamento non viene mostrato se le condizioni ambientali

risultano costanti o per lo meno non limitanti il buon esito dell'incubazione (Lombardi, 2010).



Fig. 15 – Femmina ovigera.

E. A. Andrews nel 1907 descrive in maniera molto dettagliata le prime fasi di vita di *P. clarkii*. Poco prima della schiusa delle uova, i giovani possono essere visti chiaramente attraverso il guscio, ciascuno di essi è ricoperto da un esoscheletro e i loro occhi sono immobili. Quando escono dalle uova, si liberano del guscio, ma rimangono attaccati al vecchio esoscheletro con la spina del telson (fig. 16). Questo è molto importante, poiché l'intera struttura, chiamata filo di telson (telson thread) assicura che il giovane rimanga attaccato ai pleopodi della madre fino a quando non riuscirà ad agganciarsi ai pleopodi con le proprie chele. Questo attaccamento alla madre garantisce la sopravvivenza poiché non è ancora in grado di sopravvivere in autonomia. Nel suo primo stadio di sviluppo il gambero passa attraverso diverse fasi: all'inizio ha un enorme gonfiore nel cefalotorace, scarso sviluppo di tutte le appendici, occhi sessili poco sviluppati, un corpo trasparente, un'appendice sottile che attira l'acqua attraverso le branchie che batte rapidamente e un cuore. Il rostro è piegato tra gli occhi e la coda ed è evidente l'assenza di uropodi. La lunghezza totale del corpo è di circa 4,5 mm. I

piccoli gamberi passano alla seconda fase di sviluppo alcuni giorni dopo. Sono lunghi circa 5,5 mm ed hanno più le somiglianze di un adulto (fig. 16). Gli arti sono meglio sviluppati e il cefalotorace è molto meno gonfio. Il rostro è ancora ripiegato ma completamente visibile fra gli occhi. Gli uropodi sporgono, rendendo distinto il telson trilobato. Se separati dalla madre, i gamberi del secondo stadio, possono alzarsi e camminare debolmente e compiere un po' di nuoto (all'indietro) agitando il loro addome.

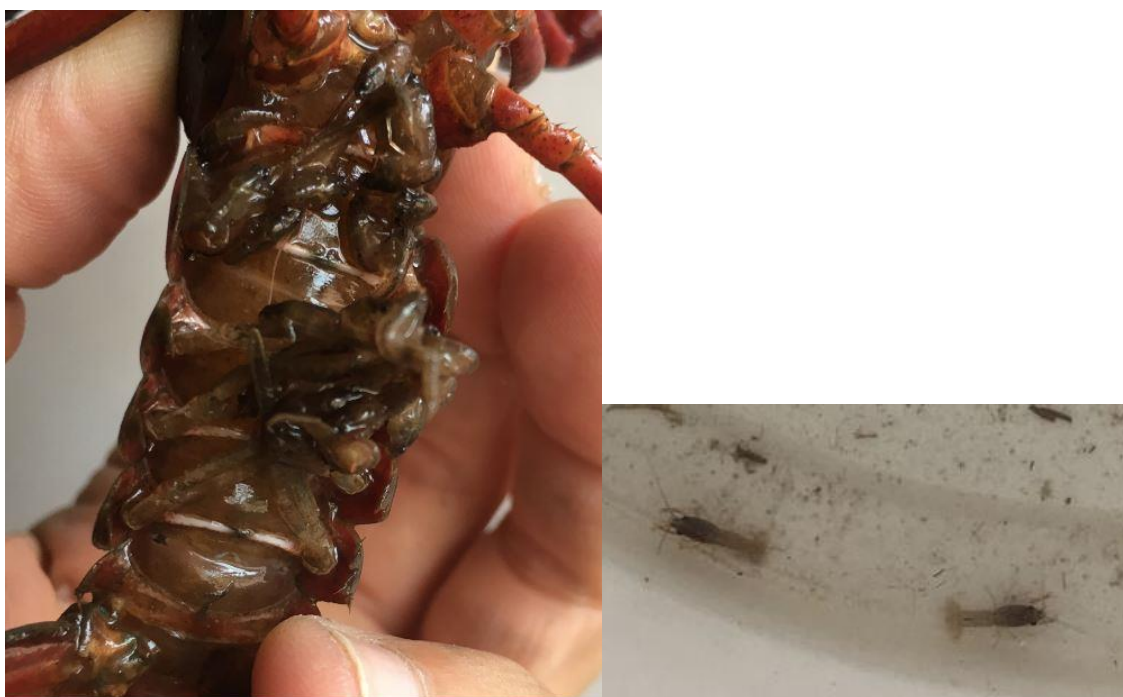


Fig. 16 – Giovani di P. clarkii.

I gamberi del terzo stadio di sviluppo sono lunghi circa 7,5 mm e sono attivi a tutti gli effetti, sono adulti in miniatura e sono in grado di vivere separati dalla madre. Quando la madre esce dalla tana, i giovani le rimangono abbastanza vicini, si muovono ma continueranno a ritornare da lei, attratti da un feromone materno. Questo feromone è probabilmente utile alla dispersione, poiché la madre si muove dopo aver lasciato la tana, e alla fine i giovani rimarranno indietro mentre l'attività della madre aumenta e la produzione di feromone cessa. Non tutti i gamberi si schiudono contemporaneamente, quindi i giovani gamberi in tutte le fasi possono essere presenti in qualsiasi momento.

Le femmine normalmente lasciano le tane quando le piogge primaverili/autunnali aumentano il livello dell'acqua in habitat altrimenti asciutti. L'umidità probabilmente aiuta la femmina a lasciare la tana ammorbidendo il tappo di fango posto all'esterno. Ciò significa che i giovani covati potrebbero dover rimanere nella tana per 6-12 settimane con scarsa disponibilità di risorse e subendo quindi una notevole mortalità. Mark Konikoff dell'Università della Louisiana nel 1977 ha dimostrato che i gamberi rossi adulti nella tana, sia maschi sia femmine, possono mangiare la loro discendenza. Inoltre anche i piccoli si possono mangiare a vicenda. Sempre in Louisiana, i proprietari di vivai dediti all'allevamento di gamberi hanno osservato come sia le cucciolate, sia le uova, possono essere consumate dalla femmina, ma il consumo di uova si verifica molto più spesso. La uova morte vengono frequentemente rimosse e mangiate prima che i funghi possano attaccarle e diffondersi in uova vitali.

Una volta che i giovani gamberi entrano in acque libere possono crescere abbastanza velocemente. Se la temperatura dell'acqua è compresa tra i 21° C e i 26° C, si possono verificare mute ogni cinque o dieci giorni. I gamberi subiranno un minimo di nove mute dopo il rilascio dalla madre e prima che maturino sessualmente. Tale traguardo fisiologico, ad un tasso di crescita elevato, viene normalmente raggiunto in meno di due mesi. La crescita dipende anche dal tipo di habitat. Secondo i dati americani del Louisiana College (Huner e Barr, 1991), in habitat ristretti come fossati e stagni temporanei, l'incremento di crescita ogni muta è di circa 0,63 cm, con una dimensione a maturità che varia tra i 5,7 a 7,6 cm. In grandi habitat palustri invece, come le Torbiere, l'incremento di crescita ogni muta può arrivare a d essere di 1,30 cm per muta, con una dimensione a maturità che varia tra i 8,9 a 10,8 cm.

Il tempo necessario per la maturazione di un gambero è abbastanza variabile in base alle condizioni ambientali. La temperatura dell'acqua ottimale è compresa tra i 20° C e tra i 27° C, il cibo deve essere abbondante, deve esserci ossigeno sufficiente nell'acqua, e, soprattutto, deve esserci acqua, poiché in alcuni habitat naturali può divenire un fattore critico. Anche se le condizioni ideali non sono sempre presenti, la crescita fino alla maturità in natura richiede normalmente dai tre ai cinque mesi.

Durante la crescita, i giovani sono normalmente di un verde-marrone. Quando maturano subiscono drastici cambiamenti nell'aspetto fisico, sia nelle porzioni del corpo che nel colore. Il dorso diventa nero e i loro lati diventano rossi; più è scura l'acqua, più vivaci saranno questi colori.

Sempre in Louisiana è stato documentato che la produzione di uova può richiedere fino a sei settimane, che l'incubazione e l'attaccamento materno durano da tre a quattro settimane, e che la maturazione può avvenire in appena otto settimane. Ciò significa che in condizioni ideali una generazione di *P. clarkii* può essere prodotta in quattro mesi e mezzo. La fenomenale capacità riproduttiva di *P. clarkii* può da sola bastare a spiegare la sua reputazione di invasore degli ambienti in cui è stato introdotto al di fuori del suo habitat naturale.

2.4 Caratteristiche che favoriscono la diffusione di *Procambarus clarkii*

I gamberi sono i macroinvertebrati più grandi e gli organismi relativamente più longevi negli ecosistemi di acqua dolce nelle aree temperate e sono spesso presenti in densità elevate. La maggior parte dei gamberi sono considerati come specie “chiave” (keystone species) all’interno dell’ecosistema (Nystrom *et al.*, 1996). L’introduzione di questa specie può quindi avere conseguenze significative sulla struttura delle reti ecologiche poiché va ad influire su più componenti della rete trofica, rendendo difficile una quantificazione globale dei loro effetti diretti e indiretti. Prevenire l’invasione di una specie è alquanto difficile, avvengono quasi come un terremoto. Oggi c’è molta consapevolezza negli aspetti biologici, ecologici e etologici che rendono una specie invasiva. La conoscenza di queste caratteristiche può diventare il mezzo più efficiente per prevenire o gestire future invasioni.

In Italia *P. clarkii*, dove appare per la prima volta nel 1977, ha mostrato chiaramente tutto il suo potenziale invasivo. Le caratteristiche che lo rendono un invasore di successo sono:

- Strategia riproduttiva *r*-selezionata: *P. clarkii* è caratterizzato dal raggiungimento della maturità sessuale a *piccole dimensioni* corporee (10 g in meno di due mesi), da un elevato tasso di crescita (30-50 g. in meno di un anno), da un elevato numero di uova (in base alla taglia possono deporre dal 300 a 700) e da una durata della vita relativamente breve (circa 3 anni).
- Plasticità nel ciclo vitale: in base alle caratteristiche dell’ambiente circostante è capace di plasmare il proprio ciclo vitale, il che gli consente di colonizzare una vasta diversità di ambienti, in funzione della sua elevata capacità di adattamento e tolleranza anche in ambienti estremi e in presenza di inquinanti. I metalli pesanti si accumulano nel suo ectopancreas e nell’esoscheletro in concentrazioni superiori a quelle trovate in altri decapodi originari dell’Italia come *A. pallipes* (Gherardi *et al.*, 2002)
- Elevata capacità di dispersione: i movimenti a breve e a lungo termine dei gamberi sono stati studiati in diversi contesti ambientali mediante

radiotelemetria. L'uso di questa tecnica ha permesso di studiare gli individui in modo continuo e senza interferenze. Dagli studi radio-telemetrici, il modello di movimento di *P. clarkii* si è dimostrato complesso, essendo composto da fasi di alta velocità di movimento (fase nomade) alternati a periodi più lunghi di lenta o nulla velocità (fase stazionaria). In particolare in alcune aree come le risaie, il movimento può essere molto veloce, anche superiore a 3 km al giorno e l'uso dell'habitat può essere enorme (Gherardi e Barbaresi, 2000). Questa capacità di dispersione è alla base della sua velocità di espansione dagli ambienti in cui è stato liberato.

- Alimentazione generalista e opportunista: *P. clarkii* è dotato di un'elevata resistenza, ed è in grado di sopravvivere anche 70 giorni senza cibo (Della Torre, osservazione personale). Essendo una specie onnivora è in grado di adattarsi ad una molteplice varietà di ambienti, la sua dieta varia nel corso dello sviluppo e della stagione.
- Ampia flessibilità comportamentale quando si affrontano nuovi tipi di predatori: diversi esperimenti di laboratorio hanno dimostrato come *P. clarkii* utilizza un'ampia gamma di informazioni all'aumento del rischio di predazione, è quindi in grado di rilevare rapidamente la presenza di un predatore e di aumentare la sua capacità di evitarlo. Questa abilità contribuisce ad aumentare il successo invasivo della specie in nuovi ambienti che potrebbero contenere nuovi predatori.

Per questi motivi *P. clarkii* è inserito nella lista delle specie che hanno invaso le acque dolci europee diffondendosi dal punto di introduzione e diventando abbondante. Ciò fa di questo gambero una specie aliena "che si afferma in ecosistemi o habitat naturali e seminaturali ed è un agente del cambiamento e minaccia la diversità biologica autoctona la cui introduzione fa o è probabile che causi un danno ambientale o alla salute umana". (IUCN, 2000).

Attività di scavo

La tolleranza di *P. clarkii* a condizioni ambientali estreme può essere messa in relazione sia ad adattamenti fisiologici sia al suo comportamento di scavo ed occupazione delle caratteristiche tane. Tali strutture infatti rappresentano per

questa specie una risorsa fondamentale, sia per la difesa da predatori in momenti critici del ciclo vitale, quali la muta e la riproduzione, sia per le condizioni in assenza di acqua superficiale e di temperature estreme. (De Louise, 2010)

Diversi autori hanno riscontrato notevoli differenze riguardo la durata del periodo di inattività passato dentro la tana, il periodo dell'anno in cui questo si svolge ed il numero di cicli riproduttivi. A tal proposito Gherardi et al. (1999) hanno dichiarato, in seguito ad uno studio su una popolazione italiana, che il periodo di

ibernazione in tana dura da novembre fino a marzo e che avvengono due cicli riproduttivi, uno in primavera e uno a fine estate.

P. clarkii viene identificato come uno scavatore secondario/terziario, ossia un animale che vive in acque libere e si ritira nel rifugio nei momenti di maggior vulnerabilità del suo ciclo vitale o in condizioni ambientali avverse (Huner e Barr, 1984). Esso costruisce diversi tipi di tana, quella più semplice è una struttura corta, completamente sommersa, scavata sul fondo dello stagno. Questa raramente è più lunga di 15 cm e serve come rifugio temporaneo (fig. 17). Tane sub-verticali più complesse sono costruite sugli argini e sui bordi dell'acqua, sono spesso associate a qualche forma di copertura come radici, detriti, vegetazione o tappi di fango.

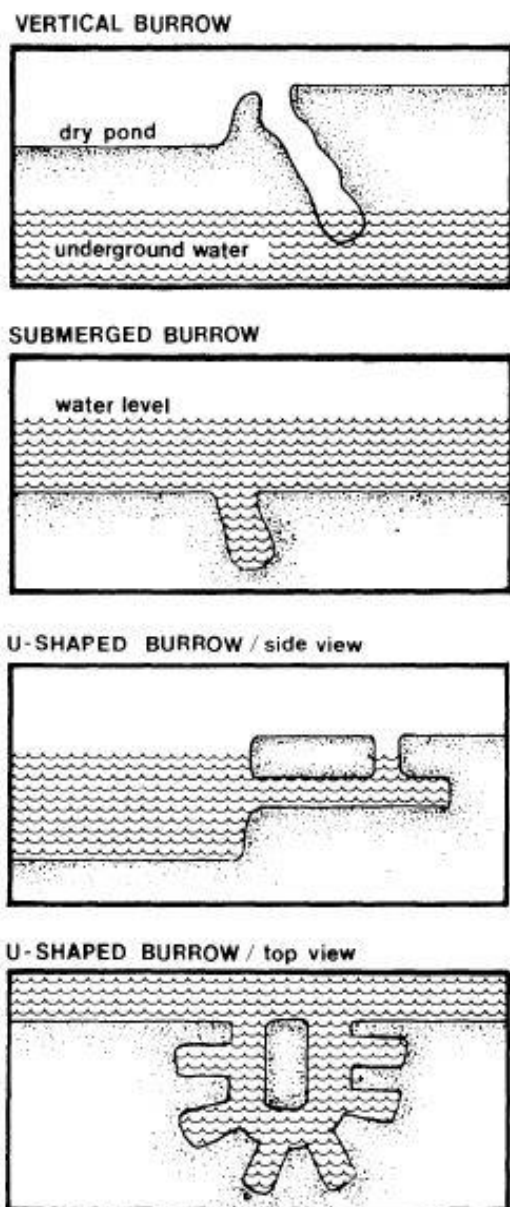


Fig. 17 – vari tipi di tane di in base alla tipologia di habitat

La profondità di ciascuna galleria è generalmente determinata dalla distanza dal suolo alla falda. Queste tane sono in genere occupate da una coppia di gamberi (Huner e Barr, 1984), ma possono anche essere occupate da 4 a 10 individui (Barbaresi *et al.*, 2004). Tane molto più vaste e complesse sono orizzontali a forma di “U” (fig. 17), si estendono anche per un metro e sono di solito associate a livelli stabili dell’acqua. Dal canale principale, sul piano orizzontale, si diramano diverse camere laterali più corte. Queste diramazioni laterali, e le relative camere, possono essere molte. Questo tipo di tana in Louisiana viene chiamato “warrens” e può ospitare fino a 50 gamberi contemporaneamente.

In condizioni ottimali di umidità e tessitura, un numero elevato di *P. clarkii* può muovere fino a 4000 kg/ha di suolo, con conseguente distruzione degli argini nella maggior parte dei casi, ed aumentando la torbidità dell’acqua con successiva riduzione della penetrazione della luce e della produzione primaria (Angeler *et al.*, 2001).

Alimentazione generalista e opportunista

P. clarkii è determinante nella catena dei consumatori essendo una specie onnivora. La sua dieta è principalmente detritivora, ma con una percentuale considerevole di componente vegetale, e da una minore, ma comunque significativa, componente animale (Savini *et al.*, 2009). È quindi una specie politrofica che può influenzare l’intera rete trofica. La maggior parte del valore nutrizionale dei detriti proviene dai microbi e dai batteri decompositori, infatti la presenza di *P. clarkii* può influire in modo significativo sulla catena del detrito di un ecosistema stagnale, contribuendo ad accelerare il consumo di sostanza organica nei sedimenti e a prelevarne, e verosimilmente assimilarne, i principali decompositori (Pistone *et al.*, 2010). La componente animale è proveniente dalle comunità bentoniche, epifitiche e planctoniche, ed è costituita da nematodi, oligoceti, molluschi, insetti acquatici e vari crostacei. A breve termine, i gamberi introdotti possono ridurre la biomassa e la ricchezza di specie di macroinvertebrati, macrofite e periphyton (Charlebois e Lamberti 1996; Nystrom 2002), possono portare a un peggioramento dei risultati economici diretti, riducendo la produzione delle colture di riso (Anastacio *et al.*, 2005a-b).

Effetto della presenza di *P. clarkii* nella catena trofica

P. clarkii, dopo la sostituzione delle popolazioni autoctone, costituisce anche la principale parte della base alimentare di diverse specie: mammiferi come la Lontra (Beja, 1996), pesci come l'Anguilla (Aquiloni *et al.*, 2010) e di uccelli, a volte rari e di interesse conservazionistico come gli Ardeidi (Poulin *et al.*, 2007). Tra i predatori dei gamberi troviamo anche insetti acquatici invertebrati, come gli Odonati, che riescono a mangiare prontamente i gamberi appena nati. A lungo termine i gamberi invasivi possono indurre cambiamenti drastici dell'habitat con il conseguente declino di numerosi taxa di invertebrati, anfibi e pesci, sia per consumo diretto che per gli effetti di mutamento dei parametri ambientali causati dall'invasore.

2.5 La relazione di *Procambarus clarkii* con l'habitat e la biocenosi (impatto ecologico)

Secondo Parker et al. (1999) l'impatto di una specie aliena invasiva può essere misurato su cinque livelli di complessi biologici:

1. Effetti sugli individui (anamnesi, morfologia, comportamento ecc...)
2. Effetti dinamici della popolazione (abbondanza, crescita ecc...)
3. Effetti genetici (compresa l'ibridazione con specie autoctone)
4. Effetti sulle comunità (ricchezza di specie, diversità, struttura trofica ecc...)
5. Effetti sui processi ecosistemici (disponibilità di nutrienti, produttività primaria ecc...)

Una panoramica della letteratura mostra come *P. clarkii* abbia un'influenza su tutti questi livelli, fatta eccezione per gli effetti genetici, molto meno studiati.

Effetti su individui e popolazioni

Quando una specie indigena colonizza un nuovo habitat, si prevede che si sviluppino interazioni competitive ed interazioni preda/predatore che vanno a modificare ed indurre cambiamenti nel corso della vita, nella morfologia e nel comportamento delle specie interagenti. Questi comportamenti sono "adattivi" in quanto dovrebbero ridurre i rischi per le specie più deboli di essere predati o di essere superati dalle specie più "forti". Quando, al contrario, non appare alcun adattamento, o le modifiche apportate non bastano a sviluppare un equilibrio tra la preda e il predatore o tra i concorrenti, l'abbondanza, la dinamica di popolazione o la distribuzione delle specie "più deboli" (di solito quelle autoctone) possono essere fortemente influenzate. L'effetto più estremo è l'estinzione, a livello locale o, addirittura, a livello globale. Pare infatti che la presenza del gambero rosso della Louisiana abbia condotto all'estinzione due specie di gasteropodi in Spagna: *Lymnaea stagnalis* e *Lymnaea peregra* (Monser et al., 1993).

Ovviamente gli effetti letali o sub-letali dei gamberi invasivi sono dovuti principalmente alla storia co-evolutiva relativamente breve tra loro e la preda nativa, che non consente a quest'ultima di sviluppare comportamenti anti

predatori efficienti. Nei nostri territori *P. clarkii* sembra sia responsabile della rarefazione del gambero di fiume *A. pallipes*. Tuttavia va ancora chiarito se tale fatto è da attribuire a una diretta competizione con la specie indigena o se *P. clarkii* ha invaso zone dove il gambero locale si era già rarefatto per altri meccanismi. Bisogna infatti ricordare che le esigenze ambientali, di temperatura, di qualità dell'acqua e di substrato tra le due specie sono profondamente diverse (Geiger et al., 2005), infatti *P. clarkii* preferisce elevate temperature, substrati argillo-limosi per la costruzione delle tane, ed è più tollerante alla bassa qualità dell'acqua, mentre *A. pallipes* vive a temperature fredde, in presenza di un substrato grossolano ed è sensibile a bassi livelli di ossigeno ed elevate concentrazioni di nutrienti.

Ciò premesso, va però segnalato che la causa più rilevante della rarefazione di *A. pallipes*, legata all'invasione di *P. clarkii*, risulta il fatto che questa specie è portatrice sana della c.d. "peste del gambero", malattia infettiva ad elevata letalità, che colpisce i gamberi di acqua dolce, è determinata dall'oomicete *Aphanomyces astaci*. Lo stadio vegetativo di *A. astaci* si osserva nelle aree meno calcificate dell'esoscheletro, come la cuticola addominale ventrale e le membrane articolari del pereopodi. Lo stadio infettante della malattia è costituito da zoospore biflagellate, che consentono la diffusione dell'infezione attraverso l'acqua da gambero a gambero (Manfrin, 2012). La peste si trasmette preferibilmente per via orizzontale: da gambero autoctono infetto o gamberi alloctoni asintomatici e, tramite acqua contaminata a individui autoctoni sani. *A. astaci* può sopravvivere nell'ambiente, in assenza dell'ospite, per diverse settimane. I cadaveri dei crostacei mantenuti all'aria, a temperatura ambiente (circa 21 °C), risultano ancora infettanti dopo 48 ore, in acqua dopo 3-5 giorni. *A. astaci* può essere veicolato da equipaggiamento contaminato (barche, attrezzatura da pesca, stivali, vestiario, ecc.). In condizioni ideali, anche piccole quantità di acqua sono in grado di trasferire sufficienti zoospore per infettare un nuovo corpo idrico.

Quando si manifesta la malattia in specie sensibili, la mortalità, rapida ed elevatissima, arriva a coinvolgere il 100% della popolazione. La morte di tutti i gamberi si verifica entro 6-10 giorni (Alderman et al., 1996). La malattia, nei corsi

d'acqua, si diffonde rapidamente lungo la direzione del flusso mentre e più lenta la propagazione controcorrente. Raramente individui sensibili possono essere rinvenuti vivi dopo un episodio di peste, se ciò si verifica si deve ad una mancata esposizione al patogeno, come in animali presenti in corsi d'acqua tributari (Manfrin, 2012).

Effetti sulle comunità

P. clarkii oltre a causare impatti diretti sulle prede o sui concorrenti alterandone l'abbondanza e la distribuzione, può cambiare indirettamente anche le interazioni all'interno delle comunità, potendo provocare un effetto a cascata su tutti i livelli trofici (Gherardi, 2007). Una grande varietà di articoli ha dimostrato che, a causa della sua natura onnivora, *P. clarkii* può modificare profondamente la struttura trofica delle comunità di acqua dolce a diversi livelli, spesso agendo come specie chiave. L'ampia plasticità del comportamento alimentare, in grado di passare da detritivoro ad erbivoro o carnivoro in risposta alla disponibilità stagionale di cibo, ha effetti trofici diretti e indiretti sulla struttura della catena alimentare (Hobbs *et al.*, 1989).

Studi condotti in Piemonte dal Dipartimento di Ecologia dell'università di Pavia, all'interno della Riserva Naturale Integrale "Bosco Siro Negri" lanca morta del Ticino, hanno dimostrato come il detrito sia la componente principale della dieta del gambero (54 %) a cui segue la componente vegetale (35 %) ed infine quella animale (11 %). Sebbene la componente detritica sia la predominante in quasi tutti i mesi, nel mese di luglio, che corrisponde al massimo della stagione vegetativa, la componente vegetale risulta più importante (47 %). Il consumo di detrito prevale nei mesi freddi, con un massimo a dicembre (75 %), mentre la componente animale è sempre presente in percentuali significative, con il massimo consumo in luglio.

Le relazioni trofiche delle comunità che si instaurano con *P. clarkii* sono rappresentate in figura 18.

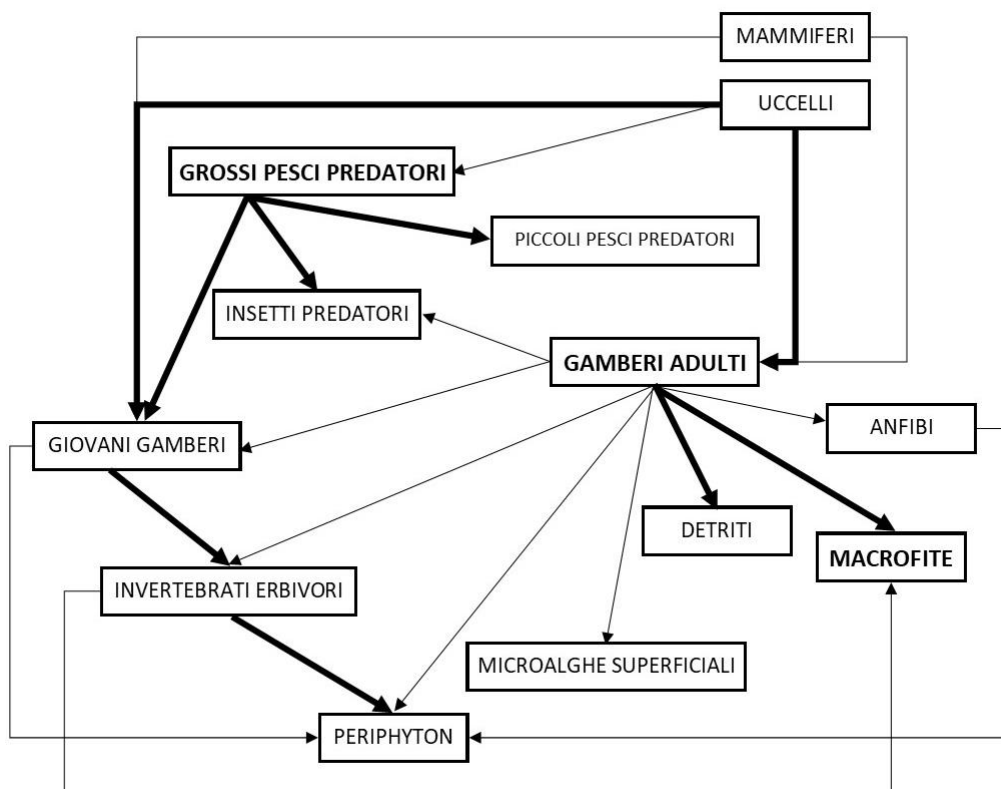


Fig. 18 – Interazioni alimentari in zona litorale di un lago o uno stagno. In grassetto gli attori più importanti della catena alimentare, mentre la dimensione delle frecce indica la forza delle relazioni (da Gherardi 2006, modificato).

Giovani e adulti di *P. clarkii* hanno interazioni diverse con la rete trofica, infatti anche se i gamberi adulti, almeno in laboratorio, possono predare in maniera efficiente piccoli pesci, girini e macroinvertebrati, tra cui anche gamberi novelli (Renai e Gherardi, 2004), è stato osservato che il loro contenuto stomacale presenta una grande percentuale di detriti e vegetali, in particolar modo macrofite. Diversamente, i giovani, si nutrono prevalentemente di macroinvertebrati (Hobbs *et al.*, 1989; Momot *et al.*, 1995; Correira *et al.*, 2003). Questa differenza può essere data dal fatto che i giovani hanno bisogno di un maggior apporto di proteine animali per crescere velocemente e che gli adulti hanno preferenze vegetali quando il costo energetico della predazione attiva è elevato. Tipicamente gli adulti di *P. clarkii* hanno una forte influenza sulla biomassa dei detriti organici e sulla macrofite, a loro volta questi cambiamenti generano molteplici effetti non trofici sulle comunità, a causa del loro ruolo di

copertura protettiva o substrato e siti di riproduzione per una moltitudine di organismi.

Studi sulla catena del detrito (Savini et al., 2006) hanno mostrato come la presenza di *P. clarkii* induca una lieve, ma significativa diminuzione di sostanza organica nei sedimenti, mentre la carica batterica totale diminuisce drasticamente. Lo studio conferma come, la presenza di una popolazione stabile di *P. clarkii* possa significativamente influire sulla catena del detrito di un ecosistema stagnale, contribuendo ad accelerare il consumo di sostanza organica nei sedimenti e prelevarne, e verosimilmente assimilarne, i principali decompositori (batteri).

Più drastico è l'impatto sulla macrofite, infatti è stato visto come più dell'80 % della biomassa di macrofite sia stata persa circa 20 anni dopo l'introduzione di *P. clarkii* nel parco nazionale di Donana (Spagna) (Gutierrez-Yurrita et al., 1998). In generale alcune piante acquatiche, di notevole pregio floristico ed abbondanti in numerosi habitat acquatici fino a qualche decennio fa, sono attualmente sparite o in rarefazione (De louise, 2010). Il Gambero rosso altera la composizione delle comunità vegetali, alimentandosi in maniera selettiva di certe specie e può utilizzare fino a 30 grammi di idrofite in 15 giorni (Savini et al., 2006), studi su ambienti simili alle Torbiere hanno rivelato la completa scomparsa di *Potamogeton natans*, *Potamogeton crispus* e *Myriophyllum spicatum*. Altri vegetali appetiti sono le alghe del genere *Chara* e le piante acquatiche del genere *Nymphaea*. Analisi sul campo hanno inoltre evidenziato che in stagni dove è presente *P. clarkii*, rispetto a stagni con la medesima composizione floristica, ma assenza del gambero, è presente il 31 % in meno di biomassa di macrofite, il 41 % in meno di steli radicati ed il 92 % in più di fusti recisi galleggianti (Carreira et al., 2013).

Oltre alle macrofite *P. clarkii* può influenzare anche le alghe perifitiche in diversi modi che possono dare effetti positivi o negativi:

1. Consumando e allontanando il periphyton durante l'alimentazione, il movimento o l'attività scavatoria;

2. Riducendo l'abbondanza di invertebrati (o vertebrati) alghivori, che possono influenzare indirettamente l'abbondanza algale;
3. Fertilizzare il periphyton con le loro feci;
4. Consumare o distruggere macrofite su cui crescono alcune alghe.

Pertanto, le risposte del periphyton all'impatto di *P. clarkii* dovrebbero variare in funzione dell'effetto che prevale nel sistema (Gherardi, 2007). Una correlazione tra la densità di *P. clarkii* e l'abbondanza e la composizione di microalghe superficiali (ma non pelagiche) è stata trovata in un esperimento in situ condotto nella palude di Fontecchio, in Toscana (Gherardi e Lazzaroni, 2006). Sei aree sono state delimitate per ospitare popolazioni di gamberi a bassa densità (1 ogni m²) e alta densità (14 ogni m²). L'analisi della clorofilla *a*, *b* e *c* e dei feopigmenti ha mostrato che la biomassa delle microalghe superficiali, per la maggior parte composta da cianobatteri, era fortemente influenzata dalla presenza di dense popolazioni di *P. clarkii*. L'impatto diretto sulle comunità zoobentoniche è particolarmente complesso. Attraverso il consumo e la distruzione della macrofite, i gamberi possono alterare gli habitat litorali, portando a un calo dei taxa associati alla macrofite (Nystrom *et al.*, 1996). Alcuni studi a lungo termine hanno tentato di analizzare – a parità di tutti gli altri fattori – i cambiamenti nella ricchezza delle specie dopo l'introduzione. Rodriguez *et al.* (2005) hanno esaminato le informazioni esistenti sulle comunità prima della comparsa di *P. clarkii* nel lago Chozas (Spagna) e le hanno confrontate con i dati raccolti dopo l'invasione. I risultati, mostrati nella tabella sottostante, sono stati chiari nel dimostrare il declino delle vegetazione sommersa e la diminuzione delle popolazione di macroinvertebrati, portando entrambi a un drastico esaurimento delle risorse alimentari, dei rifugi e dei siti di riproduzione di pesci, anfibi e uccelli.

	Prima	Dopo	Perdita (%)
Copertura Vegetale (%)	95	< 3	99
Macroinvertebrati (Genere, numero)	31	9	71
Uccelli acquatici (specie, numero)	50	26	52
Anfibi (specie, numero)	6	1	83

Fig. 19 – Cambiamenti nella vegetazione e nell'abbondanza faunistica avvenuti nel lago di Chozas (Spagna) dopo l'introduzione di P. clarkii (Rodriguez et al., 2005).

Effetti sugli ecosistemi

Rispetto agli effetti sugli individui, popolazioni e comunità, gli effetti ai processi ecosistemici sono stati raramente riportati nella letteratura su *P. clarkii*. Ciò probabilmente riflette una mancanza di misure dei processi ecosistemici piuttosto che una mancanza di impatto su questi processi. È infatti possibile ritenere che, gli effetti sulle comunità ampiamente documentati e visti in precedenza, determinino significativi cambiamenti del flusso di energia e nel ciclo dei nutrienti nei sistemi invasivi. L'introduzione di *P. clarkii* può alterare i percorsi del flusso di energia migliorando le connessioni e alimentando diversi livelli trofici, andando ad aumentare quindi la disponibilità di carbonio come fonte di cibo per livelli trofici più elevati (Stenroth e Nystrom 2003). Da uno studio realizzato da Geiger et al. Nel 2005 in alcune paludi della Spagna si è visto come prima dell'introduzione di *P. clarkii* (fig. 21), i principali produttori primari erano la macrofite e il periphyton, e solo una piccola parte dell'energia veniva trasmessa agli erbivori, mentre la maggior parte di essa andava persa nei detriti, inoltre, le specie detritivore usavano solo una piccola parte del materiale depositato. Questo sistema era caratterizzato da un'elevata diversità di erbivori e con un minimo di quattro livelli di consumatori. A causa dell'elevato numero di livelli trofici e dalle perdite di energia nei detriti, l'energia trasferita ai predatori principali (carnivori III), come uccelli e mammiferi era relativamente bassa. Dopo l'introduzione del gambero (figura 21b), gran parte del detrito è stato consumato da *P. clarkii* e l'energia acquisita è stata trasferita direttamente al livello più alto dei consumatori (predatori come pesci, uccelli e mammiferi). Ciò ha determinato una minore importanza di macrofite, erbivori e carnivori primari ma ha offerto una maggiore disponibilità di energia per i predatori.

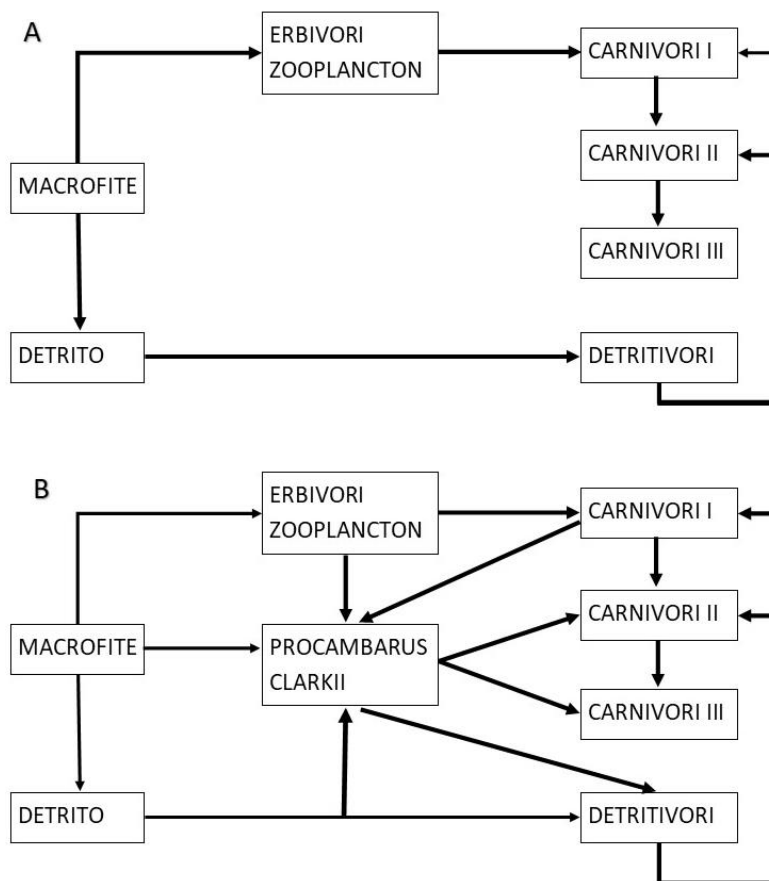


Fig. 21 – Flussi di energia ipotizzati in un sistema palustre prima (A) e dopo (B) l'introduzione di *P. clarkii* (Geiger et al., 2005).

Alla luce di ciò, se da un lato pare che la presenza di questa specie possa migliorare i rapporti trofici delle comunità colonizzanti un dato ecosistema, dall'altro risulta chiaro ed evidente come, tali modificazioni possano inevitabilmente portare a cambiamenti tra i rapporti esistenti tra le diverse componenti animali e vegetali, con effetti a medio-lungo termine potenzialmente devastanti sugli stessi.

Il ruolo che *P. clarkii* può svolgere attraverso la sua attività bentonica sulle caratteristiche fisiche e chimiche dell'acqua e dei sedimenti è stato studiato da Angeler et al. (2001) in una zona umida delle pianure alluvionali in Spagna. In tale studio si è ipotizzato che *P. clarkii* influenzi i processi dell'ecosistema in due modi (fig. 22):

1. Riciclando i nutrienti legati ai sedimenti;

2. Risospendere i sedimenti tramite le sue attività di foraggiamento, scavo delle tane, attività locomotoria e con il movimento della coda.

Nello studio analizzato i mesocosmi con all'interno i gamberi, rispetto a quelli di controllo, hanno mostrato un aumento significativo sia dei nutrienti inorganici disciolti (fosforo reattivo solubile e ammoniaca) sia dei solidi totali sospesi come risultato della bioturbazione dei gamberi.

Allo stesso tempo, i gamberi riducevano il contenuto di sostanza organica nel sedimento e aumentavano leggermente il contenuto totale di fosforo e azoto nei sedimenti come effetto della sua attività bentonica.

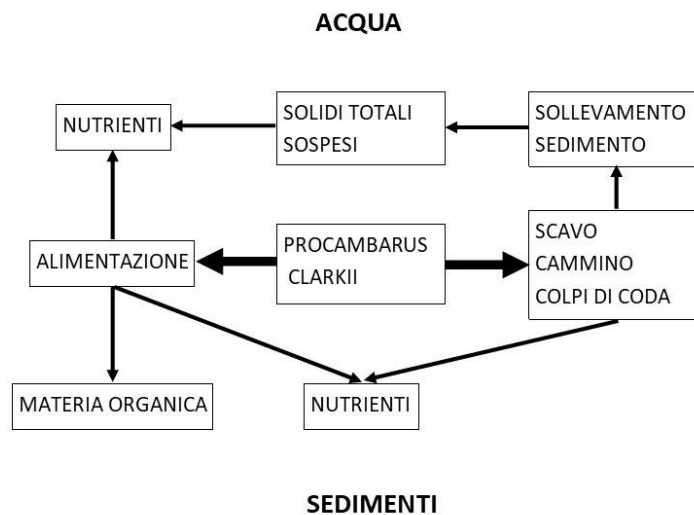


Fig. 22 – Effetti dell'attività bentonica di P. clarkii sulle caratteristiche fisiche e chimiche dell'acqua e dei sedimenti in una zona umida della Spagna (Angeler et al., 2001).

Da tali analisi si può quindi osservare come la bioturbazione mediata da gamberi abbia l'effetto generale di impoverire la qualità dell'acqua, aumentando i solidi totali sospesi e quindi la torbidità, riducendo la penetrazione della luce e, conseguentemente, la produttività primaria (Anastacio e Marques 1997, Rodriguez et al., 2003).

Relazione con i predatori naturali

Il *P. clarkii* rientra nella dieta di pesci, uccelli e mammiferi (fig. 19) che lo utilizzano in maniera differente a seconda della specie, della stagione e della disponibilità di altre risorse trofiche (Geiger et al., 2005).

MAMMIFERI	
<i>Lutra Lutra</i>	Lontra
<i>Vulpes vulpes</i>	Volpe
UCCELLI	
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Sterna zampenere
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Nitticora
<i>Fulica atra</i>	Folaga
<i>Egretta garzetta</i>	Garzetta
<i>Ardea cinerea</i>	Airone cinerino
<i>Ardea purpurea</i>	Airone rosso
<i>Larus marinus</i>	Mugnaiaccio
<i>Botaurus stellaris</i>	Tarabuso
PESCI	
<i>Ictalurus melas</i>	Pesce gatto
<i>Silurus glanis</i>	Siluro
<i>Esox lucius</i>	Luccio
<i>Micropterus salmoides</i>	Persico trota
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguilla

Fig. 19 – Predatori di *P. clarkii*.

Nel territorio di origine, le popolazioni sono controllate dalla predazione attiva di vari uccelli (molto efficaci risultano i Cormorani, gli Ardeidi, i falchi ed i gufi) ma anche di Lontre, Visoni, Procioni e Rettili, inclusi Tartarughe e Alligatori, oltre che da pesci predatori di elevate dimensioni. Non esistono al contrario nemici naturali a livello di parassiti o batteri (De Luise, 2010). In Italia non vi sono ad oggi predatori naturali in grado di limitare in maniera efficace l'invasione del gambero rosso della Louisiana.

Studi effettuati su mammiferi hanno evidenziato che la percentuale di questo crostaceo nella loro dieta è inferiore in inverno (1.6 %) in quanto durante questa stagione c'è minor disponibilità di gamberi, mentre è maggiore in estate (76.3 %) con preferenza di soggetti di taglia medio-piccola. Si tratta comunque di animali generalisti ed opportunisti come la volpe, che si nutrono delle risorse maggiormente disponibili e più facilmente accessibili. Più efficace risulta invece

la predazione da parte di numerosi uccelli che hanno imparato a cibarsi di questo animale (ad es. Aironi, Garzette, Tarabusi), come dimostrato dagli abbondanti resti di gamberi rinvenuti nelle vicinanze delle zone umide infestate. Molti uccelli ittiofagi, in particolar modo quelli di piccola taglia, evitano di predare il *clarkii* perché, essendo quest'ultimo molto aggressivo ed abile nel difendersi con coda e chele, può provocare tagli e lesioni soprattutto a livello gastro-esofageo (De Luise 2010). Nel sud della Francia i maschi di tarabuso hanno densità correlate con una sola preda: il gambero rosso (Poulin et al., 2007).

Residui di *P. clarkii* vengono ritrovati soprattutto nei dintorni delle garzaie, particolarmente durante il periodo riproduttivo di gran parte degli Ardeidi presenti in Italia. Confrontando il regime alimentare di questi uccelli nelle fasi precedenti e successive all'invasione di questa specie alloctona, è stato osservato che le catene alimentari dell'ecosistema si sono fortemente semplificate, cioè il gambero rosso della Louisiana ha sostituito nell'alimentazione di Ardeidi e probabilmente anche di altri uccelli ittiofagi la molteplicità di prede in passato costituite da invertebrati acquatici ed anfibi (De Luise, 2010). Le più alte presenze di gambero nello stomaco degli uccelli si rinvencono in estate, quando la densità della specie aliena è più elevata. Gli uccelli, come pure i mammiferi, si nutrono di individui al di sopra della taglia minima per la maturità, ma al di sotto di quella di adulti maturi. Questa selezione porta ad una riduzione della competizione intraspecifica tra gamberi e ad una produzione di adulti di taglia elevata maggiormente efficienti dal punto di vista riproduttivo (Correia, 2001). Quindi, secondo alcuni autori, la predazione da parte di uccelli e mammiferi provoca una rinnovazione della popolazione di *P. clarkii* e non una sua contrazione numerica.

Tra i pesci considerati autoctoni o naturalizzati, predatori di *P. clarkii* risultano il luccio (*Esox lucius*), che cattura esemplari di dimensioni pari a circa 7-9 cm di lunghezza totale (Elvira et. al, 1996), il pesce gatto (*Ameiurus melas*) e l'anguilla (*Anguilla anguilla*) dimostratasi uno dei più efficienti predatori di questo crostaceo, soprattutto verso le forme giovanili (Aquiloni et al., 2010). Tra i predatori ittici alloctoni troviamo il persico trota (*Micropterus salmoides*), vorace predatore di macroinvertebrati bentonici ed utilizzato efficacemente come

coadiuvante per il controllo dei gamberi alloctoni (Rach e Bills, 1989) (non in Italia ndr). Ottimo predatore è anche il siluro (*Silurus glanis*) specie predatrice alloctona invasiva che attualmente sta causando ingenti danni agli ecosistemi acquatici di diverse zone d'Italia (fig. 20).



Fig. 20 – Analisi stomacale di un esemplare di siluro (*Silurus glanis*).

Relazione con l'uomo

Elemento che differenzia *P. clarkii* dai gamberi autoctoni, è la capacità di resistere a discreti quantitativi di inquinanti, a tal punto da costituire un grave rischio per la contaminazione dei livelli superiori della catena alimentare, uomo compreso (De Luise, 2010). Questo è causato essenzialmente dall'accumulo di metalli pesanti nei tessuti dell'animale, soprattutto sull'esoscheletro e nell'ectopancreas.

Sussiste pertanto un effettivo problema di non edibilità correlata al sito in cui gli esemplari vengono pescati. Ulteriore problematica legata a questo crostaceo è quella riguardante la possibilità, da parte di questi animali, di contaminare i suoi predatori, compreso l'uomo, con delle tossine. Esempio di alga tossica capace di colpire anche l'uomo è la *Microcystis aeruginosa*. La sua fioritura di solito avviene durante la seconda metà della primavera, per tutta l'estate, e l'autunno, riuscendo a propagarsi perfino d'inverno (De Luise, 2010). Le tossine generate da quest'alga sono chiamate microcistine ed hanno un effetto epatotossico su mammiferi, uccelli, pesci e quindi anche sugli esseri umani. Diverse specie di pesci hanno la tendenza ad immagazzinare la microcistina nei loro tessuti, soprattutto nel fegato con palesi rischi per il consumatore (Funari, 1999). Questo evidenzia come il consumo di pesci e crostacei, che vivono all'interno di aree dove questi fenomeni sono consistenti, può costituire un pericolo anche se questi vengono pescati in periodi lontani dalla fioritura algale. Analisi effettuate su *P. clarkii* in seguito ad un'abbondante fioritura di *M. aeruginosa* nel lago di Massaciuccoli, hanno rivelato una concentrazione media della tossina nel cefalotorace dei gamberi pari a 218,9 µg/kg, con massime fino 1092 µg/kg. Nel muscolo la tossina è stata rinvenuta in basse quantità, mentre è l'intestino l'organo che tende a contaminarsi di più.

3. GESTIONE DELLE SPECIE ALLOCTONE INVASIVE

Per milioni di anni le barriere ecologiche costituite da oceani, montagne, fiumi e deserti, hanno costituito una barriera fisica tra i diversi ecosistemi, all'interno dei quali le specie si sono differenziate, seguendo distinti percorsi evolutivi. La colonizzazione di nuovi ambienti è sempre avvenuta in un processo lento di dispersione naturale, ed ha sempre rappresentato uno dei motori dell'evoluzione. Adesso, a causa dell'azione dell'uomo, le specie possono spostarsi molto velocemente da un continente all'altro, per esempio viaggiando nelle stive delle navi, oppure trasportate sotto le suole delle scarpe dai passeggeri negli aeroporti. Lo spostamento di determinate specie al di fuori del loro areali nativo può essere accidentale, oppure volontario, come nel caso di *P. clarkii*. Molte specie che arrivano in un determinato territorio, o che vi vengono rilasciate, non riescono ad acclimatarsi perché non trovano le condizioni adatte per sopravvivere, o perché sono in numero troppo ridotto. In altri casi invece alcune specie riescono ad adattarsi ed a stabilirsi. Se oltre ciò riescono a riprodursi molto rapidamente ed estendere la propria popolazione in tutto il territorio colonizzato, queste specie vengono considerate quali esotiche invasive, e possono creare gravi problemi alle specie native. Questo fenomeno viene definito come invasione biologica, cioè l'espansione provocata dall'uomo di specie animali o vegetali al di fuori del loro areale di distribuzione naturale, e attualmente rappresenta una delle cinque maggiori minacce alla biodiversità, seconda solo alla perdita di habitat (IUCN 2000), comportando quindi il rischio della perdita di un elevato numero di specie, con una conseguente progressiva omogeneizzazione delle biocenosi e l'alterazione profonda degli ecosistemi (Mack et al., 2000).

La globalizzazione dell'economia e del commercio, nonché il costante sviluppo dei trasporti e degli spostamenti dell'uomo, stanno determinando una crescita esponenziale di invasioni biologiche, per cui si può ritenere che, questa grave minaccia, sia destinata ad assumere in futuro dimensioni ancora più preoccupanti. Arginare questo problema rappresenta una delle priorità di conservazione riconosciute a livello internazionale (Convenzione di Berna).

Tutte le Pubbliche Amministrazioni, in particolare gli Enti Gestori di Riserve, Parchi Naturali, Aree Protette e siti di Rete Natura 2000, per il ruolo istituzionale che ricoprono, rappresentano il primo avamposto per la tutela del territorio e quindi anche per la gestione delle specie esotiche invasive dovendo mettere in atto tutte le procedure stabilite dalla legge per arginare il fenomeno.

3.1 Inquadramento normativo e procedure per le attività di gestione

Per rispondere alle crescenti minacce legate alle invasioni biologiche, la Comunità Europea si è dotata di uno strumento legale e politico in materia di specie esotiche invasive. Il regolamento (UE) n. 1143/2014 del Parlamento Europeo, entrato in vigore il 1 gennaio 2015, stabilisce le norme atte a prevenire, ridurre al minimo e mitigare gli effetti negativi sulla biodiversità causati dall'introduzione e dalla diffusione, sia deliberata che accidentale, delle specie esotiche invasive. Per queste specie, il regolamento UE, ha introdotto un generale divieto di commercio, possesso, scambio, trasporto e rilascio in natura, e impone un obbligo di immediata segnalazione, controllo o eradicazione in ambiente naturale. L'Italia ha recepito il regolamento dell'Unione Europea con il decreto legislativo n. 230/2017, entrato in vigore il 14 febbraio 2018. Come previsto nei principi guida della Convenzione sulla Diversità Biologica in relazione alle specie alloctone invasive, la politica nazionale in materia si basa sull'approccio gerarchico, dando priorità alla prevenzione, il rilevamento precoce e la successiva eradicazione. La prevenzione ha sempre la priorità, ma se la specie è già presente sul territorio, come nel caso di *P. clarkii*, è importante impedire la diffusione in zone non ancora colonizzate. Serve che le Amministrazioni Pubbliche siano adeguatamente formate per il controllo e la gestione delle specie invasive in modo da poter attuare, in tempi ragionevoli, i piani d'azione necessari. Si tratta di attività ad elevata priorità che comprendono sia obiettivi da raggiungere nel breve periodo (come l'implementazione dei controlli e dell'attività sanzionatoria), sia altri perseguibili invece a medio-lungo termine (come lo sviluppo di piani d'azione per il monitoraggio, controllo ed eradicazione o il coinvolgimento di Associazioni ed Enti territorialmente competenti per il raggiungimento degli obiettivi prestabiliti). Dato che i cittadini sono i principali responsabili e fruitori del territorio, è importante prevedere azioni

di divulgazione appositamente dedicate all'informazione, educazione e sensibilizzazione sulle problematiche delle specie invasive. Un cittadino informato è infatti una sentinella del proprio territorio che può prontamente segnalare la presenza di specie invasive o contribuire al loro controllo con comportamenti responsabili.

La gestione di specie invasive entro uno specifico territorio richiede di dotarsi, oltre che delle necessarie competenze, anche di strumenti specifici. Tra questi sono particolarmente necessarie le attrezzature utili per effettuare il monitoraggio, campionamento ed eradicazione di una o più specie. In seguito al rilevamento di una specie alloctona invasiva, le pubbliche amministrazioni dovrebbero organizzare attività di monitoraggio con cadenza annuale per controllarne la diffusione in aree limitrofe, le densità di popolazione, lo stato sanitario e l'impatto sugli ecosistemi. La pianificazione di tali attività deve essere stabilita da un piano d'azione specifico, redatto in collaborazione con Enti di ricerca e altri soggetti qualificati, in cui siano specificati nel dettaglio la programmazione e le modalità di lavoro per poter garantire la raccolta uniforme di dati per poterne effettuare un confronto, nonché la pianificazione di future attività di controllo e gestione. Il monitoraggio risulta una fase molto impegnativa, sia da un punto di vista economico che organizzativo, ma fondamentale per il buon esito delle attività di controllo eseguite. Senza il giusto bagaglio di nozioni e informazioni, risulterebbe infatti impossibile verificare e definire gli effetti dei piani di controllo mirati.

Nel sito in cui viene segnalata e verificata la presenza di una specie alloctona invasiva è necessario applicare tecniche per il controllo numerico della popolazione. Nel caso la segnalazione provenga da un'area piuttosto limitata, e la specie sia presente in basse densità, è auspicabile l'immediata eradicazione della popolazione, ovvero la rimozione di tutti gli individui presenti. In ogni caso, l'intervento risulta sempre auspicabile, anche per il solo controllo numerico, al fine di mitigare gli impatti che la specie provoca sull'ambiente, la salute animale e umana e le attività produttive.

3.2 Specie alloctone invasive inserite nella lista nera presenti all'interno delle Torbiere

- Siluro (*Silurus glanis*)



Fig. 23 – Esempi di Siluro catturati all'interno delle Torbiere.

Il siluro è un pesce appartenente all'ordine dei siluriformes originario dei bacini fluviali del mar Nero, Caspio e Baltico. Questa specie è stata introdotta largamente nell'Europa occidentale dove ha trovato condizioni ambientali favorevoli alla propria crescita e diffusione, specialmente nei paesi meridionali. Introdotto per la prima volta intorno agli anni '50 in Italia nel bacino del Po, si è poi diffuso velocemente a partire dagli anni '90 a causa di una serie di immissioni più o meno intenzionali che lo hanno portato a colonizzare in breve tempo tutto l'areale padano e la maggior parte dei grandi bacini del centro-sud. Questa specie ha un accrescimento particolarmente veloce nel nostro territorio, arrivando alla maturità in soli 2-3 anni, alla misura di circa 70 cm, durante le fasi dell'invasione e raggiungendo facilmente taglie sopra i due metri e mezzo per oltre 100 kg di peso. La crescita rapida lo mette al riparo dalla predazione da parte di altri pesci od uccelli e gli permette di riprodursi relativamente presto, garantendogli un vantaggio competitivo su molte specie autoctone. Insieme alla capacità di adattarsi ad alti livelli di eutrofizzazione ed a bassi livelli di ossigeno, alla guardia del nido dopo la deposizione delle uova (cure parentali) e la sua predazione prevalentemente notturna questa specie è capace di colonizzare con

rapidità e successo un grande numero di ambienti venendo considerata invasiva. Nelle aree dove l'invasione del siluro non è stata fermata, la biomassa di questa specie ha raggiunto livelli preoccupanti per la stabilità delle comunità ittiche autoctone (Castaldelli et al., 2013).

Il siluro è una specie opportunista, che si nutre di invertebrati, pesci, mammiferi e diventando rapidamente una seria minaccia per la conservazione della biodiversità degli ecosistemi in cui è stato inserito. Studi effettuati in paesi freddi, dove l'acqua raggiunge temperature limite che rallentano il metabolismo e fermano l'attività del pesce, hanno stimato il suo consumo medio giornaliero di prede intorno al 2,5% del peso corporeo (Orlova e Popova, 1986). Per fare un esempio, un siluro di 10 kg (ancora di piccola taglia), consumerebbe nell'anno circa 72,8 kg di prede. Alle condizioni climatiche presenti nelle acque italiane, molto più calde e con minori periodi di inattività (spesso assenti), è probabile che la specie si alimenti di più e che questa stima vada rivista al rialzo. Il siluro è dunque un predatore che per biomassa, taglia ed attività è in grado di influenzare le biomasse delle altre specie presenti in un corpo idrico. Non solo ha un impatto diretto con la predazione di tutte le specie. Ma è anche un competitore per le risorse alimentari degli altri predatori autoctoni ed un competitore per habitat e rifugi, cosa che mette in serio rischio la riproduzione naturale e la sopravvivenza di specie autoctone.

- Testuggine palustre americana (*Trachemys scripta*)



Fig. 24 – *Trachemys scripta* catturata all'interno delle Torbiere.

La tartaruga palustre americana è una tartaruga d'acqua dolce originaria della parte settentrionale del Sud America e degli Stati Uniti Meridionali. Fino a qualche tempo fa venivano esportati milioni di esemplari l'anno, sia verso l'Europa, sia verso l'Estremo Oriente. In Italia è stata introdotta come “animale di compagnia” a partire dagli anni '80, periodo in cui sono stati importati in media circa 2 milioni di tartarughe l'anno. Questa specie si adatta a molteplici varietà di habitat, ma preferisce ambienti ricchi di vegetazione con un fondo fangoso e acque calme e stagnanti. Trascorre gran parte del tempo sulle rive, o appoggiata a tronchi semisommersi, rimanendo esposta al sole. Ad una temperatura minore di 10° C smette di alimentarsi e trascorre il letargo sott'acqua, nascosta tra il fango e i sedimenti. In Riserva è presente anche nella sottospecie *trachemys scripta elegans* (Tartaruga dalle orecchie rosse), i rappresentanti di questa specie sono onnivori e in natura si cibano di piccoli anfibi, pesci, grilli, lumache, vermi, animali morti e piante acquatiche. Gli esemplari giovani sono prevalentemente carnivori e trascorrono la maggior parte del tempo nelle acque meno profonde, dove gli insetti abbondano. Gli adulti prediligono una dieta più ricca di vegetali e tendono

ad occupare acque più profonde. Le tartarughe del genere *Trachemys* sono molto adattabili, resistenti all'inquinamento ed entrano in competizione con i pochi esemplari di testuggine palustre europea (*Emys orbicularis*) rimasti in Italia.

- Nutria (*Myocastor coypus*)



Fig. 25 – Esemplare di nutria fotografato all'interno delle Torbiere (foto di Sergio Filippini).

L'areale originario della Nutria si estende dal Brasile, dalla Bolivia e dal Paraguay fino alle zone più meridionali del Sud America. La Nutria vive in ambienti umidi ad acque ferme o debolmente correnti: paludi, laghi, canali di drenaggio, fiumi ed estuari. I corpi idrici utilizzati da questo roditore sono in genere caratterizzati da abbondante vegetazione, basse altitudini e limitata pendenza delle rive (Reggiani *et al.*, 1993). Sugli argini e le sponde scava tane ipogee complesse, dove si riproduce, e piattaforme (alte fino a un metro) fatte di canne e giunchi sui letti di vegetazione palustre. Su tali strutture la Nutria può svolgere buona parte delle sue attività, come ad esempio l'alimentazione, la cura del mantello, il riposo ecc. La dieta di questo Roditore è composta da molte specie vegetali (Reggiani *et al.*, 1993). In Italia la specie è stata importata alla fine degli anni '20 a scopo di allevamento, ma la crisi registrata negli anni '60 e '70 ha determinato un progressivo abbandono delle strutture di stabulazione e la conseguente immissione in natura degli esemplari allevati (Reggiani *et al.*, 1993). In molti casi è stato riscontrato un deterioramento qualitativo dei biotopi umidi dovuti al pascolamento attuato dalle nutrie, le quali si nutrono delle parti sia epigee che

ipogee delle piante. Talora l'attività di alimentazione può arrivare a determinare la scomparsa locale di intere stazioni di Ninfee, di Canna di palude e di Tifa. Tali effetti hanno provocato profonde alterazioni, con la drastica riduzione di alcune idrofite e l'estinzione locale della fauna associata a tali ambienti, come ad esempio il Tarabuso (*Botaurus stellaris*), il Falco di palude (*Circus aeruginosus*) e il Basettino (*Panurus biarmicus*). In Italia è stata segnalata la distruzione dei nidi e/o la predazione di uova e pulli del Mignattino piombato (*Chlidonias hybridus*), del Tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*), della Gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*) e del Germano reale (*Anas platyrhynchos*).

4. OBIETTIVO DEL LAVORO

L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di indagare per la prima volta la popolazione della specie alloctona invasiva *P. clarkii* all'interno del sito di Rete Natura2000 "Torbiere d'Iseo", mettendo in atto due metodologie di censimento e contenimento al fine di valutare gli effetti sulla struttura della popolazione e le caratteristiche morfologiche e fenologiche degli individui catturati.

Questo lavoro si inserisce in un'azione di contenimento più ampia comprendente anche il siluro (*Silurus glanis*) finanziata da Regione Lombardia. Il progetto prevede lo sviluppo di proposte di gestionali per contrastare le specie alloctone invasive.

5. MATERIALI E METODI

Siti di campionamento e metodi di cattura

I campionamenti sono stati realizzati all'interno della Riserva Naturale delle Torbiere del Sebino, che coincide interamente con il sito di Rete Natura2000 IT2070020 "Torbiere d'Iseo". Vista l'elevata mobilità e la preferenza all'utilizzo di argini a contatto con l'acqua per lo scavo della tana, la sua presenza è stata in primo luogo accertata, a partire da giugno 2018, ricercandolo in tutti i luoghi della Riserva ritenuti idonei. Un sito in particolare si è rilevato elettivo, un canale lungo 50 metri (fig. 26) nel comune di Provaglio d'Iseo, caratterizzato dalla presenza di una lieve sorgente sub-affiorante che assicura la presenza costante di acqua, anche in estate. Questa condizione garantisce l'habitat adatto per la costruzione delle tane, infatti sono presenti nel canale con elevata densità.



Fig. 26 – localizzazione dei siti di campionamento.

Come è possibile osservare (fig. 27) *P. clarkii* in queste condizioni è facilmente catturabile da qualsiasi operatore dotato di una pinza prendi rifiuti, un secchio e un paio di stivali gommati. In nessuna altra zona delle Torbiere è stato individuato un sito simile a quello descritto in precedenza.

Il campionamento a terra ha avuto inizio a luglio 2018, proseguendo fino a ottobre 2018, ed è stato effettuato una volta ogni due settimane. Successivamente è stato ripreso nel maggio 2019 protraendolo fino a settembre 2019, sempre con la medesima cadenza.



Fig. 27 – Individui presenti nel canale.

Parallelamente all'attività di rimozione dei gamberi nel canale si è provveduto a posizionare sei nasse all'interno delle Lame. Il posizionamento delle nasse è più complesso, richiede l'utilizzo di una barca e di un operatore specializzato, necessitando la cooperazione di due distinti operatori. L'Ente Gestore è dotato di una piccola barca a remi, adatta allo scopo, ma che non permette lunghi spostamenti all'interno delle Torbiere. Le nasse sono state posizionate nelle vicinanze del magazzino in cui è sistemata la barca e nei primi punti utili ai margini del canneto (fig. 28).



Fig. 28 – siti di campionamento in acqua

Le nasse, dalle dimensioni di 1 m di lunghezza e con una doppia apertura di 30 cm, sono state posizionate sul fondo e fissate alla superficie con classico gavitello per poterle individuare (fig. 29). Lo svuotamento è avvenuto circa ogni due settimane, per poi essere riposizionate nello stesso momento e nella medesima posizione.

L'attività di campionamento in acqua è iniziata ad ottobre 2018 e si è protratta fino a dicembre 2018, con tre svuotamenti (circa uno al mese), successivamente le nasse sono state riposizionate a maggio 2019, procedendone al controllo una volta ogni due settimane, e venendo recuperate a fine settembre 2019



Fig. 29 – Nasse pronte per essere posizionate.

Misure biometriche

Al termine delle catture i gamberi sono stati criosoppressi e, successivamente, sottoposti al rilievo di diversi parametri morfologici. Per prima cosa si è proceduto al sessaggio degli esemplari, osservando nei maschi la presenza dei 4 cerci addominali e nelle femmine dell'anulo ventrale. Negli esemplari di sesso maschile è stata inoltre valutata anche la presenza/assenza dei denti uncinati sul terzo e quarto paio di pereiopodi, indicanti il raggiungimento dell'età riproduttiva e lo stato riproduttivo (fig. 30).



Fig. 30 – a sinistra la differenza anatomica tra maschi e femmine, a destra una chela ricresciuta con malformazione.

Vista l'aggressività di questa specie, è stata annotata la mancanza di chele e la presenza di chele visivamente ricresciute in seguito a mutilazione, ossia dalle ridotte dimensioni, oppure malformate e non funzionali (fig. 31). Il rilievo dei parametri morfologici è stato effettuato impiegando un calibro di precisione, rilevando la lunghezza totale del corpo, presa dalla punta del rostro all'apice del telson. È stata inoltre raccolta la lunghezza del cefalotorace. Per ogni soggetto è stato poi determinato il peso totale ed il peso al netto delle chele mediante l'uso di una bilancia digitale. Nei gamberi catturati durante il 2019 sono stati rilevati anche i dati delle chele, in particolare il peso e la lunghezza di ciascuna, al fine di determinare eventuali asimmetrie.



Fig. 31 – Differenze dimensionali.

Analisi statistica

L'analisi dei dati è stata effettuata tramite il software open source R.

6. RISULTATI E DISCUSSIONE

6.1 Entità delle catture

Durante il periodo di studio, compreso tra luglio 2018 e settembre 2019, sono stati catturati all'interno della Riserva Naturale "Torbiere del Sebino" un totale di 552 esemplari di *P. clarkii*, di questi, 231 sono stati catturati nel sito di campionamento a terra e 321 nel sito di campionamento in acqua. A terra sono state eseguite un totale di 24 uscite con singolo operatore, mentre in acqua le nasse sono state svuotate 13 volte da due operatori con l'utilizzo di un natante. I primi confronti effettuati sono relativi all'andamento delle catture in questi due siti ed alle differenze morfologiche e fenologiche degli individui catturati. La figura 32, mostra l'andamento temporale degli individui catturati nel sito di campionamento a terra. Si osserva come le catture sono state elevate e con numeri abbastanza costanti durante la prima fase di campionamento. Nel dettaglio il primo periodo, da luglio 2018 a settembre 2018, è stato caratterizzato da un elevato numero di esemplari catturati, ben 194 in sole 5 uscite, mentre a partire da metà settembre sono bruscamente diminuiti, con il ritrovamento di solo 37 esemplari in 19 uscite.

Andamento temporale delle catture a terra - 2018/2019

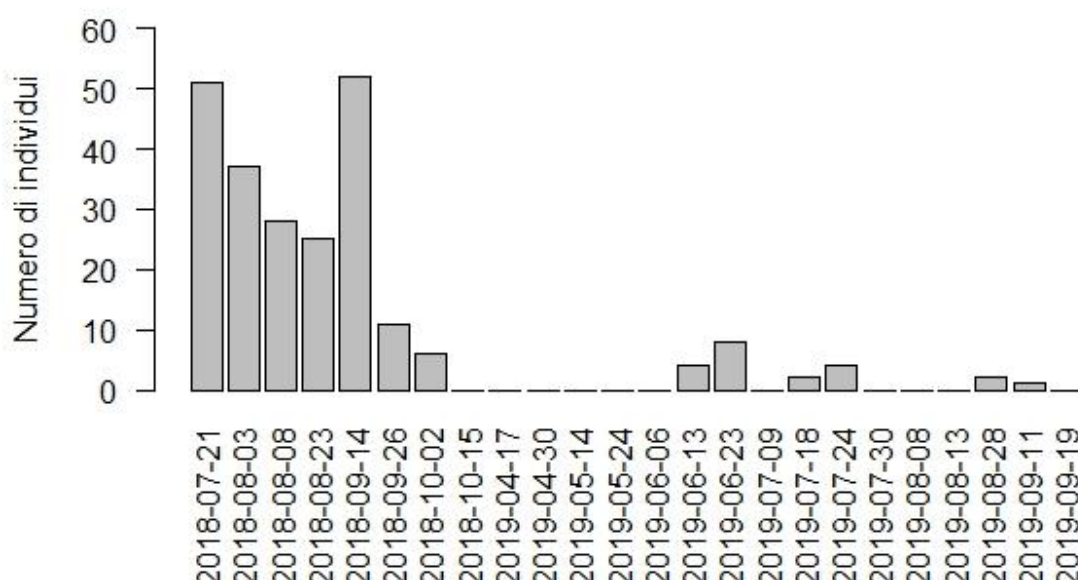


Fig. 32 – Andamento temporale del numero di esemplari catturati nel sito di campionamento a terra.

Questo declino può essere causato sia dalla rimozione degli esemplari, ma anche dalla presenza del cinghiale (*Sus scrofa*). Durante l'uscita del 26 settembre, sono stati rilevati all'interno del canale e nel prato limitrofo chiari segnali della sua presenza, come è possibile osservare in figura 33, dovuti alla caratteristica attività di scavo per la ricerca di risorse alimentari. Questa attività ha causato la distruzione di tutti gli ingressi alle tane di *P. clarkii*, compromettendone l'uso. È possibile supporre che, nonostante il cinghiale si nutra soprattutto di materiale vegetale, molti esemplari di *P. clarkii* siano stati predati. Durante l'estate del 2019 si sono verificati periodicamente dei tentativi di ricolonizzazione del sito ma gli individui sono stati subito rimossi. La pronta eradicazione di *P. clarkii* ha impedito la costruzione delle tane e il richiamo di altri esemplari.



Fig. 33 – Sito di campionamento a terra arato dai cinghiali, a destra le orme.

L'attività di campionamento svolta all'interno del sito terrestre si è rivelata in grado di limitare in un primo momento, e successivamente eliminare, un sito riproduttivo molto ambito da *P. clarkii*.

In ottobre 2018 sono state posizionate 6 nasse all'interno delle lame. La figura 34 mostra l'andamento temporale delle catture, si può osservare come in questo ambiente la specie sia costante per tutto il periodo di studio. In contrasto con il sito di campionamento a terra non si ha una brusca interruzione o un'elevata

variabilità nelle catture. Questo è dovuto alla natura del sito, infatti l'ambiente acquatico delle Torbiere è molto vasto ed il campionamento è avvenuto solo in una piccola parte di esse, per cui la ricolonizzazione si è potuta mantenere costante per tutto il periodo.

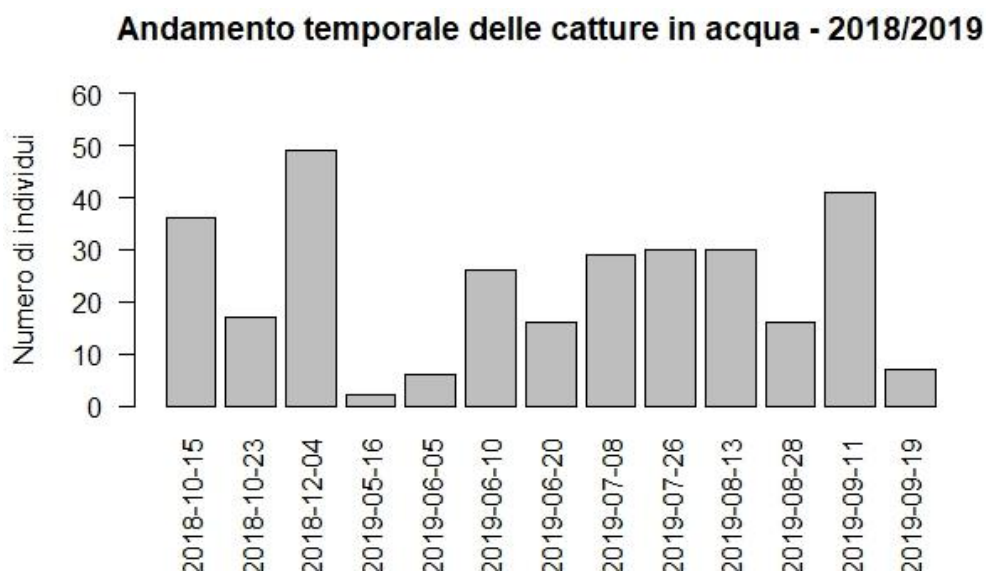


Fig. 34 – Andamento temporale del numero di esemplari catturati nel sito di campionamento in acqua.

Visto che lo svuotamento delle nasse, per motivi tecnico – gestionali, non è stato costante durante tutto il periodo di studio, si è deciso di calibrare l'andamento delle catture pesando il numero di individui catturati sul numero di giorni che le nasse sono rimaste in acqua (fig. 35). Durante il periodo invernale le nasse sono state rimosse poiché è stato riscontrato, in uno studio effettuato su una zona umida della toscana, che *P. clarkii* trascorre questo periodo di inattività all'interno della tana (Gherardi et al., 1999). In tale studio è stato anche osservato come il ciclo riproduttivo avvenga in due periodi distinti, a fine primavera e a fine estate, quando le temperature sono più elevate. Dalla figura emergono due momenti in cui il numero di esemplari catturati è maggiore, il 10 giugno e l'11 settembre 2019. Questo aumento delle catture può essere dovuto al periodo riproduttivo del gambero che, a causa di una maggiore mobilità per la ricerca del partner e quindi in una fase di maggiori interazioni sociali, ha più probabilità di entrare in una nassa ed essere catturato.

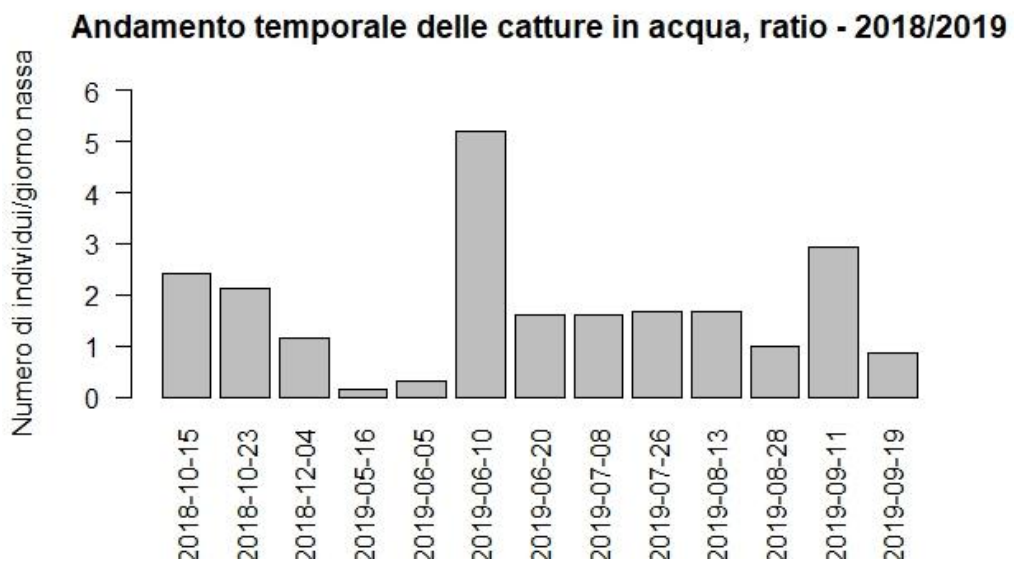


Fig. 35 – andamento temporale delle catture in acqua pesato per i giorni in cui le nasse sono rimaste in acqua.

6.2 Rapporto tra i sessi e analisi delle differenze morfologiche di *P. clarkii* tra i siti di cattura

Il rapporto tra i sessi durante il periodo di studio ha mostrato delle differenze significative in funzione al sito di campionamento in cui *P. clarkii* è stato catturato. Nel sito di campionamento a terra possiamo osservare come la cattura degli esemplari di sesso maschile (fig. 36) sia nettamente superiore a quelli di sesso femminile (fig. 37), anche durante i tentativi di ricolonizzazione.

Andamento temporale delle catture a terra, maschi - 2018/2019

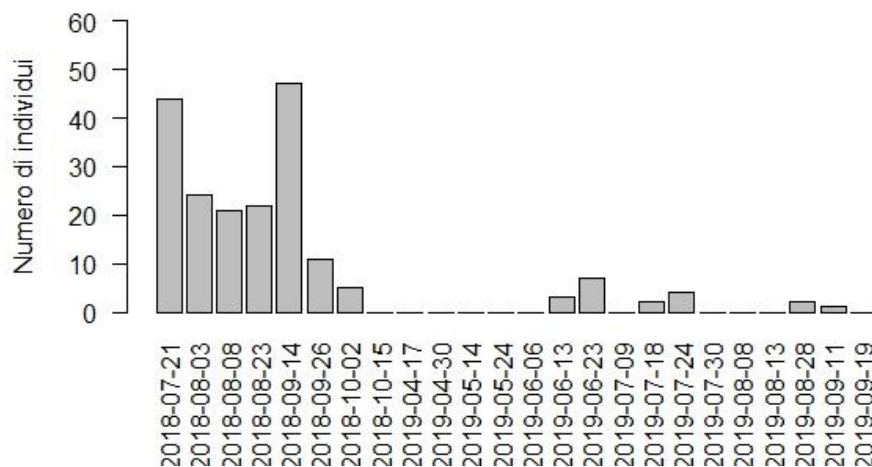


Fig. 36 – Andamento temporale delle catture dei maschi a terra.

Andamento temporale delle catture a terra, femmine - 2018/2019

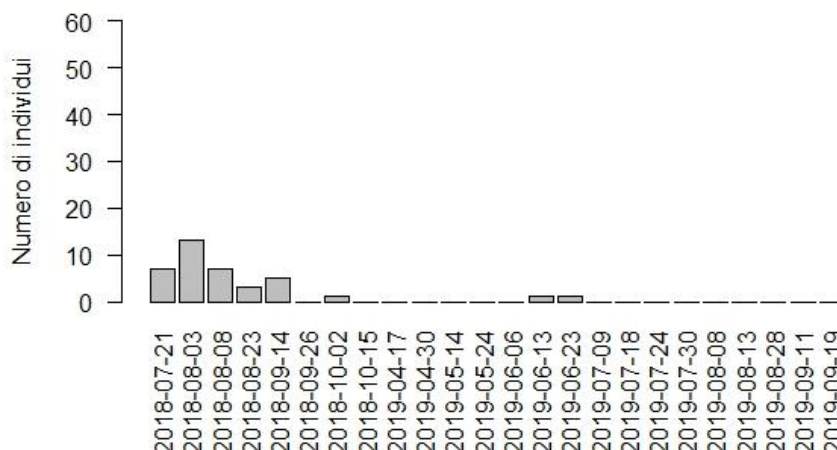


Fig. 37 – andamento temporale delle catture delle femmine a terra.

Nell'ambiente acquatico questo rapporto così sbilanciato verso i maschi non si osserva, infatti il *sex ratio* risulta più equilibrato (fig. 38).

Andamento del sex ratio femmine/maschio - 2018/2019

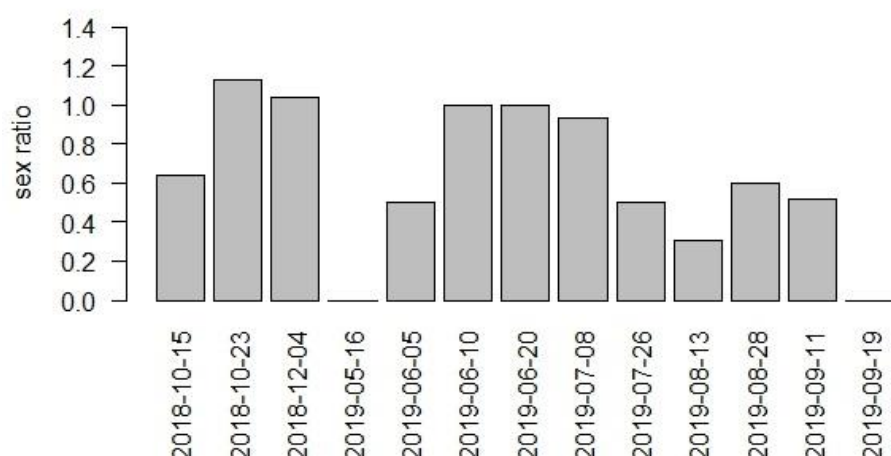


Fig. 38 – Andamento del sex ratio femmine/maschi in acqua.

Dall'analisi delle caratteristiche morfologiche degli individui raccolti nei diversi ambienti possiamo notare come i gamberi catturati a terra abbiano dimensioni significativamente maggiori rispetto a quelli catturati nell'ambiente acquatico. Il confronto mostrato in figura 39 mostra come questa relazione valga sia per i maschi ($F = 119.7$, $Pr(>F) = < 0.001$), che per le femmine ($F = 7.458$, $Pr(>F) = 0.00703$), anche se per quest'ultime è meno evidente.

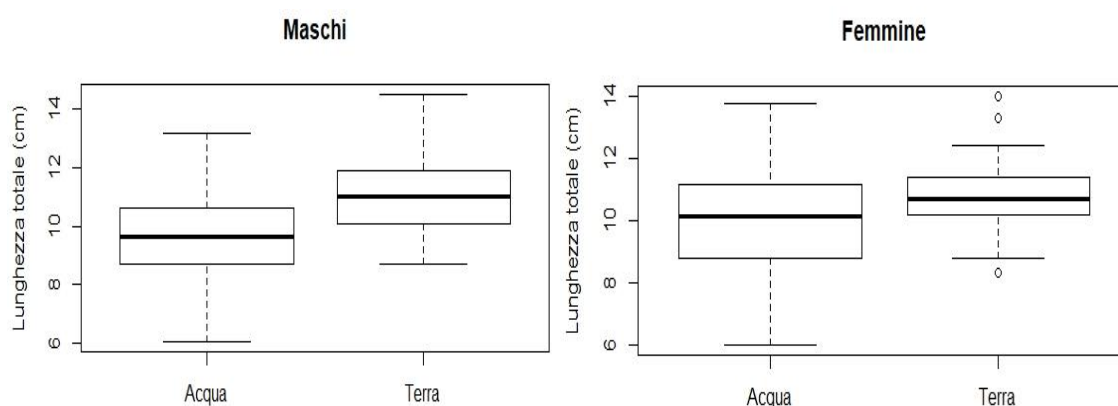


Fig. 39 – Confronto sulle dimensioni dei gamberi maschi e femmine nei diversi siti di campionamento

Questa relazione mostra che la dimensione dei gamberi è correlata all'habitat in cui essi vengono catturati. Tale correlazione è dovuta al fatto che i gamberi

nascono e crescono nell'ambiente acquatico, ricco di risorse alimentari necessarie allo sviluppo. In questo ambiente quindi troviamo gamberi ancora giovani e con minori dimensioni. Quando raggiungono una certa maturità e quindi dimensioni maggiori, gli esemplari di *P. clarkii* essendo caratterizzati da un'elevata capacità di dispersione attiva, si spostano anche in ambienti terrestri alla ricerca di nuovi spazi riproduttivi.

Una peculiare caratteristica che si osserva in *P. clarkii* è la capacità di auto-amputarsi, ossia di perdere una parte del corpo a seguito di uno stimolo intenso, come ad esempio l'attacco di un predatore. Questa caratteristica, chiamata autotomia, è presente in numerosi esemplari catturati. Analizzando il rapporto tra i gamberi integri e quelli amputati (considerando in questa categoria anche quelli con la chela ricresciuta) non si osserva una netta distinzione tra maschi e femmine, infatti il rapporto in figura 40 mostra che l'incidenza di amputati non è significativa tra i diversi sessi.

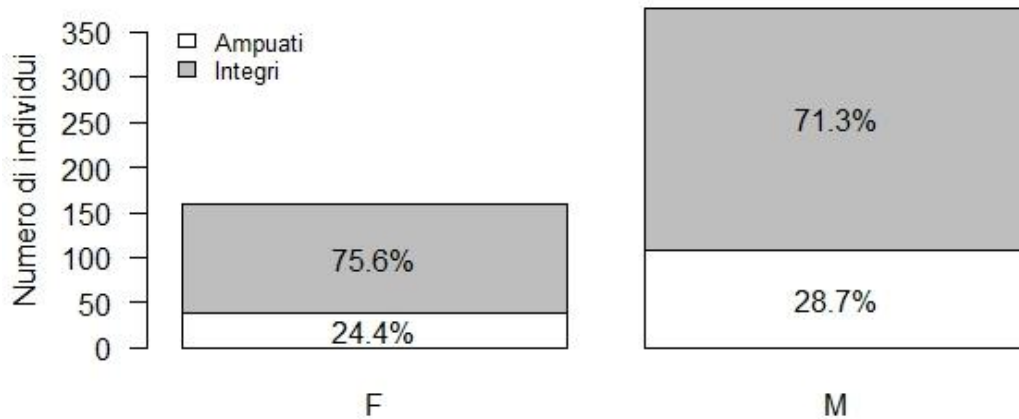


Fig. 40 – Rapporto tra i gamberi amputati (comprensivi di quelli con la chela ricresciuta) e i gamberi integri nei maschi e nelle femmine.

6.3 Variazione nella struttura di popolazione

Oltre ad analizzare il rapporto tra i sessi e le differenze morfologiche degli individui catturati nei diversi habitat, sono state ricercate variazioni all'interno della struttura di popolazione di *P. clarkii*, al fine di valutare gli effetti del contenimento messo in atto nella Riserva. L'andamento delle catture a terra ha subito una brusca interruzione nel mese di settembre impedendo analisi approfondite sull'effetto del contenimento. Nell'ambiente acquatico invece le catture si sono mantenute regolari durante tutto il periodo di studio ed è quindi possibile osservare eventuali diminuzioni in relazione all'attività di prelievo. L'analisi del numero di gamberi catturati nel tempo tramite regressione lineare (fig. 41), ha evidenziato un calo non statisticamente significativo delle catture ($\beta = -0.062$, $\text{Pr}(>|t|=0.1028$, $R^2_{\text{adj}}=0.1529$), quindi non si osserva un effetto "rimozione" sulla popolazione di *P. clarkii* all'interno delle Torbiere.

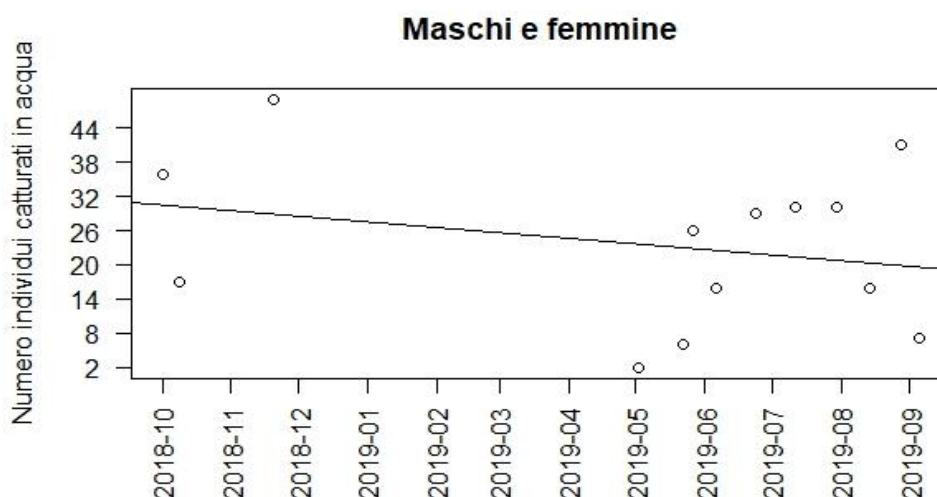


Fig. 41 – regressione lineare dell'andamento delle catture in acqua

Questo può essere riconducibile al fatto che il sito di campionamento non sia rappresentativo di tutto l'habitat acquatico della Riserva, ma solo di una piccola parte. L'areale di distribuzione della popolazione di *P. clarkii* è molto più ampio e, quindi, gli individui hanno periodicamente potuto ricolonizzare l'area. Anche la limitatezza temporale delle operazioni di campionamento, eseguita su un solo anno, può spiegare il mancato effetto di rimozione, per questo motivo le operazioni di contenimento dovrebbero proseguire in modo costante nel tempo

per poter valutare se l'effetto rimozione può effettivamente causare una variazione della popolazione.

L'effetto rimozione si potrebbe osservare anche nella variazione delle caratteristiche morfologiche dei gamberi catturati se si dovessero osservare variazioni statisticamente significative. Dall'analisi dei dati si osserva una correlazione lineare tra il peso netto e la lunghezza degli individui, quindi si è deciso di utilizzare la lunghezza totale come fattore per valutare cambiamenti durante il periodo di cattura in rapporto al sesso. L'analisi dell'andamento della lunghezza totale dei maschi catturati (fig. 42) mostra una diminuzione statisticamente significativa della lunghezza media ($\beta = -0.005$, $\Pr(>|t|) = <0.001$, $R^2_{adj} = 0.278$).

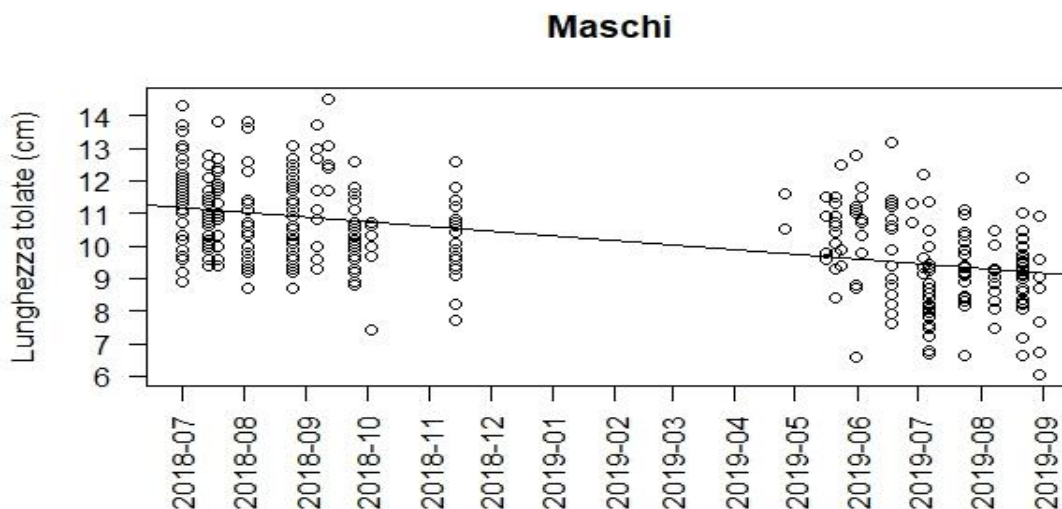


Fig. 42 – regressione lineare dell'andamento della lunghezza totale nei maschi

Le dimensioni maggiori dei gamberi catturati a terra possono aver inciso significativamente nel calo della lunghezza media. Per un'analisi più accurata è stata quindi analizzata anche la variazione della lunghezza media dei soli maschi catturati in acqua (fig. 43). Si può osservare che anche in questo ambiente c'è stato un calo significativo delle dimensioni ($\beta = -0.004$, $\Pr(>|t|) = <0.001$, $R^2_{adj} = 0.1299$). L'attività di contenimento potrebbe quindi aver contribuito a diminuire le dimensioni medie della popolazione maschile di *P. clarkii*.

Maschi in acqua

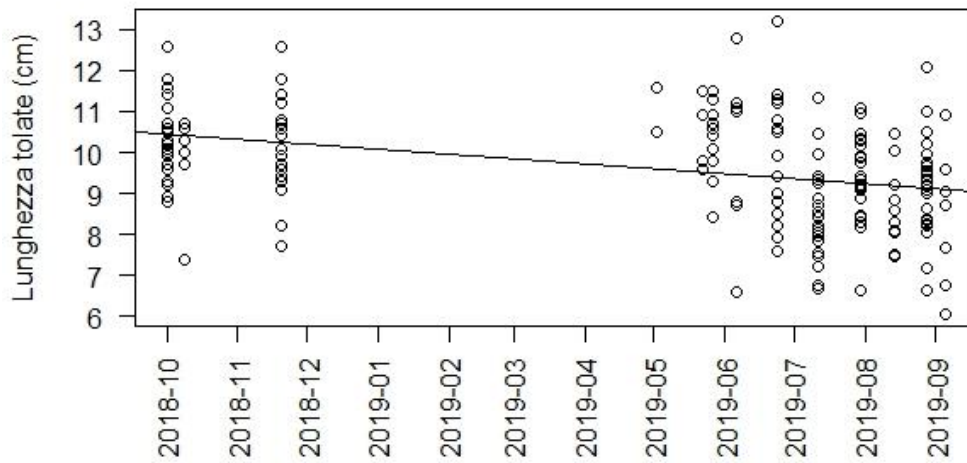


Fig. 43 – Regressione lineare dell'andamento della lunghezza totale dei soli gamberi maschi catturati in acqua.

L'analisi è stata condotta anche su gli individui di sesso femminile e anche in questo caso si osserva una diminuzione statisticamente significativa della lunghezza media degli individui in relazione allo sforzo di campionamento ($\beta = -0.002$, $\text{Pr}(> |t|) = 0.01592$, $R^2_{\text{adj}} = 0.03012$). L'effetto rimozione potrebbe avere inciso anche sulle dimensioni degli individui di sesso femminile (fig. 44).

Femmine

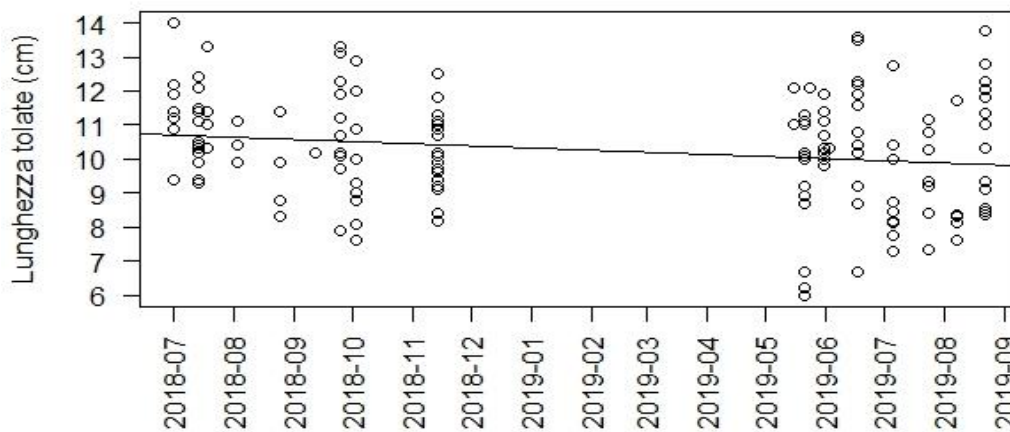


Fig. 44 - Regressione lineare dell'andamento della lunghezza totale dei gamberi femmina catturati.

Poiché la dimensione degli individui è correlata con l'età, l'attività di eradicazione potrebbe aver avuto come effetto quello di ringiovanire la popolazione all'interno del sito di cattura.

6.4 Relazioni allometriche

Relazioni allometriche tra i gamberi maschi e femmine

Durante il campionamento si è osservato che le chele dei maschi erano più grosse di quelle delle femmine. Il confronto del peso totale tra i gamberi maschi e femmine ha mostrato chiaramente questa differenza, lasciando presupporre che l'accrescimento relativo delle chele di *P. clarkii*, rispetto a tutto il corpo, sia influenzato dal sesso (Huner e Barr, 1991).

Per valutare le relazioni esistenti tra peso, lunghezza e sesso degli esemplari si è proceduto ad un'analisi statistica che mettesse in relazione queste variabili al fine di definire le allometrie che regolano l'accrescimento di *P. clarkii*, le analisi hanno riguardato la correlazione tra il peso e la lunghezza dei gamberi maschi e femmina tramite: 1. Regressione del peso totale e della lunghezza; 2. Regressione del peso senza chele e della lunghezza; 3. La comparazione di queste relazioni. Sono state testate due diverse ipotesi: 1. Relazione allometrica tra i sessi che differiscono per coefficiente angolare (interazione) (fig. 45) e 2. Relazione isometrica tra i sessi che differiscono per intercetta, quindi senza interazione (fig. 46).

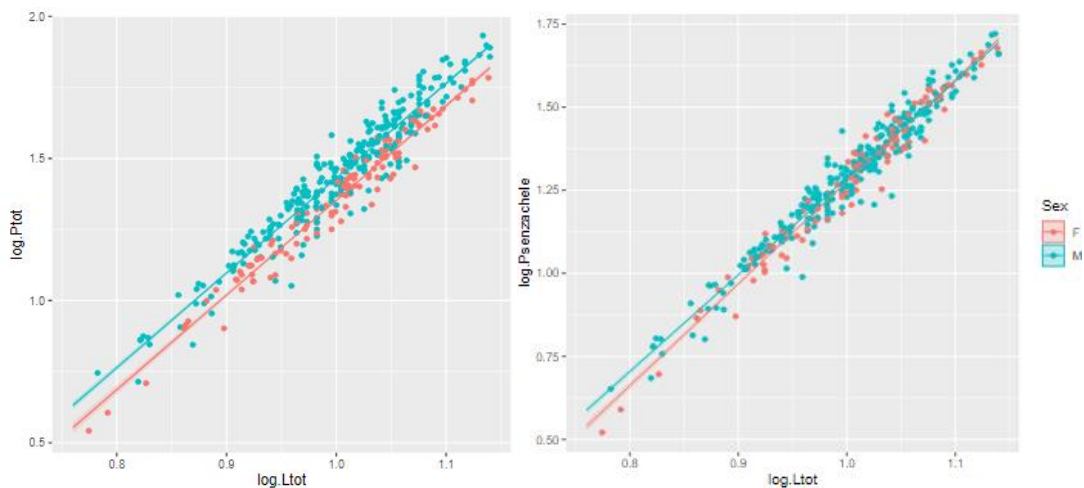


Fig. 45 – Confronto tra le regressioni allometriche tra peso totale a sinistra ($\beta_{(intercetta)} = -1.979$, $\text{Pr}(> |t |) = < 0.001$, $\beta_{(\log.Ltot)} = 3.332$, $\text{Pr}(> |t |) = < 0.001$, $\beta_{(SexM)} = 0.076$, $\text{Pr}(> |t |) = 0.409$, $\beta_{(\log.Ltot:SexM)} = 0.0014$, $\text{Pr}(> |t |) = 0.988$, $R^2_{adj} = 0.1299$) e il peso senza le chele a destra ($\beta_{(intercetta)} = -1.793$, $\text{Pr}(> |t |) = < 0.001$, $\beta_{(\log.Ltot)} = 3.067$, $\text{Pr}(> |t |) = < 0.001$, $\beta_{(SexM)} = 0.168$, $\text{Pr}(> |t |) = 0.0147$, $\beta_{(\log.Ltot:SexM)} = -0.157$, $\text{Pr}(> |t |) =$

<0.022 , $R^2_{adj}= 0.9561$) con la lunghezza totale tra i sessi che differiscono per coefficiente angolare (interazione).

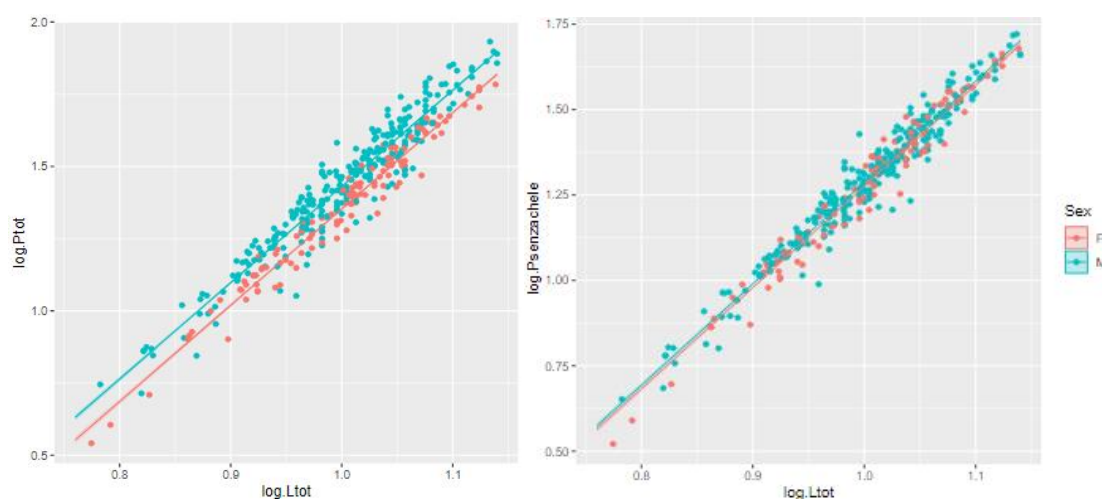


Fig. 46 – Confronto tra le regressioni isometriche tra peso totale a sinistra ($\beta_{(intercetta)}= -1.980$, $\Pr(>|t|= <0.001$, $\beta_{(log.Ltot)}= 3.333$, $\Pr(>|t|= <0.001$, $\beta_{(ISexM)}= 0.078$, $\Pr(>|t|= <0.001$, $R^2_{adj}= 0.939$) e peso senza le chele a destra ($\beta_{(intercetta)}= -1.689$, $\Pr(>|t|= <0.001$, $\beta_{(log.Ltot)}= 2.965$, $\Pr(>|t|= <0.001$, $\beta_{(ISexM)}= 0.011$, $\Pr(>|t|= 0.0208$, $R^2_{adj}= 0.9556$) con la lunghezza totale tra i sessi che differiscono per intercetta (no interazione).

Dai grafici si osserva che la relazione è isometrica (non c'è differenza di coefficiente angolare tra maschio e femmina, ma solo di costante), il peso senza chele non è influenzato dal sesso (solo dalla lunghezza) mentre il peso totale è influenzato dal sesso (conta il peso delle chele). Il risultato di queste analisi conferma che l'accrescimento delle chele è la caratteristica sessuale secondaria più evidente in *P. clarkii*, con i maschi che possiedono chele significativamente più grosse e possenti (fig. 48), mentre il peso netto non è influenzato dal sesso ma solo dalla lunghezza totale (fig. 47).

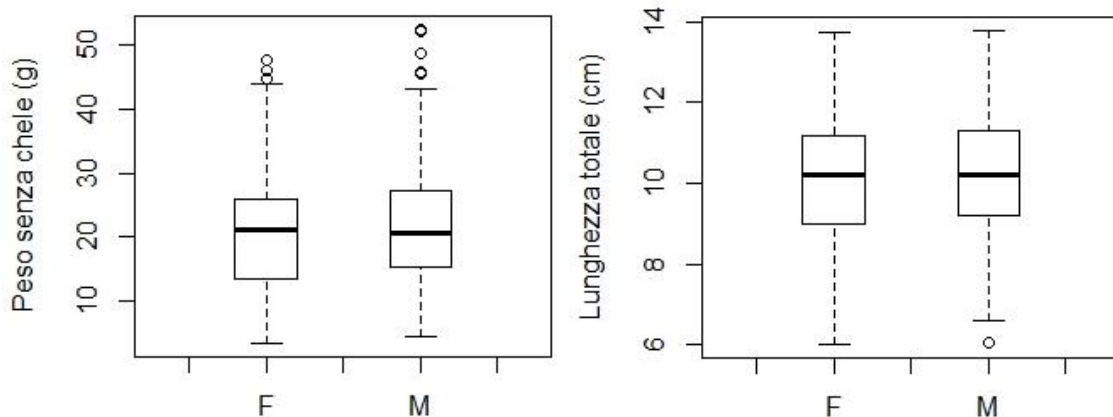


Fig. 47 – Confronto tra le medie del peso senza chele e la lunghezza totale.

Peso senza chele: ($F = 0.129$, $\text{Pr}(>F) = 0.72$); Lunghezza totale: ($F = 10.88$, $\text{Pr}(>F) = 0.00106$).

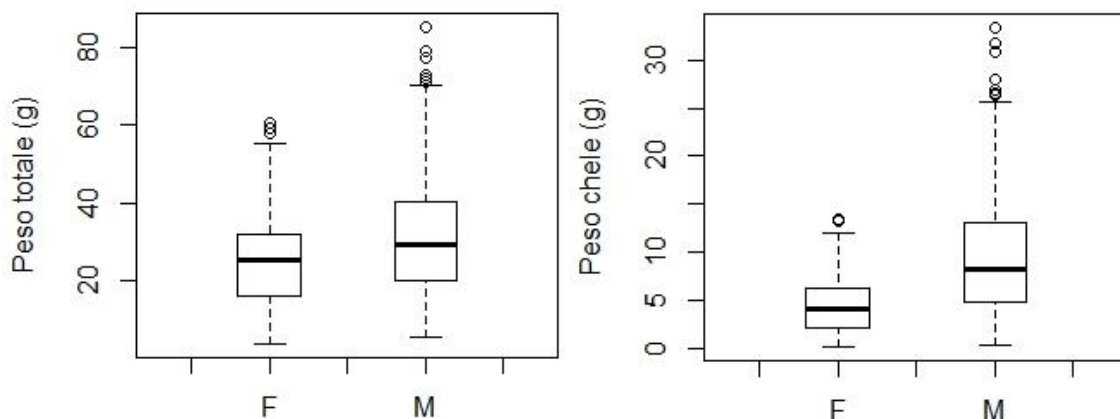


Fig. 48 – Confronto tra le medie del peso totale e il peso delle chele

Peso totale: ($F = 0.01$, $\text{Pr}(>F) = 0.919$); Peso chele ($F = 62.32$, $\text{Pr}(>F) < 0.001$).

Relazioni allometriche tra i gamberi integri e amputati

Come osservato in precedenza l'incidenza di esemplari amputati è importante sul totale dei gamberi catturati, infatti le femmine amputate risultano pari al 24,4% e i maschi il 28,7%. Per questo motivo si è cercato di analizzare le relazioni che regolano questa caratteristica in funzione del peso e della lunghezza totale, tramite uno studio allometrico. Dalle relazioni analizzate si osserva che i gamberi amputati hanno dimensioni significativamente maggiori rispetto a quelli integri (fig. 49), sia nel peso senza chele ($F = 16.98$, $\text{Pr}(>F) < 0.001$) che nella lunghezza totale ($F = 17.72$, $\text{Pr}(>F) < 0.001$).

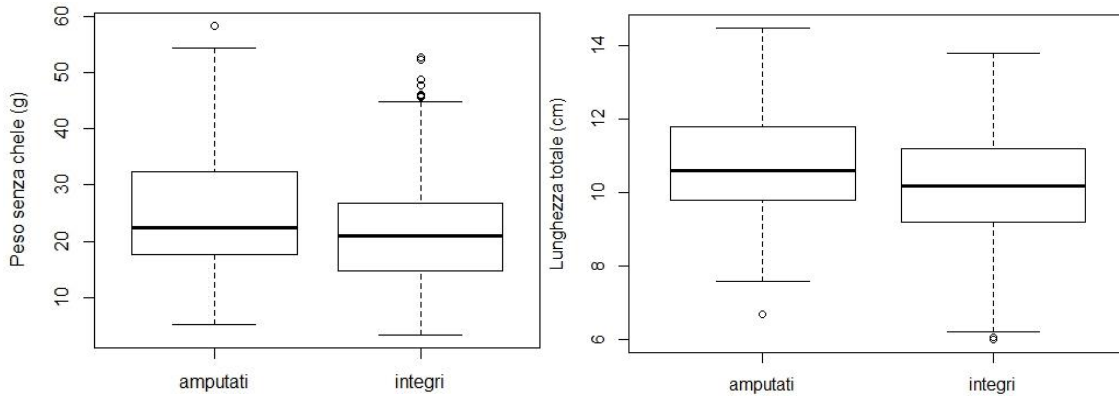


Fig. 49 – Variazione delle medie del peso senza chele e della lunghezza totale nei gamberi integri e amputati.

I gamberi amputati sono più pesanti e di dimensioni maggiori. Questa caratteristica è correlata con l'età degli individui, infatti gli individui più vecchi (cioè più grandi) hanno una maggiore probabilità di essere amputati ($\beta = -0.277$, $\Pr(>|t|) < 0.001$; Devianza nulla = 629.74, Devianza residua = 612.13, GdL = 534; fig. 50).

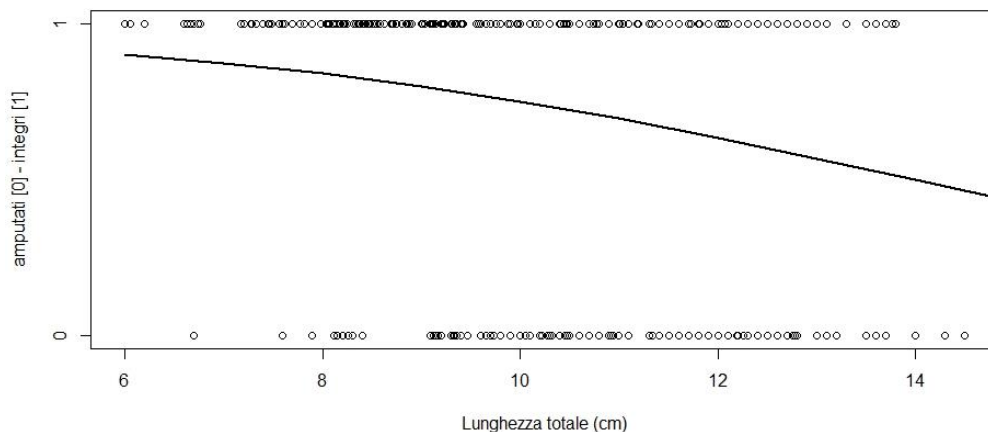


Fig. 50 – Aumento della probabilità di incorrere ad amputazione all'aumentare delle dimensioni corporee.

La probabilità di essere amputati non è influenzata dal sesso anche se nei maschi è leggermente maggiore (fig. 51).

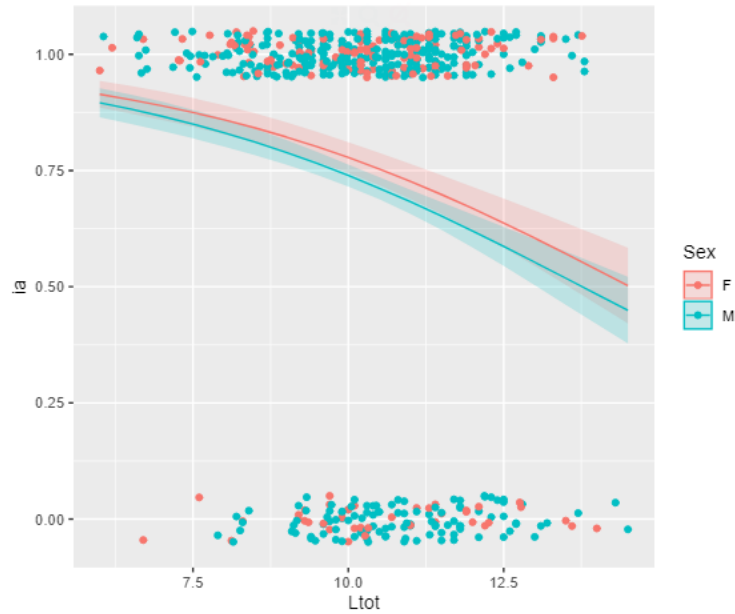


Fig. 51 – rapporto integri amputati in relazione alla lunghezza totale e al sesso

Relazioni allometriche tra i gamberi maschi e femmine integri e amputati

Per valutare l'incidenza dell'amputazione sul sesso degli individui sono state analizzate nel dettaglio le relazioni che intercorrono tra i gamberi maschi e femmine, integri e amputati.

Per i maschi, come si può osservare nella fig. 52a, viene confermata la significativa variazione delle medie del peso senza chele ($F= 15.49$, $\text{Pr}(>F)= <0.001$) e della lunghezza totale ($F= 15.85$, $\text{Pr}(>F)= < 0.001$), quindi si conferma per gli esemplari maschi la possibilità di essere amputati in correlazione all'avanzare dell'età.

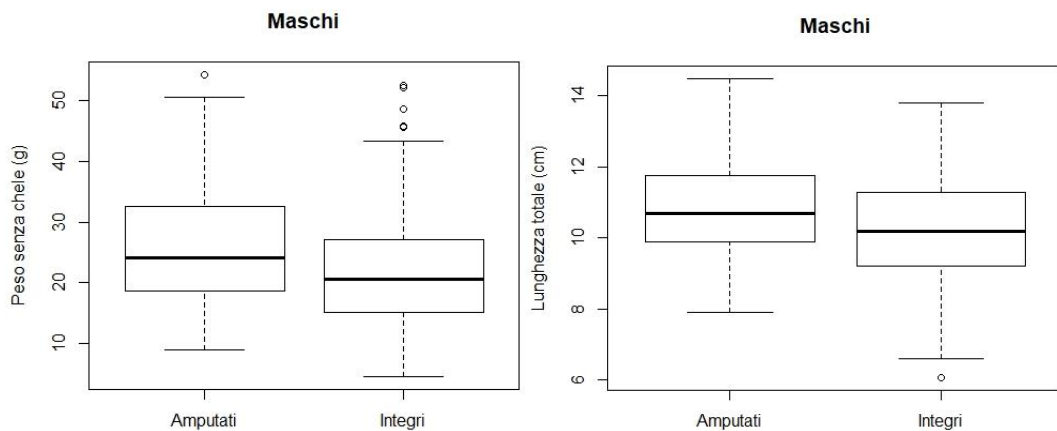


Fig. 52a – Variazione delle medie del peso senza chele e della lunghezza totale nei gamberi maschi integri e amputati.

Analizzando le stesse caratteristiche nelle femmine (fig. 52b) si osserva invece che non vi sono differenze nelle variazioni delle medie del peso senza chele ($F=2.164$, $\text{Pr}(>F)=0.143$) e della lunghezza totale ($F=2.533$, $\text{Pr}(>F)=0.113$), quindi tendenzialmente i maschi hanno più probabilità delle femmine di essere amputati. Questo fenomeno può essere dovuto sia alle caratteristiche combattive dei maschi di *P. clarkii* (difesa della tana e competizione per l'accoppiamento) sia alla sua elevata capacità di dispersione attiva in ambiente terrestre che lo rende più vulnerabile ai predatori (Gherardi, 2006).

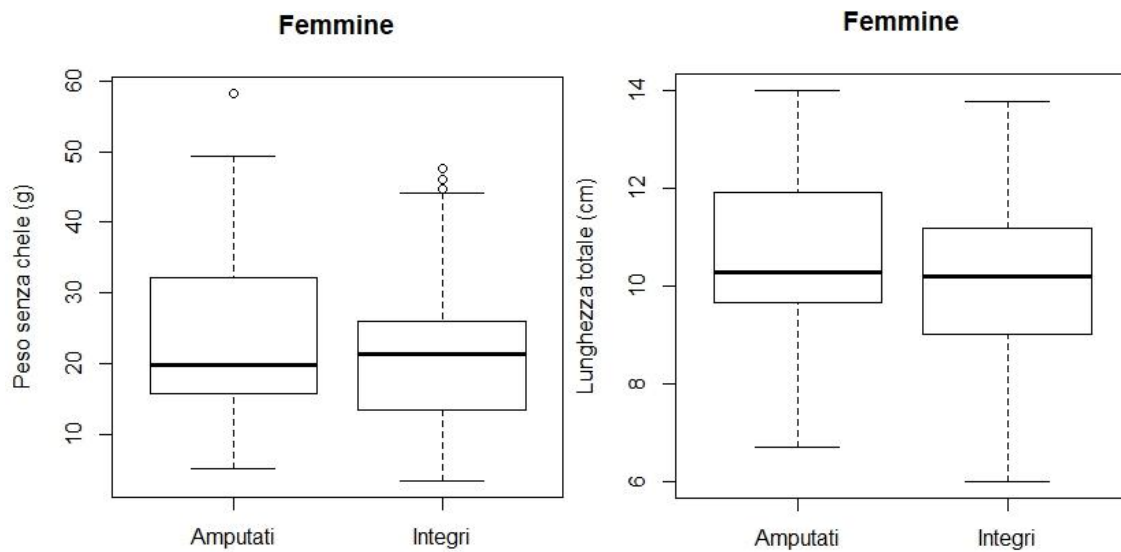


Fig. 52b – Variazione delle medie del peso senza chele e della lunghezza totale nei gamberi femmina integri e amputati

6.7 Asimmetrie nelle chele

L'Asimmetria Fluttuante è un fenomeno di popolazione definita come lieve deviazione casuale di un carattere morfologico dalla perfetta simmetria bilaterale (Møller & Swaddle, 1997). L'asimmetria corporea viene misurata attraverso le differenze tra gli elementi destri e sinistri di un individuo nato bilateralmente simmetrico. Per questo motivo la ricerca di un'asimmetria fluttuante in *P. clarkii* è stata effettuata tramite l'analisi del peso e della lunghezza delle chele.

Møller & Swaddle (1997) sostengono che nel corso dello sviluppo si creano delle asimmetrie nella struttura bilaterale dell'organismo ogniqualvolta agiscono degli stress di natura genetica o ambientale, impedendone l'accrescimento perfettamente simmetrico.

Nella popolazione in esame non sono state rilevate asimmetrie nel peso delle chele (fig. 53).

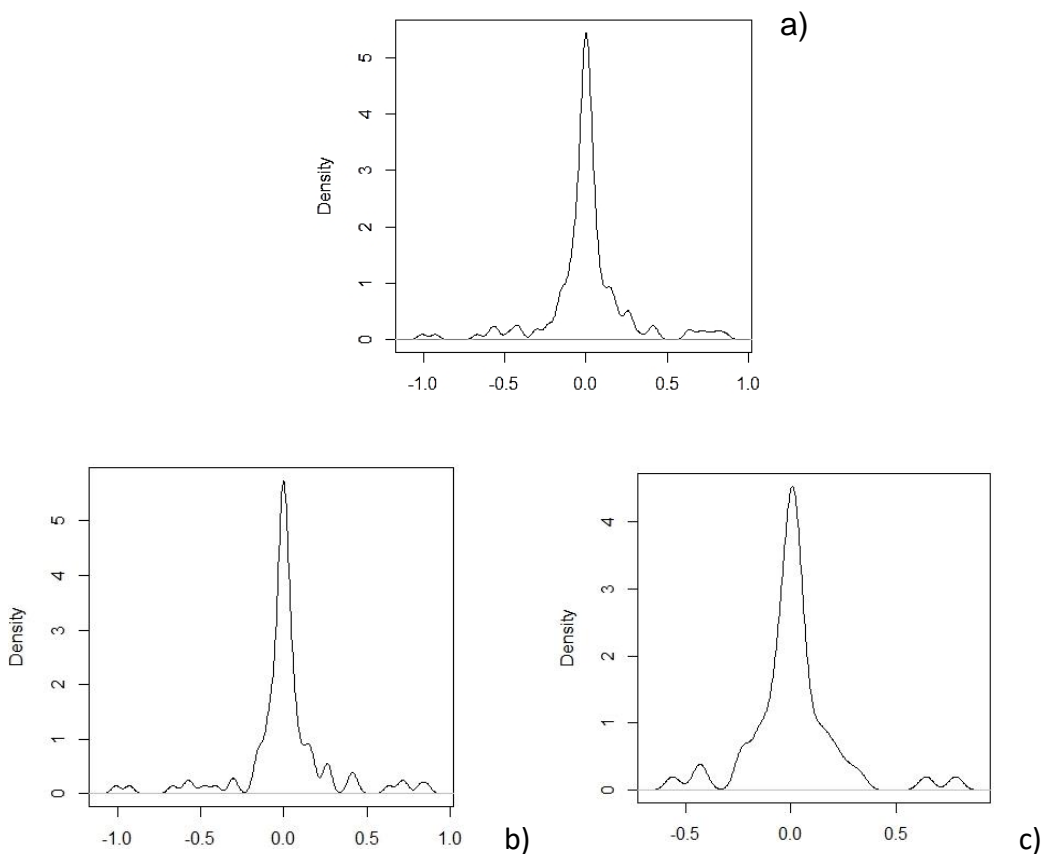


Fig. 53 – Asimmetrie nel peso delle chele destra e sinistra, considerando tutti gli esemplari (a: N=163, Bandwidth=0.02667) maschi (b: N=105, Bandwidth=0.02648) femmine (c: N=58, Bandwidth=0.03429).

Anche l'analisi della lunghezza delle chele, non ha mostrato asimmetrie (fig. 54).

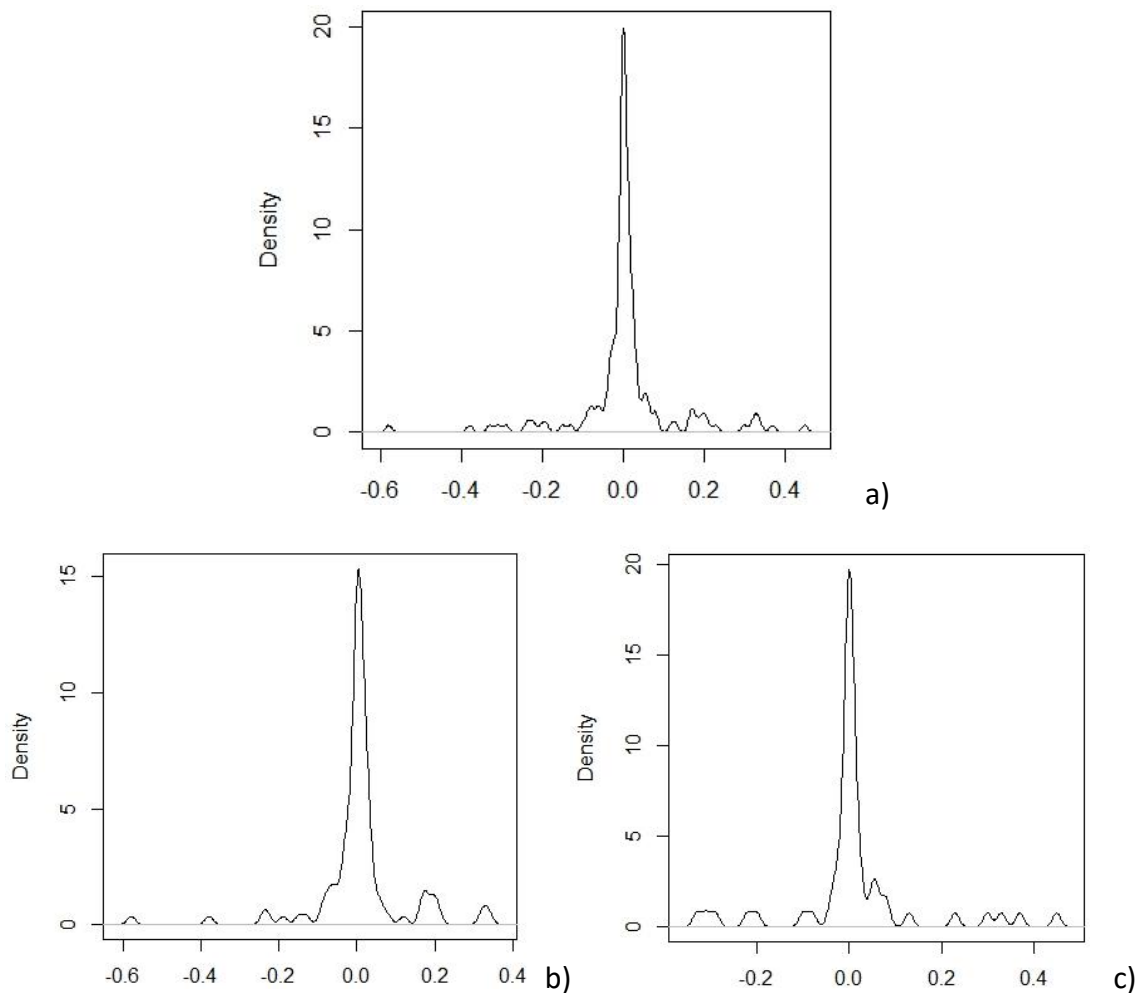


Fig. 54 – Asimmetrie nella lunghezza delle chele destra e sinistra, considerando tutti gli esemplari (a: $N=163$, Bandwidth=0.007275) maschi (b: $N=105$, Bandwidth=0.01059) femmine (c: $N=58$, Bandwidth=0.008945).

VALUTAZIONE DELLE METODOLOGIE ADOTTATE E PROPOSTE DI GESTIONE

L'attività di contenimento di *P. clarkii* è servita a indagare per la prima volta la presenza di questa specie all'interno della Riserva Naturale "Torbiere del Sebino". La tecnica di cattura dei gamberi in ambiente terrestre è risultata di facile esecuzione, eseguita con un solo operatore senza competenze e attrezzature specifiche, ed ha reso inutilizzabile per la specie un habitat normalmente adatto alla riproduzione. Questo lavoro deve essere svolto con continuità, catturando regolarmente i gamberi in tutti i siti ritenuti idonei. Questa attività può essere svolta anche da volontari dell'Ente Gestore, avendo cura di sopprimere e smaltire a norma di legge gli esemplari catturati.

La cattura in ambiente acquatico richiede attrezzature e competenze specifiche, ed è necessaria la presenza di almeno due operatori. Questa attività potrebbe essere resa molto più semplice nel seguente modo: attualmente le nasse vengono posizionate e svuotate tramite natante e sono segnate con un gavitello, se invece venissero legate ai percorsi che attraversano gli specchi d'acqua (percorso centrale e torretta di Birdwatching) e gettate in acqua, si risolverebbe il problema dell'utilizzo della barca e non sarebbe più necessario il secondo operatore. Questa soluzione però avrebbe lo svantaggio di rendere possibile a tutti l'accesso alle nasse con relativo problema del furto delle stesse, come per altro accaduto nel 2018. Le operazioni potrebbero essere condotte in modo intensivo solo nel mese di giugno e di settembre, periodo nel quale sono stati catturati il maggior numero di esemplari, risparmiando tempo e manodopera.

Le operazioni effettuate andrebbero continuate anche nell'anno corrente, al fine di valutare diminuzioni significative della popolazione a seguito dello sforzo di campionamento. Il controllo di tale specie si rende necessario non solo ai fini della ricerca, ma anche della conservazione della biodiversità. Infatti, come si è visto nel corso di questa trattazione, l'influenza che *P. clarkii* ha verso le altre componenti biologiche e l'ecosistema sono significativi e misurabili. Con maggiori disponibilità economiche le catture con i metodi sopra descritti potrebbero essere implementati con la tecnica della *Sterile Male Release Technique*, ossia il rilascio

di maschi sterili, tecnica che ha ottenuto buoni risultati in ambienti simili. Questa tecnica però richiede la supervisione di personale esperto che definisca il protocollo da seguire e le tempistiche di intervento. L'Ente Gestore della Riserva ha il compito di studiare quali siano le migliori tecniche in base ad un rapporto Costi/benefici dell'attività gestionale che si intende intraprendere, ed è necessario affidare l'incarico a personale competente ed esperto, fornire tutti i permessi necessari allo svolgimento delle attività programmate, coadiuvando quelle sul campo e provvedendo allo smaltimento a norma di legge degli animali catturati. È importante ricordare che i progetti di eradicazione o controllo di specie invasive prevedono la soppressione degli esemplari catturati, bisogna definire l'iter normativo corretto, poiché essi non possono essere utilizzati come risorsa economica o alimentare dagli operatori addetti all'eradicazione, poiché anche se sono specie alloctone invasive rimangono pur sempre un bene indisponibile dello stato. I gamberi devono essere quindi smaltiti come "rifiuti speciali", che in base a specifici regolamenti comunali di igiene urbana possono essere assimilati agli urbani in base alla quantità. Diversamente, ai sensi del Reg. (CE) 1069/2009, recante indicazioni in merito alla gestione dei Sottoprodotti di Origine Animale (SOA), risulta possibile gestirne lo smaltimento in qualità di SOA cat. 2 e non come rifiuto, appoggiandosi ad operatori specializzati nel trattamento di carcasse animali,

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dal presente studio confermano la presenza di una popolazione stabile e ben acclimatata di *P. clarkii* all'interno del sito di rete Natura 2000 "Torbiere d'Iseo". Le caratteristiche ambientali dell'area sono ottimali per la riproduzione di *P. clarkii* che può affrontare anche più di due periodi riproduttivi durante l'anno. L'importanza di questa area umida, tutelata anche dalla convenzione di Ramsar, fa sì che le operazioni di controllo, contenimento e/o eradicazione delle specie alloctone invasive rivestano un ruolo molto importante per la conservazione della biodiversità. Lo sforzo di contenimento non è stato sufficiente a mostrare una diminuzione significativa del numero di individui di *P. clarkii* catturati, in funzione soprattutto dell'estensione dell'ambiente indagato, ma gli effetti sulla popolazione hanno mostrato un calo significativo delle dimensioni medie corporee durante il periodo di campionamento, lasciando presupporre un ringiovanimento della popolazione, dato in linea con le osservazioni e gli studi citati nella trattazione. La mancata diminuzione delle catture, invece, può essere spiegata dalle vaste dimensioni del territorio colonizzato, facendo sì che l'habitat sia costantemente ricolonizzato. Queste premesse fanno presupporre che qualsiasi tentativo di completa eradicazione risulti inefficace. Le operazioni di contenimento, però, hanno l'imprescindibile obiettivo di limitare i danni prodotti da *P. clarkii* verso l'ambiente e le altre componenti biologiche in esso contenute.

Dall'analisi delle catture si è visto come il momento migliore per effettuare un trappolaggio intensivo è concentrato tra la fine della primavera e la fine dell'estate, periodo coincidente con il momento riproduttivo fisiologico e di massima mobilità di *P. clarkii*. L'importanza del contenimento viene evidenziata anche dalla necessità di tutelare in particolare gli anfibi e gli odonati che popolano le Torbiere, in particolare quelli protetti dalla Direttiva Habitat, come *Rana di Lataste* e *Oxygastra curtisii*. All'interno della Riserva inoltre, l'intensa attività di scavo di *P. clarkii* dimostra un impatto negativo sulle briglie di terra rimaste dall'escavazione della torba, degradandole a causa della continua erosione per lo scavo delle tane ed il foraggiamento. Tale effetto porta alla riduzione della

superficie utile alla nidificazione dei rari uccelli palustri protetti dalla Direttiva Europea.

In conclusione, il contenimento di *Procambarus clarkii* all'interno delle Torbiere d'Iseo è servito per una prima analisi complessa della struttura di popolazione e nella valutazione delle metodologie messe in atto, permettendo la presa d'atto degli effetti e dei benefici a medio-lungo termine ottenibili, ma necessitando di ulteriori e fondamentali approfondimenti per definire limiti e obiettivi futuri.

BIBLIOGRAFIA

- Alderman D.J. (1996). *Geographical spread of bacterial and fungal diseases of crustaceans*. Revue Scientifique et Technique De L'Office International Des Epizooties, 15: 603-632.
- Ameya-Akumfi C. (1981). *Courtship behavior in the crayfish Procambarus clarkii (Girard) (Decapoda Astacidae)*. Crustaceana 57-64.
- Anastacio P.M., Correia A.M., Menino J.P. (2005a). *Processes and patterns of plant destruction by crayfish: Effects of crayfish size and developmental stages of rice*. Archiv fur Hydrobiologie, 162: 37–51.
- Anastacio P. M., Marques J. C. (1997). *Crayfish, Procambarus clarkii, effects on initial stages of rice growth in the lower Mondego River valley (Portugal)*. Freshwater Crayfish, 11: 608–617.
- Anastacio P.M., Parente V.S., Correia A.M. (2005b). *Crayfish effects on seeds and seedlings: Identification and quantification of damage*. Freshwater Biology, 50: 697–704.
- Andreis C., Lazzaroni L., Rodondi G., Zavagno F. (1993). *La vegetazione delle torbiere del Sebino e le direttive del piano di gestione*, Colloques Phytosociologiques, XXI.
- Andrews E. A. (1907). *The attached young of the crayfish Cambarus clarkii and Cambarus diogenes*. The American Naturalist, 41:253-276.
- Angeler D.G., Sánchez-Carrillo S., Garcia G., Alvarez-Cobelas M. (2001). *The influence of Procambarus clarkii (Cambaridea, Decapoda) on Water quality and sediment characteristics in a Spanish floodplain wetland*. Hydrobiologia, 464: 89-98.
- Aquiloni L., Brusconi S., Cecchinelli E., Tricarico E., Mazza G., Paglianti A. e Gherardi F. (2010). *Biological control of invasive populations of crayfish: the European eel (Anguilla Anguilla) as a predator of Procambarus clarkii*. Biological Invasions, 12: 3817-24.
- Aquiloni L., Inghilesi A.F., Giovanelli F. (2013). *Gestione dei gamberi invasivi: una sfida per le pubbliche amministrazione. Manuale per le pubbliche amministrazioni, la gestione consapevole dei gamberi di fiume in Friuli Venezia Giulia*. Pubblicazione realizzata con il contributo finanziario della CE, nell'ambito del progetto RARITY, LIFE10 NAT/IT/000239: 17-21.
- Barbaresi S., Gherardi F. (2000). *The invasion of the alien crayfish Procambarus clarkii in Europe, with particular reference to Italy*. Biological Invasions, 2: 259-264.
- Barbaresi S., Salvi G., Gherardi F. (2001). *Il gambero Procambarus clarkii: Distribuzione, dinamica di popolazione e impatto*. Lungo le rotte migratorie: progetti di ricerca sulla vegetazione, l'avifauna e le specie Aliene, Quaderni della Palude di Fucecchio, 1: 195-212.

- Barbaresi S., Tricarico E., Santini G., Gherardi F. (2004). *Ranging behavior of the invasive crayfish, Procambarus clarkii*. Journal of Natural History, 28: 2821-2832.
- Beja P.R. (1996). *An analysis of otter Lutra Lutra Predation on introduced American Crayfish Procambarus clarkii in Iberian Stream*. The Journal of Applied Ecology, 1156-1170.
- Biagi P. (1976). *Stazione mesolitica a Provaglio d'Iseo*. Natura Bresciana, 13.
- Black J.B., Huner J.V. (1980). *Genetics of the red swamp crawfish, Procambarus clarkii (Girard): state-of-the-art*. Proceedings of the World Mariculture Society, 11.
- Carreira B.M., Dias M.P., Rebelo R. (2013). *How consumption and fragmentation of macrophytes by the invasive crayfish Procambarus clarkii shape the macrophytes communities of temporary ponds*. Hydrobiologia, 721: 89-98.
- Castaldelli G., Pluchinotta A., Milardi M., Lanzoni M., Giari L., Rossi R., Fano E.A. (2013). *Introduction of exotic fish species and decline of native species in the lower Po basin, north-eastern Italy*. Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems, 23: 405-417.
- Castelfranco P. (1887). *Una tomba, due ripostigli e una torbiera interessanti la paleontologia lombarda*. BPI, 13.
- Charlebois P.M., Lamberti G.L. (1996). *Invading crayfish in a Michigan stream: Direct and indirect effects on periphyton and macroinvertebrates*. Journal of the North American Benthological Society, 15: 551-563.
- Chiesa S., Scalici M., Gibertini G. (2006). *Occurrence of allochthonous freshwater crayfishes in Latium (Central Italy)*. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 380-381: 883-902.
- Cita B., Gelati R., Gregnanin A. (1990). *Alpi e prealpi lombarde*. Guide Geologiche Regionali, Società Geologica Italiana, Vol. 1.
- Correia A.M. (2001). *Seasonal and interspecific evaluation of predation by mammals and birds on the introduced red swamp crayfish, Procambarus clarkii (Crustacea, Cambaridae) in a freshwater marsh (Portugal)*. Journal of Zoology, London, 55: 533-541.
- Correia A.M. (2003). *Food choice by the introduced crayfish Procambarus clarkii*. Annales Zoologici Fennici 40: 517-528.
- Dajelli R. (1971). *La stazione palafitticola de Cerreto nella Torbiera di Iseo*. Bollettino del Centro Camuno di Studi Preistorici, 6.
- D'Angelo S., Lo Valvo M. (2003). *On the presence of the red swamp crayfish Procambarus clarkii in Sicily*. Naturalista Siciliano, 27: 325-327.
- Delmastro M. (1992). *Sull'acclimatazione del gambero della Louisiana Procambarus clarkii (Girard, 1852) nelle acque dolci italiane*. Pianura – Supplemento di Provincia Nuova, 4: 5-10.

- De Luise G. (2010). *Il Gambero rosso della Louisiana. Aspetti ecologici, biologici e gestionali in Friuli Venezia Giulia*. Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia, Udine: 1-52.
- De Marinis R. (1972). *Materiali dell'età del Bronzo della Val Camonica e del Sebino*. Bollettino del Centro Camuno di Studi Preistorici, 8.
- Dorr A.J.M., La Porta G., Pedicillo G., Lorenzoni M. (2006). *Biology of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in Lake Trasimeno*. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 380-381: 1155-1168.
- Elvira B., Nicola G., Almodovar A. (1996). *Pike and red swamp crayfish: a new case of predator-prey relationship between aliens in central Spain*. Journal of Fish Biology, 48: 437-446.
- Ficetola G.F., Siesa M.E., De Bernardi F., Padoa-Schioppa E. (2012). *Complex impact of an invasive crayfish on freshwater food webs*. Biodiversity and Conservation, 21: 2641–2651.
- Ficetola G.F., Siesa M.E., Manenti R., Bottoni L., Bernardi F., Padoa-Schioppa E. (2011). *Early assessment of the impact of alien species: differential consequences of an invasive crayfish on adult and larval amphibians*. Diversity and Distributions, 17: 1141–1151.
- Funari E. (1999). *Aspetti sanitari della problematica dei cianobatteri nelle acque superficiali italiane*. Istituto Superiore di Sanità.
- Geiger W., Alcorlo P., Baltanas A., Montes C. (2005). *Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands*. Biological Invasions, 7: 49–73.
- Gherardi F. (2006). *Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii**. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 39: 175-191.
- Gherardi F. (2007). *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution, and threats*, Springer: 507–542.
- Gherardi F., Acquistapace P. (2007). *Invasive crayfish in Europe: the impact of *Procambarus clarkii* on the littoral community of a Mediterranean lake*. Freshwater Biology, 52: 1249-1259.
- Gherardi F., Barbaresi S., Vaselli O., Bencini A. (2002). *A comparison of trace metal accumulation in indigenous and alien freshwater macro-decapods*. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 35: 179–188.
- Gherardi F., Holdich D.M. (1999). *Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation?* A.A. Balkema, Rotterdam: 107-128.
- Gherardi F., Lazzara L. (2006). *Effects of the density of an invasive crayfish (*Procambarus clarkii*) on pelagic and surface microalgae in a Mediterranean wetland*. Archiv für Hydrobiologie, 165: 401–414.

- Gherardi F., Raddi A., Barbaresi S., Salvi G. (1999). *Life history patterns of the red swamp crayfish, Procambarus clarkii, in an irrigation ditch in Tuscany*. The biodiversity crisis and Crustacea, A.A. Balkema, Rotterdam: 99-108.
- Gutierrez-Yurrita P., Montes C. (1999). *Bioenergetics and phenology of reproduction of the introduced red swamp crayfish, Procambarus clarkii, in Donana National Park, Spain, and implications for species management*. Freshwater Biology, 42: 561–574.
- Hasburgo-Lorena A.S. (1986). *The status of the Procambarus clarkii population in Spain*. Freshwater Crayfish, 6: 131–136.
- Hayes, W. A. (1975). *Behavioral components of social interactions in the crayfish Procambarus*. Proceedings of Oklahoma Academy of Science, 55: 1-5.
- Hayes W.A. (1977). *Predator response postures of crayfish. The genus Procambarus (Decapoda, Cambaridae)*. The Southwest Naturalist, 21: 443-449.
- Hobbs H.H., Jass J.P., Huner J.V. (1989). *A review of global crayfish introductions with particular emphasis on two North American species (Decapoda, Cambaridae)*. Crustaceana, 56: 299–316.
- Hobbs H.H. (1974a). *Synopsis of the families and genera of crayfishes (Crustacea: Decapoda)*. Smithsonian Contributions to Zoology, 164: 1-32.
- Hobbs H.H. (1974b). *A checklist of the North and Middle American crayfishes (Decapoda: Astacidae and Cambaridae)*. Smithsonian Contributions to Zoology, 166: 1-161.
- Hua Yue G., Jia Le L., Chun Ming W., Jun Hong X., Gen Lin W. Jian Bing F. (2010). *High prevalence of multiple paternity in the invasive crayfish species, Procambarus clarkii*. International Journal of Biology Sciences, 6: 107-115.
- Huner J. V., Barr J. E. (1991). *Red swamp crayfish: biology and exploitation*. Louisiana Sea Grant College Program, Center for Wetland Resources, Louisiana State University, Baton Rouge, 136 pp.
- Konikoff M. (1977). *Study of the Life History and Ecology of the Red Swamp Crawfish, Procambarus clarkii, in the Lower Atchafalaya Basin Floodway*. Final Report for the U.S. Fish and Wildlife Service, Department of Biology, University of Southwestern Louisiana, Lafayette.
- Lombardi C. (2010). *I gamberi d'acqua dolce. Note di sistematica, morfologia e distribuzione*. Settore Sviluppo Agricolo, Caccia e Pesca, Provincia di Cremona.
- Lorenzoni M. (2013). *Il gambero rosso della Louisiana (Procambarus clarkii): controllo e gestione di una specie invasiva*. Dipartimento di Biologia Cellulare e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Perugia. Tesi di Laurea.
- Mancini A. (1986). *Astacicoltura, allevamento e pesca dei gamberi d'acqua dolce*. Bologna.

- Mancini M. (2018). *Relazione sugli interventi ittiofaunistici all'interno della Riserva Naturale Torbiere del Sebino*. Relazione annuale inedita depositata presso l'Ente di gestione della Riserva.
- Manfrin A. (2012). *White spot disease nel gambero rosso della Louisiana (Procambarus clarkii)*. Newsletter rarity, 3: 9.
- Mazzoni D., Gherardi F., Ferrarini P. (2004). *Guida al riconoscimento dei gamberi d'acqua dolce*. Seconda edizione, Greentime, Bologna.
- Møller A.P., Swaddle J.P. (1997). *Asymmetry, development stability and evolution*. Oxford University Press, Oxford, 291 pp.
- Momot W.T. (1995). *Redefining the role of crayfish in aquatic ecosystems*. Reviews in Fisheries Science, 3: 33–63.
- Montes C., Bravo-Utrera M.A., Baltanas A., Duarte C., Gutierrez-Yurrita P.J. (1993). *Bases ecologicas para la gestion del Cangrejo Rojo de las Marismas en el Parque Nacional de Donana*. ICONA, Ministerio de Agricultura y Pesca, Madrid, Spain.
- Nangeroni G. (1964). *La geomorfologia della regione del Sebino*. XII Congresso Geografico Italiano, Como.
- Nangeroni G. (1979). *Sui monti e sulle rive del Lago d'Iseo*. C.A.I., Itinerari naturalistici e geografici attraverso le montagne italiane.
- Nystrom P., Bronmark C., Graneli W. (1996). *Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish?* Freshwater Biology, 36: 631-646.
- Nystrom P. (2002). *Biology of freshwater crayfish*. Oxford, Blackwell Science: 192–235.
- Paglianti A., Gherardi F. (2004). *Combined effects of temperature and diet on growth and survival of YOY crayfish: A comparison between indigenous and invasive species*. Crustacean Biology, 24: 140–148.
- Parker I.M., Simberloff D., Lonsdale W.M., Goodell K., Wonham M., Kareiva P.M., Williamson M.H., Von Holle B., Moyle P.B., Byers J.E., Goldwasser L. (1999). *Impact: toward a framework for understanding the ecological effects of invaders*. Biological Invasions, 1: 3–19.
- Pilati G. (1794). *Sulla scoperta della torba nel territorio bresciano e dell'uso della medesima nei fornelli da seta*. Raccolta di Memorie Pubbliche Accademiche di Agricoltura, Arti e Commercio dello Stato Veneto, II.
- Pistone G., Savini D., Paganelli D., Occhipinti-Ambrogi A., Tosi S. (2010). *Impatto del gambero rosso della Louisiana Procambarus clarkii sulla catena del detrito negli ambienti lacustri della Riserva Naturale Integrale Bosco di Siro Negri*. XIX Congresso del Gruppo per l'Ecologia di Base "G. Gadio".
- Poulin B., Lafbvre G., Crivelli A.J. (2007). *The invasive red swamp crayfish as a predictor of eurasian bittern density in the camargue, France*. Journal of Zoology, 273: 98-105.

- Rach J.J., Bills T.D. (1989). *Crayfish control with traps and largemouth bass*. Progressive Fish-Culturist., 51: 157-160.
- Reggiani G., Boitani L., D'Antoni S., De Stefano R. (1995). *Population dynamics and regulation in the crayfish *Myocastor coypus* in central Italy*. Ecography, 18: 138-146.
- Renai B., Gherardi F. (2004). *Predatory efficiency of crayfish: comparison between indigenous and non-indigenous species*. Biological Invasions, 6: 89–99.
- Rodriguez C.L., Becares E., Fernandez-Alaez M., Fernandez-Alaez C. (2005). *Loss of diversity and degradation of wetlands as a result of introducing exotic crayfish*. Biological Invasions, 7: 75–85.
- Rodriguez C. L., Becares E., Fernandez-Alaez M. (2003). *Shift from clear to turbid phase in Lake Chozas (NW Spain) due to the introduction of American red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*)*. Hydrobiologia: 506–509, 421–426.
- Ruffoni F. (1891). *La torbiera di Iseo, provincia di Brescia*. BPI, 17.
- Sala O.E. (2000). *Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100*. Science, 287: 1770 – 1774.
- Savini D., (2007). *Rinvenimento della specie aliena invasiva *Procambarus clarkii* nella Riserva naturale "Bosco Siro Negri"*. Studi trentini Scienze Naturali Acta Biologica, 83: 33-37.
- Savini D., Occhipinti Ambrogi A. (2007). *Bad Moon Rising: il gambero rosso della Louisiana, una minaccia per gli ecosistemi acquatici della Lombardia. Le specie alloctone in Italia: censimenti, invasività e piani d'azione*. Memorie della Società Italia di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano, volume XXXVI, 1: 19-20.
- Savini D., Occhipinti Ambrogi A., Nicolao J., Perrone M., Garzoli L., Rodolfi M., Picco A.M., (2008). *Il gambero rosso della Louisiana *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) nella lanca della Riserva Naturale Integrale "Bosco Siro Negri"*. Archivio Geobotanico, 11: 49-58.
- Savini D., Occhipinti Ambrogi A., Garzoli L., (2009). *Analisi del contenuto stomacale di *Procambarus clarkii* (Girard, 1852), gambero invasivo della Riserva Naturale "Bosco Siro Negri"*. Studi Trentini Scienze Naturali Acta Biologica, 86: 105-109.
- Siesa M.E., Padoa-Schioppa E., Ott. J., De Bernardia F., Ficetola G.F. (2014). *Assessing the consequences of biological invasions on species with complex life cycles: Impact of the alien crayfish *Procambarus clarkii* on Odonata*. Ecological Indicators, 46: 70-77.
- Suko T. (1956). *Studies on the development of the crayfish. IV. Development of winter eggs*. Science Reports of Saitama University (Japan) Series B, 11: 213-219.

Suko, T. (1958). *Studies on the development of the crayfish. VI. The reproductive cycle*. Science Reports of Saitama University (Japan) Series B, 3: 79-91.

Stenroth P., Nystrom P. (2003). *Exotic crayfish in a brown water stream: effects on juvenile trout, invertebrates and algae*. Freshwater Biology, 48: 466–475.

Trotti P., Vezzoli D., Capelli S., Forlani E., Mazzotti S., Guerrini M., De Pascalis F. (2018). *Relazione ornitologica della Riserva Naturale Torbiere del Sebino*. Relazione annuale inedita depositata presso l'Ente di gestione della Riserva.

Vecchia O. (1954). *I terreni glaciali pleistocenici dei dintorni del Lago d'Iseo (Lombardia)*. Atti Società Italiana Scienze Naturali, vol. XCIII, fasc. 1-2, Milano.