



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI**

**Dipartimento AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE  
NATURALI E AMBIENTE**

Corso di laurea magistrale in

**SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI**

**Presenza e caratteristiche delle popolazioni di  
*Procambarus clarkii* (Girard, 1852) nella provincia  
di Vicenza**

Relatore:

Dott.ssa **Chiara De Fassi Negrelli Rizzi**

Laureando: **Andrea Rizzato**

Matricola n. **1061638**

ANNO ACCADEMICO 2014 - 2015



# INDICE

<b>RIASSUNTO</b>	<b>5</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>7</b>
<b>RINGRAZIAMENTI</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>11</b>
1.1 I gamberi d'acqua dolce	12
1.2 <i>Procambarus clarkii</i>	25
1.2.1 Distribuzione	26
1.2.2 Sistematica e morfologia del gambero rosso della Louisiana	29
1.2.3 Anatomia funzionale di <i>Procambarus clarkii</i>	33
1.2.3.1 Apparato respiratorio	33
1.2.3.2 Apparato circolatorio	34
1.2.3.3 Apparato digerente	34
1.2.3.4 Sistema neuromuscolare	35
1.2.3.5 Apparato escretore	36
1.2.3.6 Organi di senso	37
1.2.3.7 Apparato riproduttore ed aspetti riproduttivi	38
1.2.4 Biologia ed ecologia	42
1.2.5 L'attività di scavo di <i>P. clarkii</i>	48
1.2.6 Predatori naturali	50
1.2.7 Impatto sulle macrofite	54
1.2.8 Impatto su macroinvertebrati e vertebrati	55
1.2.9 Impatto sull'uomo	57

1.3 Metodi per contrastare la diffusione di <i>Procambarus clarkii</i>	59
1.3.1 Inquadramento normativo	59
1.3.2 Prevenzione	60
1.3.3 Eradicazione, controllo e contenimento	63
<b>2. OBIETTIVI DEL LAVORO</b>	<b>69</b>
<b>3. MATERIALI E METODI</b>	<b>71</b>
3.1 Siti di rilevamento	71
3.2 Metodo di cattura	78
3.3 Misure biometriche	82
3.4 Analisi statistica	85
<b>4. RISULTATI E DISCUSSIONE</b>	<b>87</b>
4.1 Caratterizzazione dei siti di cattura	87
4.2 Entità delle catture e rapporto tra i sessi nel periodo di studio	92
4.3 Caratteristiche morfometriche dei gamberi nel periodo oggetto di studio	98
<b>5. CONCLUSIONI</b>	<b>111</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>115</b>

## RIASSUNTO

Il gambero rosso della Louisiana, *Procambarus clarkii*, è una specie originaria del Nord America, introdotta in Italia nel 1987 dalla Spagna, dov'era già presente dal 1972. Oggigiorno è presente in numerosi corpi idrici di diverse Province d'Italia, dove si è dimostrato costituire una seria minaccia per la biodiversità animale e vegetale nonché per l'assetto idrogeologico. Sulla base di tali considerazioni si è avviato nel 2014 uno studio volto ad un'iniziale monitoraggio di *Procambarus clarkii* nella provincia di Vicenza. Le catture sono state effettuate tra Giugno e Dicembre, in tre diversi canali all'interno dei quali sono stati individuati sei siti di prelievo. Per ogni sito sono state utilizzate tre nasse aventi maglie di 4 mm dotate di esca. Tutti i gamberi sono stati poi sottoposti al rilievo di diversi parametri morfologici e morfometrici. Gli esiti ottenuti mettono in evidenza differenze significative per quanto riguarda il numero di soggetti pescati e le dimensioni somatiche in funzione dei siti e della stagione. Ulteriori indicazioni riguardano l'andamento dell'indice gonadosomatico nel corso della stagione monitorata che, con il supporto di ulteriori parametri, ha delineato come *Procambarus clarkii* affronti un periodo riproduttivo durante l'estate. Con riferimento ai corsi d'acqua e all'arco temporale analizzato, si è rinvenuta una presenza di *P. clarkii* non molto elevata e diversa tra i siti. Le cause di queste differenze appaiono riconducibili alle differenti caratteristiche dei tre corsi d'acqua. Lo studio si è limitato ad una zona di ridotte dimensioni perciò i risultati ottenuti costituiscono solo una prima indicazione sulla presenza e caratteristiche delle popolazioni di *Procambarus clarkii* nel territorio preso in esame e non possono essere rappresentativi dell'intera area. Ulteriori indagini dovranno essere eseguite per poter delineare con maggior certezza le dinamiche di popolazione di questo crostaceo ed analizzare tutte le variabili che permettano la scelta dei metodi di controllo più adeguati applicabili negli ecosistemi acquatici della provincia di Vicenza.



## SUMMARY

The red swamp crayfish , *Procambarus clarkii* , is a species native to North America, which was introduced in Italy in 1987 by Spain , where it was already present since 1972. Today it is present in many water bodies of different Provinces of Italy , where it is shown to constitute a serious threat to animal and plant biodiversity and for the hydrogeological. Based on these considerations, it is launched in 2014 a study to an initial monitoring of *Procambarus clarkii* in the province of Vicenza. The captures were carried out between June and December , in three different channels within which identified six capture sites. For each site have been used three pots with mesh nets - size 4x4 millimeters - equipped with baits. All shrimp were then subjected to the relief of different morphological and morphometric parameters. The results obtained highlight significant differences as regards the number of subjects caught and the crayfish size as a function of the sites and of the season. Further significance was presented on the performance of the Gonado-Somatic Index monitored during the season that, with the support of additional parameters, outlined that *Procambarus clarkii* has a breeding season in summer. With reference to the rivers and to the temporal analyzed, it was found a low and different presence between sites of *P. clarkii*. The causes of these differences appear due to the different characteristics of the three rivers. The study was restricted to an area of reduced dimensions so the results are only a first indication of the presence and characteristics of the populations of *Procambarus clarkii* in the area in question and may not be representative of the whole area. Further investigations will be conducted to delineate with greater certainty the population dynamics of this crustacean and analyze all the variables that allow the choice of the most appropriate control methods applicable in aquatic ecosystems of the province of Vicenza.





## **RINGRAZIAMENTI**

Desidero innanzitutto ringraziare i miei genitori e tutti coloro che si sono impegnati a sostenermi moralmente ed economicamente durante questi anni di studio. Ringrazio poi i miei nonni, che mi hanno invogliato fin dall'infanzia allo studio e all'apprendimento, costituendo per me un grande esempio da seguire. Un ringraziamento speciale va anche alla mia fidanzata e compagna di studi Hillary De Barba, che passo dopo passo mi ha accompagnato ed aiutato durante gli anni trascorsi insieme.



# 1. INTRODUZIONE

Le progressive invasioni di specie alloctone costituiscono al momento una delle principali emergenze ambientali e sono considerate dalla comunità scientifica internazionale la seconda causa di perdita di biodiversità a scala globale (Andaloro et al., 2009). La flora e la fauna del pianeta si sono evolute nel corso di miliardi di anni e gli oceani, i mari, le catene montuose, i deserti e persino i grandi fiumi hanno creato barriere fisiche allo spostamento delle specie, contribuendo in maniera significativa alla grande biodiversità del pianeta e allo sviluppo delle comunità animali e vegetali considerate tipiche di particolari regioni o località. Tuttavia in seguito all'intervento umano sono cadute quelle barriere naturali che avevano circoscritto lo sviluppo di flora e fauna entro determinate regioni e le varie specie stanno arrivando, accidentalmente o intenzionalmente, in località distanti migliaia di chilometri dal loro habitat naturale originario. In molti casi le specie alloctone si adattano a stento al nuovo ambiente e si estinguono rapidamente, ma altre volte riescono a sopravvivere, riprodursi e insediarsi. In alcuni casi i nuovi arrivati si insediano talmente bene da non rappresentare più solo una curiosità dal punto di vista biologico ma una vera e propria minaccia, causando gravi danni non solo agli ecosistemi ma anche alle attività agricole e zootecniche, turbando l'ecologia locale con effetti sulla salute umana e serie conseguenze sul piano economico. Le specie alloctone che hanno un tale impatto negativo sono note come specie invasive (Andaloro et al., 2009). L'ambiente mediterraneo, caratterizzato da inverni piovosi ed estati calde, favorisce le produzioni agricole, ma anche l'insediamento di specie invasive di piante provenienti da regimi climatici simili. Non a caso in Sud Africa e nell'Australia Occidentale, il numero di specie esotiche è elevato e gran parte degli ecosistemi sono stati invasi da specie provenienti proprio da altre regioni a clima mediterraneo (Crosti e Forconi, 2007). Secondo i risultati di un modello di previsione che analizza la biodiversità globale nel 2100, nel bioma mediterraneo la presenza di specie

esotiche, insieme al cambiamento di uso del suolo, è considerata la maggiore “driving force” per il cambiamento di biodiversità (Sala, 2000). La diffusione incontrollata di specie introdotte dall’uomo al di fuori del loro areale di distribuzione originario, oltre alle conseguenze di tipo ecologico, ha serie ripercussioni di carattere socio-economico e sanitario (Andaloro et al., 2009). Le invasioni biologiche causano gravi perdite di biodiversità in tutto il mondo e hanno forti ripercussioni in particolare su ecosistemi vulnerabili, come quelli d’acqua dolce (Garcia-Berthou et al., 2005). L’impatto ecologico di un invasore dipende anche dalla posizione che occupa nel contesto trofico dell’ecosistema oggetto di invasione (Geiger et al., 2005). Specie che interagiscono con parecchi livelli trofici, influenzano la struttura dell’ecosistema ed hanno un impatto più intenso rispetto a quelli che interagiscono con un singolo livello trofico. Power et al. (1996) affermano che specie con forti interazioni o specie chiave, avranno un maggiore impatto rispetto a quelle con deboli o poche interazioni. Inoltre, la rimozione di una specie che ha già stabilito dei contatti trofici con specie locali (autoctone) potrebbe produrre effetti secondari non prevedibili sulla comunità invasa, pertanto una comprensione del ruolo di una specie aliena nel contesto trofico è cruciale, non solo per scopi predittivi ma anche per stimare le possibili misure di controllo.

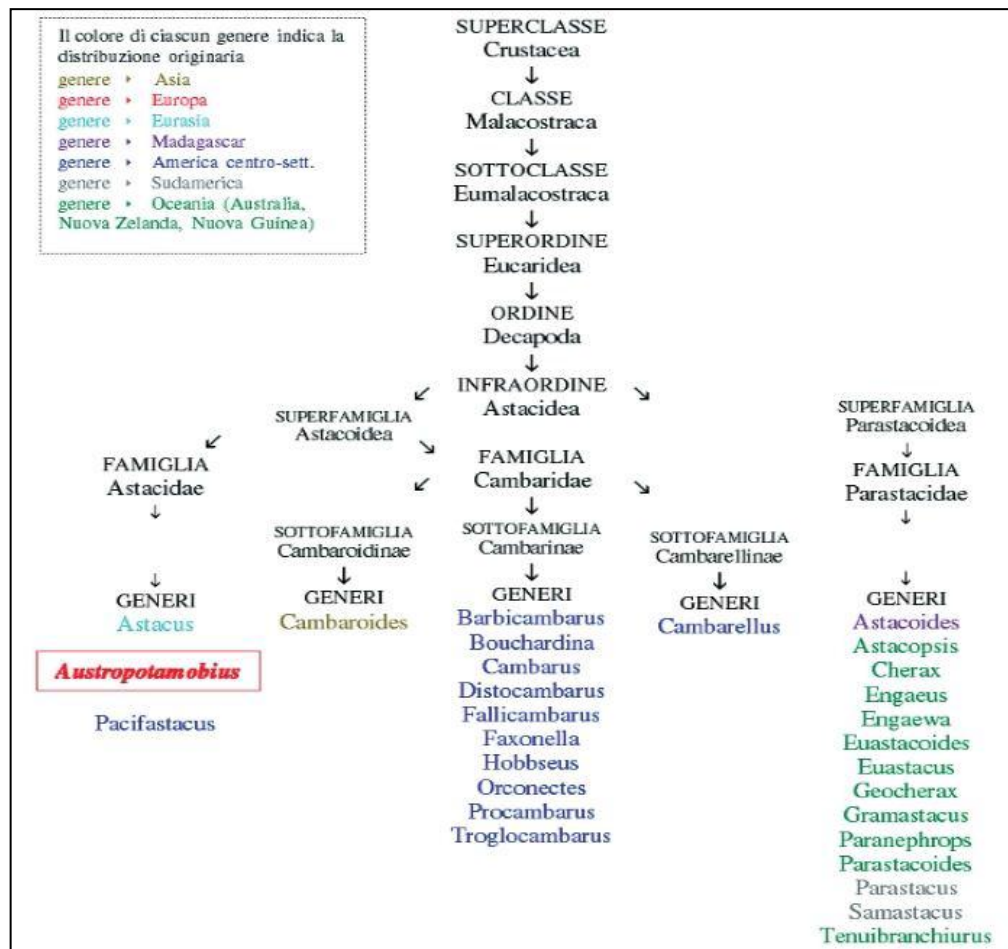
## **1.1 I gamberi d’acqua dolce**

I gamberi d’acqua dolce erano noti all’uomo fin dall’epoca preistorica, quando venivano utilizzati come fonte primaria di proteine animali. Per esempio, in Australia frammenti di carapace di gambero sono stati trovati in resti di pasto che si fanno risalire a 28.000 anni fa. Nel Nord America lo sfruttamento su larga scala degli abbondanti stock di gamberi presenti nel sistema dei Grandi Laghi, nel bacino del Mississippi e lungo le coste del Pacifico iniziò con l’immigrazione di popolazioni europee, provenienti in particolare da Francia e Svezia. In Europa i gamberi erano

apprezzati come alimento durante l'impero romano, ma la maggior parte delle informazioni a disposizione risalgono al medioevo, quando, per esempio, gli alchimisti assegnavano a questi animali "misteriosi" il segreto della trasmutazione (Mazzoni et al., 2004). Oggi i gamberi d'acqua dolce sono intensamente allevati e commercializzati in alcuni Paesi, come gli Stati Uniti, la Cina e l'Australia. Secondo alcuni autori, l'antenato (o gli antenati se si accetta l'ipotesi di un'origine polifiletica) degli attuali gamberi d'acqua dolce apparteneva al genere *Proto-astacus*, risalente al Carbonifero. *Proto-astacus* viveva in mare ed era filogeneticamente vicino ai progenitori degli attuali astici (*Homarus gammarus*) e scampi (*Nephrops norvegicus*). La conquista dell'ambiente d'acqua dolce si sarebbe verificata in uno o più eventi di progressiva colonizzazione di estuari e fiumi nel Triassico. Durante questa fase, sembra che i gamberi siano andati incontro a un processo di radiazione adattativa, che almeno in parte può spiegare l'attuale diversificazione degli habitat attualmente occupati (Mazzoni et al., 2004). Oggi, grazie alla loro fisiologia e al comportamento, i gamberi si adattano ad acque lentiche e lotiche; alcune specie vivono in ambienti sotterranei, in acque salmastre e in ambienti semi terrestri o terrestri. Per esempio, il genere australiano *Engesus* conduce una vita terrestre. In analogia con alcuni isopodi deserticoli, è dotato di una singolare struttura sociale, che sembra una risposta comportamentale alle condizioni estreme a cui è sottoposto: intere famiglie occupano una stessa tana, che costituisce un fattore limitante e quindi viene attivamente difesa dai conspecifici. Alcune specie manifestano una serie di proprietà biologiche (per esempio, elevata fecondità, plasticità fenotipica e alta variabilità genetica), ecologiche (per esempio, politrofismo e resistenza a condizioni ambientali estreme) ed etologiche (elevata competitività e rapida dispersione), che le rendono potenzialmente invasive. Sono quindi specie che possono minacciare la stabilità ecologica delle aree di eventuale neo-introduzione (Mazzoni et al., 2004).

I gamberi sono tra i più grandi invertebrati viventi in acqua dolce. A causa della loro importanza ecologica, molte specie sono definite "specie chiave", in quanto una loro rimozione dall'ambiente può causare modifiche, spesso irreversibili, nella catena

trofica. Sono onnivori, anche se spesso selettivi, ma gli stadi giovanili e alcune specie si comportano prevalentemente da predatori. Alcune specie possono essere definite “bioingegneri”, a causa dell’elevato impatto esercitato sull’ambiente fisico provocato dalla loro intensa attività di scavo. Altre specie hanno una vita breve, ma sono dotate di elevata fecondità (Mazzoni et al., 2005), fino a produrre oltre 500 uova per covata; crescono rapidamente e possono raggiungere la maturità sessuale dopo un solo anno di vita. In altre specie, come *Austropotamobius pallipes*, la maturità sessuale viene raggiunta a due o più anni e la durata di vita è relativamente lunga, fino a un massimo di 15 anni di età. Una caratteristica peculiare della biologia dei gamberi d’acqua dolce è lo sviluppo diretto, cioè il fatto che alla schiusa delle uova non si liberano larve, come nella maggior parte degli altri decapodi, ma adulti in miniatura che per i primi due (Astacidae) o tre (Cambaridae e Parastacidae) stadi rimangono attaccati all’addome della madre. Proprio la mancanza di stadi larvali planctonici rende i gamberi relativamente facili da allevare. Sono al momento descritte oltre 540 specie di gamberi, la maggior parte delle quali è presente in Nord America e in Australia. I generi maggiormente rappresentati (e più rilevanti per le attività umane) sono *Procambarus*, *Pacifastacus*, *Orconectes* e *Cambarus* in Nord America e *Cherax* in Australia (figura 1.1). L’Europa presenta un numero di specie limitato, con un totale di sei specie indigene appartenenti alla famiglia degli Astacidae e a due generi (*Astacus* e *Austropotamobius*): *Astacus astacus*, *Astacus leptodactylus*, *Astacus pachypus*, *Austropotamobius pallipes*, *Austropotamobius torrentium* e, se verrà confermato, *Austropotamobius berndhauseri* (Mazzoni et al., 2004).



**Figura 1.1:** classificazione dei gamberi d'acqua dolce (secondo Bowman e Abele, 1982 e Hobbs, 1974)

L'applicazione delle recenti tecniche di biologia molecolare ha condotto a nuove importanti scoperte. In primo luogo, si è visto che in parte l'attuale distribuzione delle specie indigene in Europa è il risultato dell'azione di traslocazione operata dall'uomo. Per esempio, la colonizzazione delle isole inglesi da parte di *Austropotamobius pallipes* è avvenuta in tempi storici a partire dalla Francia, mentre quella della Spagna a partire dall'Italia (e probabilmente dalla Toscana) e in entrambi i casi il vettore è stato senza dubbio l'uomo. In molte regioni europee, e in particolare nei paesi scandinavi, i gamberi hanno costituito un alimento popolare per molti secoli. Alla metà dell'800 gli stock naturali europei furono colpiti da forti epizoozie causate dall'introduzione del fungo *Aphanomyces astaci*. Questo patogeno, agente

eziologico della “peste del gambero”, fece la sua comparsa in Italia nel 1859, probabilmente introdotto da gamberi infetti che erano accidentalmente presenti in una partita di pesce importata dal Nord America (Morpurgo et al, 2010) . La peste sterminò le popolazioni di *A. pallipes* in Lombardia (Alderman 1996) e rapidamente si diffuse in tutta Europa, causando l'estinzione di innumerevoli popolazioni di gamberi autoctoni. A distanza di oltre un secolo, la fauna astacicola italiana ha subito un ancor più drastico declino su tutto il territorio italiano per effetto del moltiplicarsi delle minacce a cui i gamberi indigeni sono oggi soggetti, incluse quelle prodotte dall'introduzione di gamberi alloctoni. Come nel resto dell'Europa, il principale fattore di rischio è rappresentato dalla sempre più spiccata antropizzazione dei sistemi idrografici nelle sue svariate forme, come si è riscontrato in Italia negli ultimi 50 anni; nelle aree a più alto tasso di industrializzazione, già negli anni '60 e '70 del secolo scorso, molti corsi d'acqua che prima ospitavano alte densità di popolazione di *Austropotamobius pallipes* sono stati oggetto di consistenti deterioramenti e depauperamenti, culminanti spesso in estinzioni locali (Morpurgo et al, 2010). Oltre alle frequenti epizoozie dovute ad infezioni parassitarie e alla pesca eccessiva, adesso illegale, le cause ritenute responsabili della difficile situazione attuale della fauna astacicola italiana sono molteplici e includono: trasformazione dell'uso del suolo delle aree interessate dai reticoli idrografici; opere di drenaggio e canalizzazioni; trasformazione di alcuni fiumi in canali navigabili; sbarramenti dei corsi d'acqua (dighe, chiuse, ecc.); prelievi eccessivi e sprechi di acqua per uso industriale, agricolo e civile; scarichi di acque calde legate alla produzione di energia elettrica; scarichi industriali e urbani; acidificazione delle acque e immissione deliberata o accidentale di specie alloctone con il loro carico parassitario (Morpurgo et al., 2010). Attualmente sul territorio italiano sono presenti le seguenti specie di gamberi considerate autoctone:

- *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858): specie della famiglia degli Astacidae tipica dell'Europa occidentale. Il gambero di fiume (foto 1.1) è in



rarefazione in tutto il suo areale di distribuzione; in Italia è presente in tutto il territorio nazionale ad esclusione di Puglia e isole. Il tipico habitat di *Austropotamobius pallipes* è rappresentato dalle acque correnti, limpide, fresche e ben ossigenate. Colonizza preferibilmente torrenti con fondali duri ricoperti di limo, ma si adatta anche a fondali fangosi e ad ambienti lacustri. Non sopporta a lungo temperature superiori ai 24-25°C. Predilige acque dure ricche di carbonati di calcio. Si tratta di una specie con abitudini notturne, essenzialmente zoofaga, ma può assumere in caso di necessità anche detriti e vegetali. Il periodo riproduttivo va dal tardo autunno (fecondazione) alla fine della primavera (schiusa delle uova). È una specie assai sensibile all'inquinamento ed alla peste del gambero (Mazzoni et al., 2004).



**Foto 1.1 :** *Austropotamobius pallipes* (Mazzoni et al., 2004)

- *Astacus astacus* (Linneo, 1758): specie appartenente alla famiglia degli Astacidae tipica dell'Europa centro-orientale (dalla Francia fino alla Scandinavia e ai Paesi Baltici) che è stata introdotta in Spagna, Portogallo e Gran Bretagna. In Italia è presente solo in alcune zone di confine del Friuli Venezia Giulia. Il gambero di fiume europeo (foto 1.2) vive in corsi d'acqua lenticivi, laghi e stagni sia su substrati fangosi che duri (pietre e ciottoli). Specie assai sensibile all'inquinamento e alla scarsa qualità dell'acqua, in particolare

soffre le basse concentrazioni di ossigeno e temperature superiori ai 25°C. È sensibile ad *Aphanomyces astaci*. Di abitudini prettamente notturne, il gambero di fiume europeo ha un regime alimentare basato sui vegetali ma anche detriti organici, molluschi, larve di insetti ed altre piccole prede (Mazzoni et al., 2004).



**Foto 1.2:** *Astacus astacus* (Mazzoni et al., 2004)

- *Austropotamobius torrentium* (Schränk, 1803): specie della famiglia degli Astacidae (foto 1.3) diffuso in Europa centro orientale e nei Balcani centro orientali. Questa specie è rappresentata in Italia da un numero esiguo di popolazioni peraltro minacciate (Morpurgo et al., 2010), localizzate in provincia di Udine (De Luise, 2006). Secondo Machino e Füreder (2005), almeno una delle tre popolazioni di *A. torrentium* in provincia di Udine è prossima all'estinzione o addirittura già estinta.



**Foto 1.3:** *Austropotamobius torrentium* (Souty-Grosset et al., 2006.)

La distribuzione del taxon autoctono più ampiamente diffuso sul territorio italiano, *Austropotamobius pallipes* complex, appare notevolmente contratta rispetto al secolo scorso, mentre *A. torrentium* e *Astacus astacus* sono ridotte ad un numero limitato di popolazioni (Morpurgo et al, 2010). Sono al contrario in espansione le specie di gamberi alloctoni, in Italia rappresentate da:

- *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823): specie appartenente alla famiglia degli Astacidae (foto 1.4) proveniente dai paesi dell'Europa orientale (Russia, Romania, Bulgaria e Turchia settentrionale). Abita i grandi fiumi che sfociano nel Mar Nero e Mar Caspio (Don, Volga e Danubio). È stata introdotta in Francia, Germania e Gran Bretagna. In Italia ha una distribuzione ancora contenuta, sebbene normalmente importata e stoccata in bacini prima di essere commercializzata. È stata segnalata anche in acque libere (Mazzoni et al., 2004). Il gambero turco è una specie tipica di acque a lento scorrimento, caratterizzate sia da substrati fangosi che da substrati duri. È un gambero vigoroso ed adattabile; vive anche in acque a basso contenuto di ossigeno e sopporta temperature moderatamente elevate (fino a 25°C). Riesce a colonizzare acque salate sopportando livelli di salinità del 14 per mille. Presenta un rapido accrescimento, una maturità sessuale precoce ed una

capacità riproduttiva relativamente elevata (fino a 800 uova per femmina). Come tutte le specie europee, è sensibile alla peste del gambero (Mazzoni et al., 2004).



**Foto 1.4:** *Astacus leptodactylus* (Mazzoni et al., 2004)

- ***Orconectes limosus*** (Rafinesque, 1817): specie della famiglia dei Cambaridae originaria della costa est degli Stati Uniti. Introdotto in Europa alla fine del 1800, si è diffuso in gran parte del continente (Polonia, Russia, Francia e Germania). In Italia è stato introdotto accidentalmente con l'importazione di stock di pesci contenenti gamberi vivi da altri Paesi europei. È stato segnalato in diverse regioni del Centro-Nord (Lazio, Emilia-Romagna, Piemonte e Lombardia) (Mazzoni et al., 2004). Il gambero americano (foto 1.5) occupa corsi d'acqua lenticivi, laghi e stagni, anche con acqua di proprietà scadenti o inquinata. Preferisce fondi melmosi ma si adatta anche a fondi di ghiaia e ciottoli. Sembra essere resistente ad *Aphanomyces astaci* e per questo è un potenziale diffusore della malattia. Si tratta di una specie molto aggressiva e dinamica. Se catturato assume un atteggiamento caratteristico con l'addome

ripiegato e le chele distese fino a toccare la punta del telson. (Mazzoni et al., 2004).



**Foto 1.5:** *Orconectes limosus* (Mazzoni et al., 2004)

- *Procambarus clarkii* (Girard, 1852): specie appartenente alla famiglia dei Cambaridae originaria del sud degli Stati Uniti; è stata introdotta in tutto il continente americano, in Europa ed Asia. In Italia è la specie alloctona più diffusa, essendosi acclimatata in gran parte del centro-nord Italia (Mazzoni et al., 2004). L'habitat naturale del gambero rosso della Louisiana (foto 1.6) è rappresentato da stagni e acquitrini soggetti a cambiamenti stagionali del livello idrico, ma questa specie si adatta a vivere anche in fiumi e laghi. Vive in acque dolci e salmastre, preferisce acque calde pur sopportando anche temperature molto fredde e riesce a sopravvivere in carenza di ossigeno respirando con le branchie umide fuori dall'acqua. Predilige fondali melmosi; per fronteggiare periodi siccitosi o temperature rigide, scava buche profonde (40-90 cm) negli argini e sul fondo. Può essere considerata una specie onnivora, pur privilegiando nella dieta vegetali e detriti organici. Il gambero rosso della Louisiana è resistente alla peste del gambero e all'inquinamento.



**Foto 1.6:** *Procambarus clarkii* (Mazzoni et al.,2004)

- *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852): gambero della famiglia degli Astacidae, originario del Nord America-Canada. È stato introdotto in Europa nel 1860, stabilendosi in Svezia, Finlandia, Francia, Spagna, Russia e Isole Britanniche. Nella gran parte dei casi è subentrato alla specie autoctona *Astacus astacus*. In Italia è stato rinvenuto in acque libere nella provincia di Bolzano, mentre tentativi di allevamento sono riportati in provincia di Alessandria ed in Calabria (Mazzoni et al., 2004). Il gambero della California (foto 1.7) colonizza corsi d'acqua a lento scorrimento, corsi d'acqua di grandi dimensioni, laghi di pianura ed alpini; tollera anche acque a bassa salinità. La maturità sessuale precoce, la prolungata carriera riproduttiva e la rapidità di crescita ne hanno fatto un gambero ideale per l'allevamento. Resistente alla peste, è considerato il vettore principale di questa patologia nelle acque europee (Mazzoni et al., 2004).



**Foto 1.7:** *Pacifastacus leniusculus* (Mazzoni et al., 2004)

Recentemente sono state introdotte in Europa ed in Italia altre due specie di gamberi d'acqua dolce di origine australiana. Benché non siano mai state segnalate in acque libere, queste specie potrebbero, in condizioni favorevoli, adattarsi all'ambiente naturale ed aggiungersi al numero di specie esotiche già presenti nel nostro territorio. Risulta perciò opportuno trattare brevemente queste due potenziali specie alloctone, quali:

- *Cherax tenuimanus* (Smith, 1912): specie appartenente alla famiglia dei Parastacidae originaria del Sud-Ovest dell'Australia ed esportata in Europa ed Italia per attività di acquacoltura sperimentale. L'ambiente tipico del Marron (foto 1.8) è costituito da bacini con acqua e fondale sabbioso, ricco di detriti organici e rifugi. Non tollera un'elevata salinità. È il terzo gambero al mondo per dimensioni (Mazzoni et al., 2004).





**Foto 1.8:** *Cherax tenuimanus* (Mazzoni et al., 2004)

- *Cherax destructor-albidus* (Clark, 1936): specie della famiglia dei Parastacidae originaria del continente australiano, esportata in Europa ed Italia per sperimentazioni in acquacoltura. Lo Yabby (foto 1.9) colonizza una grande varietà di habitat, dai fiumi, ai torrenti, ai bacini naturali ed artificiali, prediligendo fondali fangosi. Preferisce acque con alto tenore in ossigeno ed abbondante vegetazione; resiste ad elevati livelli di salinità. Come *Procambarus clarkii*, infatti, scava buche fonde negli argini in risposta a condizioni ambientali sfavorevoli (siccità, temperatura, ecc.) (Mazzoni et al., 2004).



**Foto 1.9:** *Cherax destructor* (Mazzoni et al., 2004)



## 1.2 *Procambarus clarkii*

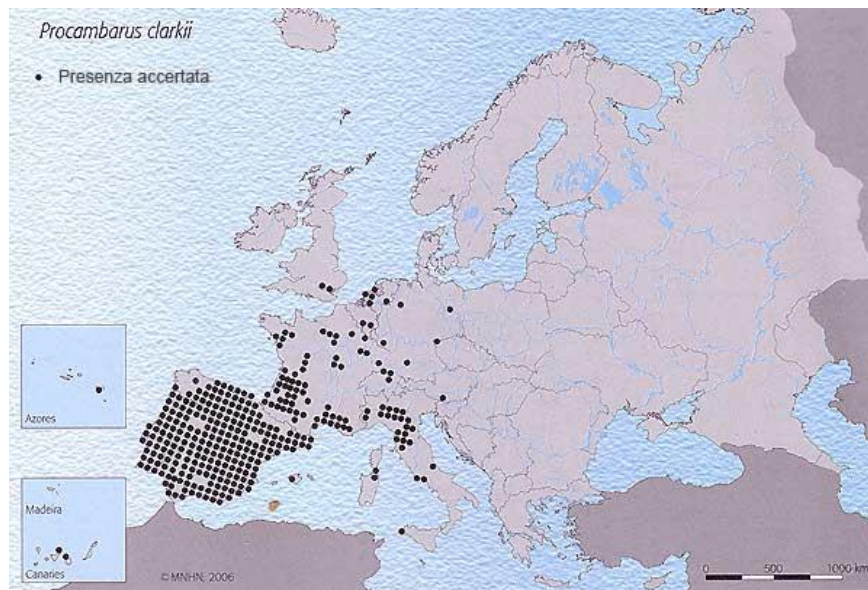
La specie aliena che è stata valutata in questo studio è il gambero rosso della Louisiana, *Procambarus clarkii*. Questo crostaceo originario del Nord-Est del Messico e degli USA centro-meridionali è oggi il macroinvertebrato dominante in diversi paesi Europei. Mentre la sua prima invasione in Spagna risulta ben documentata, poco si sa sulle vie di invasione e sulla ragione della sua rapida diffusione in Europa. Lo studio della biologia di questa specie ha rivelato una serie di proprietà che rendono questo gambero un invasore di successo. *Procambarus clarkii* mostra caratteristiche tipiche di una specie r-selezionata, tra cui la maturità precoce con piccole dimensioni corporee, tassi di crescita rapidi, un elevato numero di prole e una durata della vita relativamente breve (Gherardi, 2006). Presenta un marcato carattere di plasticità nel suo ciclo vitale, è in grado di disperdersi ampiamente nell'habitat e tollera condizioni ambientali estreme. Il gambero rosso della Louisiana presenta inoltre abitudini alimentari generaliste ed opportuniste (Mills et al., 1996), consumando macrofite e predando anfibi e pesci. *P. clarkii* può anche sostituire gamberi indigeni grazie ad una combinazione di meccanismi tra cui l'esclusione competitiva e la trasmissione del fungo *Aphanomyces astaci*, responsabile della peste del gambero. Infine, questa specie presenta un'ampia flessibilità comportamentale quando deve affrontare nuovi tipi di predatori ed è capace di respirazione subaerea (Huner e Barr, 1991). Nella tabella sottostante (tabella 1.1) vengono riassunte le caratteristiche ecologiche e comportamentali che consentono a questa specie una rapida diffusione e colonizzazione degli ecosistemi acquatici.

	Assente	Bassa	Media	Alta
Alta capacità di dispersione attraverso uova o stadi larvali molto mobili		•		
Capacità di riprodursi assessualmente	•			
Alta fecondità			•	
Breve tempo di sviluppo delle nuove generazioni e degli stadi giovanili			•	
Veloce adattamento agli stress ambientali				•
Alta tolleranza all'eterogeneità				•
Interesse da parte dell'uomo (edibilità e pesca)				•
Alimentazione onnivora				•
Cure della nidiata				•

**Tabella 1.1:** caratteristiche biologiche ed ecologiche tipiche di invasori di successo condivise da *P. clarkii* (Geiger et al, 2005)

### 1.2.1 Distribuzione

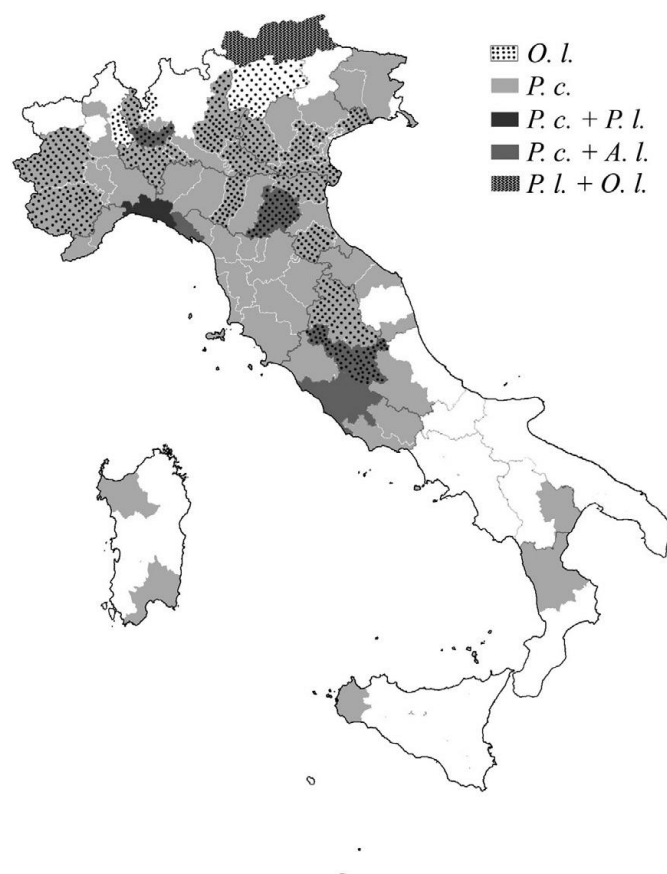
Specie originaria del versante atlantico dell'America settentrionale, dal nord del Messico alla contea di Escambia (Florida) raggiunge a nord il sud dell'Illinois e l'Ohio. Successivamente è stata introdotta sia nel resto degli Stati Uniti, sia in altre regioni del mondo, ove si è ben acclimatata (Giappone, Sud-Est Asiatico, Spagna, Costa Rica, Portorico, S. Domingo, Venezuela, Kenya, Sudan, Uganda, ecc.). Dopo le prime introduzioni effettuate in Spagna, *P. clarkii* si è successivamente diffuso in altri paesi europei, come Francia, Italia, Germania e Paesi Bassi (figura 1.2) (Souty-Grosset C., 2006).



**Figura 1.2:** distribuzione Europea di *P. clarkii* (Souty-Grosset C. et al., 2006)

In Italia, a scopo di allevamento e a partire dal 1987, è stato importato dalla Spagna, dov'era già presente dal 1972. Al pari di altri paesi europei, l'inadeguatezza di molti stabilimenti di acquacoltura ha determinato anche nella nostra penisola la fuga di alcuni esemplari ed una susseguente stabilizzazione di popolazioni riproduttive in habitat naturali. (De Luise G., 2010). *P. clarkii* è oggi presente in numerosi stagni, laghi e corsi d'acqua di diverse Province dell'Italia settentrionale e centrale (Gherardi et al., 1999a), dove presenta nuclei molto abbondanti che si stanno espandendo rapidamente, in particolare in Pianura Padana, invadendo ambienti diversificati (Morpurgo et al., 2010). Nel 1989 comparve per la prima volta in natura nel bacino idrografico del torrente Banna, un affluente del Po (Delmastro, 1992). Si è largamente espansa in Lombardia (Fea et al. 2006) e in Veneto, è presente nel Lago di Garda come pure in Friuli Venezia Giulia (Moro, 2007). Nel centro Italia la specie è abbondantemente diffusa nelle Marche, in Abruzzo, nel Lazio (Chiesa et al. 2006), in Umbria (Dörr et al., 2006) e in Toscana (Gherardi et al., 1999b), in particolar modo nella zona adiacente al Lago di Massaciuccoli da cui sembrano esser nate le popolazioni acclimatatesi nell'Italia centrale, in seguito allo straripamento di vasche di allevamento nel 1993 a causa di una alluvione (Gherardi et al. 1999b). Nel sud

Italia e nelle isole, la specie è stata rinvenuta in Basilicata (Morpurgo et al., 2010), nel Lago Tarsia in provincia di Cosenza in Calabria (Morpurgo et al., 2010), nelle province di Trapani in Sicilia (D'Angelo e Lo Valvo, 2003) e di Sassari e Cagliari (Morpurgo et al., 2010) in Sardegna (figura 1.3).



**Figura 1.3:** Province d' Italia con presenza di specie alloctone: *Procambarus clarkii*, *Orconectes limosus*, *Astacus leptodactylus* e *Pacifastacus leniusculus* (Dana, 1852) (indicate in legenda come P.c., O. l., A. l. e P. l) (Morpurgo et al., 2010) .

In Veneto le due specie di gambero d'acqua dolce alloctone segnalate ad oggi sono *Orconectes limosus* e *Procambarus clarkii*; la diffusione del primo sembra essere limitata alle province di Padova, Rovigo, Venezia e Verona mentre *P. clarkii* risulta ampiamente diffuso in tutte le province della regione ad esclusione del bellunese

(RARITY, 2014). Non esistono tuttavia dati certi circa l'effettiva consistenza e presenza sul territorio di queste due specie invasive.

### 1.2.2 Sistematica e morfologia del gambero rosso della Louisiana

Il *Procambarus clarkii* presenta la classificazione sistematica di seguito riportata (Hobbs, 1974).

PHYLUM:	Arthropoda
SUBPHYLUM:	Crustacea
CLASSE:	Malacostraca
SOTTOCLASSE	Eumalacostraca
SUPERORDINE:	Eucaridea
ORDINE:	Decapoda
INFRAORDINE:	Astacidea
SUPERFAMIGLIA:	Astacoidea
FAMIGLIA:	Cambaridae
SOTTOFAMIGLIA:	Cambarinae
GENERE:	<i>Procambarus</i>
SPECIE:	<i>P. clarkii</i>

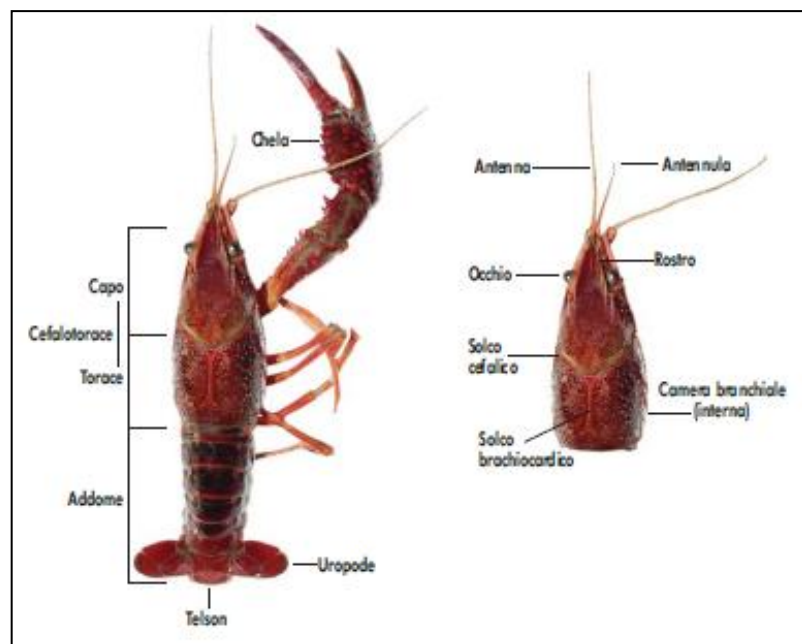
Il gambero rosso della Louisiana presenta una morfologia e struttura anatomica tipica dell'ordine di appartenenza:

- 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);

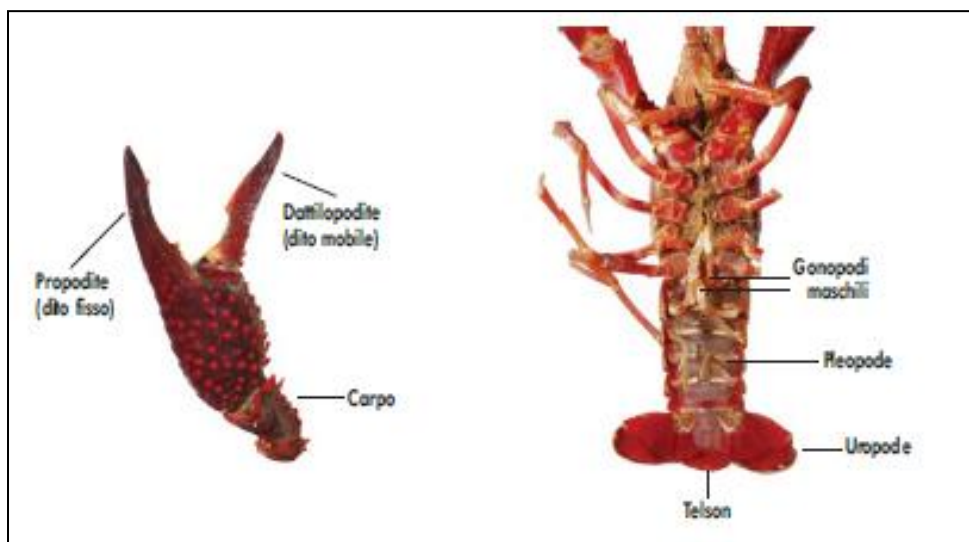
- corpo segmentato ripartito in una parte anteriore chiamata cefalotorace (comprendente capo e torace) caratterizzata da 14 segmenti e protetta da un carapace dorsale-laterale ed una zona posteriore (addome) composta da 6 metameri e terminante con un telson (coda);

Il corpo del gambero è infatti frazionato in 20 segmenti riuniti in tre regioni principali: capo (sei segmenti), torace (otto segmenti) e addome (sei segmenti) (figura 1.4). Il capo ed il torace sono fusi assieme a creare una struttura chiamata cefalotorace; il punto di fusione è messo in evidenza dal solco cefalico (Mazzoni et al., 2004). 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 (nelle fasi di muta o ecdisi, che si alternano alle fasi di intermuta). La porzione di esoscheletro che ricopre il cefalotorace è detta carapace. Quest'ultimo si presenta granuloso, con un solo paio di creste post-orbitali (figura 1.6); inoltre, le aree laterali presentano molte spine e solchi brachiocardici congiunti nella linea mediana. Ogni segmento del corpo ha un paio di appendici modificate in base alle funzioni cui sono predisposte. Il capo è compreso tra il prolungamento anteriore detto rostro ed il solco cefalico. Esso sostiene sei paia di appendici: occhi, antennule, antenne e tre appendici masticatorie (mandibola, prima e seconda mascella) (Mazzoni et al., 2004). In *Procambarus clarkii* il rostro presenta bordi divergenti dall'apice alla regione oculare; manca la cresta mediana ed i denti laterali sono di ridotte dimensioni (figura 1.6). Il torace risulta invece compreso tra il solco cefalico ed il primo segmento addominale; esso porta otto paia di appendici: tre con funzione masticatoria (primo, secondo e terzo massilipede) e cinque atte alla locomozione (primo e quinto pereopode). Il primo pereopode porta una chela molto sviluppata e granulosa, di dimensioni maggiori negli individui maschi e con margine interno estremamente irregolare con denti e curvature; presentano una spina sul carpo (figura 1.7). Il secondo ed il terzo pereopode sono dotati di piccole chele, mentre il quarto ed il quinto ne sono privi. La chela è costituita da una porzione

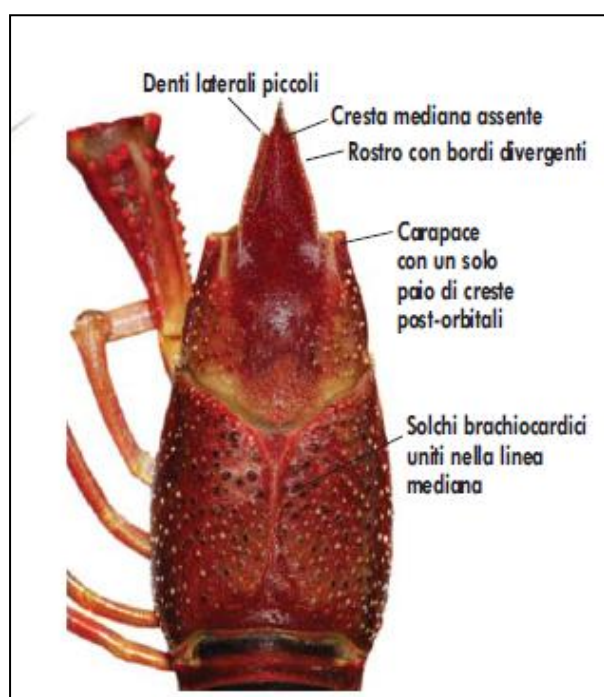
mobile (dattilopodite) e da una fissa (propodite) articolata su un segmento detto carpo (Mazzoni et al., 2004). Ai lati del cefalotorace, riparate dal carapace e demarcate dorsalmente dal solco brachiocardico, sono presenti le camere branchiali contenenti le lamelle branchiali. Sul lato ventrale del 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 (figura 1.5). Caratteristiche sono le bande scure presenti sulla parte dorsale dell'addome (figura 1.7) (Mazzoni et al., 2004).



**Figura 1.4:** struttura morfologica di *P. clarkii* (Mazzoni et al., 2004)



**Figura 1.5:** struttura morfologica di *P. clarkii* (Mazzoni et al., 2004)

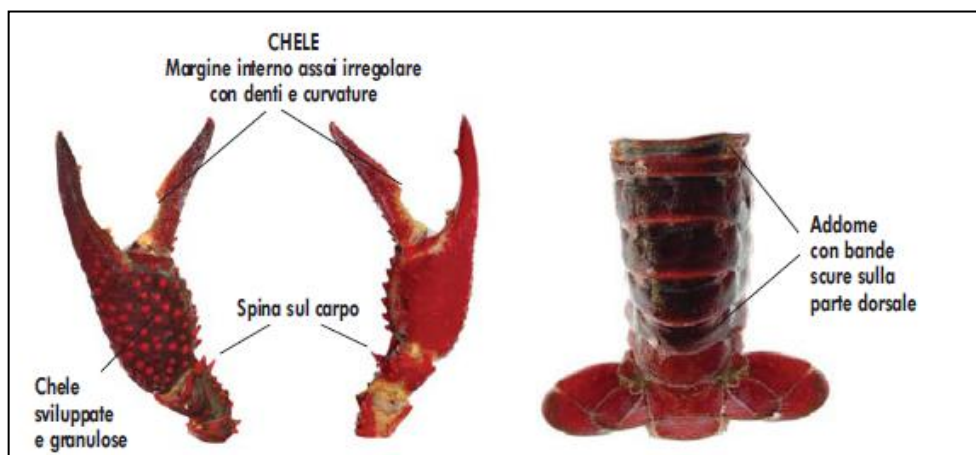


**Figura 1.6:** caratteristiche del rostro e carapace di *P. clarkii* (Mazzoni et al., 2004)

Il colore del gambero rosso della Louisiana varia dal rosso brillante al rosso scuro-marrone, qualche volta con riflessi tendenti al verde ed al blu nei soggetti dopo la muta. Gli individui più giovani tendono ad avere invece un colore che spazia dal



marrone chiaro al verde-grigiastro (Mazzoni et al., 2004). Questo crostaceo presenta dimensioni medio-grandi, variabili dai 10 ai 20 cm. I maschi tendono avere dimensioni maggiori.



**Figura 1.7:** caratteristiche di chele ed addome di *P. clarkii* (Mazzoni et al., 2004)

### 1.2.3 Anatomia funzionale di *Procambarus clarkii*

#### 1.2.3.1 Apparato respiratorio

Gli scambi gassosi con l'acqua avvengono all'interno delle camere branchiali (figura 1.9), delimitate dal cefalotorace. Il flusso d'acqua nella camera branchiale ha una direzione postero-anteriore: l'acqua entra tramite i margini liberi del carapace e successivamente esce da due fori posti ai lati della bocca (Mancini, 1986). Per far sì che le camere non vengano sporcate o otturate da detrito, sono presenti particolari strutture filamentose e filtranti site alla base dei pereiopodi. Il flusso dell'acqua attraverso le camere branchiali è imposto principalmente dal movimento dell'esopodite della seconda mascella, lo scafognatite, e l'acquisizione dell'ossigeno avviene mediante le branchie. Sono identificabili 18 appendici branchiali ben

strutturate: due prendono origine alla base degli ultimi due massillipedi, quattro alla base dei primi quattro arti toracici, 11 attaccate alla membrana delle articolazioni tra le appendici e il corpo e, infine, una pleurobranchia attaccata alla parete del torace, all'altezza del terzo segmento (Mancini, 1986); non sempre sono presenti tutte le serie di branchie. La collocazione protetta degli organi deputati alla respirazione rende più lento il prosciugamento e la derivante perdita di funzionalità; si spiega la capacità dei gamberi di sopportare periodi di emersione piuttosto lunghi (ore e persino giorni) purché le branchie siano inumidite (Nardi e Razzetti, 1998).

### **1.2.3.2 Apparato circolatorio**

La circolazione sanguigna è di tipo aperto-lacunare (Mancini, 1986), in quanto manca un circuito venoso che permetta il ritorno del sangue al cuore e agli organi respiratori attraverso un sistema di vasi chiusi. L'emolinfa rifluisce alle branchie mediante membrane e fasci muscolari e da lì avanza verso il seno pericardico (Mancini, 1986). Il liquido circolatorio è dotato di un pigmento respiratorio, l'emocianina, associato alla frazione liquida (plasma). Il cuore, collocato nel seno pericardico (figura 1.9), è munito di tre aperture riceventi fornite di valvole che ostacolano il riflusso dell'emolinfa; da esso si dipartono frontalmente un'arteria oftalmica (al cervello), un paio di arterie antennali (organi genitali, occhi, antenne, mandibole) e un paio di arterie epatiche, sul retro un'arteria addominale posteriore (muscoli addominali e intestino) e una arteria sternale (appendici toraciche e addominali) (Mancini, 1986).

### **1.2.3.3 Apparato digerente**

Il cibo viene portato alla bocca mediante le chele. Nella zona adiacente la cavità orale sono presenti molteplici peli tattili che hanno lo scopo di intercettare le particelle

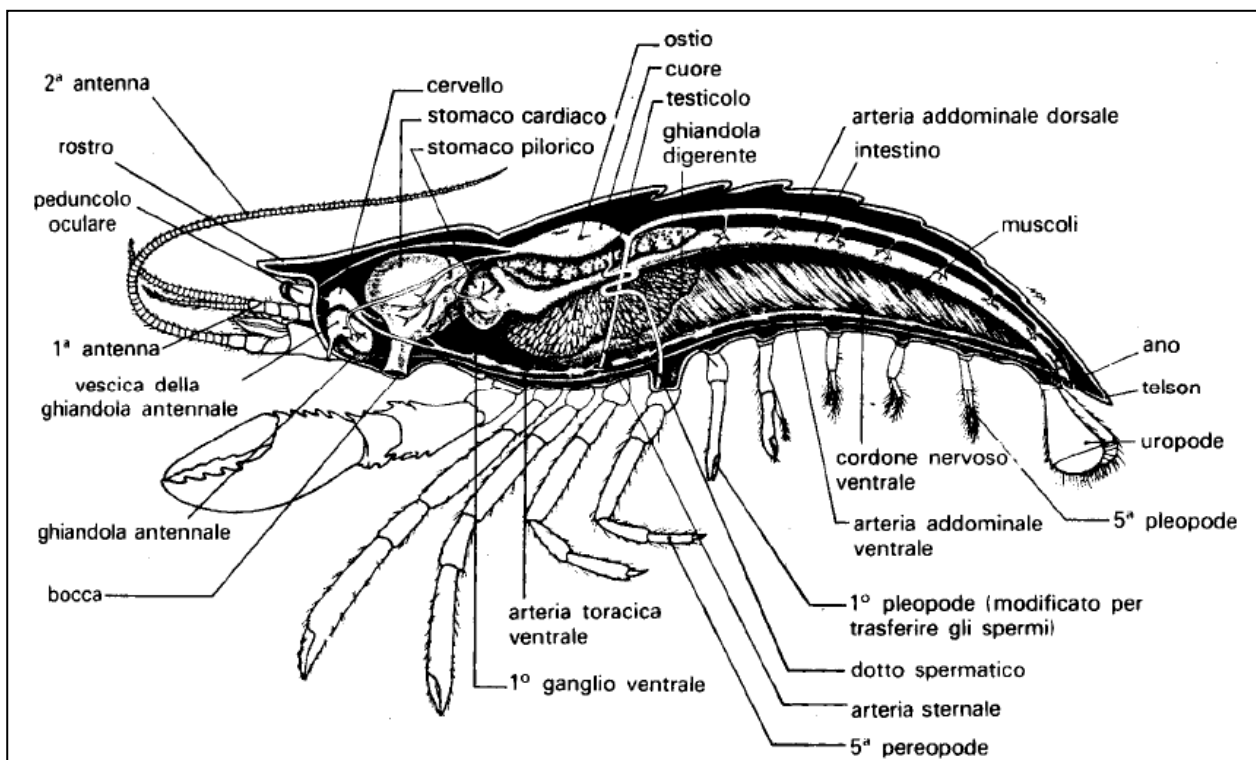
alimentari. All'articolato apparato boccale, costituito dalla bocca e dalle appendici boccali, seguono un breve esofago ed uno stomaco molto esteso (figura 1.8). Esso è ripartito da una costrizione in uno stomaco cardiaco ed in uno pilorico. Il primo, più ampio, è rivestito sulla mucosa interna da numerose formazioni cuticolari calcificate simili a denti (il cosiddetto "mulino gastrico"); queste, con l'aiuto degli enzimi digestivi secreti nella cavità cardiaca dall'epatopancreas e di numerosi microrganismi, completano la triturazione del cibo già sminuzzato a livello boccale. Il cibo, già abbondantemente triturato, passa quindi allo stomaco pilorico dove viene sottoposto all'azione dei succhi gastrici che lo rendono assimilabile; le particelle più grosse passano nell'intestino e quindi fuoriescono dall'ano, posto nella faccia inferiore del telson (Mancini, 1986).

#### **1.2.3.4 Sistema neuromuscolare**

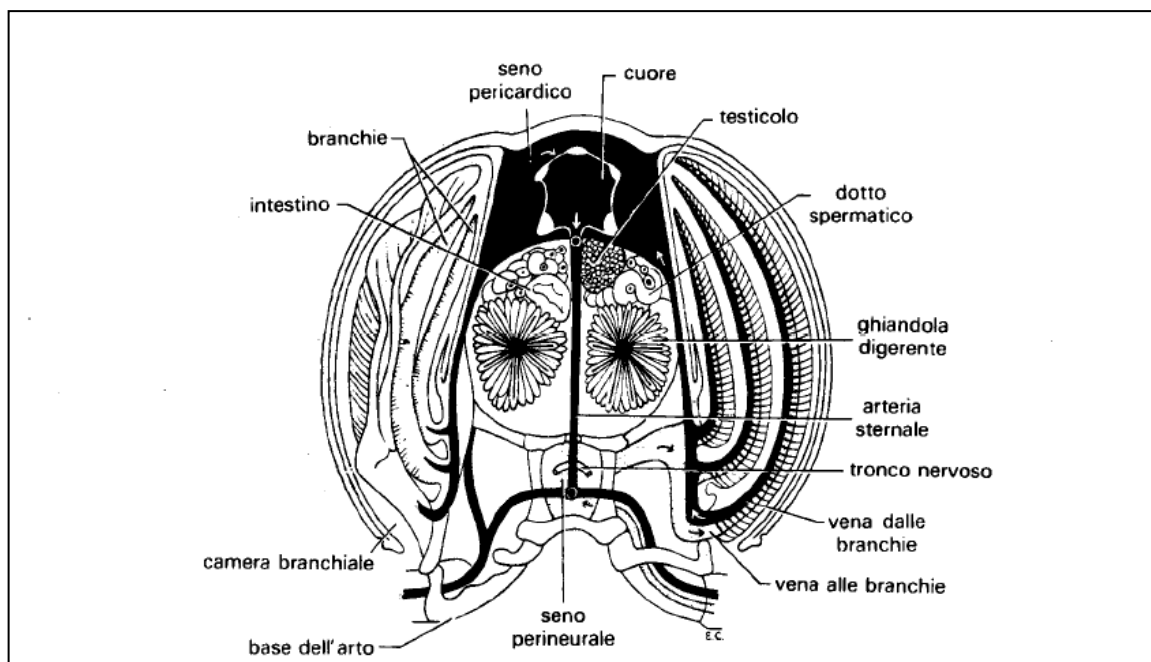
Il sistema nervoso è di tipo gangliare, costituito da un paio di gangli per ciascun segmento, unificati trasversalmente da una commettitura e longitudinalmente uniti alle coppie adiacenti da un connessura (Mancini, 1986). I gangli sono collocati sulla linea mediana della parte ventrale del corpo, appoggiati al tegumento e sono connessi ai muscoli ed alle appendici da insiemi di fibre nervose. Nell'addome sono presenti sei gruppi di gangli che innervano i muscoli motori della coda; sono muscoli estensori e flessori che anteriormente si inseriscono nel cefalotorace e posteriormente sui tegumenti solidi dei segmenti addominali (Mancini, 1986). Pure nel torace si riscontrano sei serie di gangli pari, collegati da doppie giunture; quelle che si staccano dalla parte più anteriore volgono in avanti arrivando al ganglio cerebrale o cervello subesofageo (composto da tre masse gangliari). A questo punto i gangli innervano le appendici anteriori (occhi, antenne ed antennule). La massa viscerale dipende da un sistema simpatico (Arrignon, 1996).

### 1.2.3.5 Apparato escretore

L'osmoregolazione e l'escrezione sono regolate essenzialmente dalle ghiandole verdi, site a livello dell'articolo basale delle antenne. Esse sono costituite da un sacco terminale e da un complesso labirinto distinto in due zone, l'una reticolata, l'altra tubuliforme, spugnosa ed in comunicazione con un canale efferente allargato in vescica, a sua volta comunicante con l'esterno mediante un poro escretore. L'urina espulsa è ipotonica in confronto all'emolinfa, ma i gamberi di acqua dolce hanno una certa abilità di controllarne la concentrazione. Inoltre, pure le branchie hanno un ruolo considerevole nell'escrezione e nell'eliminazione delle sostanze di scarto (Arrignon, 1996 e Mancini, 1986).



**Figura 1.8:** anatomia interna di un gambero in sezione longitudinale (Pietrobon S., 2012)



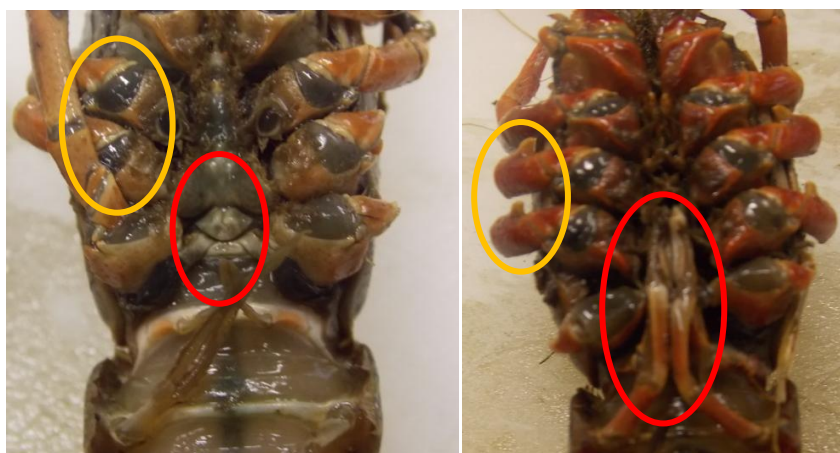
**Figura 1.9:** anatomia interna di un gambero in sezione trasversale (Pietrobon S., 2012)

#### 1.2.3.6 Organi di senso

Gli occhi risultano pedunculati e di tipo composto, posti ai lati del rostro. Il globo oculare è formato da un insieme di ommatidi (centinaia) congiunti all'estremità del nervo ottico; questa struttura consente al gambero una vista a mosaico che diventa, però, una visione continua in condizioni di ridotta luminosità (Mancini, 1986). Nel suo insieme, l'organizzazione strutturale dell'occhio permette una visione a 180°, concedendo all'animale di riconoscere forma, dimensione e anche colore degli oggetti. Il senso olfattivo e quello tattile sono ben sviluppati grazie alla presenza di un vasto sistema di setole sensitive estese sulla totalità del corpo ed in particolar modo in prossimità degli arti, del telson, della bocca, delle antenne e delle antennule (Mancini, 1986). Non si hanno tuttavia prove certe delle capacità uditive di questi animali, però il fatto che essi generino con lo sfregamento delle chele suoni a scopo intimidatorio o riproduttivo rappresenta una prova a favore della loro capacità di cogliere tali vibrazioni (Romanò e Riva, 2002).

### 1.2.3.7 Apparato riproduttore ed aspetti riproduttivi

L'apparato genitale maschile comprende due testicoli, due canali deferenti e relative ghiandole androgene. I testicoli si estendono dorsalmente nella regione toracica, fondendosi posteriormente in una struttura impari (configurazione ad Y). Da ciascuno di essi partono spermidutti lunghi e convoluti, che sboccano in prossimità di una papilla genitale a livello del quinto paio di pereiopodi. Le ghiandole androgene sono accollate alla regione immediatamente anteriore alla parte muscolare eiaculatrice dei dotti deferenti. Nella femmina si hanno due ovari e due ovidutti; i primi hanno medesima collocazione dorsale dei testicoli, estendendosi fino al secondo segmento addominale con l'analogha struttura allungata determinata dalla fusione posteriore (forma a Y). Gli ovidutti iniziano a livello dell'unione delle metà anteriori, sono brevi, irrobustiti da una guaina muscolare e sboccano a livello del terzo paio di pereiopodi. La fecondazione esterna avviene tramite il trasferimento da parte del maschio di spermatofore tubuliformi alla femmina; le spermatofore 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.



**Foto 1.10:** differenze a livello genitale tra un soggetto femmina (sinistra) ed un soggetto maschio (destra)

Con la foto a pagina precedente (foto 1.10) possiamo notare come nel maschio (soggetto di destra) i primi due paia di pleopodi siano modificati per trasferire gli spermatozoi durante l'accoppiamento; nella femmina, invece, si può notare l'orifizio genitale (indicato in rosso). Evidenziati in giallo sono i piccoli denti uncinati presenti nel maschio a livello del terzo e quarto paio di pereopodi, assenti nella femmina. Grazie a queste estroflessioni il maschio riesce a trattenere meglio la femmina durante l'accoppiamento. La maturità sessuale viene raggiunta precocemente, a 3-5 mesi di vita e ad una lunghezza totale di 55-125 mm (De Luise, 2010). L'accoppiamento (foto 1.11) può aver luogo 2-3 volte nell'arco di un anno nelle regioni tropicali, mentre 1-2 volte in quelle subtropicali e nel nostro paese (Mancini, 1986). Il periodo di accoppiamento va da fine primavera ad inizio autunno, sebbene siano state rinvenute femmine ovigere o con giovanili durante tutto l'anno (Lorenzoni, 2013). L'aggressività dell'accoppiamento può spesso provocare ferite e mutilazioni alla femmina che, nei casi peggiori, può pure perirne. Finito l'accoppiamento il maschio abbandona l'interesse per la femmina che cerca subito una tana in cui rifugiarsi (nell'habitat naturale generalmente costituita da una galleria fonda anche 1 metro e scavata dall'animale sul fondo o sugli argini del corso d'acqua) (Lombardi, 2010). La femmina rimane protetta per l'intera durata dell'incubazione delle sue uova, che può durare da 2-3 settimane a tre mesi a seconda della temperatura (più la temperatura è bassa rispetto al valore ottimale, maggiore è il tempo che serve per la schiusa delle uova). Il numero di uova varia da 200 a 700 per covata e sono attaccate alla femmina tramite filamenti di muco solidificato sotto l'addome (foto 1.12).



**Foto 1.11:** *Procambarus clarkii* durante accoppiamento (Pietrobon, 2012)



**Foto 1.12:** femmina ovifera di *Procambarus clarkii* (Bennici et al., 2014)

Durante il periodo di incubazione la femmina pulisce ed ossigena le uova quotidianamente. Queste cure comprendono inoltre l'esposizione periodica delle uova all'aria quando nel covo il livello dell'acqua è ridotto e la temperatura atmosferica è alta (condizioni comuni durante i mesi più caldi). In questo contesto, infatti, il tenore di ossigeno disciolto in acqua è piuttosto scarso e la femmina, senza allontanarsi dal suo rifugio, fuoriesce dall'acqua e comincia ad ossigenare energicamente le uova agitando le proprie appendici addominali (pleopodi) come se fossero tanti piccoli 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). La crescita dei nascituri è decisamente veloce: a temperature comprese tra 20 e 30°C i giovani gamberi possono mutare ogni 5-10



giorni (De Luise, 2010); lo sviluppo dei piccoli, infatti, è strettamente legato alla temperatura e può compiersi in 2-3 settimane a 22°C mentre tende a bloccarsi con valori inferiori ai 10°C. Le femmine di *P. clarkii*, oltre a prendersi cura delle uova nel periodo antecedente la schiusa, effettuano inoltre un'attenta cura della prole che protegge e trasporta (foto 1.13) anche per lunghi periodi in modo da consentire ai piccoli di completare il loro sviluppo nel momento in cui le condizioni ambientali sono ottimali.



**Foto 1.13:** femmina con giovanili (Bennici et. al., 2014)

In seguito all'allontanamento dalla madre, i giovani di *Procambarus*, come già accennato, eseguono ripetute mute e per non meno di due settimane si nutrono voracemente, assumendo nel frattempo le sembianze di un individuo adulto (Huner e Barr, 1991, in Ackefors, 1999). Recenti studi hanno dimostrato un'alta prevalenza della paternità multipla riscontrata in natura in *Procambarus 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 e la femmina gravida è la madre esclusiva della progenie. 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 spostato in un serbatoio di stoccaggio che dopo l'accoppiamento può essere chiuso 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. E' probabile che la paternità multipla sia quindi una strategia messa in atto dalle femmine di *Procambarus clarkii* per portare a fecondazione più uova e selezionare lo sperma di miglior qualità, migliorando 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).

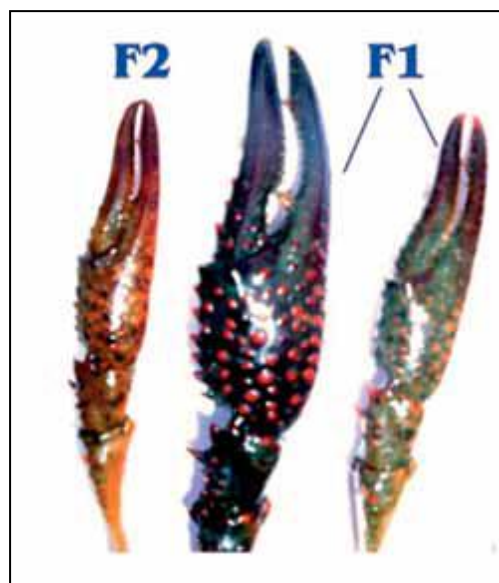
#### **1.2.4 Biologia ed ecologia**

Le conclusioni tratte da numerosi studi eseguiti, hanno consentito di definire un quadro sintetico che mette in evidenza alcune tra le peculiarità eco-etologiche che permettono a *Procambarus clarkii* una veloce espansione nell'ambiente naturale:

- il suo ciclo biologico decisamente plastico, che rispecchia il ciclo idrogeologico ed i cambiamenti di temperatura dell'acqua delle zone invase (Gutierrez –Yurrita et al., 1999);
- la sopportazione di stress ambientali quali temperature estreme (Gherardi et al., 1999b), la mancanza d'acqua superficiale, salinità, le ridotte concentrazioni di ossigeno e la presenza di agenti inquinanti;
- l'uso di gallerie, come risorsa indispensabile in alcune fasi delicate del ciclo vitale (muta e riproduzione) ed in condizioni ambientali avverse (disseccamento ed elevate temperature) (De Luise, 2010);
- l'alta capacità di dispersione attiva (Barbaresi et al., 2004b);
- le abitudini alimentari generaliste (Gherardi e Barbaresi, 2007);

- la supremazia competitiva nei confronti delle specie indigene per le più elevate dimensioni, le chele più grandi ed efficaci e la maggiore aggressività (Gherardi e Cioni, 2004).

Il gambero rosso della Louisiana è un crostaceo assai rustico e scavatore, a rapido sviluppo, tipico di corpi idrici lentici e lotici caldi dove si è adattato a sopravvivere durante periodi nei quali le acque possono mancare per molti mesi all'anno. Per questa ragione risultano i suoi habitat ideali le paludi anche solo stagionalmente allagate, i terreni agricoli ad inondazione periodica come le risaie, il greto melmoso di corpi idrici regolarmente in secca, ed anche i canali di bonifica e le loro numerose diramazioni; queste sue preferenze ambientali non escludono però, che questo gambero non possa pure vivere in corsi d'acqua perenni, anche di dimensioni cospicue (De Luise, 2010). E' stato confermato che, quando presente, questo crostaceo ha la tendenza a dominare gli altri animali presenti nell'ecosistema acquatico, sia crostacei, sia pesci non predatori, salendo in breve tempo ai più alti livelli della catena alimentare (anche per l'assenza di predatori naturali specifici). In natura, il suo ciclo biologico solitamente non va oltre i 12-18 mesi (Souty-Grosset et al., 2006); è perciò un gambero dalla vita molto breve rispetto ai gamberi nostrani, ma dalla straordinaria fertilità. *Procambarus clarkii* viene considerata una specie r-selezionata, ossia dotata di una strategia riproduttiva propria dei colonizzatori e di animali che vivono in ambienti disturbati (De Luise, 2010); possiede difatti un'elevata fecondità, un rapido accrescimento, una precoce maturità sessuale, accompagnata a più cicli riproduttivi nell'arco di un anno. Nella famiglia dei Cambaridi, una volta raggiunta la maturità biologica, si nota (a differenza dei gamberi d'acqua dolce appartenenti alla famiglia degli Astacidi) l'alternanza di due diverse forme, denominate forma I (F1) e forma II (F2). La prima rappresenta il gambero sessualmente attivo e viene mantenuta nell'arco dell'intero periodo riproduttivo; con questa forma si possono notare delle rilevanti variazioni morfologiche, manifestate particolarmente nel maschio soprattutto se si osservano le chele che si accrescono e si fortificano (figura 1.10) (De Luise, 2010).



**Figura 1.10:** diversa forma ed aspetto di chele di *P. clarkii* nelle due diverse forme (De Luise, 2010)

La colorazione generale del corpo, appare dapprima caratterizzata da toni leggeri e smorti, tendenti al grigiastro, talvolta dal marrone cangiante al verde (De Luise, 2010); in F1 il *Procambarus* diventa uniformemente di color rosso scuro talvolta raggiungendo tinte vicine al marrone scuro-nero, su cui risaltano i tubercoli anch'essi di color rosso. Nella femmina queste modificazioni non sono così palesi, infatti si assiste solamente ad un ingrossamento delle chele (foto 1.14). In presenza di condizioni climatiche ed ambientali normali, successivamente all'accoppiamento il gambero esegue una muta passando alla forma F2, sessualmente inattiva: le chele si accorciano ed assottigliano, la colorazione ritorna meno evidente, scompaiono gli uncini, ed i gonopodi del maschio risultano scarsamente sclerificati. Il passaggio tra le due fasi avviene, come già accennato, attraverso una muta, ma non sono oggi spiegate le cause che spingono i maschi sessualmente maturi a cessare la loro attività riproduttiva per un determinato lasso di tempo (De Luise, 2010). Alcuni studi (es. Barbaresi et al., 2004), hanno dimostrato che la forma riproduttiva F1 é caratteristica dei gamberi di taglia maggiore, mentre la forma F2 in quelli di dimensioni minori.



**Foto 1.14:** due *P. clarkii* pescati nel Basso Vicentino in fase F1 (sx) ed F2 (dx)

Le temperature ideali per questo crostaceo oscillano tra i 21 ed i 27°C, con un arresto dell'accrescimento a temperature inferiori a 12°C (Ackefors, 1999); è inoltre capace di resistere in condizioni ambientali estreme, riuscendo a vivere a temperature fino a 35°C, soglia massima per la sua sopravvivenza. Alcuni esperimenti eseguiti in ambiente controllato hanno evidenziato la capacità del gambero rosso della Louisiana di restare in vita e conservare elevati tassi di crescita a temperature nettamente superiori di quelle sopportate dal gambero autoctono *Austropotamobius pallipes*, denotando una maggior capacità da parte del gambero alloctono di invadere anche habitat colpiti da inquinamento termico (Paglianti e Gherardi, 2004). Studi sul comportamento di questa specie hanno affermato che *P. clarkii* alterna due modelli di attività (De Luise, 2010):

- fase errante: non presenta nessuna regolarità quotidiana, è caratterizzata da picchi di breve ed elevata velocità di movimento. Durante questa fase, i maschi sessualmente maturi possono spostarsi fino a 17 km in soli quattro

giorni; grazie a questa attività la dispersione della specie è senz'altro facilitata (Gherardi e Barbaresi, 2000);

- fase statica: il gambero si rifugia durante le ore di luce nella tana, uscendo solo al tramonto per nutrirsi.

Nel momento in cui il gambero rosso percepisce lo stimolo migratorio esso può spostarsi per lunghe distanze (anche 3 km in una notte), muovendosi senza alcun problema anche fuori dall'acqua durante le ore diurne (De Luise, 2010) (foto 1.15).

La facilità nel colonizzare habitat nuovi propria di questa specie è inoltre dovuta ad una loro specifica strategia denominata a sviluppo ritardabile, a differenza dei gamberi nostrani che seguono un percorso di sviluppo biologico ben definito imposto dai gradi giorno dell'acqua. Se il *Procambarus* arriva in un ecosistema, riesce a entrarne velocemente in possesso, colonizzando qualunque habitat rapidamente; questo è dovuto soprattutto al fatto che riesce a sopportare le condizioni ambientali più svariate, occupando addirittura le acque salmastre dove, al contrario dei gamberi autoctoni, è capace di restare in vita con valori del 20‰, accettando senza difficoltà situazioni di siccità ed acidità dell'acqua.



**Foto 1.15:** *Procambarus clarkii* in movimento ed alimentazione durante le ore diurne

Questa specie può infatti vivere in un intervallo di pH molto ampio compreso fra 5.6 e 10.4 (De Luise, 2010). Questo crostaceo è stato rinvenuto anche in ambienti asfittici con un contenuto di ossigeno disciolto inferiore ad 1 mg/l; questa capacità è resa possibile dalla specifica strutturazione della sua camera branchiale che, anche contenendo un piccolo quantitativo d'acqua, riesce a sfruttare sia l'ossigeno acquatico, sia quello atmosferico aggiungendo alla respirazione acquatica quella aerea in caso di necessità (Huner e Barr, 1984). Tale strategia di sopravvivenza consente al *clarkii* di stanziare in anaerobiosi totali fino a 12 ore in acque calde che raggiungono temperature di 25°C, ma anche in acque più fredde dove riesce a sopravvivere per alcune settimane anche con valori al di sotto dei 10°C. Ciò spiega come questa specie riesca a restare in vita per lunghi lassi temporali dentro le tane sebbene il sito sia stato prosciugato, utilizzando l'umidità del suolo. Risulta estremamente plastico anche il regime alimentare di questa specie infatti, a seconda dell'ambiente in cui vive, l'animale spazia da una dieta essenzialmente detritivora ad una quasi totalmente erbivora, variando notevolmente il rapporto tra il materiale vegetale e quello animale ingerito. E' comunque un crostaceo con abitudini trofiche decisamente generaliste nutrendosi, in presenza di risorse limitate, di ciò che l'ambiente offre maggiormente (De Luise, 2010). Le analisi del contenuto stomacale indicano un alto consumo di vegetali in primavera-estate (47% della dieta) e di detrito nei mesi invernali (75%). Gli invertebrati acquatici e i pesci emergono meno rilevanti (10-20%), ma costanti in tutte le stagioni (Savini e Occhipinti-Ambrogi, 2008). Il regime alimentare del gambero si differenzia a seconda della taglia e quindi con l'età. I soggetti più giovani e di ridotte dimensioni necessitano generalmente di un maggior apporto proteico, mentre gli individui più grandi ed adulti hanno una dieta principalmente erbivora (Lorman e Magnuson, 1978). Il cannibalismo è frequente tra individui di medie dimensioni (> 30 mm di lunghezza del carapace) e costituisce circa il 20% della dieta in situazioni dove la fauna invertebrata è povera e l'apporto proteico risulta ridotto.

### 1.2.5 L'attività di scavo di *P. clarkii*

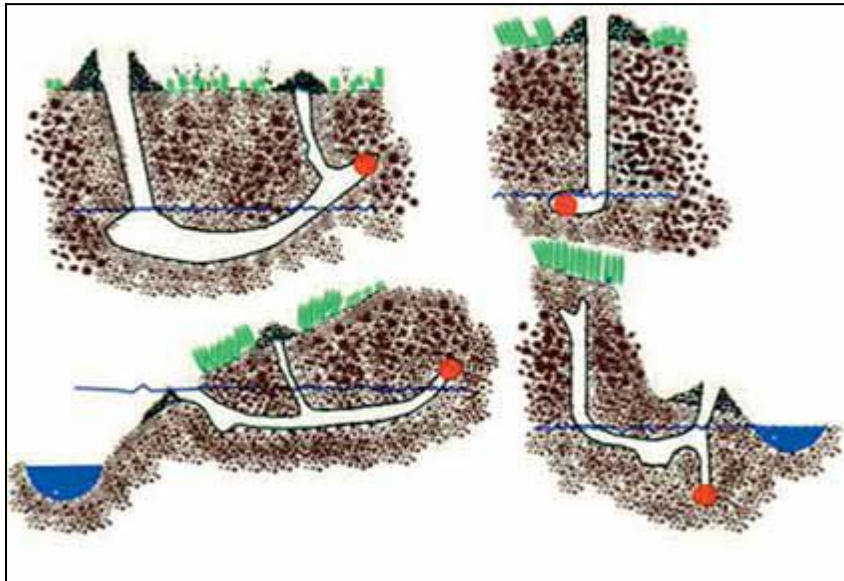
Le tane costituiscono per *Procambarus clarkii* una risorsa indispensabile, sia per proteggersi dai predatori durante le fasi più delicate del ciclo biologico (muta e riproduzione), sia per sopravvivere durante i periodi caratterizzati da mancanza di acqua superficiale e temperature estreme. In habitat favorevoli, l'attività di scavo può essere intensiva e dannosa, com'è stato frequentemente documentato in aree agricole e ricreative (Hobbs et al., 1989), dove sono stati monitorati ingenti danni a piantagioni di riso, dighe, argini di canali di irrigazione, di fiumi e di laghi (Huner, 1988; Anastácio e Marques, 1997). Durante gli eventi siccitosi o i periodi di secca si rifugia nelle gallerie, scavate fino alla profondità di più di 2 metri, essendo stati segnalati sistemi di tane che arrivavano addirittura fino a 5 metri di profondità. Diversi autori hanno riscontrato notevoli differenze riguardo la durata del periodo di inattività passato dentro la tana (ibernazione/estivazione), il periodo dell'anno in cui questo si compie ed il numero di cicli riproduttivi a seconda dell'area geografica di riferimento. A questo proposito Gherardi et al. (1999b) hanno dichiarato, in seguito ad uno studio effettuato su una popolazione italiana, che il periodo di ibernazione in tana dura da Novembre fino a Marzo e che avvengono due accoppiamenti, uno in primavera ed uno a fine estate. Sulla base delle abitudini comportamentali legate alla tana (foto 1.16), il *Procambarus 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 con condizioni ambientali avverse (Huner e Barr, 1984).





**Foto 1.16:** sponda di uno scolo in provincia di Vicenza con colonia di *P. clarkii*

Questi ricoveri possono essere classificati in diverse categorie e tipologie (figura 1.11); solitamente la tana più semplice è una struttura sub-verticale totalmente sommersa, di rado più lunga di 15 cm ed è utilizzata come rifugio transitorio. Tane sub-verticali lievemente più articolate sono associate di frequente a radici ed intrecci di vegetazione, possono essere lunghe da 40 a 90 cm e certe volte sono bloccate da tappi di fango. In queste tane possono vivere da 4 a 10 individui (Barbaresi et al., 2004). Ricoveri molto più vasti sono orizzontali a forma di “U” (Huner e Barr, 1984) ed hanno molteplici camere laterali e diramazioni dove possono convivere fino a 50 esemplari contemporaneamente. Il gambero rosso della Louisiana compie la sua attività di scavo principalmente di notte, ma può scavare anche durante le ore diurne (Gherardi e Barbaresi, 2000). Numerosi studi (Hobbs e Whiteman, 1991) riguardanti questa tematica, hanno messo in evidenza che questa specie è incapace di realizzare tane stabili in terreni dove il sedimento è formato da particelle di diametro superiore a quello della sabbia (2 mm) ed in cui non vi sia disponibile dell’acqua libera (Gherardi et al., 2002).



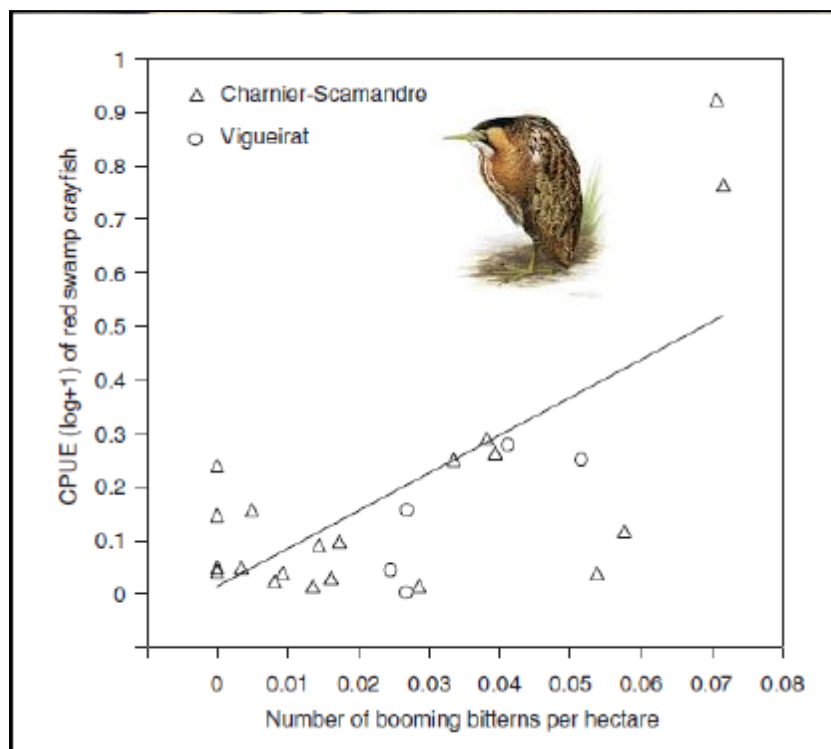
**Figura 1.11:** tipologie costruttive di tane di *P. clarkii* (Mancini, 1986)

In condizioni ottimali di umidità e tessitura, un numero elevato di *Procambarus clarkii* può muovere fino a 40.000 kg/ha di suolo, con una conseguente distruzione degli argini nella maggior parte dei casi. Altro impatto dell'attività di scavo di questa specie è quello di aumentare la torbidità dell'acqua con successiva riduzione della penetrazione della luce e della produzione e crescita delle piante (Angeler et al., 2001).

### 1.2.6 Predatori naturali

Il *P. clarkii* rientra nella dieta di pesci, uccelli e mammiferi (tabella 1.2) che lo utilizzano in maniera differente a seconda della specie, della stagione e della disponibilità di altre risorse trofiche (Geiger et al., 2005). Nel territorio di origine, le popolazioni di questi gamberi sono controllate dalla predazione attiva di vari uccelli (molto efficaci risultano i cormorani, gli Ardeidi, i Corvidi, 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). In parecchie aree italiane dove il *Procambarus clarkii* vive da molti anni, si è notata una stretta correlazione tra presenza di popolazioni ad alta densità di *P. clarkii* ed incremento della sua utilizzazione come preda da parte di determinate specie aviarie. Nel sud della Francia i maschi di tarabuso hanno densità correlate con una sola preda: il gambero rosso (Poulin et al., 2007) (figura 1.12). 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).



**Figura 1.12:** relazione tra l'abbondanza relativa di gambero rosso e la densità di maschi di tarabuso per unità idrologica (Poulin et al., 2007)

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.

<b>MAMMIFERI</b>	
<i>Lutra lutra</i>	Lontra
<i>Vulpes vulpes</i>	Volpe
<b>UCCELLI</b>	
<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
<b>PESCI</b>	
<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

**Tabella 1.2:** predatori di *Procambarus clarkii*; a destra indicato il nome comune della specie

Tra i pesci considerati autoctoni o naturalizzati, predatori del gambero rosso della Louisiana 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 (*Ictalurus melas*) e l'anguilla (*Anguilla anguilla*) dimostratisi 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), ed il siluro (*Silurus glanis*) specie

invasiva onnivora e generalista che attualmente sta causando ingenti danni agli ecosistemi acquatici di diverse zone d'Italia.

### 1.2.7 Impatto sulle macrofite

L'impatto di *Procambarus clarkii* sulla vegetazione riparia è strettamente legato all'attività di scavo esercitata da questa specie per la costruzione delle tane associata ad una successiva maggiore esposizione a stress ambientali come temperature elevate, piogge abbondanti ed aridità del suolo (Richardson e Wrong, 1995). I risultati di esperimenti effettuati per verificare l'effetto diretto provocato dall'attività scavatoria di *P. clarkii*, dimostrano che quasi il 50% delle specie vegetali sotto cui sono realizzate le gallerie vengono danneggiate dalla maggior esposizione dell'apparato radicale all'aria e da una conseguente maggiore secchezza delle radici; questo fenomeno risulta particolarmente palese in *Phragmites australis* e *Carex elata*. Verso queste due specie di macrofite il danneggiamento deriva non solo dall'attività di scavo, ma anche da quella trofica; *P. clarkii* può infatti causare danni alla cannuccia, con taglio delle piante nella zona del colletto, ed al carice spondicola con utilizzo delle radici (De Luise, 2010). L'impatto sulle macrofite è strettamente legato alla densità del gambero alloctono, il quale in età adulta si ciba di piante per il 75% della sua dieta (Geiger et al., 2005), al tipo di macrofita (differenza tra specie, biomassa iniziale, forma di crescita, appetibilità) ed alla disponibilità di alimenti alternativi. Anche alcune piante acquatiche, di notevole pregio floristico ed abbondanti in numerosi habitat acquatici fino a qualche decennio fa, sono attualmente sparite o rarefatte. Il gambero rosso altera la composizione delle comunità vegetali, alimentandosi in maniera selettiva di certe specie: un *Procambarus* utilizza fino a 30 g di idrofite in 15 giorni. Studi sul campo effettuati in un meandro morto del Ticino hanno rivelato la completa scomparsa di *Potamogeton natans*, *Potamogeton crispus* e *Myriophyllum spicatum*; l'eliminazione di queste idrofite ha

portato ad un pesante calo della fauna acquatica (Lorenzoni, 2013). Altri vegetali appetiti sono le alghe del genere *Chara* e le piante acquatiche del genere *Nymphaea*. Prove di laboratorio sono state effettuate per capire l'appetibilità e la preferenza da parte di *Procambarus clarkii* verso cinque specie di macrofite: *Carex divisa*, *Mentha pulegium*, *Juncus heterophyllus*, *Baldellia ranunculoides* e *Ranunculus peltatus*. I test di appetibilità e preferenza eseguiti in laboratorio hanno dimostrato un consumo preferenziale di *J. heterophyllus* in entrambe le prove a discapito di *C. divisa* e *R. peltatus* che sono risultate le specie meno utilizzate. In presenza di diverse specie vegetali, perciò, l'utilizzo della specie prediletta riduce fortemente il consumo delle specie meno appetite (Carreira et al., 2013). Successive analisi sul campo hanno inoltre evidenziato che in stagni dove è presente il gambero rosso della Louisiana, rispetto a pozze d'acqua con la medesima composizione floristica ma assenza del *clarkii*, 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). Una discreta resistenza ai danni sopra descritti è stata dimostrata da *Carex idzuroei* (Sato et al., 2013). Si può quindi affermare che il *Procambarus clarkii* può eliminare in modo sequenziale le popolazioni di macrofite, dalla più preferita alla meno consumata.

### **1.2.8 Impatto su macroinvertebrati e vertebrati**

I macroinvertebrati costituiscono un elemento fondamentale nella dieta dei giovani esemplari di *Procambarus clarkii*, costituendo un'importante apporto proteico necessario per la crescita ed il raggiungimento della maturità. Dal punto di vista biologico, la presenza di popolazioni naturalizzate di questa specie può portare diversi cambiamenti nell'ecosistema; in particolar modo le loro abitudini alimentari, specialmente su molluschi, insetti, anfibi e pesci, possono produrre sensibili alterazioni nella rete trofica, arrivando addirittura all'eliminazione di certe specie (Nyström, 1999). Pare che la presenza del gambero rosso della Louisiana abbia

condotto all'estinzione di due specie di gasteropodi in Spagna (Montes et al., 1993): *Lymnaea stagnalis* e *Lymnaea peregra*. Altro gasteropode un tempo comune ma attualmente in rarefazione numerica è la *Planorbis planorbis*. Il macroinvertebrato più colpito risulta *Austropotamobius pallipes*; oltre ad essere un vincente competitore di questo gambero autoctono protetto dalla Direttiva 92/43/CEE, il *Procambarus clarkii* risulta un portatore sano della cosiddetta Peste del gambero, veicolata dall'agente eziologico *Aphanomyces astaci*. Questo fungo, identificato nel 1903 in Germania (Schikora, 1903), costituisce in ambito europeo la malattia dei gamberi d'acqua dolce con la maggior contagiosità e letalità. *Aphanomyces astaci* è un patogeno primario dei decapodi d'acqua dolce, che infetta le zone poco calcificate della cuticola, come la superficie addominale ventrale e le membrane articolari (Pretto e Manfrin, 2012). La trasmissione dell'infezione nell'ambiente naturale avviene essenzialmente per via orizzontale, da gambero infetto o, come nel nostro caso, portatore asintomatico a gamberi sensibili abitanti nello stesso bacino; ciò nonostante le zoospore possono essere veicolate anche tra bacini idrici diversi mediante acqua infetta sul corpo di uccelli e mammiferi acquatici, nonché dallo spostamento di specie ittiche originarie di zone infette verso corsi d'acqua non contaminati. Le zoospore, infatti, hanno la capacità di sopravvivere nel muco cutaneo e nel tratto intestinale dei pesci (Oidtmann et al., 2002). Inoltre *A. astaci* può essere trasportato da attrezzature da pesca, natanti, stivali, vestiario, ecc. contaminati. In caso di epidemia in specie sensibili, la mortalità può coinvolgere il 100% della popolazione (Pretto e Manfrin, 2012). Altro aspetto negativo portato da *P. clarkii* è che preda attivamente anche girini e piccoli anfibi, compreso il minacciato *Triturus carnifex*. Studi effettuati in California su una popolazione di *Pseudacris regilla* (anfibio non presente nel nostro territorio) hanno dimostrato una discreta resistenza da parte di questa rana di convivere con il gambero rosso della Louisiana; in ambiente controllato, infatti, quest'ultimo tende a catturare soltanto rane e girini lenti e mal sviluppati, lasciando indenni soggetti con caratteristica genetica di possente muscolatura posteriore, in grado quindi di sfuggire velocemente all'attacco dei gamberi alloctoni (Pease e



Wayne, 2013). E' probabile uno scenario di esclusione competitiva tra gambero rosso e granchio di fiume (*Potamon fluviatile*), come conseguenza della competizione interspecifica per lo spazio, le aree rifugio e le risorse alimentari (Dardi e Gherardi, 1994). Sebbene l'alimentazione di questo crostaceo sia prevalentemente vegetariana, si è notato che, dove è presente un'abbondante ittiofauna non carnivora, essa diventa l'alimento primario di questa specie. Tra i pesci predati è esclusa la *Gambusia affinis* che non sembra ridursi in presenza di *P. clarkii*, presumibilmente grazie all'estrema mobilità che caratterizza queste specie ittica (Ilhéu e Bernardo, 1993). Ilhéu e Bernardo (1993) affermano che il *clarkii* tende a catturare più rapidamente gli esemplari malati, lesi e con mutilazioni e può causare danni sub-letali specialmente agli avannotti. Le modificazioni rilevate nelle comunità di pesci come conseguenza dell'introduzione di questo gambero sono legate all'attitudine di questa specie di predare uova (Guan e Wiles, 1997) e di trasformare l'habitat mediante l'utilizzo di macrofite in maniera selettiva (Lodge e Lorman, 1987).

### **1.2.9 Impatto sull'uomo**

Elemento che differenzia *Procambarus 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'epatopancreas. Sussiste pertanto un effettivo problema di probabile non edibilità correlata al sito in cui gli esemplari vengono pescati, con una successiva irrimediabile contaminazione dell'animale. Impiegato come alimento, questo crostaceo sarebbe quindi in grado di fungere da vettore di metalli pesanti (es. piombo) anche per l'uomo. Il rischio per la salute umana risulta comunque costituito non tanto dai metalli pesanti accumulati nella parte edibile (non particolarmente significativi) ma dalle alte concentrazioni

rinvenute nell'intestino (spesso complicato da asportare), provenienti dal sedimento ingerito con l'alimentazione (De Luise, 2010). 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. La crescente eutrofizzazione che ha caratterizzato le nostre acque dolci negli ultimi anni ha provocato la creazione di massicce fioriture di cianobatteri in grado di produrre tossine che si accumulano dapprima nell'acqua e poi negli organismi acquatici, generando elevati rischi per la salute umana (Cox et al, 2005). Queste sostanze sono agglomerate soprattutto nella parete cellulare delle alghe; vengono rilasciate nelle acque conseguentemente al loro invecchiamento o alla loro morte. 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, l'autunno e 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 può costituire un pericolo anche se questi vengono pescati in periodi lontani dalla fioritura algale, generando danni cellulari accumulabili nel tempo (De Luise, 2010); l'organo colpito è il fegato ma si pensa che la tossina possa inoltre esercitare anche un'attività di promotore tumorale (Funari, 1999). Non esistono antidoti per queste tossine algali (Morari, 1999) e perciò risulta di fondamentale importanza monitorare le condizioni sanitarie del prodotto pescato e commercializzato in zone dove è evidente tale fenomeno. 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 sebbene l'intestino, l'organo che tende a contaminarsi di più, molte volte viene mangiato dal consumatore insieme

alla parte edule. Una corretta rimozione del telson garantirebbe un'asportazione del tratto intestinale rendendo commestibile il prodotto (Vasconcelos et al., 2001). *Procambarus clarkii* può inoltre fungere da ospite intermedio dei platelminti trematodi del genere *Paragonimus*, causanti parassitosi polmonari nell'uomo (Lorenzoni, 2013). E' stata accertata la capacità del gambero rosso della Louisiana di veicolare il batterio *Francisella tularensis*, agente eziologico della tularemia, tramite il contatto e l'ingestione di fango ed acqua infetti, accumulando nell'epatopancreas e nello stomaco questo microrganismo e rendendo quindi possibile il contagio durante il processo di eviscerazione (Anda et al., 2001).

### **1.3 Metodi per contrastare la diffusione di *Procambarus clarkii***

#### **1.3.1 Inquadramento normativo**

Il primo livello nella prevenzione della diffusione di una specie esotica si basa su solide basi normative. Molti Paesi europei e Regioni italiane, da tempo hanno istituito nuove leggi in materia e la UE ha attestato che il *Procambarus* rientra nella lista delle 100 specie invasive più pericolose al mondo (DAISIE). La Direttiva Habitat (92/43/CEE), all'art. 22, lett. B, richiede agli Stati membri di garantire che l'introduzione volontaria in natura di specie non originarie dei rispettivi territori sia regolata in modo da non danneggiare gli habitat naturali, la fauna e la flora selvatiche e, se necessario, di proibire tali introduzioni. La Risoluzione n. 57 del Comitato Permanente per la Convenzione di Berna sull'introduzione di organismi appartenenti a specie non autoctone nell'ambiente, approvata in data 5 dicembre 1997, raccomanda agli Stati firmatari di: 1) proibire la deliberata introduzione all'interno dei propri confini o in parte del loro territorio, di organismi alloctoni al fine di stabilire popolazioni naturalizzate; 2) prevenire l'introduzione accidentale di specie alloctone; 3) produrre una lista delle specie alloctone invasive già presenti in

natura. Per quanto concerne la normativa italiana in materia, la direttiva 92/43/CEE è stata recepita in Italia con DPR 357/1997, istitutivo della rete Natura 2000 e contenente anche il divieto di introduzione in natura delle specie non locali. Il DPR impone alle Regioni di adottare le possibili misure per mantenere in uno stato di conservazione accettabile le specie di interesse comunitario e di occuparsi del monitoraggio delle loro popolazioni. Per quanto riguarda la gestione del *P. clarkii* in Veneto, attualmente questa non è particolarmente disciplinata e consente in tutte le Province la cattura senza limiti di taglia e peso di questa specie. Questa politica gestionale risulta però alquanto sbrigativa, non essendoci dati sull'effettiva espansione demografica di questo crostaceo, sulla presenza di altri decapodi autoctoni/alloctoni nelle zone dove *P. clarkii* si è insediato, sulla possibilità di disturbare specie no-target e non tenendo conto dei rischi legati all'assunzione di questo animale come alimento.

### **1.3.2 Prevenzione**

Il costo per prevenire un'invasione di crostacei alloctoni è irrisorio se comparato con qualsiasi altra misura adottata quando essi sono già naturalizzati (Vander Zanden et al. 2010). Il primo livello per una efficace prevenzione sono un chiaro ed efficace sistema di normative e regolamentazioni. Altra fase importante è capire la via d'ingresso della specie alloctona sul territorio (analisi dei "pathway"), ossia il processo che determina l'immissione di una specie alloctona in un luogo al di fuori del suo areale naturale di distribuzione (Hulme et al., 2008). Un'accurata previsione delle dinamiche d'introduzione di *Procambarus clarkii* costituisce un utile strumento per prevenire ed ostacolare l'espansione di tale specie sul territorio, mediante azioni mirate di monitoraggio, controllo e di adeguamento normativo (Aquiloni et. al, 2014). In DAISIE è presente una lista che indica le principali vie di ingresso per le specie acquatiche alloctone; tra queste le più importanti per *P. clarkii* sono:

- acquacoltura: la specie è introdotta in impianti a scopi commerciali;
- canali: la specie arriva attraverso i corsi d'acqua;
- pesca: specie introdotta per pesca sportiva o professionale, questa categoria include le specie introdotte come cibo per pesci o esche;
- fughe: gli individui fuggono dalla cattività, da laboratori e da allevamenti;
- ornamentale: specie importata per acquariofilia o in associazione ad altro materiale vivo usato per scopi ornamentali.

La vendita a scopo ornamentale è comune in tutta Europa (Chucholl, 2012) e, sebbene questo crostaceo rientri tra le 100 specie alloctone più pericolose, viene comunemente venduto o procurato nella maggior parte dei pet shop a prezzi decisamente abbordabili (tra i 7 ed i 15 euro). Una percentuale degli esemplari acquistati, però, viene rilasciata in natura dove può naturalizzarsi e divenire invasiva (Aquiloni et. al, 2014). Secondo livello di prevenzione è l' "early detection", al fine di diagnosticare velocemente la presenza del gambero rosso della Louisiana. Come previsto nell'European Strategy on Invasive Alien Species da Genovesi e Shine (2004), uno dei mezzi più efficienti per la lotta alle specie invasive è la messa in atto di un sistema di rapida individuazione e pronta risposta (Early Detection and Rapid Response) che permetta di agire il più rapidamente possibile su nuove popolazioni che si stanno naturalizzando in un ambiente. L'individuazione di *Procambarus clarkii* sul territorio può essere fatta osservando alcuni segnali indicanti la sua presenza. Uno dei principali segni dimostranti la presenza di *P. clarkii* è quello connesso all'attività di scavo di questi animali, con fori singoli o a gruppi sulle sponde del corso d'acqua; inoltre, se la presenza di questa specie è particolarmente elevata, possono verificarsi fenomeni di crollo ed alterazione degli argini. Altro segnale che

consente di diagnosticare la presenza/assenza di questo gambero è dato da resti del loro esoscheletro (foto 1.17) distribuiti in prossimità dei corsi d'acqua; questi residui possono costituire resti di pasto di qualche predatore, ma anche soggetti morti naturalmente mentre compivano attività erratica con situazioni ambientali avverse (De Luise, 2010). Un evidente segno della sua presenza è dato anche dalla riduzione della vegetazione e dall'intorbidimento delle acque, provocato dall'incessante lavoro di scavo per le tane e dalla maggiore densità del fitoplancton derivata dall'eutrofizzazione causata dai gamberi stessi (De Luise, 2010). Nel caso vengano avvistati, segnalati o catturati esemplari di *Procambarus clarkii* sulla terra ferma, questo costituisce una prova lampante della presenza di questa specie in quel territorio e non si dovrebbe esitare nel comunicarlo quanto prima alle autorità competenti. Riveste quindi un ruolo molto importante l'opinione pubblica, costituente il principale limite per combattere in modo efficace le invasioni biologiche.



**Foto 1.17:** resti di *P. clarkii* rinvenuti nelle vicinanze del Canal Nuovo (VI)

Se la gran parte della popolazione ignora o sminuisce la gravità della minaccia costituita dalla diffusione di specie esotiche, i pochi che ne conoscono l'entità

difficilmente accettano gli interventi di controllo se operati su specie, come il *Procambarus*, considerate utili dal punto di vista alimentare. Un'opportuna divulgazione sugli effetti ed i rischi dovuti alla presenza di questo crostaceo nei nostri habitat acquatici costituisce quindi un elemento basilare:

- per la prevenzione da future immissioni;
- in caso ci siano ulteriori immissioni per una tempestiva individuazione e comunicazione dei nuclei di specie invasive di neo formazione.

E' di fondamentale importanza che si diffonda la consapevolezza di come la conservazione degli ecosistemi, delle specie e delle popolazioni naturali sia prioritaria rispetto alla protezione dei singoli individui. Ultima azione atta a prevenire l'invasione del gambero rosso dovrebbe essere il ripopolamento e sostegno alle popolazioni delle specie autoctone più minacciate come *Austropotamobius pallipes*, aumentando la consistenza numerica di questi organismi sempre più rarefatti ed aumentando così, ove le nicchie ecologiche vanno a sovrapporsi, le chance di sopravvivenza nella competizione con la specie alloctona.

### **1.3.3 Eradicazione, controllo e contenimento**

La diagnosi precoce deve essere seguita da una rapida risposta , ossia da un coordinato e rapido programma di eradicamento. L'eradicazione consiste nell'eliminare l'intera popolazione da un habitat invaso in un arco temporale limitato. Questa operazione deve essere calendarizzata, perché in assenza di un termine si parlerebbe di controllo, ossia la raccolta o l'uccisione di una frazione di una popolazione in modo continuativo (Hanfling et al., 2011). Tuttavia, il successo nell'eradicazione dei gamberi alloctoni sono ad oggi rari; per la maggior parte delle

popolazioni già insediate sul territorio l'unica opzione fattibile ed economicamente conveniente è quella di adottare una politica di controllo utilizzando alcuni strumenti di mitigazione che riescano a conservare la loro densità a livelli molto bassi, riducendo i loro impatti negativi. Tra i metodi di contenimento e controllo utilizzati verso il *Procambarus clarkii* troviamo:

- controllo meccanico: la rimozione fisica da un ambiente del gambero alloctono, effettuata seguendo il principio “catturane più che riesci”, è una strategia di contenimento che può portare a discreti risultati solo se condotta per un periodo di tempo prolungato, imponendo notevoli costi ed un’alta necessità di manodopera. In Nord America, il controllo dei crostacei alloctoni è stato effettuato con trappole di diversa struttura e tramite elettro-pesca, ma con scarsi risultati (Gherardi et al., 2011). L’uso di esche feromonalı potrebbe alzare il successo di questo metodo. I feromoni, sostanze presenti in quantità infinitesima in specifici fluidi biologici (Zhang et al., 2010), operano su tutte le funzioni basilari degli organismi. Il cosiddetto feromone sessuale, è impiegato dalle femmine sessualmente mature per attirare i maschi (Stebbing et al., 2003a; b) a tal punto che essi, spronati da queste sostanze, manifestano comportamenti riproduttivi anche se la femmina non è presente (Gleeson et al., 1987). Questi composti sono rilasciati attraverso l’urina e vengono prodotti nelle ghiandole a rosetta accorpate alla vescica urinaria che sfocia all’esterno del corpo tramite due nefropori posti alla base delle seconde antenne (Piazza et al., 2014). Si è notato che i maschi appaiono egualmente attratti sia da femmine mature, sia da oggetti diversi esposti all’urina delle femmine stesse, come spugne, pietre e perfino altri maschi (Ekerholm e Hallberg, 2005).

La specificità delle esche feromonalı consentirebbe di catturare in maniera selettiva maschi in stadio giovanile con parecchie stagioni riproduttive ancora da compiere (Aquiloni e Gherardi, 2010). Sono state inoltre realizzate di recente esche ormonali contenenti l’ormone gonado-inibitorio; queste hanno lo



scopo di controllare lo sviluppo sessuale nei Crostacei Decapodi. Il regolatore negativo principale di questi animali è l'ormone peptidico gonado-inibitorio (GIH) che è in grado di bloccare la maturazione degli ovari nelle femmine e dei testicoli nei maschi anche a concentrazioni molto basse (Giulianini e Edomi, 2006). I peptidi possono essere trasmessi mediante l'ingestione con adeguate protezioni che consentono all'animale di assorbire nei loro fluidi corporei un quantitativo biologicamente attivo di tali sostanze (Piazza et al., 2014). Il rilascio in natura di tali esche nel periodo antecedente la stagione riproduttiva può quindi ridurre la fecondità delle popolazioni di *Procambarus clarkii*;

- controllo chimico: i biocidi, come organofosfati (aldrin), organoclorurati (DDT), piretroidi, rotenone e tensioattivi sono potenzialmente molto efficaci per contenere ed addirittura eradicare la specie ma spesso mancano di specificità provocando il rischio di eliminare gli invertebrati autoctoni insieme a quelli alloctoni. Inoltre è probabile un bioaccumulo di queste sostanze nella rete trofica. I biocidi naturali, come i derivati del piretro, hanno relativamente pochi effetti collaterali sulle specie no-target. Ad esempio, il biocida Pyblast è stato scelto per tentare di eradicare il gambero alloctono *Pacifastacus leniusculus* in un bacino della Scozia (Peay et al., 2006);
- gestione dell'habitat: individuare l'habitat preferenziale per *P. clarkii* permetterebbe di utilizzare tale informazione per la sua cattura e rimozione, ricostruendo in un ambiente circoscritto le condizioni ideali per questa specie che, una volta che ha colonizzato l'area, sarà maggiormente concentrata e più facilmente removibile (Davidson et al., 2008). Bonifica di stagni, deviazione di fiumi, ed edificazione di barriere (sia fisiche che elettriche) sono tecniche che possono essere utilizzate soprattutto lavorando con popolazioni di crostacei confinate; poco si sa sull'efficacia di tali metodi. La costruzione di una

barriera nel fiume Buaa al confine tra la Svezia e la Norvegia non è riuscita ad impedire lo spostamento dell'alloctono *P. leniusculus* nella parte norvegese del corso d'acqua ( Johnsen et al., 2008);

- lotta biologica: i metodi di lotta biologica tradizionali comprendono l'uso di predatori, organismi patogeni o di microbi che producono tossine come ceppi del *Bacillus turingiensis*. L'immissione di specie ittiche predatrici ha dato alcuni risultati positivi nel contenimento delle popolazioni di *Procambarus clarkii* in Italia (Aquiloni et al., 2010). Come già accennato anguille, persico trota e luccio sono efficaci predatori di gamberi, anche se tendenzialmente predano solo individui di piccola taglia. È inoltre stato dimostrato che *Anguilla anguilla* esercita anche un effetto indiretto su *P. clarkii*, riducendo la loro attività trofica e quindi aumentando la loro morte per fame (Aquiloni et al., 2010). In Friuli Venezia Giulia, nell'ambito del progetto Life RARITY, è stata introdotta la tecnica di sterilizzazione dei maschi e rilascio in natura (SMRT); questa tecnica consiste nel rilasciare maschi sterili ma sessualmente attivi, cioè capaci di competere con i maschi non sterilizzati per l'accoppiamento e di mostrare nel contempo un comportamento di tipo selvatico. La Sterile Male Release Technique è una metodologia sicura sia per l'ambiente, in quanto viene effettuata solo sulla specie target senza modificare gli equilibri dell'ecosistema, sia per l'uomo, e possiede tutti i requisiti necessari per essere considerata un'ottima modalità di controllo, inclusa l'eticità e l'elevata accettabilità da parte del pubblico (Lodge et al., 2006). Il suo impiego non esclude l'utilizzo di ulteriori tecniche di controllo, non è estremamente costosa e non necessita di tempi lunghi di esecuzione. Il successo conseguibile con la SMRT aumenta quando la densità delle popolazioni di *P. clarkii* è bassa in quanto, una volta rilasciati i maschi sterili, la loro probabilità di accoppiamento è inversamente proporzionale alla grandezza della popolazione; ne deriva, quindi, che questa è la sola tecnica applicabile

efficacemente per il contenimento di piccole popolazioni caratteristiche delle prime fasi di naturalizzazione in un nuovo ambiente (Piazza et al., 2014). Le radiazioni ionizzanti rappresentano la via migliore per generare sterilità nei maschi adulti di questa specie. Dal 2005 l'Università di Firenze ha svolto delle indagini volte a definire dei protocolli per la sterilizzazione e per la valutazione del danno istologico e comportamentale. Nel 2009, impiegando una dose irraggiante pari a 20 Gy, sono stati creati maschi adulti di *P. clarkii* con sterilità permanente, senza causare importanti modificazioni del comportamento sessuale (Aquiloni et al., 2009). Studi comportamentali sulla scelta del partner da parte delle femmine di *Procambarus clarkii* hanno oltretutto provato una propensione per maschi dominanti di notevoli dimensioni (Aquiloni e Gherardi, 2008a e b), permettendo di capire quali siano i maschi da sottoporre preferenzialmente alla sterilizzazione ed aumentando così il successo della SMRT. Studi effettuati sul campo hanno confermato che l'immissione nell'ambiente di maschi con queste caratteristiche morfologiche e sottoposti ad una dose irraggiante di 20 Gy porta ad un calo significativo degli individui di taglia giovanile nella stagione riproduttiva seguente (Cecchinelli et al., 2010), comprovando l'enorme efficacia di questa tecnica per il controllo dei crostacei alloctoni.

Nonostante i risultati contrastanti raggiunti con i metodi sopra elencati, un approccio integrato comprendente diverse tecniche appare la strategia migliore per raggiungere un discreto successo nel controllo di *Procambarus clarkii*.



## 2. OBIETTIVI DEL LAVORO

Il *Procambarus clarkii* costituisce oggi una delle maggiori minacce per l'assetto idrogeologico e la conservazione della biodiversità negli ecosistemi acquatici. In questi anni la presenza di tale specie è stata segnalata anche in Veneto. Mancano tuttavia indicazioni precise riguardanti le aree in cui essa è presente e l'entità delle popolazioni. Il presente studio si pone quindi l'obiettivo di accertare la presenza di questa specie alloctona in tre differenti corsi d'acqua della provincia di Vicenza e di definire le caratteristiche delle popolazioni monitorate mediante la raccolta e l'analisi di dati biometrici.



### 3. MATERIALI E METODI

#### 3.1 Siti di rilevamento

I rilievi sono stati effettuati nel Basso Vicentino, nel comprensorio gestito dal Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta. Nello specifico le zone interessate da questo studio sono la Valle di Fimon, la Riviera Berica orientale e la Val Liona. Tutte queste aree sono limitrofe o parzialmente ricadenti nel SIC Colli Berici IT3220037 (figura 3.5). Seguendo le indicazioni del dott. Francesco Zanotto, responsabile del servizio pesca della Provincia di Vicenza, si è deciso di svolgere lo studio in tre corsi d'acqua con diverse caratteristiche stazionali ed idrologiche quali:

- canale Bisatto: questo corso d'acqua si origina da una derivazione del F. Bacchiglione in località Longare. Dopo aver ricevuto le acque del canal Nuovo, scorre per circa 20 km nel territorio vicentino per poi continuare nel padovano terminando il suo percorso a Battaglia Terme dove incontra le acque del canale Battaglia dando origine al canale Vigenzone. La larghezza media è essenzialmente uguale in tutto il corso ed oscilla intorno ai 12 m; la profondità dell'acqua è strettamente legata all'attività delle idrovore regolatrici e agli apporti del Canale LEB che conservano il livello idrico di circa 120 cm nel periodo irriguo (da Aprile a Settembre) e di 25-30 cm in tutti gli altri mesi dell'anno. Il fondo del canale è per lo più fangoso con sovrabbondante vegetazione acquatica;
- canal Nuovo: questo canale scorre per circa 5 km attraversando i comuni di Vicenza, Arcugnano e Longare e sbocca direttamente nel canale Bisatto. Riceve le acque del canale Debba, emissario del lago di Fimon, specchio d'acqua notoriamente popolato da *Procambarus clarkii*;

- scolo Liona: questo corso d'acqua attraversa la Val Liona; nasce in località Spiazzo (Grancona) e riceve le acque dall'omonimo torrente che attraversa diversi comuni dei Colli Berici. Viene impiegato essenzialmente per l'irrigazione e per buona parte del suo percorso si snoda tra terreni di tipo impermeabile, presentando quindi un fondale argilloso-limoso. La qualità biologica dell'acqua di questo scolo presenta discrete caratteristiche in zona collinare e pedecollinare nel suo tratto torrentizio; la parte del corso d'acqua utilizzata a scopi irrigui e sita in area agricola riceve scarichi civili e zootecnici che determinano un peggioramento delle condizioni ecologiche complessive.

Nell'ambito dei tre corsi d'acqua in cui si è deciso di operare, sono stati scelti sei siti dove effettuare le catture di *Procambarus clarkii*:

- sito 1: canale Bisatto (foto 3.1, figura 3.1), ricadente nel comune di Longare;



**Foto 3.1:** sponda di pesca (a sinistra) del sito 1

- sito 2: canal Nuovo (foto 3.2, figura 3.2), rientrante nel comune di Arcugnano;





**Foto 3.2:** sponda di pesca (a sinistra) del sito 2

- sito 2.1: canal Nuovo (foto 3.3, figura 3.2), ricadente in località Pianezze del Lago (Arcugnano);



**Foto 3.3:** sponda di pesca (a destra) del sito 2.1 in corrispondenza della galleria che consente l'attraversamento della dorsale Villabalzana

- sito 2.2: canal Nuovo (foto 3.4, figura 3.2), posto in località Val di Bugano (Longare);



**Foto 3.4:** sponda di pesca del sito 2.2 in corrispondenza dell'uscita del canal Nuovo dalla galleria

- sito 3 (foto 3.5, figura 3.3): scolo Liona, ricadente nel comune di San Germano dei Berici;



**Foto 3.5:** sponda di pesca (a destra) del sito 3

- sito 3.1 (foto 3.6, figura 3.4): torrente Liona, posto nel comune di Grancona.

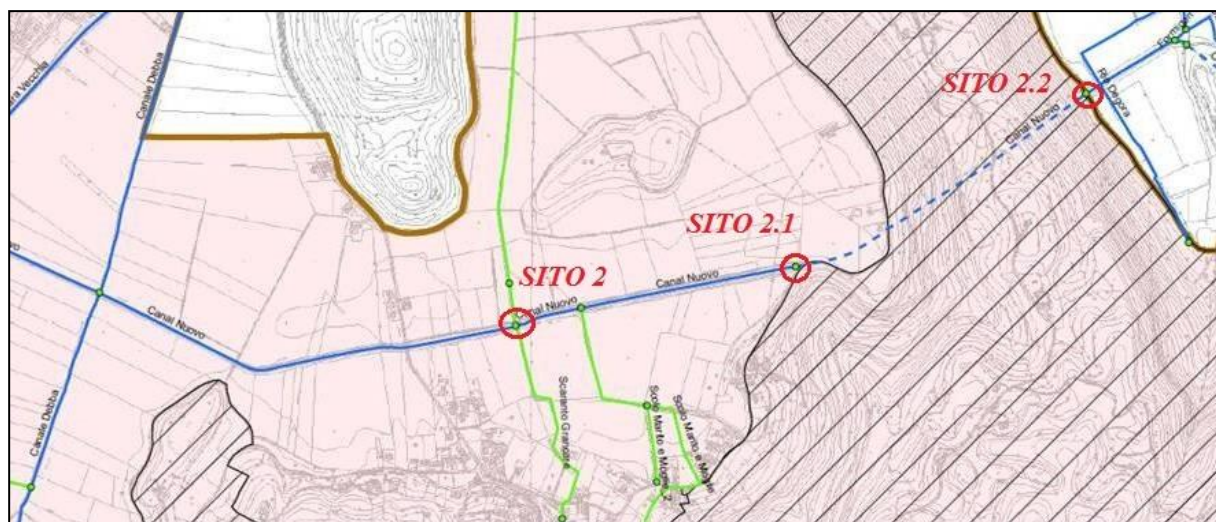


Foto 3.6: sponda di pesca (a destra) del sito 3.1



Figura 3.1: localizzazione del sito 1 sul canale Bisatto (Consorzio APV)

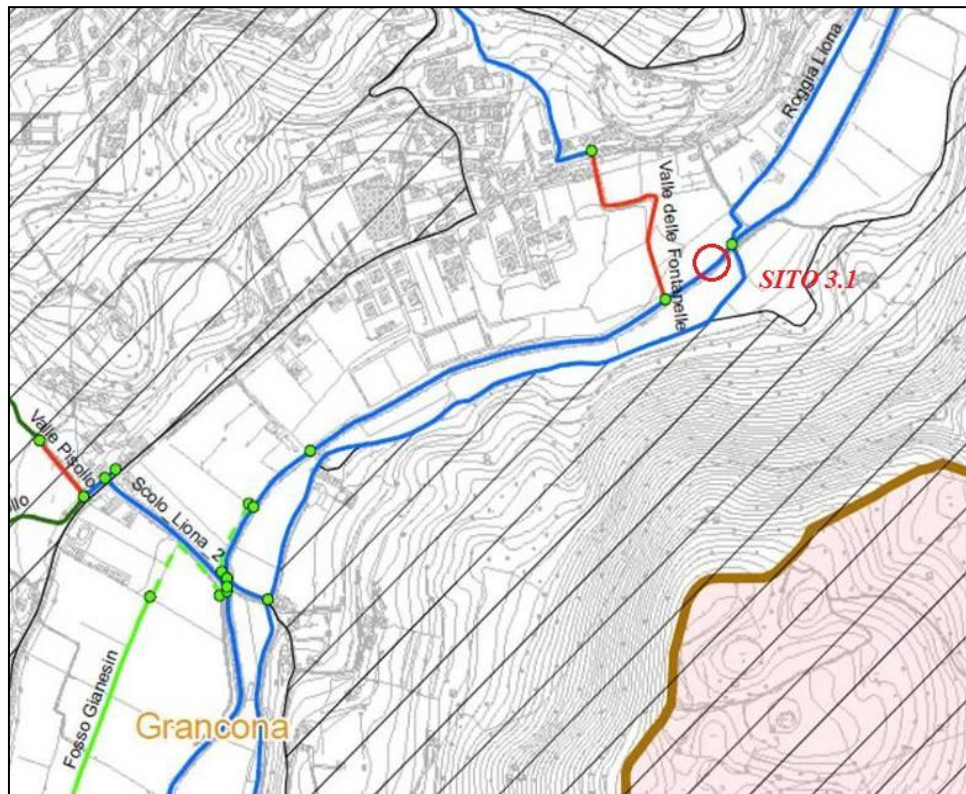




**Figura 3.2:** localizzazione dei siti 2, 2.1 e 2.2 sul canal Nuovo (Consorzio APV)



**Figura 3.3:** localizzazione del sito 3 sullo scolo Liona (Consorzio APV)



**Figura 3.4:** localizzazione del sito 3.1 sul torrente Liona (Consorzio APV)



**Figura 3.5:** localizzazione dei sei siti nel complesso dei Colli Berici (Google Earth)

I siti 1, 2 e 3 sono stati scelti al fine di verificare la presenza del gambero rosso della Louisiana in tre diversi corsi d'acqua del Basso Vicentino ed analizzare le differenze tra diverse popolazioni di questo crostaceo invasivo. I siti 2.1 e 2.2 sono stati fissati all'ingresso e all'uscita della galleria (tratto tratteggiato in figura 3.2) che permette al canal Nuovo di attraversare la dorsale Villabalzana per sbucare successivamente in località Val di Bugano. Questa scelta è stata effettuata per testare eventuali diversità significative tra i gamberi catturati nel sito 2 e quelli presi nelle vicinanze della galleria, luogo non sottoposto ad ordinaria manutenzione e dove si pensa che i gamberi possano trovare rifugio durante i periodi più critici del loro ciclo biologico (riproduzione e muta). Infine, il sito 3.1 è stato scelto sul tratto torrentizio del fiume Lione; questa località era un tempo notoriamente popolata da esemplari di *Austropotamobius pallipes* (Zanotto, 2014) visto l'habitat particolarmente adatto a questa specie autoctona. Le catture in questo sito sono state quindi previste con lo scopo di appurare la presenza del gambero di fiume e verificare la possibilità da parte del *Procambarus clarkii* di colonizzare anche questa tipologia di ambiente.

### **3.2 Metodo di cattura**

Una volta stabiliti i sei siti dove effettuare le catture si è provveduto al posizionamento delle gabbie di cattura (foto 3.7). Per ogni sito sono state utilizzate tre nasse a doppio inganno a forma di imbuto, in rete di nylon, richiudibili ed aventi maglie di 4 mm. La loro forma è a parallelepipedo con sezione quadrangolare e presentano le seguenti dimensioni: 42 x 24,5 x 24,5 cm. Il punto di calata delle nasse è stato georeferenziato, al fine di consentire un corretto monitoraggio nel tempo. Le gabbie venivano legate ad una corda assicurata ad un picchetto di 30 cm e calate facendo in modo che fossero parzialmente sommerse, questo per permettere la sopravvivenza di eventuali specie no-target catturate (anfibi, mammiferi, rettili).





**Foto 3.7:** esempio di nassa impiegata per le catture di *Procambarus clarkii*

In ogni sito le nasse sono state posizionate ad una distanza di 10 metri circa le une dalle altre. Le trappole sono state innescate utilizzando 100 g di mangime umido per gatti e 100 g di fegato di suino. Il mangime veniva introdotto in diffusori costituiti da barattolini in plastica forati (foto 3.8) messi all'interno delle trappole, mentre il fegato è stato inserito nell'apposita tasca porta esca.



**Foto 3.8:** diffusore impiegato per contenere il mangime umido per gatti

Le catture sono state effettuate mensilmente nel periodo intercorrente tra Giugno e Dicembre 2014. Le gabbie venivano calate nel pomeriggio e raccolte 24 ore dopo. Per ogni sito sono state rilevate le seguenti informazioni:

- altitudine e coordinate GPS;
- accessibilità al sito (facile, mediamente facile o difficile) e tipologia di strada di accesso (privata (p), comunale (c) o interpoderale (i));
- larghezza del fondale e distanza tra le sponde;
- esposizione sponda di cattura.

Per ogni trappolaggio è stata poi compilata una scheda, al fine di ottenere i principali parametri di interesse per lo studio, quali:

- ora di calata e raccolta nasse;
- numero di nasse calate e raccolte;
- temperatura atmosferica giornaliera media, massima e minima, fornite dalla stazione meteo ARPAV di Barbarano Vicentino;
- temperatura dell'acqua alla calata e alla raccolta;
- direzione e velocità della corrente superficiale;
- profondità massima del corso d'acqua rilevata al centro del canale;



- torbidità dell'acqua determinata visivamente in una scala da 0 (non torbida) a 2 (molto torbida);
- presenza di vegetazione sulla sponda di cattura ed uso del suolo adiacente al corso d'acqua. Al fine di semplificare i rilievi in campo e la successiva elaborazione dei risultati la gestione del suolo è stata codificata come indicato nella tabella sottostante (tabella 3.1).

Uso del suolo	Codice per il rilievo in campo
Coltivazione agraria	1
Frutteto	2
Vigneto	3
Arboreto	4
Bosco	5
Prato	6
Incolto	7
Centro urbano	8
Zona artigianale o industriale	9

**Tabella 3.1:** valori numerici assegnati all'uso del suolo adiacente ai corsi d'acqua per la caratterizzazione dei siti oggetto di studio

- presenza o assenza di tane visibili di *Procambarus clarkii*;
- totale soggetti pescati, soggetti pescati per nassa e specie no-target catturate;
- eventuali note sull'habitat.

Ad ogni intervento di cattura, tutta l'attrezzatura impiegata (nasse, corde, picchetti, secchi, barattolini e stivali) è stata opportunamente pulita e disinfettata al fine di impedire la diffusione del patogeno *Aphanomyces astaci* ad eventuali individui di gambero autoctono. Tutti gli esemplari catturati sono stati rimossi dall'ambiente e posti divisi per sito in sacchetti opportunamente etichettati, per poi essere congelati alla temperatura di -18°C nella cella frigorifera del Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente.

### **3.3 Misure biometriche**

Al termine delle catture tutti i gamberi sono stati sottoposti al rilievo di diversi parametri morfologici e morfometrici. Per prima cosa si è proceduto al sessaggio degli esemplari, osservando nei maschi la presenza dei 4 cerci addominali o gonopodi (pleopodi modificati del primo e del secondo segmento addominale) e nelle femmine dell'annulo ventrale, posto tra il quinto ed il quarto paio di pereopodi. Negli esemplari di sesso maschile è stata inoltre valutata anche la presenza/assenza dei denti uncinati sul terzo e quarto paio di pereopodi, indicanti il raggiungimento dell'età riproduttiva e lo stato riproduttivo. Per quanto riguarda il rilievo dei parametri morfometrici, questi sono stati effettuati mediante calibro con precisione al millimetro (foto 3.9). Vista la conosciuta 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, malformate ed apparentemente non funzionali (foto 3.10).



**Foto 3.9:** soggetti di *Procambarus clarkii* disposti per la misurazione



**Foto 3.10:** confronto tra chela ricresciuta (a sinistra) e chela normale (a destra)

È stata poi rilevata la lunghezza totale del corpo (foto 3.11), presa dalla punta del rostro all'apice del telson, e la lunghezza del cefalotorace.



**Foto 3.11:** determinazione della lunghezza corporea totale

Per ogni soggetto è stato poi determinato il peso totale ed il peso al netto delle chele mediante bilancia digitale, mentre per il peso dell'epatopancreas, del muscolo della coda e dell'ovario femminile si è utilizzata una bilancia di precisione analitica. Infine è stata segnalata la presenza/assenza e diametro dei gastroliti (foto 3.12), "bottoncini" di carbonato di calcio che si trovano ai lati dello stomaco.



**Foto 3.12:** gastroliti di Ø pari a 8 mm (a sinistra) e 5 mm (a destra)

### **3.4 Analisi statistica**

I dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi della varianza (SAS, 2010). Le differenze tra le medie sono state testate mediante il test di DUNCAN (SAS, 2010).



## 4. RISULTATI E DISCUSSIONE

### 4.1 Caratterizzazione dei siti di cattura

Nella tabella 4.1 sono riportate le caratteristiche stazionali di ciascun sito ritenute costanti nell'arco dell'intero periodo di studio.

		Sito 1	Sito 2	Sito 2.1	Sito 2.2	Sito 3	Sito 3.1
SIC o ZPS		no	no	no	no	no	SIC
Coordinate GPS	Lat. (N)	45.462308	45.483733	45.484917	45.488731	45.376650	45. 420400
	Long. (E)	11.608392	11.561258	11.570497	11.580753	11.483769	11.469453
Altitudine (m s.l.m.)		22	30	30	30	90	105
Accessibilità al sito		med. facile	med. facile	med. facile	med. facile	med. facile	med. facile
Strada di accesso		c	i	i	p	i	i
Direz. corrente (° decl. N)		135	45	45	45	225	225
Larghezza fondale (m)		9.74	6.19	8.00	5.80	6.20	4.06
Distanza tra le sponde (m)		18.62	19.80	24	11.90	11.60	10.00
Esp. sponda di cattura (° decl. N)		45	135	135	90	315	135
Inerbimento sponda		si	si	si	si	si	si
Uso del suolo adiacente		1; 3; 6	1; 6	1; 7	1; 3; 5	1; 6; 7	1; 5; 6

**Tabella 4.1:** alcune caratteristiche stazionali dei sei siti oggetto di studio

Dei sei siti dove sono state effettuate le catture, soltanto il 3.1 rientra nel SIC Colli Berici IT3220037, mentre tutti gli altri distano comunque da 1 a 4 km in linea d'aria

dal suddetto Sito di Importanza Comunitaria. In base ai dati riportati in Scheda Natura 2000 sono presenti i seguenti habitat inseriti negli Allegati I e II della direttiva 92/43/CEE, potenzialmente minacciati da *Procambarus clarkii*:

- 3150: laghi eutrofici naturali con vegetazione del Magnopotamion o Hydrocharition;
- 3260: corsi d'acqua planiziali-montani con vegetazione di Ranunculion fluitantis e Callitriche Batrachion.

Le specie potenzialmente minacciate da questo crostaceo inquadrato in questo SIC sono:

- piante rare e/o iscritte al libro rosso nazionale tra cui: *Hottonia palustris* (violetta d'acqua), *Ludwigia palustris* (idrofito radicante), *Sagittaria sagittifolia* (erba saetta), *Salvinia natans* (erba pesce), *Senecio paludosus* subsp. *angustifolius* (senecione palustre), *Trapa natans* (castagna d'acqua), *Urticularia australis* (erba vescica delle risaie);
- anfibi, pesci ed invertebrati inseriti nell'Allegato II della Direttiva Habitat, quali: *Rana latastei* (rana di Lataste), *Bombina variegata* (ululone dal ventre giallo), *Cobitis taenia* (cobite fluviale), *Triturus cristatus* (tritone crestato italiano) e *Austropotamobius pallipes* (gambero di fiume).

Viste la notevole capacità migratoria, la possibilità di spostarsi per lunghe distanze anche fuori dall'acqua di *P. clarkii* e le brevi distanze tra i siti di cattura e le aree sottoposte a tutela, è opportuno ipotizzare una facile colonizzazione delle zone umide protette da parte del crostaceo alloctono, come già accaduto per il Lago di Fimon. Da indicazioni del Servizio Pesca della Provincia di Vicenza tale lago è infatti



altamente popolato dal gambero rosso della Louisiana; risulta quindi opportuno specificare che tutti i siti sono collegati direttamente (siti 2, 2.1, 2.2) o indirettamente (siti 1, 3, 3.1) al suddetto bacino e non distano più di 10 km in linea d'aria da esso. Tra loro i punti di campionamento distano da un minimo di 1 km (tra sito 2 e 2.1) ad un massimo di 14 km (tra sito 1 e 3) in linea d'aria. Il 100 % dei siti risulta avere un'accessibilità mediamente facile, affacciandosi su strade comunali ed interpoderali, ad eccezione del sito 2.2 accessibile solo mediante strada privata previa autorizzazione del proprietario. Osservando la larghezza del fondale e la distanza tra le sponde si può notare una certa somiglianza in termini di grandezza tra il canal Nuovo e lo scolo Liona, mentre appare di dimensioni decisamente più elevate il canale Bisatto. Le sponde dei corsi d'acqua oggetto di studio sono risultate inerbite per tutto l'arco temporale delle catture e soggette ad ordinario sfalcio periodico. La coltivazione agraria è l'uso del suolo che domina il paesaggio in tutte le aree, con coltivazioni prevalenti di mais, soia e sorgo. I vigneti sono presenti nei siti 1 e 2.2, mentre formazioni di ostrio-querceto sono state riscontrate nelle immediate vicinanze dei siti 2.2 e 3.1. Nei siti 1, 2, 3 e 3.1 si è osservata la presenza di prati avvicendati di erba medica mentre nelle zone 2.1 e 3 si alternano alle colture agrarie aree di terreno incolto dominate prevalentemente da erbacee infestanti. Risulta opportuno dichiarare che in tutte le aree la pesca del gambero rosso viene regolarmente effettuata durante i mesi estivi a scopo alimentare, mediante canna da pesca con lenza dotata di ancoretta a cui viene innescato del fegato o altri scarti di macelleria. In tabella 4.2 sono invece presentati i dati variabili rilevati nei giorni dei prelievi per ogni sito, che mettono in evidenza le principali differenze tra i corsi d'acqua presi in esame.

	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.
<b>Sito 1</b>							
Data	17/06/14	16/07/14	18/08/14	18/09/14	21/10/14	24/11/14	16/12/14
Temp. atm. giornaliera MIN-MAX(°C)	15.6-26.1	17.7-32.2	12.9-27.3	12.7-23.4	16.9-22.3	2.5-10.9	8.3-10.1
Temp. acqua alla calata (°C)	17.7	21.6	19.1	18.2	17.5	11.0	12.0
Temp. acqua alla levata (°C)	17.7	22.2	20.0	18.7	16.0	11.0	11.6
Vel. corrente superf. (m sec <sup>-1</sup> )	0.29	0.34	0.29	0.50	0.34	0.22	0.23
Profondità massima (cm)	73	94	96	120	47	58	98
Torbidità acqua	1	2	2	2	1	1	1
<b>Sito 2</b>							
Data	18/06/14	18/07/14	19/08/14	17/09/14	20/10/14	25/11/14	17/12/14
Temp. atm. giornaliera MIN-MAX(°C)	12.1-26.5	17.8-32.7	14.3-21.3	13.9-24.5	16.9-21.7	3.9-12.0	7.2-13.3
Temp. acqua alla calata (°C)	21.9	25.9	22.6	19.5	19.8	12.5	12.4
Temp. acqua alla levata (°C)	21.7	26.1	20.0	18.6	19.5	12.3	13.0
Vel. corrente superf. (m sec <sup>-1</sup> )	0.08	0.12	0.10	0.14	0.32	0.20	0.38
Profondità massima (cm)	82	90	96	95	70	43	72
Torbidità acqua	2	2	2	2	1	1	2
<b>Sito 2.1</b>							
Data	18/06/14	17/07/14	19/08/14	17/09/14	20/10/14	25/11/14	17/12/14
Temp. atm. giornaliera MIN-MAX(°C)	12.1-26.5	19.6-32.2	14.3-21.3	13.9-24.5	16.9-21.7	3.9-12.0	7.2-13.5
Temp. acqua alla calata (°C)	21.2	24.3	22.6	19.3	19.4	12.3	12.2
Temp. acqua alla levata (°C)	21.9	25.9	20.0	18.7	19.8	12.2	12.6
Vel. corrente superf. (m sec <sup>-1</sup> )	0.09	0.12	0.10	0.13	0.30	0.20	0.29
Profondità massima (cm)	92	95	99	101	60	32	66
Torbidità acqua	2	2	2	2	2	1	2

**Tabella 4.2:** parametri rilevati mensilmente nei siti di cattura (prima parte)

	GIU.	LUG.	AGO.	SETT.	OTT.	NOV.	DIC.
<b>Sito 2.2</b>							
Data	18/06/14	17/07/14	19/08/14	17/09/14	20/10/14	25/11/14	17/12/14
Temp. atm. giornaliera MIN-MAX(°C)	12.1-26.5	19.6-32.3	14.3-21.3	13.9-24.5	16.9-21.7	3.9-12.0	7.2-13.5
Temp. acqua alla calata (°C)	20.4	22.9	20.5	21.0	18.8	12.5	12.5
Temp. acqua alla levata (°C)	20.8	22.1	19.9	18.3	18.9	11.5	12.0
Vel. corrente superf. (m sec <sup>-1</sup> )	0.03	0.05	0.07	0.06	0.09	0.13	0.19
Profondità massima (cm)	130	130	130	130	90	38	62
Torbidità acqua	2	2	2	2	2	1	2
<b>Sito 3</b>							
Data	17/06/14	16/07/14	18/08/14	18/09/14	21/10/14	24/11/14	16/12/14
Temp. atm. giornaliera MIN-MAX(°C)	15.6-26.1	17.7-32.2	12.9-27.3	12.7-23.4	16.9-22.3	2.5-10.9	8.3-10.1
Temp. acqua alla calata (°C)	23.4	24.2	20.9	18.1	18.1	12.0	12.0
Temp. acqua alla levata (°C)	23.7	23.6	20.9	21.3	17.4	11.0	11.3
Vel. corrente superf. (m sec <sup>-1</sup> )	0.02	0.06	0.06	0.10	0.19	0.15	0.03
Profondità massima (cm)	99	56	63	73	20	33	62
Torbidità acqua	2	2	2	2	0	0	0
<b>Sito 3.1</b>							
Data	17/06/14	16/07/14	18/08/14	18/09/14	21/10/14	24/11/14	16/12/14
Temp. atm. giornaliera MIN-MAX (°C)	15.6-26.1	17.7-32.2	12.9-27.3	12.7-23.4	16.9-22.3	2.5-10.9	8.3-10.1
Temp. acqua alla calata (°C)	17.9	23.0	21.1	17.6	17.0	12.0	11.0
Temp. acqua alla levata (°C)	17.7	23.1	18.8	19.3	15.8	11.0	10.5
Vel. corrente superf. (m sec <sup>-1</sup> )	0.13	0.14	0.14	0.19	0.25	0.23	0.63
Profondità massima (cm)	29	45	52	75	40	56	55
Torbidità acqua	0	0	0	0	0	0	0

**Tabella 4.2:** parametri rilevati mensilmente nei siti di cattura (seconda parte)

Va segnalato che in tutti i siti dove sono state effettuate le catture sono state riscontrate tane visibili di *P. clarkii*, come ulteriore conferma della presenza di questo crostaceo alloctono nei corsi d'acqua presi in esame. Nel corso delle catture sono state pescate alcune specie no-target, quali avannotti di *Rhodeus sericeus*, *Alburnus alburnus*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Ictalurus melas*, *Lepomis gibbosus*. Tutti i pesci pescati sono risultati vitali, attivi e non interagenti con i gamberi catturati al momento della raccolta della nasse. Sono stati inoltre avvistati alcuni predatori del gambero rosso

della Louisiana; l'airone cinerino (*Ardea cinerea*) è stato riscontrato in alcuni siti di studio (sito 2.1 e 3), talvolta alla ricerca di predare i gamberi intrappolati nelle nasse. *Egretta garzetta* (garzetta) e *Fulica atra* (folaga), predatori più occasionali di *Procambarus clarkii*, sono stati osservati più sporadicamente in tutte le aree interessate. Nel sito 3 sono inoltre stati identificati esemplari maturi di taglia elevata di *Micropterus salmoides*.

## 4.2 Entità delle catture e rapporto tra i sessi nel periodo di studio

In tabella 4.3 viene riportata la densità dei soggetti per metro lineare; per il calcolo si è fatto riferimento ad una lunghezza di 30 m (20 + 5 + 5).

	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.	TOT.
<b>Sito 1</b>	0.17	0.17	0.20	0.07	0.07	0.07	0.03	<b>0.77</b>
<b>Sito 2</b>	0.17	0.43	0.17	0.27	0.27	0.40	0.17	<b>1.87</b>
<b>Sito 3</b>	0.23	0.43	0.23	0.40	0.27	0.03	0.07	<b>1.67</b>
<b>Sito 2.1</b>	0.17	0.17	0.13	0.10	0.23	0.20	0.13	<b>1.13</b>
<b>Sito 2.2</b>	0.23	0.40	0.33	0.27	0.10	0.37	0.27	<b>1.97</b>
<b>Sito 3.1</b>	0	0.07	0	0	0	0	0	<b>0.01</b>

**Tabella 4.3:** densità degli individui catturati espressa per metro lineare (n/30 m)

Prendendo in esame i tre siti rappresentanti i tre diversi corsi d'acqua messi a confronto (sito 1, 2 e 3) possiamo notare come il numero totale di esemplari catturati (tabella 4.3 e 4.4) sia piuttosto simile tra i siti 2 e 3, mentre nel sito 1 risulta nettamente inferiore. Complessivamente sono stati pescati 226 soggetti di

*Procambarus clarkii*. Il numero di soggetti catturati mensilmente ha dimostrato un andamento poco costante, probabilmente a causa della variabilità delle condizioni ambientali e fisiologiche degli animali; vanno fatte quindi alcune considerazioni sull'entità delle catture ed i possibili fattori coinvolti. Considerando i siti 1, 2 e 3 si può notare come la variazione della velocità della corrente superficiale nel tempo presenti un andamento piuttosto simile tra i tre corsi d'acqua con valori massimi in Settembre per il sito 1 ( $0.5 \text{ m sec}^{-1}$ ) ed in Ottobre per i siti 2 e 3 (rispettivamente  $0.32$  e  $0.19 \text{ m sec}^{-1}$ ). Questo parametro risulta particolarmente importante nella regolazione della distribuzione di *P. clarkii*, infatti numerosi studi dimostrano effetti negativi sulle popolazioni di questo crostaceo in presenza di portate variabili (Baltz e Moyle, 1993; Brown e Moyle, 1997; Parkyn e Collier, 2004) e di elevati deflussi (Gamradt e Kats, 1996; Robinson et al., 2000). In uno studio effettuato su popolazioni di *Procambarus clarkii* nell'areale del Delta del Po è stata evidenziata una relazione negativa con valori di velocità della corrente raramente superiori a  $0.15 \text{ m sec}^{-1}$  che, seppur non elevati, andrebbero a causare un disturbo al suddetto crostaceo alloctono mediante la riduzione della disponibilità di cibo che un maggiore deflusso può determinare andando a ridurre la sedimentazione di detrito di origine fitoplanctonica (Rossi et al., 2006). Nell'ambito dei corsi d'acqua presi in esame le modeste variazioni di velocità della corrente superficiale misurate non hanno dimostrato alterare la numerosità dei soggetti catturati. Altro parametro influenzante il comportamento del gambero rosso della Louisiana è la profondità del corso d'acqua; diversi autori (Wizen et al., 2008; De Luise, 2010) indicano che tale specie predilige le zone dove le acque sono molto lente ed il livello dell'acqua è soggetto a discrete fluttuazioni: quando quest'ultimo raggiunge valori minimi i gamberi manifestano comportamento fossorio. Lo scolo Liona (sito 3) è il corso d'acqua che in Ottobre ha raggiunto la profondità minore, pari a 20 cm; congiuntamente alla forte riduzione del livello idrico è stata inoltre riscontrata una notevole riduzione della torbidità dell'acqua da molto torbida a limpida. È plausibile sostenere che il calo di catture osservato nei mesi di Novembre e Dicembre in quest'area sia dovuto alla combinazione di questi

eventi, che ha portato i *Procambarus clarkii* a rifugiarsi nelle tane in quanto più esposti alla predazione da parte di uccelli ittiofagi (soprattutto *Ardea cinerea*) e come strategia per sopravvivere sfruttando l'umidità del terreno (Huner e Barr, 1984). Nei siti 1 e 2 non sono state osservate relazioni tra il numero di soggetti pescati e la profondità del corso d'acqua, che si è mantenuta leggermente al di sopra dei valori medi riscontrati in bibliografia per quanto riguarda il canale Bisatto (Provincia di Vicenza, 2010). In queste due zone la torbidità si è mantenuta elevata per l'intero periodo di osservazione, calando leggermente solo nei mesi autunnali in corrispondenza dei livelli idrici più bassi. Studi effettuati sul campo evidenziano infatti come l'aumento della torbidità sia positivamente correlato con l'attività scavatoria del gambero rosso della Louisiana (De Luise, 2010). Esperimenti di laboratorio hanno inoltre dimostrato che i maschi di *Procambarus clarkii* (Dunham e Oh, 1992) e le femmine (Dunham e Oh, 1996) utilizzano stimoli chimici sia per identificare il sesso del potenziale compagno, sia per valutarne la qualità in termini di dimensioni corporee (Aquiloni e Gherardi, 2008a). Mentre i maschi contano solo sugli stimoli chimici, il riconoscimento del sesso da parte delle femmine richiede stimoli sia visivi che chimici emessi dal possibile compagno. Sembra possibile quindi che siano i maschi a ricercare attivamente le compagne, in quanto le sostanze chimiche possono essere percepite a distanze più lunghe ed in acque torbide. Le condizioni di torbidità potrebbero quindi influenzare in *P. clarkii* il comportamento dei due sessi durante il periodo riproduttivo. In tutti e tre i siti, la temperatura media dell'acqua rivela un andamento identico, con valori massimi a Luglio e minimi a Novembre, rientranti nel range di 10-35°C in cui il gambero rosso può vivere (Paglianti e Gherardi, 2005). Le catture più abbondanti sono state registrate tra Giugno e Settembre, con temperature dell'acqua medie oscillanti tra 18-22° C nel sito 1, 20-26°C nel sito 2 e 20-24°C nel sito 3. Le catture sono calate in modo proporzionale al calo di temperatura stagionale in ogni sito, ad eccezione del sito 2 dove in corrispondenza della temperatura minima registrata pari a 12.4°C a Novembre, sono stati catturati 12 soggetti. Confrontando la numerosità dei soggetti catturati nei siti 2, 2.1 e 2.2 posizionati sul canal Nuovo, si denota come le

catture siano molto simili tra il sito 2 e quello relativo all'uscita della galleria che permette l'attraversamento della dorsale Villabalzana, mentre un numero inferiore di animali è stato catturato nel sito corrispondente all'entrata della galleria. Questa differenza può essere giustificata dall'elevata presenza di *Ardea cinerea* e *Egretta garzetta* osservata in quell'area; numerosi feci di airone cinerino e diversi resti di gambero rosso sono stati ritrovati sulla sponda del suddetto sito in tutti i mesi e con frequenza nettamente maggiore agli altri siti posti sullo stesso canale. La preferenza alimentare di questi predatori verso gamberi di taglia medio-piccola (Poulin et al., 2007) spiegherebbe l'abbondanza di stadi giovanili pescati nel mese di Novembre nel sito 2 e 2.2, mai rinvenuti nel sito 2.1 dove sono stati pescati solo soggetti adulti. Nel punto di cattura posizionato sul torrente Liona (sito 3.1), sono stati pescati soltanto due soggetti adulti di *Procambarus clarkii* nel mese di Luglio, caratterizzato dalle massime temperature dell'acqua registrate. La velocità della corrente superficiale mediamente più elevata degli altri siti, con punte fino a  $0.63 \text{ m sec}^{-1}$  e le numerose opere di sbarramento presenti tra quest'area ed il sito 3, potrebbero essere delle motivazioni sull'assenza del gambero rosso in quest'area. Inoltre, il letto del torrente e le sponde presentano un sedimento principalmente ghiaioso; a tal proposito numerosi studi (Hobbs e Whiteman, 1991) hanno messo in evidenza che questa specie è incapace di realizzare tane stabili in terreni dove il sedimento è formato da particelle di diametro superiore di quelle della sabbia (2 mm) ed in cui non vi sia disponibile dell'acqua libera (Gherardi et al., 2002). Tuttavia, le tane di *P. clarkii* osservate nei tratti di sponda in terra fanno ipotizzare che in una stagione estiva più favorevole, con minore piovosità e temperature più elevate, questo crostaceo possa instaurarsi stabilmente anche in quest'habitat. Le barriere fisiche, infatti, sono state dimostrate soluzioni spesso inefficaci per il controllo delle gambero rosso della Louisiana. La costruzione di una barriera nel fiume Buaa al confine tra la Svezia e la Norvegia non è riuscita ad impedire lo spostamento dell'alloctono *P. leniusculus* nella parte norvegese del corso d'acqua (Johnsen et al., 2008). In questo sito, rientrante nel SIC "Colli Berici", non è stato catturato nessun esemplare di *Austropotamobius pallipes*,

sebbene un tempo popolasse le acque di questo torrente. L'arrivo anche di pochi esemplari portatori di *Aphanomyces astaci* in quest'area potrebbe aver causato un decremento della popolazione del gambero autoctono, specie inserita nell'allegato II della direttiva 92/43/CEE. I dati di cattura rivelano quindi una densità totale (tabella 4.3) di soggetti nei siti 1, 2 e 3 pari rispettivamente a 0.77, 1.87 e 1.67 individui per metro lineare; osservando inoltre la densità totale dei siti posti all'entrata e all'uscita della galleria del canal Nuovo, appare evidente come questo corso d'acqua presenti in assoluto le densità più elevate del gambero rosso. Questo dato conferma le aspettative di pescare più soggetti in questo corso d'acqua in quanto direttamente collegato con il Lago di Fimon, specchio d'acqua notoriamente invaso da *Procambarus clarkii*. Si tratta comunque di valori alquanto bassi se paragonati con quelli rilevati nella zona umida Righetti-La Monaca in Toscana pari a 14 individui/m<sup>2</sup> (Scalici e Gherardi, 2007), o con i dati rilevati nel Consorzio di Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia dove la densità di *P. clarkii* ha raggiunto valori di 20 individui/m<sup>2</sup> (Sala, 2000). Risultano invece somiglianti i valori di densità determinati in due canali consortili della Bassa Padovana, presentanti valori oscillanti tra 0.6 e 1.7 individui per metro lineare (Pietrobon, 2012).

	TOTALE CATTURE	RAPPORTO MASCHI:FEMMINE
<b>Sito 1</b>	23	12:11
<b>Sito 2</b>	56	39:17
<b>Sito 3</b>	50	29:21
<b>Sito 2.1</b>	34	21:13
<b>Sito 2.2</b>	61	33:28
<b>Sito 3.1</b>	2	1:1

**Tabella 4.4:** numero totale di esemplari catturati e rapporto maschi:femmine nel corso del periodo di monitoraggio



In tabella 4.4 sono presentati il numero totale di soggetti catturati ed il relativo rapporto maschi:femmine riscontrati nel periodo oggetto di studio nei diversi siti. I dati denotano in tutti i siti una maggioranza di soggetti di sesso maschile nei mesi estivi, mentre il rapporto tende ad essere eguale se non a favore delle femmine nei mesi compresi tra Ottobre e Dicembre. Uno studio condotto nel periodo compreso tra Settembre e Dicembre in un parco lombardo attraversato dal fiume Ticino ha evidenziato un rapporto maschi:femmine pari a 3:1 e 6:1 a seconda della zona (Savini et al., 2007). Un altro lavoro realizzato da Scalici et al. (2010) nel centro Italia ed effettuato in un arco stagionale e temporale simile a quello considerato in questa tesi, ha osservato un rapporto tra i sessi nell'insieme uguale a 1:1, con dominanza delle femmine in alcuni periodi. Indicazioni bibliografiche riguardo questa tematica mettono in risalto come questa specie presenti un rapporto estremamente variabile a seconda dell'ubicazione geografica delle popolazioni ed alla stagione (Anastácio e Marques, 1997; Fidalgo et al., 2001; Scalici e Gherardi, 2007; Ligas, 2008; Scalici et al., 2010). La variabilità del sex ratio nelle popolazioni oggetto di studio potrebbe rispecchiare lo stato fisiologico e comportamentale di *Procambarus clarkii* nel lasso temporale considerato; nelle nostre condizioni ambientali, infatti, il periodo estivo coincide con la fase riproduttiva di questo crostaceo, momento in cui le femmine assumono comportamento fossorio ed estremamente elusivo rifugiandosi nelle tane con le uova e successivamente con la prole attaccata al loro corpo (Aquiloni e Gherardi, 2010). L'aumento del numero di femmine nei mesi autunnali coinciderebbe quindi ad un stato post-riproduttivo dei soggetti adulti di sesso femminile che escono dalle tane alla ricerca di cibo e ad individui di stadi giovanili appartenenti alla nuova generazione. In seguito all'allontanamento dalla madre, i giovani di *Procambarus*, eseguono ripetute mute e per non meno di due settimane si nutrono voracemente, assumendo nel frattempo le sembianze di un individuo adulto (Huner e Barr, 1991, in Ackefors, 1999); le giovani femmine non riproduttive sembrano quindi avere un comportamento decisamente meno schivo di quelle in fase riproduttiva.

### 4.3 Caratteristiche morfometriche dei gamberi nel periodo oggetto di studio

Nella tabella sottostante (tabella 4.5) vengono riportate le caratteristiche morfometriche generali dei soggetti catturati complessivamente nei tre corsi d'acqua nell'intero periodo di monitoraggio.

	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.
<b>Peso totale (g)</b>	30.5 <sup>ab</sup>	33.7 <sup>a</sup>	28.6 <sup>ab</sup>	26.0 <sup>ab</sup>	28.8 <sup>ab</sup>	26.4 <sup>ab</sup>	22.4 <sup>b</sup>
<b>Lunghezza totale (mm)</b>	95.5 <sup>ab</sup>	97.3 <sup>a</sup>	95.2 <sup>ab</sup>	92.6 <sup>ab</sup>	95.6 <sup>ab</sup>	96.1 <sup>ab</sup>	83.6 <sup>b</sup>
<b>Lunghezza cefalotorace (mm)</b>	46.1 <sup>ab</sup>	46.6 <sup>ab</sup>	48.2 <sup>ab</sup>	48.0 <sup>ab</sup>	49.2 <sup>a</sup>	48.4 <sup>ab</sup>	42.0 <sup>b</sup>
<b>Peso muscolo (g)</b>	3.71	4.59	3.84	3.68	3.84	4.00	3.19

**Tabella 4.5:** caratteristiche morfometriche generali dei soggetti catturati nei tre corsi d'acqua (sito 1, sito 2, sito 3). <sup>a, b</sup>: P<0.05 <sup>A, B</sup>: P<0.01

Osservando le caratteristiche morfometriche medie di tutti i gamberi catturati nei siti 1, 2 e 3, possiamo notare come l'epoca di prelievo evidenzia caratteri variabili. Il peso totale ha raggiunto i livelli più elevati nelle catture di Luglio e quelli minimi nel prelievo di Dicembre. La lunghezza totale dei soggetti rivela lo stesso trend raggiungendo valori massimi alla seconda cattura. Questi due dati indicano come durante l'estate i soggetti abbiano tendenzialmente aumentato le loro dimensioni somatiche e come in autunno la maggior presenza di esemplari giovani abbia contribuito ad abbassare i suddetti valori. La lunghezza del cefalotorace si allinea con il trend sopra discusso, anche se presenta valori più elevati nel corso dei mesi tardo estivi-autunnali con punte massime nel mese di Ottobre. Il peso dei soggetti senza chele ed il peso del muscolo non hanno dimostrato differenze significative, sebbene confermino la maggior taglia degli individui nel mese di Luglio.

	<b>M</b>	<b>F</b>	<b>Sito 1</b>	<b>Sito 2</b>	<b>Sito 3</b>
<b>Peso totale (g)</b>	31.0 <sup>a</sup>	25.8 <sup>b</sup>	40.3 <sup>Aa</sup>	28.9 <sup>Bb</sup>	24.0 <sup>Bb</sup>
<b>Peso senza chele (g)</b>	22.5	22.0	30.6 <sup>Aa</sup>	22.0 <sup>Bb</sup>	18.9 <sup>Bb</sup>
<b>Lunghezza totale (mm)</b>	94.9	94.4	108.3 <sup>Aa</sup>	93.0 <sup>Bb</sup>	90.4 <sup>Bb</sup>
<b>Lunghezza cefalotorace (mm)</b>	47.6	46.8	53.8 <sup>Aa</sup>	46.6 <sup>Bb</sup>	45.0 <sup>Bb</sup>
<b>Peso muscolo (g)</b>	3.92	4.01	5.47 <sup>Aa</sup>	3.97 <sup>Bb</sup>	3.24 <sup>Bb</sup>

**Tabella 4.6:** caratteristiche morfometriche generali dei soggetti catturati nei tre corsi d'acqua. <sup>a, b</sup>: P<0.05 <sup>A, B</sup>: P<0.01

Prendendo in esame le caratteristiche di tutti i soggetti maschi e femmine pescati nei siti 1, 2 e 3 (tabella 4.6), essi risultano diversi solo dal punto di vista del peso corporeo; per tutti gli altri parametri non si presentano differenze significative tra i sessi, come indicato in altri studi (Scalici et al., 2010). Lo sviluppo della chela riveste quindi un ruolo fondamentale nella differenziazione morfologica tra individui di sesso opposto. Confrontando i tre siti appare evidente come nel sito 1 siano stati catturati esemplari di *Procambarus clarkii* dalle dimensioni più elevate per tutti i parametri monitorati, mentre il sito 2 e 3 hanno mostrato gamberi dalle dimensioni nettamente inferiori e simili tra i due diversi corsi d'acqua. Il canale Bisatto (sito 1) presenta parametri idrologici profondamente diversi dagli altri due canali, essendo caratterizzato da una maggiore velocità della corrente, portata e profondità e minor temperatura dell'acqua nel periodo di monitoraggio. Questi parametri congiuntamente all'esiguo numero di soggetti in stadio giovanile pescati nel canale sopracitato fanno pensare che sebbene il gambero rosso della Louisiana possa facilmente frequentare e vivere corsi d'acqua perenni di discrete dimensioni (De Luise, 2010), soltanto soggetti adulti e di elevate dimensioni corporee possano vivere facilmente in un habitat con queste caratteristiche. Come indicato in bibliografia (Mazzoni et al., 2004) l'habitat preferenziale di questo crostaceo è costituito da corsi lentic, con temperature dell'acqua elevate e soggetti a fluttuazioni stagionali del

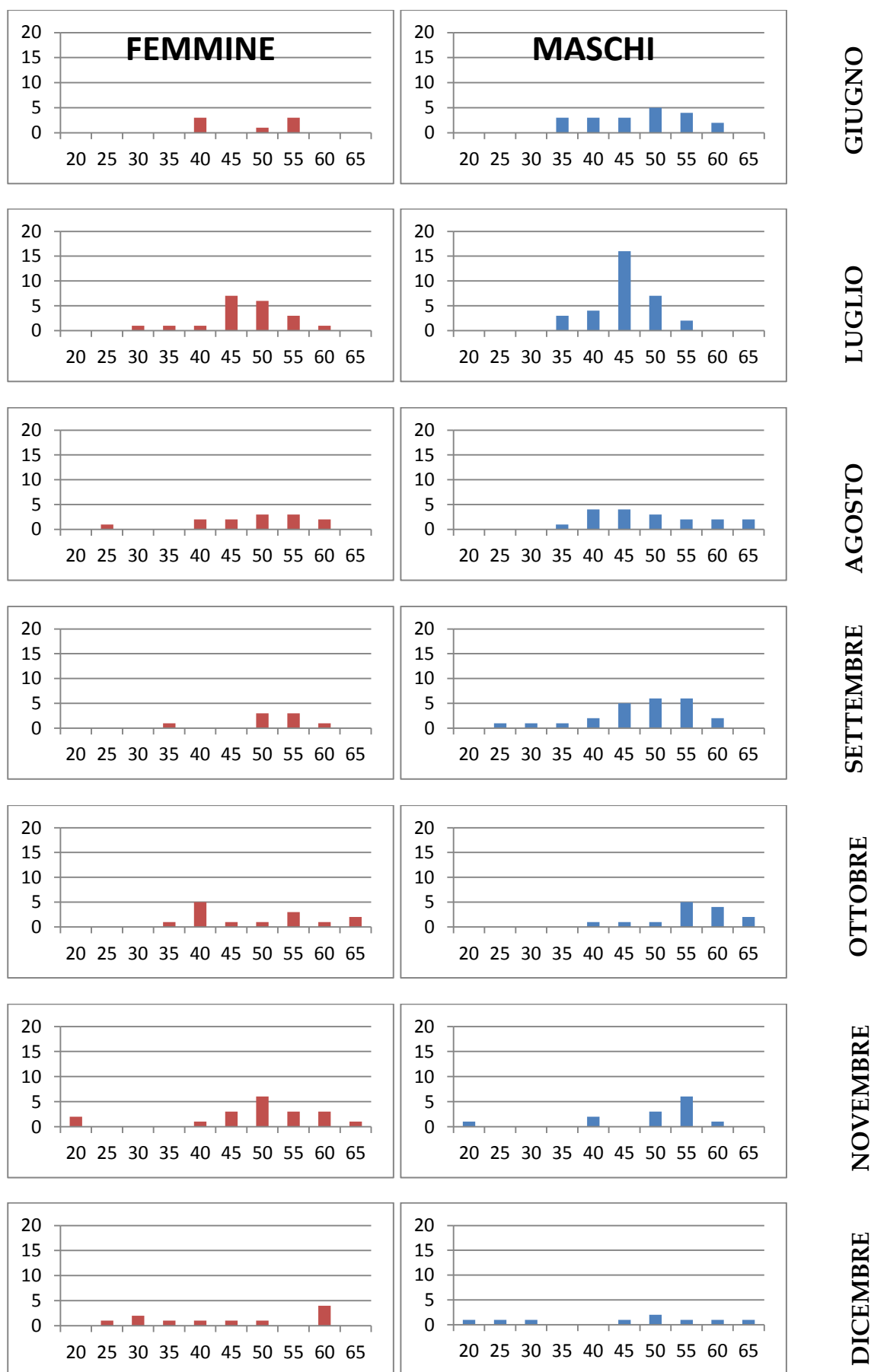
livello dell'acqua; i canali con queste peculiarità sono ideali per le fasi più delicate della sua vita quali muta e riproduzione. Le dimensioni più variabili dei soggetti pescati nel canal Nuovo e nello scolo Liona dimostrano quindi un miglior adattamento di *Procambarus clarkii* in questi corsi d'acqua, dove il successo riproduttivo ed il ricambio generazionale sono evidenziati dalla struttura della popolazione. Confrontando le grandezze medie dei gamberi catturati con i dati di altri lavori di ricerca effettuati in Lazio, Toscana e Lombardia (Savini, 2007; Scalici et al., 2010) possiamo affermare che i risultati di questo studio sono in linea con i valori osservati da altri ricercatori.

	<b>Sito 2</b>	<b>Sito 2.1</b>	<b>Sito 2.2</b>
<b>Peso totale (g)</b>	28.9 <sup>Bb</sup>	39.5 <sup>Aa</sup>	29.1 <sup>Bb</sup>
<b>Lunghezza totale (mm)</b>	93.0 <sup>Bb</sup>	107.0 <sup>Aa</sup>	94.0 <sup>Bb</sup>
<b>Lunghezza cefalotorace (mm)</b>	46.6 <sup>Bb</sup>	54.1 <sup>Aa</sup>	46.9 <sup>Bb</sup>
<b>Peso muscolo (g)</b>	3.97 <sup>Bb</sup>	5.17 <sup>Aa</sup>	4.07 <sup>Bb</sup>

**Tabella 4.7:** caratteristiche morfometriche generali dei soggetti catturati nel canal Nuovo. <sup>a, b</sup>: P<0.05 <sup>A, B</sup>: P<0.01

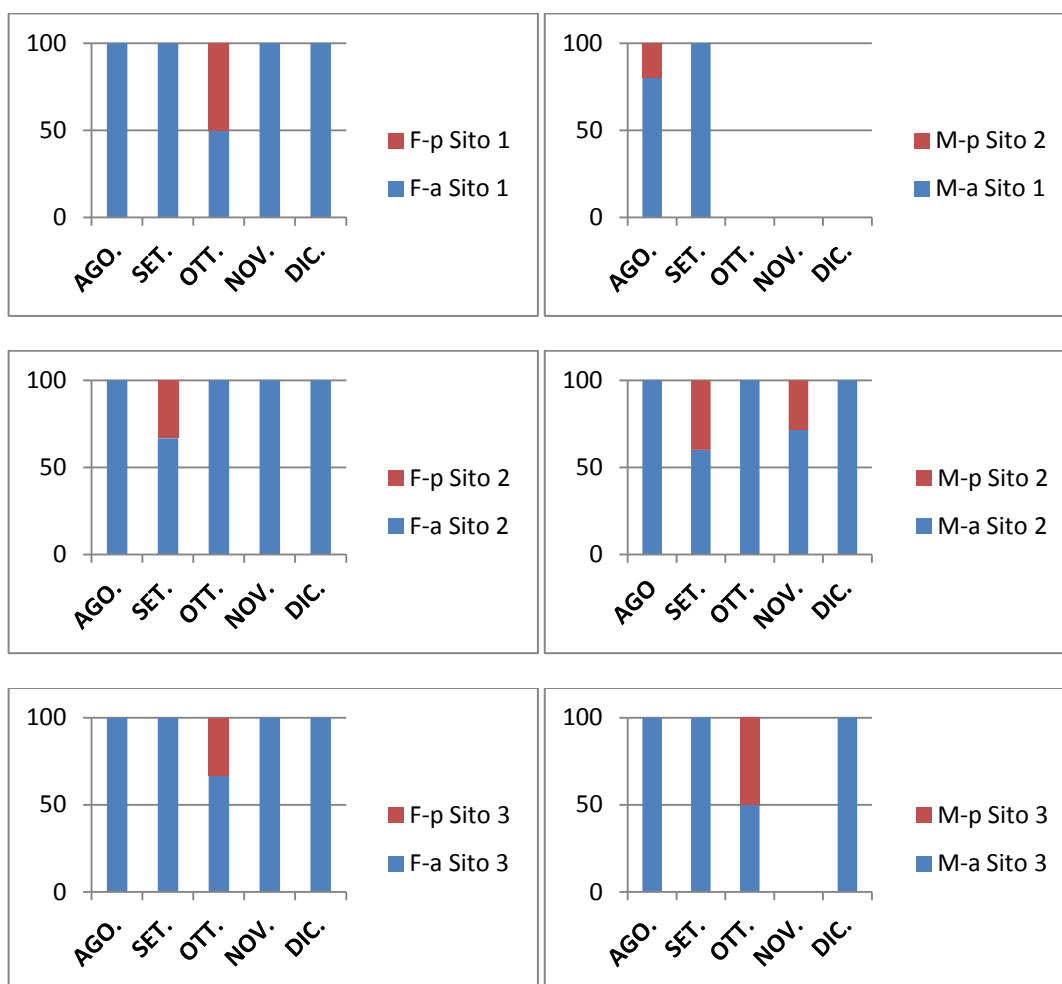
La tabella 4.7 mette a confronto le principali caratteristiche morfometriche dei soggetti catturati nel solo canal Nuovo nel corso di questa prova. È possibile osservare come i gamberi del sito 2.1 mostrino caratteristiche significativamente diverse da quelli degli altri due siti, avendo dimensioni corporee spiccatamente maggiori. L'effetto dell'elevata predazione da parte di uccelli ittiofagi osservata in questo sito potrebbe spiegare il motivo per cui in questa zona sono stati catturati meno soggetti ma di grossa taglia. Gli uccelli 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. Il grafico 4.1 a pagina seguente riporta i dati di lunghezza del cefalotorace suddivisi in classi di frequenza e per sesso nel corso dei sette prelievi effettuati; nell'asse delle ascisse sono riportate le classi di lunghezza del cefalotorace mentre nell'asse delle ordinate la numerosità. Com'è possibile notare, le frequenze per ciascuna classe dimensionale non hanno mantenuto lo stesso andamento nei due sessi durante le diverse catture. La scarsa numerosità dei soggetti pescati esclude la possibilità di analizzare per ogni sito la popolazione di gambero rosso distribuita in classi di età. Quasi tutti i soggetti catturati superano la soglia indicata da Huner (2002) per definire un *Procambarus clarkii* adulto pari a 24 mm per i maschi e 21 mm per le femmine. A differenza di un precedente studio in cui l'assenza di individui di taglia ridotta era stata attribuita alla tipologia della nassa (Scalici et al., 2010; Pailissou et al., 2010) in questa prova sono stati catturati gamberi di dimensioni notevolmente ridotte, corrispondenti alla nuova generazione nata successivamente alla stagione riproduttiva estiva.



**Grafico 4.1:** frequenza delle diverse classi di lunghezza del cefalotorace (mm)

Il fatto di aver catturato i soggetti più giovani nei mesi intercorrenti tra Agosto e Dicembre, confermano le indicazioni di diversi autori (Anastàcio e Marques, 1997; Fidalgo et al., 2001; Scalici e Gherardi, 2007; Scalici et al., 2010) secondo i quali il periodo riproduttivo di questa specie è compreso tra la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno; ciò nonostante sono presenti studi secondo i quali potrebbero esserci anche tre cicli riproduttivi l'anno (Huner, 2002). La cattura di soggetti molto piccoli in questo periodo non può quindi indicare questo lasso temporale come l'unica fase riproduttiva del gambero rosso della Louisiana nei corsi d'acqua presi in esame.

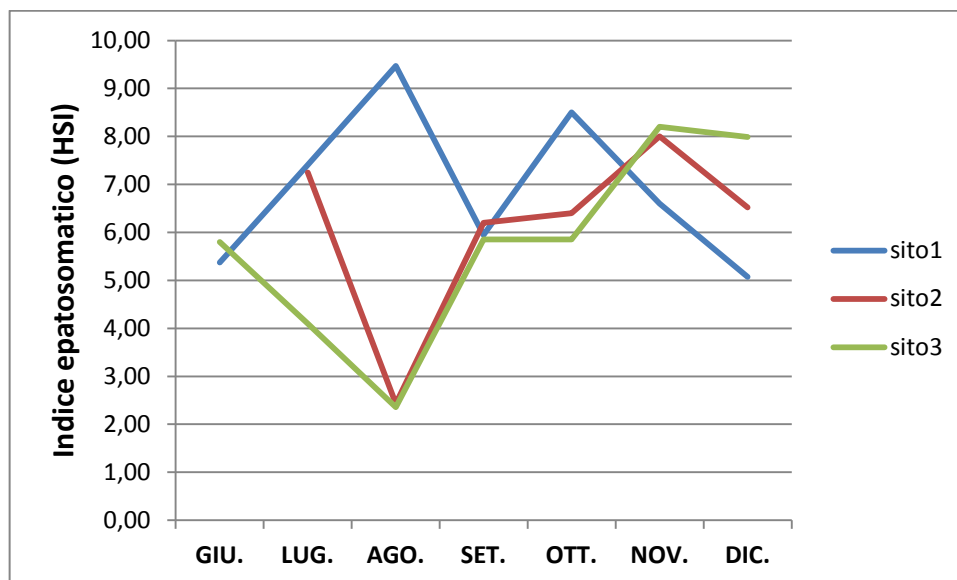


**Grafico 4.2:** percentuale di soggetti maschi e femmine con assenza e presenza di gastroliti nei siti 1, 2 e 3. F-p = femmine con presenza di gastroliti, F-a = femmine con assenza di gastroliti; M-p = maschi con presenza di gastroliti, M-a = maschi con assenza di gastroliti

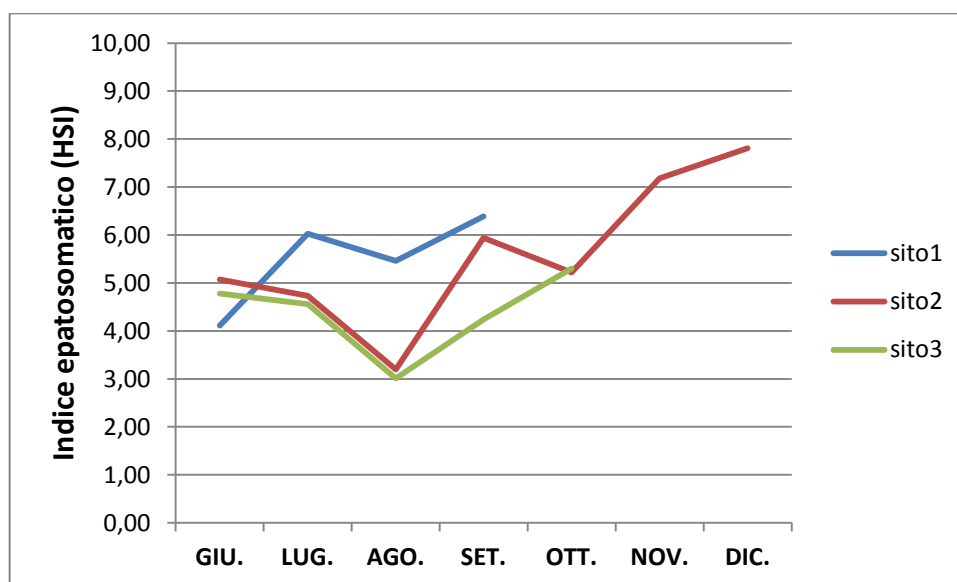
Il grafico 4.2 mette in evidenza la percentuale di soggetti maschi e femmine nei quali è stata rinvenuta la presenza di gastroliti, ricercati a partire dal mese di Agosto. Tali formazioni costituiscono un meccanismo di stoccaggio del carbonato di calcio (Wheatly e Ayers, 1995), che il gambero può utilizzare per la costituzione del nuovo esoscheletro. Si formano e si ingrandiscono durante la pre-ecdisi e vengono disciolti nel periodo post-muta (Garzoli et al., 2009). In condizioni normali, la muta avviene alcune settimane dopo l'accoppiamento, nelle femmine circa tre dopo la schiusa delle uova. La presenza di gastroliti riscontrata nei mesi tardo-estivi ed autunnali potrebbe segnalare quindi il compimento della fase riproduttiva e la preparazione di questo crostaceo alla fase di accrescimento. Abbandonato il vecchio esoscheletro, il gambero si ritrova con uno nuovo, molto tenero e vulnerabile. Questo è uno dei momenti più delicati e critici per *Procambarus clarkii* che, oltre a non alimentarsi, non può fuggire o nuotare rapidamente risultando perciò esposto a qualsiasi predatore (De Luise, 2010). Un'azione di trappolaggio intensivo programmata in questo periodo potrebbe quindi per quanto appena affermato risultare infruttuosa, vista la scarsa mobilità e attività trofica di questo animale. I dati raccolti riferiti ad un breve lasso di tempo non permettono tuttavia di definire con certezza il periodo ed il numero di mute di questo crostaceo nei tre corsi d'acqua esaminati; diversi studi mettono in luce dati contraddittori circa l'epoca ed il numero di mute effettuate da questo crostaceo nell'arco di un anno, che possono variare da una a più a seconda dell'età e delle caratteristiche ambientali. Nei grafici 4.3 e 4.4 viene riportato l'andamento dell'indice epatosomatico rispettivamente nelle femmine e nei maschi. La variazione dell'indice nei siti 2 e 3 presenta in entrambi i sessi un calo nel corso dei mesi estivi con valori minimi medi raggiunti nel mese di Agosto pari a 2.43 e 2.36 per le femmine del sito 2 e 3, e 3.20 e 3.01 per i maschi dei rispettivi siti. Nel sito 1 le variazioni dell'incidenza dell'epatopancreas sul peso corporeo dei soggetti appare poco chiara ed opposta a quella degli altri due corsi d'acqua per quanto riguarda i soggetti femmina. In questo canale il valore medio minimo è stato riscontrato ad Agosto nei maschi pari a 5.46 e a



Settembre nelle femmine pari a 5.95; appare evidente come i soggetti prelevati in questo sito presentino dimensioni nettamente maggiori.



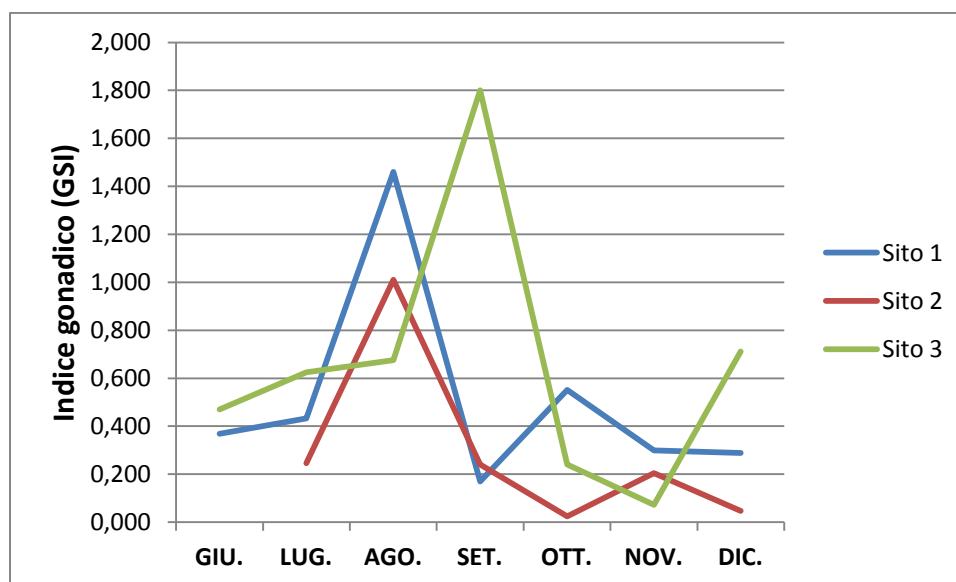
**Grafico 4.3:** indice epatosomatico (HSI) delle femmine nei siti 1, 2 e 3



**Grafico 4.4:** indice epatosomatico (HSI) dei maschi nei siti 1, 2 e 3

I valori di indice epatosomatico riscontrati in questa prova risultano per i siti 1 e 2 leggermente inferiori a quelli riscontrati in uno studio effettuato in un canale

artificiale del Consorzio di Bonifica del Broncolo (GO), dove il valore medio minimo registrato di HSI per le femmine risultava 3.56 (Peruzza et al., 2015). I dati riguardanti l'indice epatosomatico delle femmine del sito 1 sono comunque riferiti ai pochi soggetti pescati di taglia molto elevata, e non possono essere giudicati rappresentativi di un diverso trend della popolazione di *Procambarus clarkii* in questo corso d'acqua. L'analisi statistica non ha infatti rivelato nessuna differenza significativa riguardo la variazione di quest'indice nei tre siti. Ulteriori indagini comprendenti un'analisi del contenuto stomacale dei soggetti catturati potrebbero appurare se i tre canali presentino un'abbondanza di risorse trofiche di diversa natura tale da giustificare il differente sviluppo dell'organo preso in esame nell'arco temporale considerato. Il gambero rosso della Louisiana, adattando infatti la dieta alla disponibilità delle risorse alimentari (De Luise 2010), è in grado di superare le diverse condizioni ambientali che può incontrare durante le sue fasi di dispersione e colonizzazione. Nel grafico sottostante (grafico 4.5) viene mostrata la variazione dell'indice gonadico nel corso del periodo di monitoraggio.



**Grafico 4.5:** andamento dell'indice gonadico nel corso dei prelievi nei siti 1, 2 e 3

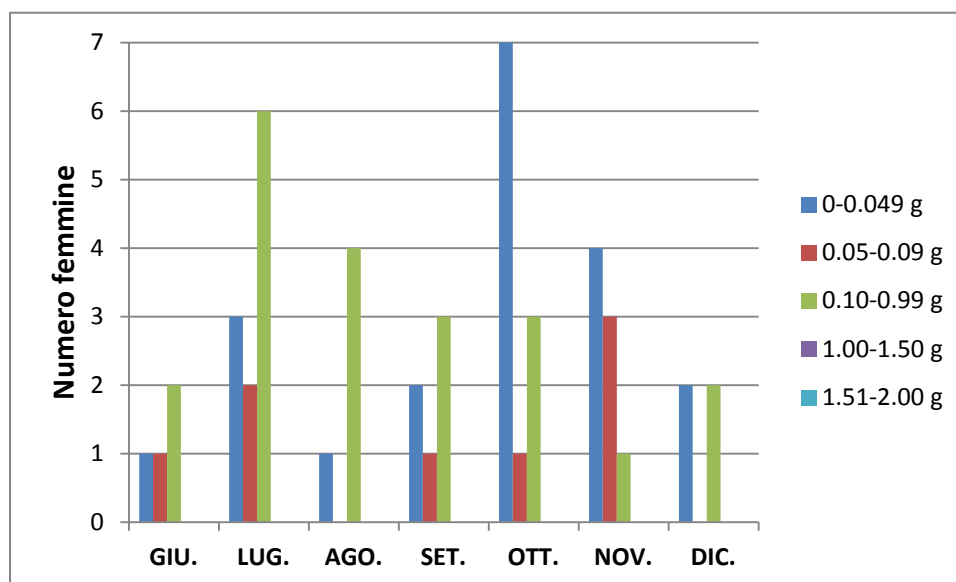
Il valore massimo medio di GSI viene raggiunto in Agosto nei siti 1 e 2, con valori rispettivamente pari a 1.46 e 1.01, mentre nel sito 3 il valore medio più alto risulta a Settembre ed è pari a 1.8. L'analisi della varianza ha rivelato una significatività statistica per  $P < 0.05$  nel sito 1 e per  $P < 0.01$  nel sito 2. I valori massimi medi risultano simili a quelli evidenziati da Peruzza et al. (2015), dove l'indice gonadico ha raggiunto il suo massimo in Agosto con un dato medio pari a 0.64. Le popolazioni monitorate risultano tuttavia avere un GSI basso se paragonate a gruppi di *P. clarkii* studiati in altri habitat dove le massime di quest'indice raggiungevano valori pari a 8 (Alcorlo et al., 2008). L'accrescimento dell'ovario avviene in sette fasi (Alcorlo et al., 2008), dalla nascita all'età adulta. Le fasi sono definite in base al valore dell'indice GSI; la prima fase coincide all'ovario immaturo, la settima fase all'ovario post-ovideposizione ed i valori intermedi identificano i gradi di sviluppo con valori di GSI che spaziano da 0 a 8. Solitamente le femmine in periodo riproduttivo presentano valori di indice gonado-somatico che variano da 2 a 8 (tabella 4.8).

Stadio ovario	Caratteristiche	GSI (%)
1	Ovario immaturo, giovanile	-
2	Ovario che inizia a svilupparsi, femmine immature	<0.12
3	Ovario in sviluppo, femmine immature	0.06-0.3
4	Ovario sviluppato, femmine che stanno entrando nella fase riproduttiva	0.25-0.65
5	Ovario molto sviluppato, femmine molto mature	0.7-4.3
6	Ovario completamente sviluppato, femmine riproduttive	2.3-8
7	Ovario degenerato, femmine post deposizione	-

**Tabella 4.8:** valori di GSI relativi ai diversi stadi di maturazione degli ovari nelle femmine di *Procambarus clarkii* (Alcorlo et al., 2008)

Fatte queste considerazioni è possibile affermare che i valori di indice gonadico massimi medi rilevati possano essere ricondotti a femmine sessualmente mature, ma non ancora rientranti pienamente nella fase riproduttiva.

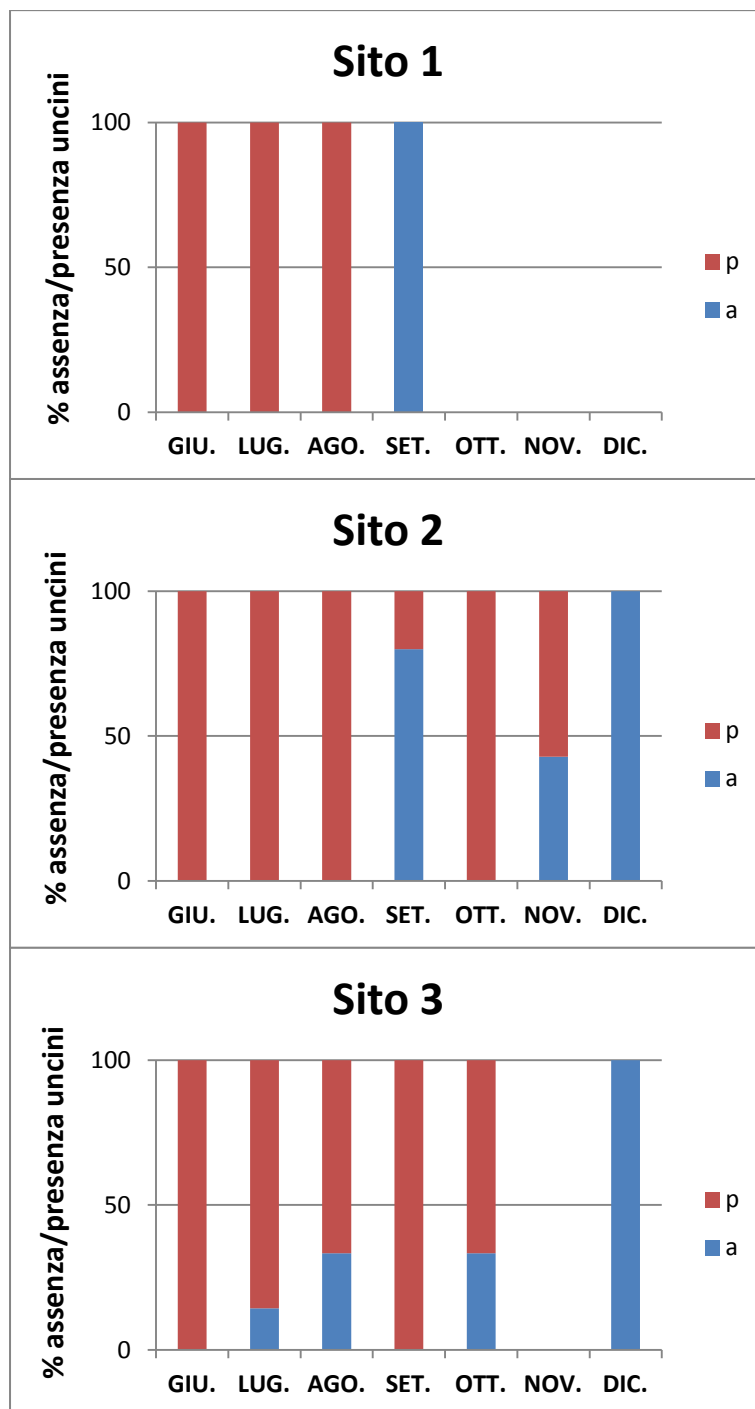
Per valutare la condizione riproduttiva delle femmine catturate nei siti 1, 2 e 3, esse sono state ripartite in classi di peso dell'ovario (grafico 4.6).



**Grafico 4.6:** classi di peso dell'ovario nei siti 1, 2 e 3

Dagli istogrammi si evince che la classe di peso dell'ovario massima raggiunta in tutti e tre i siti sia quella corrispondente a 0.10-0.99 g. Le femmine pescate non hanno dimostrato pesi dell'ovario tali da considerarle riproduttive, congiuntamente ai valori di indice gonadico precedentemente descritti. Altri studi (Almaraz, 2001) riportano infatti pesi dell'ovario nettamente superiori a quelli raggiunti dai soggetti catturati in questi tre canali. Solo nel sito 2.2 posizionato sul canal Nuovo, è stata pescata nel mese di Settembre una femmina ovifera, portante 22 uova adese al ventre del diametro di 2 mm; essa ha presentato un peso dell'ovario pari a 1.65 g, corrispondente considerando il suo peso corporeo ad un GSI pari a 5.67. Il fatto di aver catturato una sola femmina in questo stadio, conferma quanto dichiarato in altri studi (De Luise, 2010; Pietrobon S., 2012) circa la scarsa mobilità ed attività trofica delle femmine in questo stato fisiologico; da quando la femmina depone le uova, infatti, essa tende a rimanere al sicuro nella tana almeno fino alla loro schiusa. Per quanto riguarda la maturità sessuale e lo stato fisiologico dei maschi, esso è stato

valutato tramite la presenza o assenza dei piccoli denti uncinati presenti a livello del terzo e quarto paio di pereopodi. Come emerge dal grafico 4.7 a pagina seguente, nei mesi estivi quali Giugno, Luglio ed Agosto, sono stati catturati nel sito 1 e 2 tutti maschi riproduttivi, mentre nel sito 3 il 14 e 33% dei soggetti pescati rispettivamente nei mesi di Luglio ed Agosto ha mostrato assenza di uncini. Si può notare che spostandosi verso il periodo autunnale - invernale, la percentuale di maschi riproduttivi tende a calare, raggiungendo il minimo a Dicembre dove i maschi pescati nel canal Nuovo (sito 2) e nello scolo Liona (sito 3) sono risultati per il 100% immaturi o comunque non riproduttivi. Questo valore è stato raggiunto anticipatamente nel canale Bisatto, dove gli ultimi maschi sono stati catturati nel mese di Settembre e sono risultati nella totalità non riproduttivi. Il calo dei riproduttori osservato potrebbe essere dovuto essenzialmente a due fattori. Primo tra questi è la presenza da Settembre in poi di esemplari giovani nati dalla fase riproduttiva estiva appena compiuta, la cui maturità sessuale viene raggiunta non prima di 3-5 mesi di vita e ad una lunghezza totale di 55-125 mm (De Luise, 2010). Inoltre, spesso i maschi alcune settimane dopo l'accoppiamento vanno incontro ad una muta, abbandonando la forma F1 sessualmente attiva per tornare alla fase F2 sessualmente inattiva: questo processo provoca un assottigliamento ed accorciamento delle chele, una colorazione meno vivace ed una scomparsa degli uncini (De Luise, 2010).



**Grafico 4.7:** presenza (%) di maschi in stato riproduttivo nei siti 1, 2 e 3.  
a = assenza di uncini, p = presenza di uncini

## 5. CONCLUSIONI

Gli esiti ottenuti in questo studio preliminare confermano la presenza del *Procambarus clarkii* nel Basso Vicentino e mettono in evidenza differenze significative per quanto riguarda il numero di soggetti pescati e le dimensioni somatiche in funzione dei siti e della stagione. Ulteriori indicazioni riguardano l'andamento dell'indice gonadico nel corso della stagione monitorata che, con il supporto di ulteriori parametri investiganti la condizione riproduttiva di maschi e femmine, ha delineato come *Procambarus clarkii* affronti un periodo riproduttivo durante l'estate. Lo studio si è limitato ad una zona di ridotte dimensioni, inserita in un contesto idrografico molto più articolato, perciò i risultati ottenuti costituiscono solo una prima indicazione sulla presenza e caratteristiche delle popolazioni di *Procambarus clarkii* nel territorio preso in esame e non possono essere rappresentativi e generalizzati all'intera area. Con riferimento ai corsi d'acqua e all'arco temporale analizzato, si è rinvenuta una presenza di *P. clarkii* non molto elevata e diversa tra i siti. Le cause di queste differenze appaiono riconducibili alle differenti caratteristiche dei tre corsi d'acqua. Le catture mettono comunque in luce come l'elevata plasticità permetta a questo crostaceo di frequentare anche habitat ritenuti ad esso sfavorevoli, come il sito 1 posizionato sul canale Bisatto, sebbene con una popolazione principalmente costituita da individui adulti e con un rinnovo generazionale non riscontrato. La presenza di un'osservata intensa attività predatoria da parte di uccelli ittiofagi nel sito 2.1 ha portato a concludere che le significative differenze morfometriche e numeriche riscontrate entro il canal Nuovo siano dovute ad una selezione da parte dei predatori nel suddetto sito che porterebbe ad una riduzione della competizione intraspecifica tra gamberi e ad una produzione di adulti di taglia elevata maggiormente efficienti dal punto di vista riproduttivo. La presenza del gambero rosso della Louisiana è stata inoltre rinvenuta nel tratto torrentizio del fiume Lione (sito 3.1), inserito all'interno del SIC "Colli Berici". Questo dato mette in chiaro risalto come i numerosi macroinvertebrati ed anfibi tutelati dalla direttiva

92/43/CEE abitanti queste acque, possano essere minacciati dall'invasione di questo crostaceo anche in quest'area, in particolar modo *Austropotamobius pallipes*, specie già in forte contrazione numerica. Nessun esemplare di questo crostaceo è stato infatti catturato, sebbene il regime torrentizio e la granulometria grossolana dei sedimenti indicassero un habitat maggiormente adatto a questa specie. Le catture più abbondanti sono state registrate tra Giugno e Settembre, con temperature dell'acqua medie oscillanti tra 18-22°C nel sito 1, 20-26°C nel sito 2 e 20-24°C nel sito 3. Le temperature ottimali per questa specie si collocano infatti tra i 21 ed i 27°C, con un arresto della crescita a temperature più basse di 12°C (Ackefors, 1999). Un eventuale azione di trappolaggio intensivo potrebbe quindi risultare maggiormente efficace se effettuata nei mesi estivi. Ulteriori indagini dovranno confermare quanto affermato; successivi studi volti all'individuazione del numero e dell'epoca esatti dei periodi di riproduzione e muta permetterebbero di comprendere al meglio la fitness e la performance di questo crostaceo alloctono, consentendo di capire le sue strategie di adattamento, il suo regime alimentare, le categorie di specie animali e vegetali maggiormente colpite dalla sua presenza e la dinamica di popolazione di *Procambarus clarkii* nei diversi habitat da esso invasi. Alla luce di quanto emerso da questo studio, l'attuale gestione provinciale e regionale di questa specie appare inopportuna, non considerando i rischi derivanti dall'utilizzazione del suddetto animale come alimento. L'assegnazione di un valore commerciale ad una specie aliena invasiva quasi inevitabilmente porta al risultato di avere ulteriori introduzioni spesso intenzionali (Edsman, 2004). Successivamente ad un monitoraggio svolto su scala provinciale e ad un adeguamento normativo, un approccio integrato dei metodi di contenimento e controllo maggiormente efficaci appare come la soluzione più concreta per far fronte alla minaccia portata dalla presenza del gambero rosso che, come ormai noto, può rappresentare un serio pericolo per la biodiversità animale e vegetale degli ecosistemi acquatici, per l'assetto idrogeologico e per la salute umana. Il trappolaggio intensivo, l'utilizzo della sterile male release technique (SMRT) ed il rilascio di predatori naturali autoctoni quali l'anguilla (*Anguilla anguilla*) hanno



mostrato esiti soddisfacenti se applicati congiuntamente, riuscendo a ridurre drasticamente le popolazioni di *P. clarkii*, come testimoniato dal progetto Life RARITY in Friuli Venezia Giulia. L'efficienza di questi metodi può essere massima solo con una loro accurata programmazione nel tempo e nello spazio ed una valutazione sito-specifica dei costi e dei rischi derivanti da una loro attuazione.



## 6. BIBLIOGRAFIA

- Ackefors H. 1999. The positive effects of established crayfish introduction in Europe. *Crustacean Issues*, 11: 49-61, 281-292.
- Alcorlo P., Geiger W. e Otero M. 2008. Reproductive biology and life cycle of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda) in diverse aquatic habitats of South Western Spain: implications for population control. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv fur Hydrobiologie*, 173: 197-212.
- Alderman D. J. 1996. Extension géographique des maladies bactériennes et fongiques des crustacés. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*, 15: 603-632.
- Almaraz Rodriguez A. G. 2001. Fisiología reproductiva del acocil rojo *Procambarus clarkii* (Crustacea: Decapoda): establecimiento del ciclo de maduración gonadal y evaluación de su potencia reproductiva. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza.
- Anastácio P. M. e 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.
- Anda P., Del Pozo J. S., Garcia J. M. D., Escudero R., Pena F. J. G., Velasco C. L., Sellek R. E., Chillaron M. R. J., Serrano L. P. S. e Navarro J. F. M. 2001. Waterborne Outbreak of Tularemia Associated with Crayfish Fishing. *Emerging Infectious Diseases*, 7: 575-582.
- Andaloro F., Blasi C., Capula M., Grapow C. L., Frattaroli A., Genovesi P., Zerunian S. 2009. L'impatto delle specie aliene sugli ecosistemi: proposte di gestione. <http://www.minambiente.it>.

- Angeler D. G., Sanchez-Carrillo S., Garcia G. e Alvarez-Cobelas M. 2001. The influence of *Procambarus clarkii* (Cambaridae, Decapoda) on water quality and sediment characteristics in a Spanish floodplain wetland. *Hydrobiologia*, 464: 89-98.
- Aquiloni L., Becciolini A., Trunfio C., Berti R. e Gherardi F. 2009. Managing invasive crayfish: use of X-ray sterilization of males. *Freshwater Biology*, 54: 1510-1519.
- 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(11): 3817-24.
- Aquiloni L. e Gherardi F. 2008a. Mutual mate choice in crayfish: large body size is selected by both sexes, virginity by males only. *Journal of Zoology London*, 274: 171-179.
- Aquiloni L. e Gherardi F. 2008b. Extended mother-offspring relationships in crayfish: the return behaviour of *Procambarus clarkii* juveniles. *Ethology*, 114: 946-954.
- Aquiloni L. e Gherardi F. 2010. The use of sex pheromones for the control of invasive populations of the crayfish *Procambarus clarkii*: a field study. *Hydrobiologia*, 649: 249-254.
- Aquiloni L., Giovannelli F., Mazza G., Inghilesi A. F. e Scapini F. 2014. Gli impatti prodotti dal gambero invasivo e le principali vie d'ingresso della specie in Friuli Venezia Giulia. In: "RARITY. Eradicazione del gambero rosso della Louisiana e protezione dei gamberi di fiume del Friuli Venezia Giulia". Pubblicazione realizzata con il contributo finanziario della CE, nell'ambito del progetto RARITY, Life10 NAT/IT/000239, pp. 144.
- Arrignon J. 1996. Il gambero d'acqua dolce e il suo allevamento. Bologna: Edagricole.
- Barbaresi S., Tricarico E., Santini G. e Gherardi F. 2004. Ranging behavior of the invasive crayfish, *Procambarus clarkii*. *Journal of Natural History*, 28: 2821-2832.

- Baltz D. M. e Moyle P. B. 1993. Invasion resistance to introduced species by native assemblage of California stream fishes. *Ecological Applications*, 3: 246-255.
- Bennici A., Cuttitta A., Nicosia A., Musco M., Torri M., Biondo G., Patti C., Di Natale M.V., De Luca B., Di Maria A. e Mazzola S. 2014. *Procambarus clarkii* (Girard, 1852): rapporto tecnico scientifico sulla riproduzione in ambiente controllato e acquisizione dei dati biometrici. Istituto per l'Ambiente Marino e Costiero del Consiglio Nazionale delle Ricerche, UOS di Capo Granitola, Trapani.
- Brown M. R. e Moyle P. B. 1997. Invading species in the Eel River, California: success, failures and relationships with resident species. *Environmental Biology of Fishes*, 49: 271-291.
- 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.
- Cecchinelli E., Aquiloni L., Orioli G. e Gherardi F. 2010. L'uso della SMRT (Sterile Male Release Technique) e di Pyblast per il controllo del gambero invasivo *Procambarus clarkii* nel Consorzio della Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia. Consorzio della Bonifica Parmigiana Moglia-Secchia, Reggio Emilia.
- Chiesa S., Scalici M. e Gibertini G. 2006. Occurrence of allochthonous freshwater crayfishes in Latium (Central Italy). *Bull. Fr. Peche Piscic.*, 380-381: 883-902.
- Chucholl C. 2012. Invaders for sale; trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish. *Biological Invasions*.
- 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.
- Cox P. A., Banack S. A., Murch S. J., Rasmussen U., Tien G., Bidigare R. R., Metcalf J. S., Morrison L. F., Codd G. A. e Bergman B. 2005. Diverse taxa of cyanobacteria

produce b-N-methylamino-L-alanine, a neurotic amino acid. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 102: 5074-5078.

Crosti R., Forconi V. 2007. Espansione delle colture da biomassa sul territorio italiano: incognite legate all'introduzione di specie aliene potenzialmente invasive. In Atti convegno Colture a scopo energetico e ambiente. Sostenibilità, diversità e conservazione del territorio Roma, 5 ottobre 2007.

D'Angelo S. e Lo Valvo M. 2003. On the presence of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Sicily. Naturalista siciliano, 27: 325-327.

Dardi P. e Gherardi F. 1994. Competition and predation between the river crab *Potamon fluviatile* and the crayfish *Austropotamobius pallipes*. Bolettino di Zoologia 61, Supplemento: 41.

Davidson T. M., Rumrill S. S. e Shanks A. L. 2008. Colonization and substratum preference of an introduced burrowing crustacean in a temperate estuary. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 354: 144-149.

Delmastro M. 1992. Sull'acclimatazione del gambero della Louisiana *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) nelle acque dolci italiane. Pianura – Supplemento di Provincia Nuova, N 4/1992: 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.

Dorr A.J.M., La Porta G., Pedicillo G. e Lorenzoni M. 2006. Biology of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in Lake Trasimeno. Bull. Fr. Peche Piscic., 380-381: 1155-1168.

Ekerholm e Hallberg E. 2005. Primer and Short-Range Releaser Pheromone Properties of Premolt Female Urine from the Shore Crab *Carcinus maenas*. Journal of Chemical Ecology, 31: 1845-1864.

- Edsman L. 2004. The Swedish story about import of live crayfish. *Bull. Fr. Peche Piscic*, 372: 281-288.
- Elvira B., Nicola G. e 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.
- Fea G., Nardi P. A., Ghia D., Spairani M., Manenti R., Rossi S., Moroni M. e Bernini F. 2006. Dati preliminari sulla distribuzione in Lombardia dei gamberi d'acqua dolce autoctoni e alloctoni. In *Atti Società Italiana di Scienze Naturali – Museo Civico di Storia Naturale di Milano* 147: 201-210.
- Fidalgo M. L., Carvalho A. P. e Santos P. 2001. Population dynamics of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) from the Aveiro region, Portugal (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*, Leiden, 74 (4): 369-375.
- Funari E. 1999. Aspetti sanitari della problematica dei cianobatteri nelle acque superficiali italiane. Istituto Superiore di Sanità, ISTISAN 00/30.
- Gamradt S. C. e Kats L. B. 1996. Effects of introduced crayfish and mosquitofish on California newts. *Conservation Biology*, 10: 1155-1162.
- Garcia-Berthou E. 2005. Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62, 453–463.
- Garzoli L., Savini D. e Ambroggi Occhipinti A. 2009. Analisi del contenuto stomacale di *Procambarus clarkii* (Girard, 1852), gambero invasivo nella riserva naturale “Bosco Siro Negri” (Zerbolò, PV). *Studi Trentini di Scienze Naturali*, 86: 105-109.
- Geiger W., Alcorlo P., Baltanas A., Montes C. 2005. Impact of an introduces crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands. *Biological invasion* 7. 49-73.
- Genovesi P. e Shine C. 2004. European strategy on invasive alien species. *Nature and Environment*, n. 137, Strasbourg.

- Gherardi F. 2006. Crayfish invading Europe: the case study of *Procambarus clarkii*. Mar. Fresh. Behav. Physiol., 39: 175-191.
- Gherardi F. e 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., Acquistapace P., Tricarico E. e Barbaresi S. 2002. Ranging behaviour of the red swamp crayfish in an invaded habitat: the onset of hibernation. Freshwater crayfish, 13: 330-337.
- Gherardi F., Aquiloni L., Dieguez-Uribeondo J. e Tricarico E. 2011. Managing invasive crayfish: is there a hope? Aquatic Sciences, 73: 185-200.
- Gherardi F., Baldaccini G.N., Barbaresi S., Ercolini P., De Luise G., Mazzoni D. e Mori M. 1999b. The situation in Italy. In: Gherardi F. e Holdich D.M., Crayfish in Europe as alien species. How to make the best of a bad situation? A.A. Balkema, Rotterdam: 107-128.
- Gherardi F. e Barbaresi S. 2000. Infrastruttura nazionale biologica dell'informazione (NBII) & IUCN/CSD invasive species Specialist Group.
- Gherardi F. e Barbaresi S. 2007. Feeding preferences of the invasive crayfish *Procambarus clarkii*. Bull. Fr. Peche Piscic., 385: 7-20.
- Gherardi F. e Cioni A. 2004. Agonism and interference competition in freshwater decapods. Behaviour, 141: 1297-1324.
- Gherardi F., Raddi A., Barbaresi S. e Salvi G. 1999a. Life history patterns of the red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in an irrigation ditch in Tuscany. In: von Vaupel Klein C.J. e Schram F.R., The biodiversity crisis and Crustacea, A.A. Balkema, Rotterdam: 99-108.
- Giulianini P. G. e Edomi P. 2006. Neuropeptides controlling re production and growth in Crustacea: a molecular approach. In: Satake H., editor. Invertebrate



Neuropeptides and Hormones: Basic Knowledge and Recent Advances. Research Signpost., pp. 225-252.

Gleeson R. A, Adams M. A. e Smith A. B. 1987. Hormonal Modulation of Pheromone-Mediated Behavior in Crustacean. *Biological Bulletin*, 172: 1-9.

Guan R. Z. e Wiles P. R. 1997. Ecological impact of introduced crayfish on benthic fishes in a British lowland river. *Conservation Biology*, 11, 3: 641-647.

Gutierrez-Yurrita, P. J. e Montes C. 1999. Bioenergetics and phenology of reproduction of the introduced red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, in Donana National Park, Spain, and implication for species management. *Freshwater Biology*, 42: 561-574.

Hanfling B., Edwards F. e Gherardi F. 2011. Invasive alien Crustacea: dispersal, establishment, impact and control. Springer, International Organization for Biological Control, 56: 573-595.

Hobbs H. H. 1974. A checklist of the north and middle American crayfishes (Astacidae e Cambaridae). *Smithsonian Contrib. Zool.*, N° 116.

Hobbs H. H., Jass P. J. e Huner V. J. 1989. A review of global crayfish introductions with particular emphasis on two north America species (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*, volume 56, 3: 299-316.

Hobbs H. H. e Whiteman D. M. 1991. Notes on the burrows, behavior, and color of the crayfish *Fallicambarus devastator* (Decapoda: Cambaridae). *Crustaceana*, 56: 299-316.

Hua Yue G., Jia Le L., Chun Ming W., Jun Hong X., Gen Lin W. e Jian Bing F. 2010. High prevalence of multiple paternity in the invasive crayfish species, *Procambarus clarkii*. *International Journal of Biology Sciences*, 6 (1): 107-115.

Hulme P. E., Bacher S., Kenis M., Klotz S., Kuhn I., Minchin D., Nentwig W., Olenin S., Panov V., Pergl J., Pisek P., Roques A., Sol D., Solarz W. e Vilà M. 2008.

- Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45: 403-414.
- Huner J. V. 1988. *Procambarus* in North America and elsewhere. Freshwater crayfish: biology, management and exploitation. Croom Helm, London.
- Huner J.V. 2002. *Procambarus*. In: Holdich D., *Biology of Freshwater Crayfish*. Blackwell Science Ltd., Oxford, 541-584.
- Huner J. V. e Barr J. E. 1984. Red swamp crayfish: biology and exploitation. Louisiana Sea Grant College Program, Baton Rouge, LA: 136 pp.
- Huner J. V. e Barr J. E. 1991. Red swamp crayfish: biology and exploitation. Louisiana Sea Grant College Program, Center for Wetland Resources, Louisiana State University, Baton Rouge, LA.
- Johnsen S. I., Jansson T., Høye J. K. e Taugbol T. 2008. Vandringsperre for signalkreps i Buåa, Eda kommun, Sverige-Overvaking av signalkreps og krepsepest situasjonen. NINA 356, 15s.
- Ilheu M. A. e Bernardo J. M. 1993. Experimental evaluation of food preference of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*: vegetal versus animal. *Freshwater Crayfish*, 9: 359-364.
- Ligas A. 2008. Population dynamics of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda, Astacidea, Cambaridae) from southern Tuscany (Italy). *Crustaceana*, 81: 601-609.
- Lodge D. M. e Lorman J. G. 1987. Reductions in submersed macrophyte biomass and species richness by the crayfish *Orconectes rusticus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 44: 591-597.
- Lodge D. M., Williams S. L., MacIsaac H. et al. 2006. Biological invasions: recommendations for U.S. policy and management. *Ecological Applications*, 16: 2035-2054.
- 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.
- Lorman J. G. e Magnuson J. J. 1978. The role of crayfishes in aquatic ecosystems. *Fisheries*, 3: 8-10
- Machino Y. e Fureder L. 2005. How to find a stone crayfish *Austropotamobius torrentium*: a biogeographic study in Europe. *Bull. Fr. Peche Piscic.*, 376-377: 507-517.
- Mancini A. 1986. Astacicoltura, allevamento e pesca dei gamberi d'acqua dolce. Bologna: Edagricole.
- Mazzoni D., Gherardi F. e Ferrarini P. 2004. Guida al riconoscimento dei gamberi d'acqua dolce. Seconda edizione. Bologna: Greentime SpA.
- Mills E. L., Strayer L. D., Scheuerell D. M. e Carlton T. J. 1996. Exotic Species in the Hudson River Basin: A History of Invansion and Introductions. *Estuarine Research Federation*, Vol. 19, No. 4, p. 814-823.
- Montes C., Bravo-Utrera M. A., Baltanas A., Duarte C. e Gutierrez-Yurrita P. J. 1993. Bases ecologicas para la gestion del cangrejo rojo de las marismas del Parque Nacional de Donana, Espana. Instituto Nacional para la Conservacion de la Naturaleza y Universidad Autonoma de Madrid editors, 1993: 250.
- Morari M. 1999. Profilo tossicologico delle tossine prodotte dai cianobatteri. Aspetti sanitari della problematica dei cianobatteri nelle acque superficiali italiane. Istituto Superiore di Sanità, ISTISAN 00/30.
- Moro G. A. 2007. Il gambero della Louisiana avanza in Friuli Venezia Giulia. Pesca e Ambiente – Notiziario d'informazione dell'Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia. Dicembre 2007.

- Morpurgo M., Aquiloni L., Bertocchi S., Brusconi S., Tricarico E. e Gherardi F. 2010. Distribuzione dei gamberi d'acqua dolce in Italia. Studi Trent. Sci. Nat., 87 (2010): 125-132.
- Nardi P. A. e Razzetti E. 1998. Cenni generali sulla biologia dei gamberi d'acqua dolce presenti in Lombardia. Università degli Studi di Pavia, Laboratorio Acque Interne, Dipartimento di Biologia Animale.
- Nystrom P. 1999. Ecological impact of introduced and native crayfish on freshwater communities: European Perspectives. Limnology, Department of Ecology, University of Lund, Sweden.
- Oidtmann B., Heitz E., Rogers D. e Hoffmann R. W. 2002. Transmission of crayfish plague. Diseases of Aquatic Organisms, 52: 159-197.
- Paglianti A. e Gherardi F. 2004. Combined effects of temperature and diet on growth and survival of YOY crayfish: a comparison between indigenous and invasive species. J. Crust. Biol., 4: 401-404.
- Parkyn S. M. e Collier K. J. 2004. Interaction of press and pulse disturbance on crayfish populations: flood impacts in pasture and forest streams. Hydrobiologia, 527: 113-124.
- Peay S., Hiley P. D., Collen P. e Martin I. 2006. Biocide treatment of ponds in Scotland to eradicate signal crayfish. Bull. Fr. Peche. Piscic., 380-381: 1363-1379.
- Pease K. M. e Wayne R. K. 2013. Divergent responses of exposed and naïve Pacific tree frog tadpoles to invasive predatory crayfish. Oecologia, 174: 241-252.
- Peruzza L., Piazza F., Manfrin C., Bonzi Celeste L., Battistella S., Giulianini P. G. 2015. Reproductive plasticity of a *Procambarus clarkii* population living 10°C below its thermal optimum. Aquatic Invasions, 10(2): 199-208.
- Piazza F., Aquiloni L., Manfrin C., Simi S., Duse Masin M., Florian F., Marson L., Peruzza L., Borgogna M., Paoletti S., Bonzi L., Scapini F., Faraoni P., Balzi M., Edomi P. e Giulianini P. G. 2014. Messa a punto di metodi innovativi per il

- contenimento e la cattura di *P. clarkii*. In: "RARITY. Eradicazione del gambero rosso della Louisiana e protezione dei gamberi di fiume del Friuli Venezia Giulia". Pubblicazione realizzata con il contributo finanziario della CE, nell'ambito del progetto RARITY, Life10 NAT/IT/000239, pp. 144.
- Pietrobon S. 2012. Invasione di specie alloctone. Presenza del gambero rosso (*Procambarus clarkii*) nella Bassa Padovana. Relatore Rizzi N.D.C. Dipartimento Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Power M. E., Tilman D., Estes J. A., Menge B. A., Bond W. J. 1996. Challenge in the quest for keystones. Wildlife Biology Faculty Publications. Paper 1.
- Poulin B., Lafbvre G. e 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.
- Pretto T. e Manfrin A. 2012. Patologie dei gamberi d'acqua dolce nel contesto del progetto Life+ Rarity. Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie, Laboratorio Nazionale di Riferimento per le malattie dei crostacei, Sezione di Adria (RO).
- Rach J. J. e Bills T. D. 1989. Crayfish control with traps and largemouth bass. Prog. Fish Cult. 51: 157-160.
- Richardson A. M. M. e Wrong V. 1995. The effect of the burrows of a crayfish on the respiration of the surrounding soil. Soil Biology and Biochemistry 15: 239-242.
- Robinson C. A., Thom T. J. e Lucas M. C. 2000. Ranging behaviour of a large freshwater invertebrate, the white-clawed crayfish *Austropotamobius pallipes*. Freshwater Biology, 44: 509-521.
- Romanò C. e Riva C. 2002. Il gambero d'acqua dolce in provincia di Como. Provincia di Como, Settore Risorse Ambientali, Servizio Pesca. Aprile 2002.

- Rossi R., Lanzoni M., Rizzati E., Mantovani S. e Castaldelli G. 2006. Distribuzione del Gambero rosso della Louisiana nel Delta del Po. *Il Pesce*, 1: 93.
- Sala O. E. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* 10, 287/5459: 1770 – 1774.
- SAS, 2010. SAS/STAT, user's guide, version 9.2. SAS Inst. Inc. Cary, NC, USA.
- Sato M., Nishijima S. e Miyashita T. 2013. Differences in refuge function for prey and tolerance to crayfish among macrophyte species. *Limnology*, 15: 27-35.
- Savini D. e 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.
- Scalici M., Chiesa S., Scuderi S., Celauro D. e Gibertini G. 2010. Populations structure and dynamics of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in a Mediterranean brackish wetland (Central Italy). *Biological Invasion*, 12: 1415-1425.
- Scalici M. e Gherardi F. 2007. Structure and dynamics of an invasive population of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in a Mediterranean wetland. *Hydrobiologia*, 583: 509-519.
- Schikora F. 1903. Über die Krebspest und ihren Erreger. *Fischerei Zeitung*, 6: 353-355
- Souty-Grosset C., Holdich D. e Noel P. 2006. Atlas of crayfish in Europe. *Museum National d'Histoire Naturelle*, Paris 187 pp.
- Stebbing P. D., Bentley M. G. e Watson G. J. 2003a. Mating Behaviour an Evidence for a Female Released Courtship 29: 465-475.
- Stebbing P. D., Watson G. J., Bentley M. G., Fraser D., Jennings R., Rushton S. P., e Sibley P. J. 2003b. Reducing the threat: the potential use of pheromones to control invasive signal crayfish. *Bull Francais Peche Piscic*, 370: 219-224.

- Vander Zanden M. J., Ansen G. J. A., Higgins S. N. e Kornis M. S. 2010. A pound of prevention, plus a pound of cure: early detection and eradication of invasive species in the Laurentian Great Lake. *J Great Lakes Res* 36: 199-205.
- Vasconcelos V., Oliveira S. e Teles F. O. 2001. Impact of a toxic and a non-toxic strain of *Microcystis aeruginosa* on the crayfish *Procambarus clarkii*. *Toxicon*, 39: 1461-1470.
- Wheatly M. G. e Ayers J. 1999. Scaling of calcium, inorganic contents, and organic contents to body mass during the molting cycle of the freshwater crayfish *Procambarus clarkii* (Girard). *Journal of Crustacean Biology*, 15(3): 409-417.
- Zhang D., Lin J., Harley M. e Hardege J. D. 2010. Characterization of a sex pheromone in a simultaneous hermaphroditic shrimp, *Lysmata wurdemanni*. *Marine Biology*, 157: 1-6.