



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Monitoraggio del gambero nativo di fiume *Austropotamobius pallipes* complex nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi



(@Chris Luckhaup)

Marco Morbidelli, Gianna Innocenti & Elena Tricarico

Dicembre 2022

Introduzione

Il gambero nativo di fiume *Austropotamobius pallipes* complex (Lereboullet, 1858) (Figura 1, in copertina) in passato era abbastanza diffuso nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi-Monte Falterona e Campigna, ma minacce come il bracconaggio, la siccità e la presenza di specie aliene invasive ne stanno causando il rapido declino (Mazza et al., 2011, 2017; Tricarico et al., 2021). In particolare, l'espansione del procione *Procyon lotor* (Linnaeus, 1758) nelle zone del Parco dal 2013 (Boscherini et al., 2020) e la presenza del gambero rosso della Louisiana *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) alle porte del Parco, segnalato nel laghetto di Romena dal 2015, costituiscono ulteriori minacce per la specie. Già nei campionamenti del 2019-2020, condotti nelle Riserve Statali all'interno del Parco, (Boncompagni et al., 2021; Tricarico et al. 2021), era stato notato che il procione preda attivamente i gamberi medio-grandi, riducendone le popolazioni. Inoltre, il gambero rosso è potenzialmente portatore della peste del gambero, causata dal fungo *Aphanomyces astaci* (Schikora, 1906) e letale per *A. pallipes* complex, le cui spore possono essere trasportate da pesci, uccelli e da attrezzatura da pesca (come stivali o retini) non attentamente disinfettati. Episodi di peste del gambero sono stati già riportati nel Parco (T. Pretto, IZSVe, com. pers.).

Materiali e Metodi

Campionamento gamberi

I campionamenti si sono svolti nei mesi di luglio, agosto e settembre 2022. In totale sono state monitorate 26 stazioni, 6 nel versante toscano e 20 in quello romagnolo. Gli stessi siti sono stati oggetto di monitoraggi, condotti con lo stesso metodo, tra il 2012 e il 2014 (S. Piazzini, com. pers.) (Tabelle 1 e 2). Di queste 26 stazioni 7 erano all'interno delle Riserve Statali Foreste Casentinesi monitorate l'ultima volta nel 2021, tranne per il sito di Campigna 3 che è stato monitorato la prima volta nel 2022 (Tabella 3). I siti Altari, Palaino 1 e Trogo sono stati spostati più a valle, rispetto al periodo 2012-2014, rispettivamente di 500, 70 e 500 m per motivi logistici.

Tabella 1. Siti nel versante romagnolo del Parco dove sono stati effettuati i campionamenti con le date relative allo studio precedente e attuale, e il corpo idrico di appartenenza (B: bidente).

Siti	Data (studio precedente)	Data (studio attuale)	Corpo idrico
Altari	23/08/2013	08/09/2022	B. di Ridracoli
Campigna 1	02/09/2013	10/08/2022	B. di Corniolo
Campigna 2	04/08/2013	09/08/2022	B. di Corniolo
Fiumicino	02/09/2013	09/08/2022	B. di Corniolo
Fossati	24/07/2013	09/08/2022	B. di Ridracoli
Molino	06/09/2013	06/09/2022	B. di Ridracoli
Molinuzzo	24/07/2013	08/08/2022	B. di Ridracoli
Palaino 1	08/09/2012	09/09/2022	B. di Pietrapazza
Palaino 2	08/09/2012	09/09/2022	B. di Pietrapazza
Pietrapazza	08/09/2012	09/09/2022	B. di Pietrapazza
Roggheta	06/09/2013	06/09/2022	B. di Ridracoli
San Paolo	29/08/2013	10/08/2022	B. di Corniolo
Sega 1	06/09/2013	08/09/2022	B. di Ridracoli
Trogo	08/09/2012	10/08/2022	B. di Pietrapazza
Villa	02/09/2013	10/08/2022	B. di Ridracoli

Tabella 2. Siti nel versante toscano del Parco dove sono stati effettuati i campionamenti con le date relative allo studio precedente e attuale, e il corpo idrico di appartenenza.

Siti	Data (studio precedente)	Data (studio attuale)	Corpo idrico
Corezzo 1	06/09/2014	04/07/2022	Corsalone
Corezzo 2	29/08/2014	04/07/2022	Corsalone
Corsalone 1	31/08/2014	11/07/2022	Corsalone
Corsalone 2	31/08/2014	11/07/2022	Corsalone

Tabella 3. Siti delle Riserve dove sono stati effettuati i campionamenti con le date relative allo studio precedente e attuale, il corpo idrico (B: bidente) e la Riserva Statale di appartenenza.

Siti	Data (precedente)	Data (attuale)	Corpo idrico	Riserva
Camaldoli 2	02/08/2021	13/07/2022	Archiano	Camaldoli
Campigna 3	-	19/07/2022	B. di Corniolo	Campigna
Forconali	25/08/2021	18/08/2022	B. di Ridracoli	Badia Prataglia
Lama invasore	25/08/2021	17/08/2022	B. di Ridracoli	Badia Prataglia
Lama ponte	25/08/2021	18/08/2022	B. di Ridracoli	Badia Prataglia
Metaletto	06/08/2020	19/08/2022	Archiano	Camaldoli
M. Carpinone	25/08/2021	17/08/2022	B. di Ridracoli	Badia Prataglia

Per ogni sito sono stati rilevati alcuni parametri, quali ampiezza massima dell'alveo (con rotella metrica), profondità massima dell'acqua (con metro a stecca) al momento del monitoraggio e temperatura dell'acqua (media di 3 letture con termometro, precisione 0.5°C). I siti monitorati presentavano tutti acque con profondità massima in media di 60 cm circa (escludendo le pozze troppo profonde per campionare ossia, oltre i 100 cm), fondo prevalentemente coperto da massi e ciottoli e corrente moderata, temperatura dell'acqua tra 14.5 e 19.5°C (Tabelle 4, 5 e 6).

Tabella 4. Altitudine (m s.l.m.), ampiezza del letto (m), profondità massima dell'acqua (cm) e temperatura dell'acqua (°C) dei siti nel versante romagnolo del Parco.

Siti	Altitudine (m s.l.m.)	Ampiezza (m)	Profondità max (cm)	Temperatura (°C)
Altari	650	2.5	40	18
Campigna 1	555	6	100	17
Campigna 2	668	6	60	17
Fiumicino	670	3	45	18
Fossati	620	1.5	15	17.5
Molino	615	4	40	16
Molinuzzo	590	3	40	19.5
Palaino 1	500	1.5	45	15.5
Palaino 2	525	3	60	15
Pietrapazza	555	5.5	80	17.5
Roggheta	630	4	80	16.5
San Paolo	685	3	60	16
Sega 1	610	2	60	18
Trogo	675	10	80	18
Villa	450	2.0	40	16.5

Tabella 5. Altitudine (m s.l.m.), ampiezza del letto (m), profondità massima dell'acqua (cm) e temperatura dell'acqua (°C) nel versante toscano del Parco.

Siti	Altitudine (m s.l.m.)	Ampiezza (m)	Profondità max (cm)	Temperatura (°C)
Corezzo 1	545	6	45	17
Corezzo 2	635	3.5	35	16
Corsalone 1	518	9	50	15
Corsalone 2	562	4	40	18

Tabella 6. Altitudine (m s.l.m.), ampiezza del letto (m), profondità massima dell'acqua (cm) e temperatura dell'acqua (°C) dei siti campionati nelle Riserve.

Siti	Altitudine (m s.l.m.)	Ampiezza (m)	Profondità max (cm)	Temperatura (°C)
Camaldoli 2	760	4	90	14.5
Campigna 3	832	3	100	16
Forconali	700	3	90	17
Lama invaso	586	8	60	18
Lama ponte	700	4	60	16
Metaleto	922	-	>100	18.5
M. Carpinone	583	2	50	18.5

Per ogni stazione, seguendo in parte le disposizioni ISPRA (Scalici et al., 2020), è stato percorso un transetto di 100 m da 2 operatori con l'ausilio di torce frontali. Infatti, l'attività è stata svolta dal crepuscolo in poi, momento della giornata di maggior attività per il gambero di fiume. L'avanzamento lungo il torrente è avvenuto controcorrente per evitare di intorbidire l'acqua del tratto da ispezionare. Gli individui, avvistati mentre camminavano sul fondo oppure trovati sotto sassi e radici (Figura 2), sono stati catturati, misurati e poi rilasciati in loco.



Figura 2. Esempio di ambiente ispezionato durante i campionamenti.

Tutti i dati sono stati riportati su un'apposita scheda di campo. Per ogni gambero è stata misurata la lunghezza del cefalotorace (CL, dalla punta del rostro all'inserzione

dell'addome) con un calibro (precisione 0.1 mm, Figura 3) ed è stato determinato il sesso. Per gli individui con CL al di sotto di 10 mm il sesso non è stato determinato e sono stati considerati come giovanili (J).



Figura 3. Misurazione del cefalotorace di *Austropotamobius pallipes* complex con calibro (a sinistra); parte ventrale di una femmina con *glair glands* (in bianco) sviluppate (a destra).

I gamberi con CL inferiore a 25 mm sono stati considerati piccoli (P) e non riproduttivi, mentre gli esemplari con CL maggiore o uguale a 25 mm grandi (G) e riproduttivi (Pratten, 1980). Sono stati riportati anche individui in muta e la presenza di eventuali mutilazioni alle chele.

È stata anche verificata la presenza di parassiti e/o malattie, in particolare *Branchiobdella italica* (Canegallo, 1929), un anellide ectoparassita abbastanza diffuso nel territorio del Parco (Gherardi et al., 2002) (Figura 4). I branchiobdellidi (Anellidi Clitellati) sono ectosimbionti obbligati principalmente di gamberi della famiglia Astacoidea. Alcuni lavori hanno mostrato come questi anellidi possano esercitare effetti sia positivi che negativi sui loro ospiti e, in alcuni casi, influenzare la crescita e la sopravvivenza dei gamberi (Brown et al., 2002, 2012; Lee et al., 2009). Una malattia di cui si è preso nota è la cosiddetta ruggine dei gamberi, una micosi provocata dal fungo *Fusarium* (Link, 1809), che determina lesioni alle branchie e ai muscoli e che può portare alla morte per infezioni batteriche secondarie. Infatti, i punti di infezione che esternamente si presentano come macchie nere-rossastre, da

cui il nome, possono degenerare fino a vere e proprie lacerazioni. Per le femmine è stato valutato lo stato riproduttivo attraverso le *glair glands* e l'eventuale presenza di uova o piccoli. Quando le femmine sono pronte per l'accoppiamento, presentano la parte ventrale dell'addome con *glair glands* sviluppate, cioè particolarmente bianche (Reynolds, 2002) (Figura 3). Le *glair glands*, prima della deposizione delle uova, rilasciano un muco traslucido sul lato inferiore del torace e dell'addome, assicurando sia la fecondazione delle uova che l'attaccamento delle uova ai pleopodi e, successivamente, degli individui appena nati fino alla prima muta.



Figura 4. *Branchiobdella italica* su chele e cefalotorace di un gambero di fiume (@E. Tricarico).

Nel sito di Metaletto, invece, essendo un laghetto artificiale di 1500 m² circa, situato all'interno della Riserva Biogenetica di Camaldoli, sono state utilizzate nasse a doppio inganno di dimensioni 25x25x50 cm e con maglie di 5 mm (Figura 5). Le nasse, 10 in totale, sono state disposte lungo tutta la sponda del lago. L'esca era costituita da una scatoletta di cibo per gatti (100 g) forata numerose volte da parte a parte e poi inserita nella nassa. Le nasse sono state installate assicurandosi che rimanesse una parte sempre emersa (Figura 5) per garantire che le specie non target catturate, ad esempio anfibi e rettili, potessero sopravvivere fino al controllo successivo. Le nasse sono state lasciate in acqua per 24 ore e per i gamberi catturati sono stati annotati gli stessi dati e parametri descritti in precedenza.



Figura 5. Nassa usata nel sito di Metaledo (a sinistra) e installata (a destra).

Durante i monitoraggi, sono stati riportati anche eventuali segni di presenza del procione come impronte e resti di predazione sul gambero (Figura 6). Il consumo degli adulti da parte del procione riguarda soprattutto l'addome e, spesso, il cefalotorace e le chele vengono lasciati intatti, o quasi, lungo le rive o nel letto del torrente (Boscherini et al., 2020; Boncompagni et al., 2021). Gli altri possibili predatori presenti nell'area di studio non attuano questo tipo di predazione.



Figura 6. Esempio di impronte di procione ritrovate durante un monitoraggio nelle Riserve Statali delle Foreste Casentinesi nel 2020, a sinistra (Tricarico et al., 2021); gambero predato dal procione ritrovato durante un monitoraggio nelle Riserve Statali nel 2019, a destra (Boncompagni et al., 2021).

Analisi dei dati

In alcuni casi, dove i gamberi erano assenti o presenti con numeri molto bassi, non è stato possibile eseguire nessuna, o alcune, delle analisi statistiche. Le analisi sono state condotte con il software RStudio (R version 4.1.2 (2021-11-01)) e per tutti i test è stato utilizzato un livello di significatività (α) pari a 0.05.

È stato effettuato un confronto tra i dati ottenuti nel 2022 con quelli di S. Piazzini nel periodo 2012-2014, per i siti nel Parco, e con quelli degli stessi autori della presente relazione nel 2021, per quelli nelle Riserve. Le variabili utilizzate in questo caso, numero totale dei gamberi, sex-ratio (rapporto maschi su femmine) e rapporto tra il numero di individui piccoli e grandi, sono state considerate sia per l'intera area di studio, sia per i due versanti singolarmente, per quanto riguarda il Parco, mentre, per le Riserve, si è considerata solo la Riserva Biogenetica di Badia Prataglia, in quanto gli unici siti in Toscana, Camaldoli 2 e Metaletto, sono state esclusi dal confronto con i dati passati, come spiegato in seguito. La normalità dei dati è stata controllata attraverso il test di Shapiro-Wilk.

Per confrontare dati dipendenti (ovvero lo stesso sito campionato in anni diversi) è stato eseguito il test non parametrico di Wilcoxon a due campioni non indipendenti (V), o il test t di Student per dati appaiati (t). Per queste analisi non sono stati presi in considerazione, per quanto riguarda le Riserve, il sito di Campigna 3, in quanto non campionati in precedenza, e Metaletto, a causa del differente metodo di campionamento utilizzato. Per questo studio, il CPUE, Catch Per Unit Effort, corrisponde al numero di gamberi trovati in 100 m, la lunghezza di un transetto, o al numero di gamberi catturati sul numero di nasse utilizzate per il sito di Metaletto.

Per ogni sito singolarmente è stato eseguito il test chi quadrato (χ^2), per confrontare le frequenze dei sessi (sex-ratio: M/F) e delle due classi di taglia, e dei sessi per taglia. Per confrontare la distribuzione delle dimensioni del cefalotorace dei maschi con quella delle femmine, è stato utilizzato il test non parametrico di Mann Whitney a due campioni indipendenti (W) oppure, nel caso di due distribuzioni normali, il test t di Student per campioni indipendenti (t).

Inoltre, per i siti di Metaletto, Forconali e Lama ponte, è stata eseguita una correlazione (Spearman, r_s , o Pearson, r , a seconda della normalità dei dati) e una regressione lineare (R^2) in quanto dalla letteratura è stato possibile reperire più dati relativi agli anni precedenti al 2021 (Cenni, 2001; Mazza et al., 2011; Boncompagni et al., 2021; Tricarico et al., 2021; E. Tricarico e G. Mazza, com. pers.). Nei casi di Forconali e Lama ponte, bisogna specificare

che, nei campionamenti precedenti il 2021, il transetto non era standardizzato sulla lunghezza (100 metri), come per il presente studio, ma bensì sul tempo (1 ora). Ciò nonostante, i dati sono stati considerati confrontabili perché è stato visto che il tempo impiegato nel 2021 e 2022 è stato comunque di un'ora circa, come per la maggior parte dei transetti.

Risultati

Confronto nel tempo - Parco

I dati dei monitoraggi effettuati nei due periodi di campionamento, 2012-2014 e 2022, sono riportati nelle Tabelle 7 e 8. In generale, il numero totale di gamberi campionati nel 2022 è risultato molto simile a quello degli anni precedenti (Tabella 9). Diversa è la situazione analizzando i due versanti separatamente. Infatti, in quello romagnolo sono stati trovati più individui rispetto al passato mentre, in quello toscano, si nota una drastica riduzione, anche se entrambi i risultati non sono risultati essere statisticamente significativi (Tabella 9).

La sex-ratio (M/F) mostra un numero maggiore di maschi rispetto al passato in maniera significativa sia su tutta l'area di studio che sul versante romagnolo, ma non su quello toscano (Tabella 9). In generale, gli individui piccoli erano più frequenti nei campionamenti del 2022, con una differenza statisticamente significativa per l'intero territorio del Parco e in Romagna, ma non in Toscana (Tabella 9).

Tabella 7. Versante romagnolo del Parco. Valori di Catch Per Unit Effort (CPUE), sex-ratio (M/F con M: maschi; F: femmine) e classi di taglia (P/G con P: piccoli con $CL < 25$ mm; G: grandi con $CL \geq 25$ mm) per i due periodi di campionamento (2012-2014 e 2022).

Sito	CPUE		M/F		P/G	
	2012-2014	2022	2012-2014	2022	2012-2014	2022
Altari	52	85	0.83	1.43	1.08	0.73
Campigna 1	180	123	0.86	0.72	0.43	0.43
Campigna 2	105	182	0.75	0.98	1.50	0.49
Fiumicino	91	122	0.98	1.52	0.54	2.59
Fossati	51	79	0.50	0.83	0.76	1.82
Molino	125	102	0.97	1.13	1.23	1.17
Molinuzzo	190	258	0.80	1.07	1.02	2.91
Palaino 1	33	8	0.81	2.00	0.38	1.67
Palaino 2	58	75	0.75	1.26	0.45	2.26
Pietrapazza	10	0	0.75	-	1.00	-
Rogheta	63	104	0.84	1.00	0.91	1.42
San Paolo	73	182	0.60	0.90	1.43	2.14
Sega 1	114	86	1.10	1.25	1.04	1.39
Trogo	15	0	0.86	-	0.88	-
Villa	66	0	0.71	-	1.75	-

Tabella 8. Versante toscano del Parco. Valori di Catch Per Unit Effort (CPUE), sex-ratio (M/F con M: maschi; F: femmine) e classi di taglia (P/G con P: piccoli con $CL < 25$ mm; G: grandi con $CL \geq 25$ mm) per i due periodi di campionamento (2012-2014 e 2022).

Sito	CPUE		M/F		P/G	
	2012-2014	2022	2012-2014	2022	2012-2014	2022
Corezzo 1	70	66	1.16	1.03	0.75	1.87
Corezzo 2	40	4	0.58	0.33	0.29	0.33
Corsalone 1	125	29	0.55	2.00	0.89	8.67
Corsalone 2	44	11	1.00	1.25	2.38	4.50

Tabella 9. Confronto nel tempo, per i siti nel Parco, per i valori di Catch Per Unit Effort (CPUE), sex-ratio (M/F con M: maschi; F: femmine) e classi di taglia (P/G con P: piccoli con $CL < 25$ mm; G: grandi con $CL \geq 25$ mm) attraverso il test non parametrico di Wilcoxon (V) o il test t di Student per dati appaiati (t). Sono riportati la mediana (con il 1° e 3° interquartile) o la media (con l'errore standard) e la dimensione del campione (n) o i gradi di libertà (df). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto.

		Tutto	Romagna	Toscana
CPUE	CPUE 2012-2014	79.21 (± 11.47)	81.73 (± 13.79)	69.75 (± 19.58)
	CPUE 2022	79.79 (± 16.66)	93.73 (± 19.37)	27.5 (± 13.87)
	V/t	t= -0.05	t= -0.93	t= 2.19
	n/df	df=18	df= 14	df= 3
	p	0.97	0.37	0.12
M/F	M/F 2012-2014	0.81 (± 0.04)	0.81 (± 0.04)	0.82 (± 0.15)
	M/F 2022	1.17 (± 0.1)	1.17 (± 0.1)	1.15 (± 0.34)
	V/t	t= -3.13	t= -3.75	t= -0.85
	n/df	df= 15	df= 11	df= 3
	p	<0.01	<0.01	0.46
P/G	P/G 2012-2014	0.91 (0.65-1.16)	0.96 (± 0.11)	1.08 (± 0.45)
	P/G 2022	1.75 (1.06-2.34)	1.58 (± 0.23)	3.84 (± 1.82)
	V/t	V= 13	t= -2.47	t= -1.6
	n/df	n= 16	df= 11	df= 3
	p	<0.01	0.03	0.21

Analisi versante romagnolo - Parco

Nella Tabella 10 sono riportati i risultati delle analisi condotte per i singoli transetti del versante romagnolo, ad eccezione di 3 siti su 15 (Pietrapazza, Trogo e Villa), dove non sono stati trovati gamberi o ne sono stati trovati pochi. La sex-ratio è risultata essere generalmente bilanciata, tranne che per il sito di Fiumicino dove sono stati osservati più maschi (Tabella 10). Riguardo il rapporto tra individui piccoli e grandi, solo in sette siti è stata trovata una differenza statisticamente significativa: in 5 siti (Fiumicino, Fossati, Molinuzzo, Palaino 2 e San Paolo) sono stati trovati più individui piccoli, mentre in 2 siti (Campigna 1, Campigna 2) più gamberi grandi (Tabella 10). In nessun sito è stata trovata una differenza significativa tra sessi per le due classi di taglia (Tabella 11). Il confronto più dettagliato per taglia tra sessi ha evidenziato differenze significative solo a Molinuzzo e Palaino 2 dove i maschi erano più grandi (Tabella 11).

Tabella 10. Versante romagnolo del Parco. Confronto tra sessi (M: maschi; F: femmine; J: giovanili) e classi di taglie (P: piccoli con $CL < 25$ mm); G: grandi con $CL \geq 25$ mm) attraverso il test del chi

quadro (χ^2). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto. T=totale di gamberi catturati nel 2022.

Sito	T	M	F	J	χ^2	p	P	G	χ^2	p
Altari	85	50	35	0	2.65	0.1	36	49	1.99	0.16
Campigna 1	123	51	71	1	3.28	0.07	37	86	19.52	<0.0001
Campigna 2	182	90	92	0	0.02	0.88	60	122	21.12	<0.0001
Fiumicino	122	73	48	1	5.17	0.02	87	34	23.9	<0.0001
Fossati	79	34	41	4	0.65	0.42	51	28	6.7	0.01
Molino	102	54	48	0	0.35	0.55	55	47	0.63	0.43
Molinuzzo	258	122	114	22	0.27	0.6	192	66	61.54	<0.0001
Palaino 1	8	2	1	5	-	-	5	3	-	-
Palaino 2	75	39	31	5	0.91	0.34	52	23	11.21	<0.001
Pietrapazza	0	-	-	-	-	-	0	0	-	-
Rogheta	104	49	49	6	0	1	61	43	3.12	0.08
San Paolo	182	83	92	7	0.46	0.5	124	58	23.93	<0.0001
Sega 1	86	45	36	5	1	0.32	50	36	2.28	0.13
Trogo	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Villa	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 11. Versante romagnolo del Parco. Confronto tra sessi per le due classi di taglia (M: maschi; F: femmine; P: piccoli con CL<25 mm; G: grandi con CL≥25 mm) attraverso il test del chi quadro (χ^2) e tra sessi per la dimensione del cefalotorace (CL) attraverso il test non parametrico di Mann Whitney (W) o il test t di Student per dati indipendenti (t). I valori di CL riportano la mediana (con il 1° e 3° interquartile) o la media (con l'errore standard). Viene riportata anche la dimensione del campione (n) o i gradi di libertà (df). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto. T=totale di gamberi catturati nel 2022.

Sito	T	MP	MG	FP	FG	χ^2	p	CL (mm) M	CL (mm) F	W/t	n/df	p
Altari	85	22	28	14	21	0.13	0.71	27.25 (21-31)	27.5 (21-31)	W= 864	50 (M); 35 (F)	0.93
Campigna 1	123	19	32	17	54	2.53	0.11	31 (19.75-39.5)	34 (27.5-37)	W= 1780	51 (M); 71 (F)	0.88
Campigna 2	182	33	57	27	65	1.1	0.29	30 (18-37.5)	32.75 (24-37.62)	W= 3891	90 (M); 92 (F)	0.48
Fiumicino	122	54	19	33	15	0.39	0.53	20.75 (18.75-28)	19.75 (17.88-29.88)	W= 1913	73 (M); 48 (F)	0.32
Fossati	79	21	13	26	15	0.02	0.88	22 (18.25-30.38)	22 (19.5-32)	W= 676.5	34 (M); 41 (F)	0.83
Molino	102	27	27	28	20	0.71	0.4	24 (19-28.88)	21 (18.38-30.38)	W= 1403.5	54 (M); 48 (F)	0.47
Molinuzzo	258	89	33	81	33	0.11	0.75	22 (20-26.38)	20 (18-27)	W= 8716.5	122 (M); 114 (F)	<0.001
Palaino 1	8	0	2	0	1	-	-	-	-	-	-	-
Palaino 2	75	24	15	23	8	1.25	0.26	22.5 (19-30.75)	18.5 (16.5-24.5)	W= 822.5	39 (M); 31 (F)	0.01
Pietrapazza	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Rogheta	104	25	24	30	19	1.04	0.31	22 (15.5-32)	19 (14.5-28)	W= 1389.5	49 (M); 49 (F)	0.18
San Paolo	182	54	29	63	29	0.23	0.63	20 (16.5-28.25)	19 (16-28.38)	W= 4129	83 (M); 92 (F)	0.35
Sega 1	86	23	22	22	14	0.81	0.37	24 (19-29)	19 (16-28.88)	W= 1002.5	45 (M); 36 (F)	0.07
Trogo	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Villa	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Mediamente, in ogni sito del versante romagnolo, il 32% delle femmine erano mature, il 5% dei gamberi catturati era in muta, il 3% presentava la cosiddetta “ruggine” e il 36% aveva *Branchiobdella italica*. Riguardo questa ultima variabile, tra i siti in cui è stato possibile applicare il test del chi-quadrato, solo a Molino e San Paolo la differenza tra gamberi con e senza parassita non è risultata statisticamente significativa (Tabella 12). Il 6%, mediamente, aveva solo la chela destra, il 4% solo la sinistra e il 2% era senza chele; il 5% aveva la chela destra rigenerata, il 5% la sinistra, mentre raramente sono stati trovati individui con entrambe le chele rigenerate e solo l'1% aveva il rostro rotto (Tabella 13).

Tabella 12. Versante romagnolo del Parco. Numero totale di gamberi 2022 (T) e numero totale di femmine (T F). Numero e percentuale tra parentesi di individui di femmine mature (Mat.), individui in muta (Muta), con presenza di "ruggine" (Rug.) e individui parassitati da *Branchiobdella italica* (Par.). Per questa ultima variabile è stato calcolato il chi quadrato (χ^2) e i valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto.

Sito	T	T F	Mat.	Muta	Rug.	Par.	χ^2	p
Altari	85	35	17 (49)	2 (2)	9 (11)	56 (66)	8.58	<0.01
Campigna 1	123	71	29 (41)	4 (3)	0 (0)	35 (28)	22.84	<0.0001
Campigna 2	182	92	45 (49)	4 (2)	0 (0)	139 (76)	50.64	<0.0001
Fiumicino	122	48	10 (21)	3 (2)	0 (0)	91 (75)	29.51	<0.0001
Fossati	79	41	10 (24)	4 (5)	1 (1)	0 (0)	-	-
Molino	102	48	13 (27)	6 (6)	5 (5)	50 (49)	0.04	0.84
Molinuzzo	258	114	17 (15)	7 (3)	4 (2)	2 (1)	250.06	<0.0001
Palaino 1	8	1	1 (100)	1 (13)	1 (13)	0 (0)	-	-
Palaino 2	75	31	5 (16)	7 (9)	2 (3)	0 (0)	-	-
Pietrapazza	0	0	-	-	-	-	-	-
Rogheta	104	49	6 (12)	2 (2)	0 (0)	0 (0)	-	-
San Paolo	182	92	14 (15)	15 (8)	0 (0)	99 (54)	1.41	0.24
Sega 1	86	36	5 (14)	5 (6)	1 (1)	76 (88)	50.65	<0.0001
Trogo	0	0	-	-	-	-	-	-
Villa	0	0	-	-	-	-	-	-

Tabella 13. Versante romagnolo del Parco. Numero totale di gamberi 2022 (T), numero e percentuale tra parentesi di individui con solo la chela (Chele) destra (DX) o sinistra (SX) o nessuna (0) e quella

degli individui con chele rigenerate (Chele rig.), entrambe (2), solo la destra o la sinistra. Viene anche riportato il numero e la percentuale tra parentesi dei gamberi con il rostro rotto.

Sito	T	Chele			Chele rig.			Rostro
		DX	SX	0	2	DX	SX	
Altari	85	2 (<1)	0 (0)	0 (0)	2 (2)	4 (5)	11 (13)	0 (0)
Campigna 1	123	3 (2)	7 (6)	6 (5)	0 (0)	9 (7)	1 (1)	0 (0)
Campigna 2	182	12 (7)	10 (5)	4 (2)	0 (0)	8 (4)	9 (5)	0 (0)
Fiumicino	122	5 (4)	5 (4)	11 (1)	0 (0)	7 (6)	7 (6)	0 (0)
Fossati	79	6 (8)	4 (5)	11 (1)	0 (0)	4 (5)	0 (0)	0 (0)
Molino	102	7 (7)	3 (3)	11 (1)	0 (0)	6 (6)	8 (8)	0 (0)
Molinuzzo	258	6 (2)	12 (5)	1 (<1)	1 (<1)	11 (4)	14 (5)	4 (2)
Palaino 1	8	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Palaino 2	75	3 (4)	3 (4)	11 (1)	-	4 (5)	5 (7)	2 (3)
Pietrapazza	0	-	-	-	-	-	-	-
Rogheta	104	7 (7)	7 (7)	3	0 (0)	7 (7)	11 (11)	0 (0)
San Paolo	182	19 (10)	12 (7)	12	0 (0)	7 (4)	10 (5)	0 (0)
Sega 1	86	11 (13)	4 (5)	1 (1)	0 (0)	6 (7)	3 (3)	3 (3)
Trogo	0	-	-	-	-	-	-	-
Villa	0	-	-	-	-	-	-	-

Analisi versante toscano - Parco

Nella Tabella 14 sono riportati i risultati delle analisi condotte per i siti del versante toscano. La sex-ratio è risultata essere generalmente bilanciata mentre, riguardo il rapporto tra individui piccoli e grandi, a Corezzo 1, Corsalone 1 e Corsalone 2 sono stati trovati più gamberi piccoli (Tabella 14). Non è stata trovata alcuna differenza significativa tra sessi per le due classi di taglia (Tabella 15).

Tabella 14. Versante toscano del Parco. Confronto tra sessi (M: maschi; F: femmine; J: giovanili) e classi di taglia (P: piccoli con $CL < 25$ mm); G: grandi con $CL \geq 25$ mm) attraverso il test del chi quadro (χ^2). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto. T=totale di gamberi catturati nel 2022.

Sito	T	M	F	J	χ^2	p	P	G	χ^2	p
Corezzo 1	66	33	32	1	0.02	0.9	43	23	6.06	0.01
Corezzo 2	4	1	3	0	-	-	1	3	-	-
Corsalone 1	29	18	9	2	3	0.08	26	3	18.24	<0.0001
Corsalone 2	11	5	4	2	0	1	9	2	5.33	0.02

Tabella 15. Versante toscano del Parco. Confronto tra sessi per le due classi di taglia (M: maschi; F: femmine; P: piccoli con $CL < 25$ mm; G: grandi con $CL \geq 25$ mm) attraverso il test del chi quadro (χ^2)

e tra sessi per la dimensione del cefalotorace (CL) attraverso il test non parametrico di Mann Whitney (W) o il test t di Student per dati indipendenti (t). I valori di CL riportano la mediana (con il 1° e 3° interquartile) o la media (con l'errore standard). Viene riportata anche la dimensione del campione (n) o i gradi di libertà (df). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto. T=totale di gamberi catturati nel 2022.

Sito	T	MP	MG	FP	FG	χ^2	p	CL (mm) M	CL (mm) F	W / t	n/df	p
Corezzo 1	66	24	9	18	14	1.93	0.16	17 (15.5-26)	18.75 (16-27.62)	W= 471	n= 33 (M); 32 (F)	0.46
Corezzo 2	4	0	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-
Corsalone 1	29	17	1	7	2	-	-	17 (15.12-18.38)	19 (15-21)	W= 56	n= 18 (M); 9 (F)	0.21
Corsalone 2	11	4	1	3	1	-	-	20 (16-23)	23 (21-23)	W= 8	n= 5 (M); 5 (F)	0.4

Nel versante toscano, in media per ogni sito, il 17% delle femmine trovate erano mature, il 16% dei gamberi campionati era in muta e il 36% presentava *Branchiobdella italica*. A Corezzo 1 e Corsalone 1 la differenza tra gli individui con e senza parassita è risultata statisticamente significativa (Tabella 16). Il 5% aveva solo la chela destra, il 7% solo la sinistra e solo sporadicamente sono stati trovati gamberi senza chele. Inoltre, il 2% dei gamberi aveva la chela destra rigenerata, mentre il 6% presentava la sinistra rigenerata e solo l'1% aveva il rostro rotto (Tabella 17).

Tabella 16. Versante toscano del Parco. Numero totale di gamberi 2022 (T) e numero totale di femmine (T F). Numero e percentuale tra parentesi di individui di femmine mature (Mat.), individui in muta (Muta), con presenza di "ruggine" (Rug.) e individui parassitati da *Branchiobdella italica* (Par.). Per quest'ultima variabile è stato calcolato il chi quadrato (χ^2) e i valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto.

Sito	T	T F	Mat.	Muta	Rug.	Par.	χ^2	p
Corezzo 1	66	32	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (3)	58.24	<0.0001
Corezzo 2	4	3	2 (67)	2 (50)	0 (0)	3 (75)	-	-
Corsalone 1	29	9	0 (0)	1 (3)	0 (0)	3 (10)	17.29	<0.0001
Corsalone 2	11	4	0 (0)	1 (9)	0 (0)	6 (55)	0.09	0.76

Tabella 17. Versante toscano del Parco. Numero totale di gamberi 2022 (T), numero e percentuale tra parentesi di individui con solo la chela (Chele) destra (DX) o sinistra (SX) o nessuna (0) e quella degli individui con chele rigenerate (Chele rig.), entrambe (2), solo la destra o la sinistra. Viene anche riportato il numero e la percentuale tra parentesi dei gamberi con il rostro rotto.

Sito	T	Chele			Chele rig.			Rostro
		DX	SX	0	2	DX	SX	
Corezzo 1	66	3 (5)	5 (8)	1 (2)	0 (0)	6 (9)	2 (3)	2 (3)

Corezzo 2	4	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Corsalone 1	29	2 (7)	3 (10)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (10)	0 (0)
Corsalone 2	11	1 (9)	1 (9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (9)	0 (0)

Confronto nel tempo - Riserve

I dati dei monitoraggi effettuati nei due periodi di campionamento, 2021 e 2022, sono riportati nella Tabella 18. Anche se le differenze tra i dati passati e attuali non sono stati saggiati a livello statistico per ogni singolo transetto, i risultati sono confrontabili essendo stato usato lo stesso metodo di monitoraggio (Tabella 18). Per il confronto tra il 2021 e il 2022, anche il sito di Camaldoli 2 è stato escluso, in quanto non sono stati trovati gamberi; quindi, i risultati di questa prima analisi sono limitati alla sola Riserva Biogenetica di Badia Prataglia. In generale, si è rilevata una tendenza a un numero totale di gamberi campionati nel 2022 maggiore a quello del 2021, anche se il confronto non è risultato essere statisticamente significativo (Tabella 19).

La sex-ratio (M/F) è risultata essere più bilanciata nel 2021 che nel 2022. Quest'ultimo anno, infatti, sono state trovate relativamente più femmine anche se la differenza non è risultata statisticamente significativa (Tabella 19). Il rapporto tra individui piccoli e grandi (P/G) mostra come nel 2022 siano stati trovati più gamberi piccoli, rispetto al 2021, ma, anche in questo caso, non in maniera statisticamente significativa (Tabella 19).

Tabella 18. Valori, per i siti delle Riserve, di Catch Per Unit Effort (CPUE), sex-ratio (M/F con M: maschi; F: femmine) e classi di taglia (P/G con P: CL<25 mm; G: CL≥25 mm) per i due periodi di campionamento (2021 e 2022).

Sito	CPUE		M/F		P/G	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Camaldoli 2	0	0	-	-	-	-
Forconali	83	89	1.09	0.58	1.52	0.98
Lama invaso	56	10	1.21	1	0.51	1.5
Lama ponte	27	123	0.86	0.73	0.69	1.2
M. Carpinone	57	159	0.9	0.89	0.97	1.15

Tabella 19. Confronto nel tempo dei valori, per i siti delle Riserve, di Catch Per Unit Effort (CPUE), sex-ratio (M/F con M: maschi; F: femmine) e classi di taglia (P/G con P: CL<25 mm; G: CL≥25 mm) attraverso il test non parametrico di Wilcoxon (V) o il test t di Student per dati appaiati (t). Sono riportati la mediana (con il 1° e 3° interquartile) o la media (con l'errore standard) e la dimensione del campione (n) o i gradi di libertà (df). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto.

CPUE	CPUE 2021	55.75 (± 11.44)
	CPUE 2022	95.25 (± 31.81)
	V/t	t= -1.1
	n/df	df=3
	p	0.35
M/F	M/F 2021	1.02 (± 0.08)
	M/F 2022	0.8 (± 0.09)
	V/t	t= 2.02
	n/df	df=3
	p	0.14
P/G	P/G 2021	0.92 (± 0.22)
	P/G 2022	1.21 (± 0.11)
	V/t	t= -0.89
	n/df	df=3
	p	0.44

Analisi dei singoli siti - Riserve

Nella Tabella 20 sono riportati i risultati delle analisi condotte per i singoli transetti monitorati nel 2022. La sex-ratio è risultata essere generalmente bilanciata, tranne che per i siti di Forconali, dove sono state trovate più femmine, e Metaleto, dove invece sono stati osservati più maschi (Tabella 20). Riguardo il rapporto tra individui piccoli e grandi, non sono state trovate differenze significative. Solo a Metaleto tutti gli individui catturati erano grandi (Tabella 21). Sono state trovate differenze significative tra sessi per le due classi di taglia nei siti di Lama ponte e Metaleto (Tabella 21). Il confronto più dettagliato per taglia tra sessi ha evidenziato differenze significative solo a Lama ponte, dove le femmine in media erano più grandi, e a Metaleto, invece, erano più grandi i maschi (Tabella 21).

Tabella 20. Confronto, per i siti delle Riserve, tra sessi (M: maschi; F: femmine; J: giovanili) e classi di taglie (P: CL<25 mm); G: CL \geq 25 mm) attraverso il test del chi quadro (χ^2). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto. T=totale di gamberi catturati nel 2022.

Sito	T	M	F	J	χ^2	p	P	G	χ^2	p
Camaldoli 2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campigna 3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Forconali	89	30	52	7	5.9	0.02	44	45	0.01	0.92
Lama invaso	10	4	4	2	-	-	6	4	0.4	0.53
Lama ponte	123	48	66	9	2.84	0.09	67	56	0.98	0.32
Metaleto	112	85	27	0	30.04	<0.0001	0	112	-	-
M. Carpinone	159	75	84	0	0.51	0.48	85	74	1.06	0.3

Tabella 21. Confronto, per i siti delle Riserve, tra sessi per le due classi di taglia (M: maschi; F: femmine; P: CL<25 mm; G: CL≥25 mm) attraverso il test del chi quadro (χ^2) e tra sessi per la dimensione del cefalotorace (CL) attraverso il test non parametrico di Mann Whitney (W) o il test t di Student per dati indipendenti (t). I valori di CL riportano la mediana (con il 1° e 3° interquartile) o la media (con l'errore standard). Viene riportata anche la dimensione del campione (n) o i gradi di libertà (df). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto. T=totale di gamberi catturati nel 2022.

Sito	T	MP	MG	FP	FG	χ^2	p	CL (mm)		W/t	n/df	p
								M	F			
Camaldoli 2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campigna 3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Forconali	89	10	20	27	25	2.66	0.1	27 (20.5-32.75)	24 (17-32.25)	W= 896	30 (M); 52 (F)	0.27
Lama invasivo	10	2	2	2	2	-	-	23.75 (21.88-27)	27.5 (23.38-31.5)	W= 5	4 (M); 4 (F)	0.46
Lama ponte	123	30	18	28	38	4.48	0.03	21.75 (17-28.12)	25.75 (18-35)	W= 1221	48 (M); 66 (F)	0.04
Metaleto	112	0	85	0	27	30.04	<0.0001	45.08 (0.64)	39.04 (0.92)	t= 4.83	df= 110	<0.0001
M. Carpinone	159	39	36	46	38	0.25	0.62	24 (23-26.5)	24 (22-26)	W= 3338.5	75 (M); 84 (F)	0.51

Analisi delle altre variabili - Riserve

Mediamente, in ogni sito dove sono stati trovati gamberi, il 30% delle femmine erano mature, il 4% dei gamberi catturati era in muta, il 2% presentava la cosiddetta “ruggine” e il 56% aveva *Branchiobdella italica*. Riguardo questa ultima variabile, in tutti i siti in cui è stato possibile applicare il test del chi-quadrato (Forconali, Lama ponte, Metaleto e Molino del Carpinone) la differenza è risultata statisticamente significativa (Tabella 22).

Il 3%, mediamente, aveva solo la chela destra, il 3% solo la sinistra e l'1% era senza chele; il 4% aveva la chela destra rigenerata, il 4% la sinistra, meno dell'1% aveva entrambe le chele rigenerate e l'1% aveva il rostro rotto (Tabella 23).

Tabella 22. Numero totale di gamberi (T) e numero totale di femmine (T F). Numero e percentuale tra parentesi di individui di femmine mature (Mat.), individui in muta (Muta), con presenza di "ruggine" (Rug.) e individui parassitati da *Branchiobdella italica* (Par.) nei siti delle Riserve. Per questa ultima variabile è stato calcolato il chi quadrato (χ^2) e i valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto.

Sito	T	T F	Mat.	Muta	Rug.	Par.	χ^2	p
Camaldoli 2	0	0	-	-	-	-	-	-
Campigna 3	0	0	-	-	-	-	-	-
Forconali	89	52	6 (12)	5 (6)	3 (3)	56 (63)	10.98	<0.001
Lama invasivo	10	4	0 (0)	1 (10)	0 (0)	0 (0)	-	-
Lama ponte	123	66	27 (41)	3 (2)	1 (1)	92 (75)	30.25	<0.0001
Metaleto	112	27	24 (89)	1 (1)	3 (3)	111 (99)	108.04	<0.0001

M. Carpinone	159	84	8 (10)	5 (3)	2 (1)	67 (42)	3.94	0.047
--------------	-----	----	--------	-------	-------	---------	------	--------------

Tabella 23. Numero totale di gamberi 2022 (T), numero e percentuale tra parentesi di individui con solo la chela (Chele) destra (DX) o sinistra (SX) o nessuna (0) e quella degli individui con chele rigenerate (Chele rig.), entrambe (2), solo la destra o la sinistra nei siti delle Riserve. Viene anche riportato il numero e la percentuale tra parentesi dei gamberi con il rostro rotto.

Sito	T	Chele			Chele rig.			Rostro
		DX	SX	0	2	DX	SX	
Camaldoli 2	0	-	-	-	-	-	-	-
Campigna 3	0	-	-	-	-	-	-	-
Forconali	89	5 (6)	3 (3)	11 (1)	1 (1)	3 (3)	1 (1)	1 (1)
Lama invaso	10	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Lama ponte	123	4 (3)	8 (7)	11 (1)	1 (1)	14 (11)	6 (5)	1 (1)
Metaleto	112	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	6 (5)	7 (6)	0 (0)
M. Carpinone	159	7 (4)	3 (2)	3 (2)	0 (0)	5 (3)	10 (6)	1 (1)

Per quanto riguarda l'analisi del CPUE su più anni di campionamento, a Metaleto i gamberi sono aumentati nel tempo, mentre a Forconali sono diminuiti, anche se il test non è risultato essere significativo (Tabella 24). Infine, nel sito di Lama ponte non è stato possibile evidenziare un trend significativo: la popolazione è rimasta costante nel tempo per poi subire una drastica diminuzione nel 2020 e una ripresa già dal 2021 (Tabella 9).

Tabella 24. Sito (delle Riserve), anno di campionamento, numero totale di gamberi trovati, indice di correlazione (r per il metodo di Pearson e rs per quello di Spearman), dimensione del campione (n) o gradi di libertà (df), coefficiente di determinazione (R^2) e gradi di libertà del numeratore (df_1) e del denominatore (df_2). I valori del p-value (p) significativi sono indicati in grassetto.

Sito	Anno	Totale	Rho	n/df	p	R^2	$df_{1/2}$	p
Metaleto	2016	32	rs= 0.8	n= 4	0.33	0.83	df ₁ = 1; df ₂ = 2	0.06
	2017	34						
	2020	114						
	2022	112						
Forconali	2013	191	r= -0.7	df= 3	0.14	0.43	df ₁ = 1; df ₂ = 3	0.14
	2019	63						
	2020	11						
	2021	83						
	2022	89						

Lama ponte	1999	48	r= 0.09	df= 4	0.87	-0.24	df ₁ = 1; df ₂ = 4	0.87
	2008	43						
	2019	35						
	2020	4						
	2021	27						
	2022	123						

Sia nel Parco che nelle Riserve sono stati trovati anche 6 gamberi (2 a Campigna 2, e 1 a Metaleto, Forconali, Molino e Altari) parassitati probabilmente da microsporidi (Figura 7), data la colorazione bianca della muscolatura dell'addome. Infine, nei siti monitorati nel periodo 2022, non sono state trovate tracce del procione, come gamberi predati, fatte o impronte.



Figura 7. A destra, individuo parassitato, probabilmente, da microsporidi, a sinistra invece, individuo non parassitato.

Discussione

Parco

In generale, il numero di gamberi trovati nei due periodi di campionamento, 2012-2014 e 2022, è rimasto pressoché invariato. La sex-ratio, invece, è cambiata in maniera significativa, con un aumento dei maschi nei campionamenti del 2022, determinando un rapporto numerico tra i due sessi leggermente più bilanciato. Anche il rapporto tra gli individui piccoli e grandi mostra una differenza significativa con il passato: infatti, sono presenti più gamberi di piccole dimensioni nei recenti campionamenti.

Essendo, però, questa area di studio divisa a metà dal crinale appenninico, è bene valutare singolarmente i due versanti, quello romagnolo e quello toscano, dal momento che presentano differenze importanti, ad esempio, nella geomorfologia e nel disturbo antropico.

Versante romagnolo - Parco

Nel versante romagnolo sono stati trovati più gamberi rispetto al periodo 2012-2013, anche se non in maniera significativa dal punto di vista statistico. Le caratteristiche geomorfologiche rendono questo versante più aspro e selvaggio, con terreni arenari-marnosi e con pochissimi centri abitati presenti: tutto questo potrebbe ridurre la probabilità che un sito venga disturbato dalle attività umane.

Su 3 siti non sono stati trovati gamberi (Pietrapazza, Trogo e Villa). A Pietrapazza e Trogo nei precedenti campionamenti ne erano stati trovati solo, rispettivamente, 10 e 15. Queste popolazioni potrebbero essere quindi estinte o prossime all'estinzione, anche se non è possibile ipotizzare con certezza le cause, essendo passati dieci anni dagli ultimi monitoraggi. Potrebbero essersi verificati episodi di peste del gambero, che solitamente portano alla completa scomparsa di una popolazione nel giro di poco tempo (10 giorni). Tuttavia, se questi episodi si sono verificati qualche anno fa, non sono rimaste tracce ed è difficile averne la conferma. Inoltre, al momento l'unico episodio accertato di peste nel Parco è stato riportato per il versante toscano. Nel sito di Villa, invece, è stato trovato uno scarico diretto in acqua circa a metà transetto (Figura 8), che riversava in acqua una sostanza bianca e che emanava un forte odore di zolfo. Questo potrebbe essere la causa del declino della popolazione del sito di Villa (nel 2013 ne erano stati trovati 66), anche se bisogna considerare che sono passati 9 anni tra i due monitoraggi e che quindi potrebbero essere state anche altre

le cause. Non è noto, tuttavia, da quanto tempo lo scarico abusivo sia presente; al monitoraggio precedente non era stato rilevato.



Figura 8. Scarico trovato nel sito di Villa. Da notare la patina bianca presente sia nel tubo che sul fondo del torrente.

La sex-ratio è risultata essere bilanciata in quasi la totalità dei transetti, mentre il rapporto tra il numero di individui piccoli (non riproduttivi) e grandi (riproduttivi) mostra una quantità significativamente maggiore di individui grandi a Campigna 1 e Campigna 2. Il maggior numero di gamberi grandi può essere spiegato dal bias che può verificarsi durante la ricerca e la cattura a mano dei gamberi. Infatti, gli individui piccoli sono più difficili da individuare e da catturare, perché più elusivi, mimetici e veloci, quindi il loro campionamento in alcune condizioni può risultare più difficile. Al contrario, a Fiumicino, Molinuzzo, Palaino 2 e San Paolo sono stati trovati più gamberi piccoli e si può considerare come una conferma della buona, o addirittura ottima, salute di queste popolazioni (CPUE da 75 a 258) che hanno a disposizione un notevole numero di individui per il reclutamento. Non sono state trovate differenze significative tra sessi per le due classi di taglia e le dimensioni del cefalotorace tra i sessi risultano essere bilanciate, come già riportato in studi precedenti svolti nel Parco e nelle Riserve (Cenni, 2001; Mazza et al., 2011, 2017; Tricarico et al., 2021; S. Piazzini, com. pers.). Nei siti di Fossati e Molinuzzo sul fondo erano presenti molte alghe verdi mentre

a Palaino 1 e Pietrapazza sul fondo a volte c'era una patina grigiastra che emanava odore di zolfo. Il sito di Trogo, invece, è caratterizzato da molti salti naturali (anche di 2 m).

Si conferma la presenza dell'ectoparassita *B. italica* in quasi tutte le popolazioni romagnole con notevoli percentuali di individui parassitati ad Altari, Fiumicino e Sega 1, che non sembrano, però, risentire negativamente di questo ectoparassita.

Infine, sono stati trovati 4 gamberi (2 a Campigna 2, 1 a Molino e 1 ad Altari) parassitati, forse, da microsporidi. I microsporidi sono funghi parassiti intracellulari che infettano quasi tutti i phyla degli invertebrati, in particolare insetti e crostacei (Wittner e Weiss, 1999). Nei gamberi possono proliferare all'interno della muscolatura, con animali infetti che mostrano addome biancastro, da cui il nome "malattia della porcellana" o "coda di cotone". Questa infezione cronica provoca una progressiva compromissione dell'apparato locomotore e della funzione cardiaca e alla fine può portare alla morte dell'ospite. Sarà importante, quindi, confermare che l'infezione sia dovuta ai microsporidi e condurre delle ricerche per capire l'impatto che questo funghi hanno sulle popolazioni di gambero nativo di fiume.

Versante toscano - Parco

Analizzando, invece, solo il versante toscano, si nota una drastica riduzione, rispetto al passato, anche se non significativa dal punto di vista statistico, ma in linea con i risultati dei campionamenti del 2021. Infatti, la differenza diventa significativa se si considerano anche i siti monitorati nel 2021 (Morbidelli, 2022). Numerose possono essere le cause anche se, almeno alcune, potrebbero non essere più visibili, come ad esempio la peste del gambero, essendo già passati otto anni dal precedente monitoraggio. Non sono state ritrovate, per esempio, tracce di *P. lotor* durante i rilevamenti, ma è noto che questo mammifero alieno è presente nel Parco dal 2013 e con areale in espansione, soprattutto nel versante toscano (Boscherini et al., 2020). Non si può, quindi, escludere del tutto che la riduzione osservata di alcune popolazioni sia dovuta anche alla predazione da parte di questa specie invasiva. Infatti, in uno studio condotto nel 2020 nelle Riserve Statali, era già stata osservata una riduzione o una completa estinzione delle popolazioni nelle zone dove il procione è presente (Tricarico et al., 2021).

Riguardo le dimensioni dei gamberi, a Corezzo 1, Corsalone 1 e Corsalone 2 sono stati trovati individui più piccoli e, dal momento che i CPUE non erano molto elevati (da 11 a 66), si può ipotizzare che alcune minacce, come il bracconaggio o l'eccessiva predazione da parte di specie carnivore (ad esempio il procione), potrebbero aver determinato la riduzione

della popolazione, in particolare dei gamberi grandi. Da segnalare che nei siti Corsalone 1 e 2 il fondo era particolarmente fangoso, quindi un habitat non particolarmente adatto al gambero.

Le altre variabili analizzate, invece, non mostrano risultati significativi sul numero di individui con una o entrambe le chele mancati o rigenerate o con il rostro rotto, a causa dei numeri bassi di gamberi catturati.

Per quanto riguardano invece le attività antropiche, il versante toscano è molto differente da quello romagnolo. Infatti, sono presenti più centri abitati che possono essere potenziali sorgenti di disturbo in molteplici modi. Inoltre, appena fuori il territorio dell'area protetta, sono presenti paesi più grandi, con piccole aree industriali, come Pratovecchio-Stia, Poppi e Bibbiena.

Infine, non si può escludere che la riduzione delle popolazioni sia dovuta anche all'aumento di temperatura e a una diminuzione delle precipitazioni dovuti ai cambiamenti climatici in atto che hanno causato un minor apporto idrico dei torrenti anche in Casentino (A. Zoccola, com. pers.), anche se al momento le temperature rilevate nei siti si mantengono nel range ottimale per la specie che inizia ad avere problemi fisiologici sopra i 22°C (Mancini, 1986; Arrignon, 1996).

Per quanto riguarda il versante toscano, bisogna tenere in considerazione anche la possibile diffusione delle spore del fungo *A. astaci*, agente eziologico della cosiddetta "peste del gambero", letale per *A. pallipes* complex. Infatti, anche se questa problematica potrebbe riguardare l'intera area di studio, il versante toscano è maggiormente esposto in quanto proprio al confine del Parco, nel Lago di Romena a Pratovecchio-Stia (AR), è presente una popolazione di *P. clarkii*, segnalata dal 2015. Essendo la popolazione di gambero rosso della Louisiana più vicina all'area protetta, seppur non sia stata ancora accertata la presenza dell'oomicete (le indagini sono in corso), potrebbe essere stata la sorgente di alcuni focolai di peste del gambero che ci sono stati in passato all'interno del Parco sul versante toscano (T. Pretto, IZSVe, com. pers.). Durante il presente studio, non sono stati rinvenuti segni di questa malattia nelle popolazioni esaminate ma bisogna considerare che, nella maggior parte dei casi, è passato molto tempo dall'ultimo monitoraggio. Si può dunque ipotizzare che anche se ci fossero stati dei focolai, i segni non siano più visibili. Inoltre, i segni clinici negli animali infetti sono più facilmente distinguibili nelle fasi terminali dell'infezione in cui mostrano segni di neurotossicità. In questo caso, gli animali sono visibili più facilmente nelle ore diurne, perdono la coordinazione degli arti e, in caso di pericolo, non scappano

all'indietro con il tipico movimento di fuga. Lo spostamento di spore da un corpo idrico all'altro può avvenire tramite animali, come ardeidi e, potenzialmente, anche procioni, che immergono gli arti in acqua per predare i gamberi e si spostano in cerca di cibo. Anche l'uomo può fungere da vettore, se non disinfetta opportunamente l'attrezzatura e gli stivali prima di passare ad un altro sito.

Riserve

In generale, nella Riserva Biogenetica di Badia Prataglia, si nota un aumento di gamberi trovati nel 2022 rispetto al monitoraggio del 2021, anche se la differenza non risulta essere significativa. Questo dato potrebbe essere di buon auspicio per quelle popolazioni visto che, proprio in quella zona, nel 2021, era stato fototrappolato un procione e sono stati trovati anche segni di predazione del mammifero alieno su *A. pallipes complex* (A. Zoccola, com. pers.). Anche se le regressioni non sono risultate essere statisticamente significative, la popolazione di Forconali si è ridotta molto, mentre quella di Lama ponte sembra più stabile. Da notare però che, in entrambi i siti, sembra esserci una ripresa dal 2020, anno in cui sono stati trovati meno individui. Analizzando singolarmente i singoli transetti si notano situazioni diverse.

In due siti non sono stati trovati gamberi (Campigna 3 e Camaldoli 2). Uno di questi però, Campigna 3, non era mai stato monitorato in precedenza e quindi non si può escludere l'ipotesi che la specie non vi sia mai stata presente. Invece, nel sito di Camaldoli 2, non sono stati trovati né gamberi né resti di qualunque tipo mentre, nel 2021, pur non essendo stati trovati individui, era stato trovato il dito di una chela. Questa drammatica situazione fa ipotizzare che in quel sito la popolazione si sia estinta o sia prossima all'estinzione. Anche se non sono state ritrovate tracce di *P. lotor* durante i rilevamenti a Camaldoli 2, questo mammifero alieno è presente nella Riserva Biogenetica di Camaldoli (A. Zoccola, com. pers.) ed è noto come dal 2013 il suo areale sia in espansione nel Parco Nazionale (Boscherini et al., 2020). Non si può, quindi, escludere del tutto che la riduzione osservata sia dovuta anche alla predazione da parte di questa specie invasiva. Infatti, in uno studio condotto nel 2020 nelle Riserve Statali, è già stata osservata una riduzione o una completa estinzione delle popolazioni nelle zone dove il procione è presente (Tricarico et al., 2021). A Metaieto sono stati trovati solo gamberi grandi (riproduttivi), cioè con $CL \geq 25$, ma, per questo sito, in particolare, bisogna considerare il metodo di cattura utilizzato. Le nasse, infatti, tendono a catturare maggiormente individui medio-grandi, portando a una sottostima

di quelli piccoli (Budnick, 2022). Questo dato fa ipotizzare che il procione, segnalato più volte nella zona, non riesca a predare i gamberi in quanto le sponde del laghetto sono relativamente ripide. Un'altra ragione potrebbe essere dovuta all'accesso limitato al laghetto. Infatti, essendo all'interno di un cantiere forestale, l'accesso è consentito solo con l'autorizzazione del Reparto Biodiversità dei Carabinieri Forestali di Pratovecchio (AR) e quindi il disturbo antropico, di qualunque tipo, viene ridotto. Questo viene supportato dal trend positivo analizzando i 4 campionamenti fatti dal 2016 al 2022 nel sito, anche se non statisticamente significativo per i pochi valori.

Si conferma la presenza dell'ectoparassita *B. italica* in quasi tutte le popolazioni analizzate con notevoli percentuali. A Metaledo, ad esempio, l'anellide è stato infatti trovato nel 99% dei gamberi; tuttavia, la presenza non sembra avere effetti negativi sulla popolazione, che, anzi, come detto, è in notevole crescita. È da notare, anche, l'elevato numero di femmine mature trovate a Metaledo (89% delle femmine totali).

Infine, sono stati trovati 2 gamberi (1 a Forconali e 1 a Metaledo) parassitati, forse, da microsporidi.

Durante il presente studio, non sono stati rinvenuti segni della cosiddetta "peste del gambero" in nessuno dei siti, sia all'interno del Parco che delle Riserve.

Conclusioni

Considerando la riduzione di *A. pallipes* complex nell'area di studio, soprattutto nel versante toscano soggetto a maggiori impatti antropici, sarebbe auspicabile continuare a controllare il procione e il gambero rosso della Louisiana per limitarne l'espansione ed evitare ulteriori danni allo stato di conservazione del gambero di fiume o di altre specie native.

Bisognerebbe, inoltre, intraprendere altre azioni gestionali di seguito elencate:

- ulteriori controlli e sanzioni per la pesca, già illegale, di *A. pallipes* complex;
- rimozione delle captazioni per evitare che l'apporto idrico dei torrenti diminuisca ancora più velocemente di quanto già non avvenga a causa dei cambiamenti climatici;
- chiusura degli scarichi diretti delle abitazioni sui torrenti che abbassano la qualità delle acque e non le rendono compatibili con la presenza del gambero nativo di fiume.

Si sottolinea, infine, l'importanza di organizzare attività di divulgazione e informazione per sensibilizzare la popolazione sulla situazione attuale del gambero nativo e promuovere

l'adozione di buone pratiche, come la pulitura dell'attrezzatura per evitare la diffusione involontaria della peste del gambero.

Infine, sarà importante eseguire un nuovo monitoraggio in alcuni siti per confermare la scomparsa della specie (ad esempio, Pietrapazza, Trogo e Villa).

Ringraziamenti

Si ringrazia il Parco Nazionale Foreste Casentinesi-Monte Falterona e Campigna e il Reparto Carabinieri Biodiversità di Pratovecchio per il finanziamento e il supporto logistico. Si ringraziano, inoltre, Andrea Cerofolini, Giovanni Fiesoli, Giulia Moramarco, Marta Rodríguez-Ray, Matilde Marconi, Matteo Orlando, Mattia Loris Bianco, Mattia Sanelli e Ornella Esposito per l'aiuto prestato durante i campionamenti.

Bibliografia

Arrignon J. (1996). Il gambero d'acqua dolce e il suo allevamento. Edizioni Calderini, Bologna, 240 pp.

Boncompagni L., Ciampelli P., Fazzi P., Lucchesi M., Mazza G., Molfini M., Mori E., Petralia L. (2021). No country for native crayfish: importance of crustaceans in the diet of native and alien Northern raccoons. *Ethology Ecology and Evolution* 33: 576–590.

Boscherini A., Laurenzi A., Mazza G., Menchetti M., Mori E. (2020). Time is running out! Rapid range expansion of the invasive northern raccoon in central Italy. *Mammalia* 84: 98–101. doi: 10.1515/mammalia-2018-0151.

Brown B.L., Creed R.P., Dobson W.E. (2002). Branchiobdellid annelids and their crayfish hosts: are they engaged in a cleaning symbiosis. *Oecologia (Berlin)* 132: 250–255.

Brown B.L., Creed R.P., Skelton J., Rollins M., Farrel K.J. (2012). The fine line between mutualism and parasitism: complex effects in a cleaning symbiosis demonstrated by multiple field experiments. *Oecologia (Berlin)* 170: 199–207.

Budnick W.R., Roth B., Nathan L.R., Thomas S.M., Smith K., Walker S.N., Herbst S. (2022). Evaluation of five trap designs for removal of invasive red swamp crayfish (*Procambarus clarkii* Girard, 1852) in Southern Michigan: catch per unit effort, body size, and sex biases. *Management of Biological Invasions* 13(2): 369–390.

Cenni F. (2001). *Austropotamobius pallipes* nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna: struttura di popolazione e tasso di infestazione da Branchiobdellidi. Ph.D. thesis. Florence: Università degli Studi di Firenze.

Gherardi F., Cenni F., Crudele G., Mori M. (2002). Infestation rate of branchiobdellids in *Austropotamobius pallipes italicus* from a stream of Central Italy: preliminary results. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 367: 785–792. doi: 10.1051/kmae:2002066

Lee J.H., Kim T.W., Choe J.C. (2009). Commensalism or mutualism: conditional outcomes in a crayfish symbiosis. *Oecologia (Berlin)* 159: 217–224.

Mancini A. (1986). Astacicoltura. Allevamento e pesca dei gamberi d'acqua dolce. Edizioni Calderini, Bologna, 180 pp.

- Mazza G., Agostini N., Aquiloni L., Carano G., Gherardi F., Inghilesi A.F., Tricarico E. (2011). The indigenous crayfish *Austropotamobius pallipes* complex in a national park of central Italy. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 401: 12.
- Mazza G., Cianferoni F., Inghilesi A.F., Innocenti G., Stasolla G., Tricarico E., Zoccola A. (2017). Native crab and crayfish cooccurrence: first evidence in Europe. *Biologia* 72: 790–795. doi:10.1515/biolog-2017-0086.
- Morbidelli M. (2022). Il gambero nativo di fiume *Austropotamobius pallipes* complex nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi: stato di conservazione e minacce. Tesi magistrale. Università degli Studi di Firenze.
- Pratten D.J. (1980). Growth in the crayfish *Austropotamobius pallipes* (Crustacea: Astacidae). *Freshwater Biology* 10: 401–402.
- Reynolds J.D. (2002). Growth and reproduction. In: *Biology of freshwater crayfish*, ed. Holdich D.M., pp. 152–191. Oxford UK: Blackwell Science.
- Scalici M., Aquiloni L., Carticato G., Chiesa S., Ciutti F., Dörr A. J. M., Elia C., Fea G., Ghia D., Inghilesi A., Innocenti G., Mazza G., Prearo M., Tricarico E. (2020). Linee guida per la conoscenza e il corretto monitoraggio dei decapodi dulcicoli in Italia. AIIAD.
- Tricarico E., Ciampelli P., De Cicco L., Marsella S.A., Mazza G., Petralia L., Rossi B., Zoccola A. (2021). How raccoons could lead to the disappearance of native crayfish in central Italy. *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 681026. doi: 10.3389/fevo.2021.681026.
- Wittner M., Weiss L.M. (1999). *The Microsporidia and Microsporidiosis*. American Society for Microbiology, Washington, DC, USA.