

RELAZIONE FINALE

LAGURES

Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio).

Unità Operativa 1 (CREA) – Messa a punto di un metodo per la valutazione quantitativa e qualitativa di stock di specie ittiche eurialine che migrano fra ambiente marino e ambiente lagunare, nell’ottica di un approccio ecosistemico alla gestione delle risorse.

Responsabile Scientifico: Dott. Riccardo Aleandri

Unità Operativa 2 (UTOV) – Valutazione della funzionalità dei laghi costieri come siti di restituzione di riproduttori di specie ittiche eurialine, attraverso lo studio delle comunità ittiche e l’analisi della risposta ecosistemica alle pressioni ambientali

Responsabile Scientifico: D.ssa Eleonora Ciccotti

Settembre 2018

Il presente documento descrive le attività, i risultati e i deliverables di entrambe le UO del progetto.

ELENCO DEI COLLABORATORI ALLA RICERCA

Responsabile Scientifico U.O. CREA	Riccardo Aleandri	riccardo.aleandri@crea.gov.it
Responsabile Scientifico U.O. UTOV	Eleonora Ciccotti	ciccotti@uniroma2.it
Responsabile Amministrativo CREA	Luca Buttazzoni	luca.buttazzoni@crea.gov.it
Ricercatore CREA	Giovanna De Matteis	giovanna.dematteis@crea.gov.it
Ricercatore CREA	Sebastiana Failla	sebastiana.failla@crea.gov.it
Ricercatore UTOV	Lorenzo Tancioni	tancioni@uniroma2.it
Collaboratore (assegnista CREA)	Fabrizio Capoccioni	fabrizio.capoccioni@crea.gov.it
Collaboratore (assegnista CREA)	Michela Contò	michela.conto@crea.gov.it
Collaboratore (assegnista UTOV)	Chiara Leone	chiara.leone@uniroma2.it
Collaboratore (assegnista CREA)	Domitilla Pulcini	domitilla.pulcini@crea.gov.it

Il presente documento rappresenta il report delle attività svolte dalle unità operative 1) Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria Centro di ricerca di Zootecnia e Acquacoltura (CREA) e 2) Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" (UTOV) nell'ambito del Progetto di Ricerca *“Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”*.

CUP: J88C13001250001 (CREA)

CUP: J8G13001140001 (UTOV)

Per una corretta citazione bibliografica:

Aleandri R. & Ciccotti, E. 2018. *“Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”*. Rapporto Finale, Roma, Italia, 76 pp.

Questo studio è stato condotto con il contributo del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali e del Turismo, Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura. Esso non riflette necessariamente il punto di vista dell'Amministrazione e non anticipa in alcun modo le future decisioni gestionali. Il presente volume non è una pubblicazione e pertanto l'utilizzazione dei dati in esso contenuti è sottoposta all'autorizzazione scritta dei Responsabili Scientifici e dell'Amministrazione.

La proprietà dei risultati della ricerca è della Direzione Generale Pesca Marittima che si riserva il diritto di utilizzare, elaborare e diffondere i dati. Qualunque diffusione dei dati non autorizzata specificatamente sarà perseguita a termini di legge.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Parco Nazionale del Circeo per aver offerto la possibilità di utilizzare i Laghi Pontini quali siti pilota di studio, e per aver agevolato le operazioni sperimentali all'interno dell'area protetta durante i campionamenti.

Si ringrazia l'Ufficio Territoriale dei Carabinieri per la Biodiversità di Fogliano per la collaborazione e il supporto durante le fasi sperimentali di raccolta dei dati e per le positive interazioni in tutte le fasi del progetto. Un ringraziamento particolare va a Massimo Cecchetto e Luigi Loffredi, e ad Andrea Fusari, per l'aiuto operativo durante le notti di campionamento.

Sommario

Sommario	3
ABSTRACT	5
ESTRATTO	7
SYNTHESIS	10
1. Introduzione	16
5. Materiali e Metodi.....	21
2.1. Caratterizzazione dei siti di studio	21
2.1.1. Caratterizzazione ambientale	22
2.1.2. Caratterizzazione della comunità ittica	26
2.2. Valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e zona costiera UO1	27
2.2.1. Analisi delle serie storiche del pescato	27
2.2.2. Descrizione dell'attività sperimentale sul campo	27
2.2.3. Elaborazione dei dati	28
2.3. Valutazione della qualità delle specie eurialine accresciute in ambiente lagunare - il caso dell'Anguilla Europea: relazione tra qualità dei riproduttori e obiettivi di conservazione dello stock. UO2 e UO1	29
2.3.1. Dati biologici	29
2.3.2. Analisi della presenza e contaminazione di contaminanti organici e metalli pesanti.....	29
2.3.4. Analisi di infezioni virali.....	29
2.3.5. Analisi statistica dei dati.....	30
2.3.6 Elaborazione Indice di qualità.....	30
6. Risultati	33
3.1. Caratterizzazione dei siti di studio UO2	33
3.1.1. Caratterizzazione ambientale	33
3.1.2. Caratterizzazione della comunità ittica	34
3.2. Valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e marino	40
3.2.1. Analisi delle serie storiche del pescato	40
3.2.2. Messa a punto di un processo automatizzato dell'analisi di immagini acustiche per il conteggio dei pesci nel canale di marea	43
3.2.3. Risultati del conteggio automatico	45
3.3. Valutazione della qualità di specie ittiche in ambiente lagunare: il caso dell'Anguilla Europea come esempio di relazione tra qualità dei riproduttori e conservazione dello stock. UO2	52
3.3.1. Dati biologici	52
3.3.2. Contaminazione da contaminanti organici (OCs) e metalli pesanti (HM).....	53
3.3.3. Presenza di parassiti	60
3.3.4. Analisi della presenza di virus	60
3.3.5. Indice di qualità	61

7.	Discussione e conclusioni	65
8.	Raccomandazioni gestionali	71
9.	Partecipazione a meeting nazionali e internazionali	72
10.	Bibliografia	73

ABSTRACT

Research title: “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio).”

Scientific coordinator CREA:

Dott. Riccardo Aleandri

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA)

Centro di ricerca di Zootecnia e Acquacoltura

Via Salaria, 31, 00016 - Monterotondo (Roma) – ITALY

email: za.monterotondo@crea.gov.it

Scientific coordinator UTOV:

D.ssa Eleonora Ciccotti

Dipartimento di Biologia, Università Tor Vergata,

Via della Ricerca Scientifica, 00133, Roma

email: ciccotti@uniroma2.it

Keywords: fishery independent assessment methods, quality assessment, eurhyaline species, coastal lagoon.

Report to be quoted as:

Aleandri, R. & Ciccotti, E. 2018. “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”. Rapporto Finale, Roma, Italia. Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, Piano Triennale della Pesca e dell'Acquacoltura, Area tematica Valutazione delle risorse biologiche.

Aim of the project was to contribute to the scientific basis necessary for the sustainable management of living resources in Italian, and Mediterranean as well, lagoon environments, with particular regard to fish, through the assessment of the ecological status of two coastal lagoons taken as a model, the coastal lakes of Fogliano and Caprolace (included in the Circeo National Park), and specific evaluation of the connectivity between lagoon environment and coastal areas.

The first objective concerned the assessment of the ecological status of the reference lagoon ecosystems, aimed at developing an integrated methodology based on an expert judgment approach, that uses a series of environmental descriptors that contribute to evaluate the direct and indirect human pressures that act on the lagoon ecosystems.

The experimental activities then focused on the estimation of sea / lagoon fish biomass exchanges, performed by direct and automated methods of acoustic video capture, which have allowed biomass assessment for sea bream, especially relevant in these lagoons.

Finally, a qualitative evaluation of the local stock of the European eel (*Anguilla anguilla*) was carried out, by analyzing contamination levels and presence of some pathologies (*Anguilliculoides crassus* infestation and viruses). This also allowed the calculation of specific quality indices that contribute to evaluate the eel reproductive potential in emigration from the lagoons.

As for the environmental characterization, the method developed has allowed to give an integrated assessment of the state of the lagoons: the overall environmental status is of medium or good quality, and currently conditioned in both lagoons essentially by a decreased functionality of the tidal channels, which brings about a reduced exchange with the sea and hence influences the overall

water circulation in the lakes, besides interfering with the pattern of recruitment and escapemnt of fish from the lagoons. As a completion of the ecological status assessment, a qualitative characterization of the fish communities has been carried out, compared with previous descriptions in different historical moments, based on scientific monitoring and on catch time series. In Fogliano, a reduction of eel, that was the most typical species in this lake, a notable increase for sand-smelt, a resident species, and a decrease of marine migrants were observed. This decrease was also observed in Caprolace, where, instead, the eel is apparently increased in terms of abundance. The application of the acoustic method allowed to verify and quantify the frequency of fish passages, which ranged between 1 and 63 fish per minute. The methology, purposely set up for this research, thus allowed to automatically recognize the number of migrating fishes in the tidal channel towards the sea, that were more frequent in cloudy conditions and also during night hours. During the first year, the image acquisition and processing system was tested and validated in the Fogliano lagoon, while during the following year in the lagoon of Caprolace, specific biomass evaluations were carried out. It was possible to calculate, by the actual counts made by the acoustic camera, the escaping biomass of sea bream, equal to 15 tons, which left the Caprolace lagoon during the 2016/17 winter migration season. It was also possible to correlate the migratory phenomena of the migrant eurialine species (sea bass, eel and sea bream) with environmental variables such as tidal flow, rainfall, hour of day. The last objective, focused on eel, allowed to describe the quality of female silver eels, that was “good” in both lagoons, based on the low level of contamination and of pathologies. This confirms that the Pontine lakes represent sites of choice for the conservation of this species, which can significantly contribute to the restoration of the global eel stock, currently facing an alarming decline. Overall, the research results, and the methodological innovations developed, can represent important additional tools to optimize lagoon management strategies, by proposing a model of assessment that can be extended to most Italian and Mediterranean lagoons, especially those that fall within the typology of small and non-tidal lagoons.

ESTRATTO

Titolo della Ricerca: “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio).”,

Responsabile scientifico CREA:

Dott. Riccardo Aleandri

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA)

Centro di ricerca di Zootecnia e Acquacoltura

Via Salaria, 31, 00016 - Monterotondo (Roma) – ITALY

email: za.monterotondo@crea.gov.it

Responsabile scientifico UTOV:

D.ssa Eleonora Ciccotti

Dipartimento di Biologia, Università Tor Vergata,

Via della Ricerca Scientifica, 00133, Roma

email: ciccotti@uniroma2.it

Parole chiave: metodi di assessment pesca-indipendenti, qualità, contaminazione, specie eurialine, lagune costiere.

Indicazioni per la citazione del rapporto:

Aleandri, R. & Ciccotti, E. 2018. “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”. Rapporto Finale, Roma, Italia. Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, Piano Triennale della Pesca e dell'Acquacoltura, Area tematica Valutazione delle risorse biologiche.

Lo scopo di questo progetto di ricerca è stato quello di contribuire alla base scientifica necessaria alla gestione sostenibile delle risorse in ambienti lagunari italiani e Mediterranei, con particolare riguardo alle risorse ittiche, attraverso valutazioni dello stato ecologico di due lagune costiere prese come modello di studio, i laghi costieri di Fogliano e Caprolace (inseriti nel Parco Nazionale del Circeo), e valutazioni specifiche della connettività tra ambiente lagunare e fascia costiera.

Per quanto riguarda il primo aspetto, la valutazione dello stato ecologico degli ecosistemi lagunari di riferimento è stato anche finalizzato a mettere a punto una metodologia integrata basata su un sistema di giudizio esperto, che si basa su una serie di descrittori ambientali che concorrono a determinare le pressioni antropiche dirette e indirette che agiscono sugli ecosistemi lagunari presi in esame.

Le attività sperimentali hanno previsto successivamente la stima dei flussi di biomassa ittica mare/laguna attraverso metodi diretti e automatizzati di video-acquisizione acustica, che hanno permesso valutazioni di biomassa per l'orata, specie di rilevanza in queste lagune.

Infine è stata condotta una valutazione qualitativa della popolazione locale di Anguilla europea (*Anguilla anguilla*), attraverso analisi del livello di contaminazione e di alcune patologie (infestazione da *Anguilliculoides crassus* e virus), che ha permesso l'applicazione di diversi indici di qualità che contribuiscono a valutare il potenziale riproduttivo in emigrazione dalle lagune.

Per quanto riguarda la caratterizzazione ambientale, il metodo messo a punto ha permesso di dare una valutazione integrata dello stato delle lagune: lo stato ambientale complessivo risulta di media o buona qualità, condizionato al momento in ambedue i laghi essenzialmente dalla funzionalità dei

canali di marea, che influenza il ridotto scambio con il mare e la circolazione delle acque nei laghi. A corollario della valutazione di stato ecologico, è stata effettuata una caratterizzazione qualitativa delle comunità ittiche, messa a confronto con quanto noto in diversi momenti storici sia sulla base di monitoraggi scientifici sia in base alle serie storiche delle catture della pesca esercitata nei laghi. A Fogliano si è osservata una riduzione dell'anguilla, che invece in questo lago era la specie più caratteristica, un notevole incremento del latterino, specie residente, e una rarefazione delle specie marine migranti. Questa rarefazione si osserva anche a Caprolace, dove invece l'anguilla è invece apparentemente aumentata in termini di abbondanze.

L'applicazione del metodo acustico ha permesso di verificare e quantificare la frequenza del passaggio dei pesci, che è risultata molto variabile: da 1 a 63 pesci al minuto. Il sistema ottenuto permette di riconoscere automaticamente il numero dei pesci in migrazione nel canale di marea verso il mare in condizioni di acqua torbida e anche durante le ore notturne. Il primo anno presso la laguna di Fogliano il sistema di acquisizione e di elaborazione di immagini è stato testato e validato, mentre l'anno successivo nella laguna di Caprolace sono state effettuate le valutazioni di biomassa vere e proprie. Dalle elaborazioni è stato possibile calcolare, con una stima basata sui conteggi reali effettuati dalla telecamera acustica, la biomassa di orate, pari a 15 tonnellate, che nella stagione migratoria invernale 2016/17 ha lasciato la laguna di Caprolace. È stato possibile inoltre correlare i fenomeni migratori delle specie eurialine (spigola, anguilla e orata) rispetto a variabili fisiche (flusso mareale), temporali (ore della notte) e atmosferiche (piovosità).

Per quanto riguarda l'anguilla, lo stato qualitativo dei riproduttori di anguilla è risultato buono, in ambedue le lagune, sia in relazione al basso livello contaminazione che alle patologie, confermando che i laghi pontini rappresentano siti di elezione per la conservazione degli stock locali di anguilla, che potranno contribuire significativamente al ripristino dello stock.

Nel complesso, i risultati della ricerca e le innovazioni metodologiche messe a punto, possono rappresentare importanti strumenti supplementari per ottimizzare le strategie di gestione delle lagune, mediante un modello esportabile alla maggior parte delle lagune italiane e Mediterranee, soprattutto quelle ricadenti nella tipologia delle piccole lagune non tidali.

SINTESI

Titolo della Ricerca: “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”

Responsabile scientifico CREA:

Dott. Riccardo Aleandri

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA)

Centro di ricerca di Zootecnia e Acquacoltura

Via Salaria, 31, 00016 - Monterotondo (Roma) – ITALY

email: za.monterotondo@crea.gov.it

Responsabile scientifico UTOV:

D.ssa Eleonora Ciccotti

Dipartimento di Biologia, Università Tor Vergata,

Via della Ricerca Scientifica, 00133, Roma

email: ciccotti@uniroma2.it

Parole chiave: contaminazione, metodi di *assessment* pesca-indipendenti, specie eurialine, lagune costiere.

Indicazioni per la citazione del rapporto:

Aleandri, R. & Ciccotti, E. 2018. “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”. Rapporto Finale, Roma, Italia. Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, Piano Triennale della Pesca e dell'Acquacoltura, Area tematica Valutazione delle risorse biologiche.

INTRODUZIONE

Il Progetto di Ricerca “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)” è stato condotto in modo coordinato da 2 Unità Operative, il Centro di ricerca di Zootecnia e Acquacoltura del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), e il Dipartimento di Biologia dell'Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”.

La ricerca ha avuto inizio in modo coordinato in data 01 Gennaio 2015, e si è svolta tra Gennaio 2015 e Dicembre 2017, per una durata complessiva di 36 mesi (comprensivi di una proroga richiesta, congiuntamente dai due Responsabili Scientifici allo scopo di raccogliere ulteriori dati sul campo e poter effettuare l'attività sperimentale anche durante una seconda stagione per tutta la campagna invernale, 2016/2017).

Il quadro di riferimento in cui si inserisce la Ricerca è quello dello studio e della valutazione integrata dell'importanza, non solo da un punto di vista ambientale, ma anche produttivo, delle aree di transizione negli ambienti Mediterranei. Le lagune costiere hanno rappresentato da sempre una fonte di reddito e di sostentamento per le comunità umane, in tutte le zone litorali del mondo. Negli ultimi decenni, tuttavia, a causa del degrado ambientale che ha progressivamente interessato la maggior parte di esse, è sorta ed è progressivamente cresciuta una notevole preoccupazione riguardo al loro stato. Le cause di questo deterioramento sono molteplici e vanno identificate non

solo nelle naturali dinamiche ecologiche di questi ambienti, instabili ed effimeri per loro natura, ma anche nell'interazione di diversi fattori di impatto di origine antropica, quali l'urbanizzazione e l'inquinamento della fascia litorale, la gestione inadeguata, l'eccessivo sfruttamento delle risorse biologiche nelle lagune e nelle zone costiere adiacenti. Caratteristica comune a tutte le lagune costiere del Mediterraneo, conseguente all'aumento delle pressioni nella zona costiera e sugli ecosistemi lagunari stessi, è stata una progressiva contrazione della produttività ittica, e di conseguenza dei rendimenti della pesca. Ciò si è tradotto a volte in un calo di interesse verso le attività di pesca stesse e in un abbandono dei sistemi di gestione della laguna, trascurando anche l'importanza degli interventi idrologici. In molti casi i modelli gestionali basati sull'acquacoltura tradizionale e su metodi di pesca artigianale sono stati abbandonati. Tali modelli invece dovrebbero essere considerati una priorità all'interno di strategie di gestione per le lagune costiere del Mediterraneo, in relazione ai servizi ecosistemici forniti da questi ambienti e dalle attività tradizionali ad essi legate (Cataudella *et al.*, 2015). Molte aree di transizione e lagunari, incluse in aree protette come parchi regionali, Nazionali, zone Ramsar e siti della Rete Natura 2000, rappresentano siti di grande interesse per la conservazione della biodiversità, e sono oggetto di strategie di gestione ad essa finalizzate. Tale impegno sia istituzionale che economico non ha solo una valenza di tipo ambientale, ampiamente riconosciuta, ma anche economica, se si considerano in particolare le risorse ittiche che in questi ambienti trovano rifugio nelle fasi giovanili, per poi dopo un periodo di accrescimento tornare in mare per la riproduzione, dove sono oggetto di pesca commerciale. Ad oggi non è ancora stato quantificato il contributo che tali ambienti apportano agli stock naturali di queste specie, che si riproducono in ambienti marini e che quindi ad una certa fase del loro ciclo biologico abbandonano appunto gli ambienti di transizione per il mare.

La presente ricerca si inserisce in questo quadro di riferimento, e si è posta come obiettivo generale quello di valutare la capacità restitutiva di specie eurialine di interesse commerciale in ambienti lagunari. Questo è stato perseguito, da una parte, attraverso la messa a punto di metodologie innovative, non invasive e “*fishery independent*”, dall'altra effettuando un approfondimento non solo dal punto quantitativo ma anche qualitativo, inteso come livello di contaminazione, di una delle specie paradigmatiche degli ambienti di transizione, l'Anguilla europea, per la quale è ad oggi in corso un piano di gestione internazionale (Comunità Europea, FAO).

Il progetto di ricerca ha compreso due distinti moduli progettuali

1. Messa a punto di un metodo per la valutazione quantitativa e qualitativa di stock di specie ittiche eurialine che migrano fra ambiente marino e ambiente lagunare, nell'ottica di un approccio ecosistemico alla gestione delle risorse. Unità Operativa 1 (CREA);
2. Valutazione della funzionalità dei laghi costieri come siti di restituzione di riproduttori di specie ittiche eurialine, attraverso lo studio delle comunità ittiche e l'analisi della risposta ecosistemica alle pressioni ambientali. Unità Operativa 2 (UTOV);

Le attività sono state realizzate in modo congiunto, in quanto strettamente correlate tra loro e conseguite grazie alla collaborazione tra le due Unità Operative, attraverso tre obiettivi principali:

- a) *Caratterizzazione ambientale dei siti di studio e in particolare della comunità ittica*
- b) *Valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e marino*
- c) *Valutazione della qualità delle specie eurialine accresciute in ambiente lagunare: il caso dell'Anguilla Europea come esempio di link tra qualità dei riproduttori e conservazione dello stock.*

I siti di riferimento dove le valutazioni oggetto della ricerca sono state condotte sono le lagune Pontine, il complesso di quattro laghi costieri del Parco Nazionale del Circeo. Queste lagune, sin dai tempi della bonifica, sono state destinate alla pesca e all'acquacoltura estensiva, praticata con una gestione attiva dell'ambiente lagunare che ha contemplato il controllo e la ottimizzazione degli scambi idrici e la gestione della comunità ittica. Questo modello ha di fatto contribuito al

mantenimento nel tempo dei laghi, attraverso interventi ed adattamenti per fare fronte ai cambiamenti derivanti proprio dall'aumentare degli impatti antropici e delle pressioni dal territorio circostante, ma anche dalle dinamiche naturali dell'ambiente costiero, come l'erosione, e dai mutamenti globali. Nel tempo, con la transizione da una conduzione privata ad una gestione indirizzata alla conservazione legata al passaggio nel Parco Nazionale, le priorità sono cambiate, essendo orientate alla protezione di flora e fauna, in primo luogo l'avifauna, in un quadro complessivo di tutela della biodiversità e dell'ambiente acquatico in generale.

Proprio per la loro natura e per il loro interesse ecologico e naturalistico, presso le lagune pontine sono stati condotti negli anni numerosi progetti e studi da parte di diversi enti di ricerca, e questo ha permesso la produzione di una mole interessante di dati riguardo a diverse componenti degli ecosistemi lagunari, compresa la comunità ittica (Ciccotti, pers. comm.) e aspetti qualitativi e di dinamica di popolazione dello stock locale di anguilla (Bettinetti *et al.* 2010; Bevacqua *et al.* 2012; Capoccioni *et al.* 2014; Quadroni *et al.* 2012).

Un aspetto di particolare rilevanza strategica del presente Progetto sta nel fatto che nell'ambito del Regolamento CE 1100/2007 del Consiglio del 18 settembre 2007, che istituisce misure per la ricostituzione dello stock di anguilla europea (una delle specie eurialine di massimo interesse scientifico ed economico, oggi interessata da una contrazione vistosa del reclutamento e delle catture di adulte, che ha imposto appunto l'istituzione di un quadro coordinato per la gestione teso anche alla salvaguardia della specie), è emersa in maniera esplicita (ICES, 2015) la necessità per ciascun Paese Membro di raccogliere informazioni “fisheries independent” a livello di popolazioni locali, che potessero contribuire a validare i parametri di biomassa e mortalità, ottenuti con modelli previsionali basati sui dati delle catture commerciali, necessari alla valutazione dello stock di questa specie. Le lagune costiere sono, nell'area Mediterranea, ambienti molto produttivi che hanno un ruolo fondamentale sia di *nursery* che di accrescimento per molte delle più importanti specie ittiche oggetto di pesca e allevamento come l'orata, la spigola e l'anguilla. Per quest'ultima, con specifico riferimento agli habitat lagunari, Aalto *et al.*, (2015), sulla base di una valutazione preliminare del livello di emigrazione dei riproduttori stimato in condizioni pristine ed attuali, hanno suggerito che le sottopopolazioni mediterranee possano fornire un contributo significativo allo stock di anguilla europea a livello globale. Il ruolo e la rilevanza delle lagune mediterranee come habitat di accrescimento per questa specie è stato evidenziato anche dallo studio sull'uso dell'habitat in ambienti lagunari Mediterranei, che ha dimostrato come nelle acque di transizione in questa regione i tassi di crescita e le abitudini differiscano da quelli in fiumi e in habitat costieri latitudini più settentrionali (Acou *et al.*, 2003; Capoccioni *et al.*, 2014). La possibilità di valutare il potenziale riproduttivo degli stock locali, integrando anche informazioni sulla qualità dei riproduttori che lasciano singoli sistemi idrografici, appare dunque di fondamentale importanza in relazione alle possibili implicazioni per la gestione dello stock (ICES, 2012), fornendo conoscenze di supporto relative a stock locali, rilevanti per identificare i siti prioritari in cui le misure di gestione e/o conservazione dovrebbero essere messe in campo in via prioritaria.

MATERIALI E METODI

Uno scopo del progetto, con particolare riferimento agli obiettivi e alle attività della UO 2 – Tor Vergata, era quello di effettuare una valutazione della risposta ecosistemica alle pressioni ambientali nei due laghi oggetto di studio, con lo scopo di disporre di un quadro di riferimento per interpretare e contestualizzare i risultati delle varie attività di ricerca volti a valutare la capacità restitutiva delle lagune oggetto di studio.

Per descrivere la situazione dei laghi da un punto di vista della qualità ambientale complessiva ed effettuare la valutazione degli ambienti studiati, si è utilizzato un approccio basato su un metodo di giudizio esperto seguendo l'approccio proposto da Aubry e Elliot (2006) e successivamente modificato appositamente per questa ricerca, che usa una serie di descrittori ambientali che

concorrono a determinare le pressioni antropiche dirette e indirette che agiscono sugli ecosistemi lagunari presi in esame e che quindi possono esercitare un impatto sulla comunità ittica modificandone gli aspetti quantitativi e qualitativi.

A questo scopo, è stato applicato un approccio di valutazione ecosistemico per le acque di transizione, con particolare riferimento agli ecosistemi lagunari in area Mediterranea, in corso di messa a punto sulla base delle necessità legate all'attuazione della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60 (WFD).

L'analisi delle pressioni antropiche si basa sulla scelta di specifici indicatori facenti capo a 3 categorie: “Cambiamenti nella morfologia e nell'idrologia” (MORFO), “Uso del suolo e delle risorse” (USO) e “Qualità dell'acqua” (QUALITÀ) (Tabella 1). Per ogni categoria, sono considerati 4 specifici indicatori di pressione, che sono quantificati sulla base di una scala di valori costruita arbitrariamente (da 0 a 10) che ne descrive il grado di pressione, che va da grado di pressione “nullo” (classe 0) a grado di pressione “molto alto” (classe 10).

Ogni indice di categoria di pressione (IPC), e l'indice finale di pressione (IPF) che ne risulta, è calcolato come media aritmetica dei valori associati al grado di pressione dei singoli indicatori:

$$IPC = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots Y_n$$

$$IPF = \sum_{c=1}^3 IPC = \frac{(MORFO + USO + QUALITÀ)}{3}$$

Ne deriva che maggiore è il valore di tale indice, maggiore è l'impatto della presenza e dell'attività umana sul territorio, con ripercussioni negative sulla qualità dello stato ecologico delle lagune.

Per caratterizzare la comunità ittica da un punto di vista qualitativo, così come previsto tra gli obiettivi del progetto, è stata condotta una campagna di campionamento in ciascuno dei due laghi.

A scopo comparativo, sono stati sintetizzati e utilizzati i dati provenienti da campagne di pesca sperimentale condotte nel 2006, 2007 e 2012, nel corso di precedenti ricerche.

La valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e marino, attività specifica prevista tra gli obiettivi del CREA (UO 1), ha previsto preliminarmente, al fine di avere un quadro generale sulle dinamiche temporali di migrazione dei pesci nelle lagune del Circeo, una approfondita ricerca bibliografica per ricostruire le serie storiche e i dati di pesca giornalieri per singola specie di pesce, relative agli anni antecedenti al 2007, quando la pesca commerciale è stata sospesa. Tale esercizio è stato fondamentale per stabilire il calendario dei campionamenti ed anche per confrontare i risultati ottenuti al termine della fase sperimentale.

Le attività sperimentali volte alla valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e marino sono state svolte nel lago costiero di Fogliano nella stagione 2015/16 e a Caprolace nella stagione 2016/17, e concentrate nel periodo invernale (Ottobre-Marzo), in coincidenza con la fase migratoria delle specie target. È stato stabilito un calendario di osservazioni di 12 notti al mese a Fogliano e di 8 per Caprolace. Le osservazioni hanno avuto luogo nelle ore notturne, dalle 19 alle 7 del giorno successivo. A Fogliano le osservazioni sono state 64, mentre a Caprolace, l'anno successivo, sono state effettuate 37 campagne di osservazione. Si è deciso di concentrare le nottate di campionamento osservazioni nei giorni di luna scura, tenendo conto delle abitudini migratorie delle specie ittiche. In entrambi i laghi è stata organizzata una giornata di osservazioni anche durante le ore diurne.

Le attività condotte hanno riguardato la raccolta dei parametri fisico-chimici, la registrazione di immagini subacquee con telecamera acustica del passaggio dei pesci nel canale di marea e il

campionamento con bertovelli. La strumentazione impiegata ha contemplato una telecamera acustica (SubSeaTech) che, posizionata nel canale di marea, sotto il livello della superficie, ha permesso nelle ore notturne e in condizioni di elevata torbidità dell'acqua di rilevare il passaggio dei pesci che transitavano fra la laguna e l'ambiente marino. Il segnale acustico veniva elaborato, visualizzato e registrato su un PC. Contestualmente una sonda multiparametrica (Hydrolab), posizionata sempre nel canale di marea, ha registrato ad intervalli di un'ora i principali parametri fisici e chimici (temperatura, salinità, torbidità, conducibilità, ossigeno disciolto, clorofilla *a*). Inoltre una serie di bertovelli sono stati posizionati, sempre nel canale di marea, per verificare le specie ittiche in migrazione verso il mare (Figura 1).

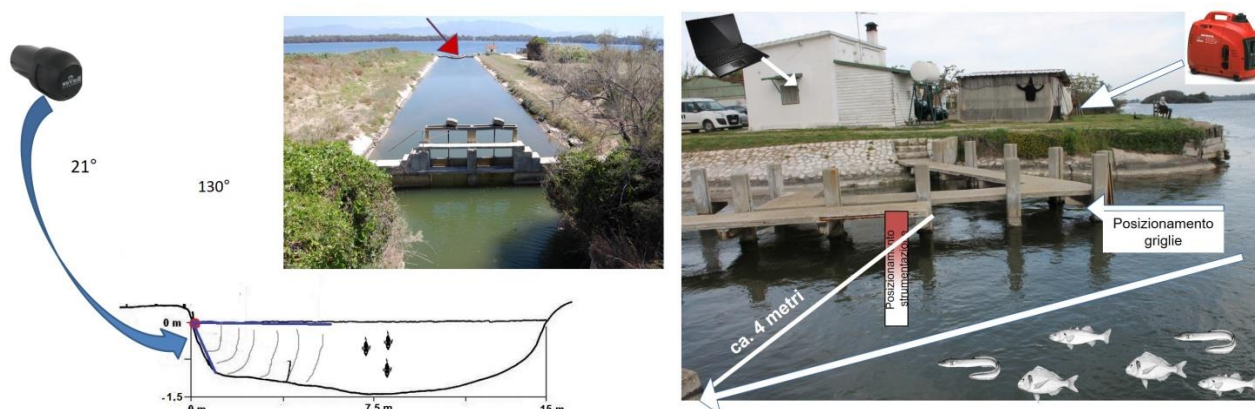


Figura 1: Rappresentazione del piano sperimentale dell'attività di rilevamento delle specie in migrazione. L'energia elettrica è fornita attraverso un generatore silenzioso.

L'ultima tematica affrontata dal progetto, relativa alla valutazione della qualità delle specie eurialine accresciute in ambiente lagunare ha affrontato il caso dell'Anguilla europea come esempio di link tra qualità dei riproduttori e conservazione dello stock.

Sono stati analizzati 41 individui di anguille argentine (20 da Fogliano e 21 da Caprolace) per determinare la concentrazione di contaminanti organici: PCBs (29 congeneri), il Clordano, i pesticidi clorurati (DDT totali, e i suoi isomeri e metaboliti), all'Esaclorobenzene (HCB), all'Esaclorocicloesano (HCH e dei suoi isomeri) e ai Polibromodibenzo-p-diossine e polibromodibenzofurani (BDE totali). La frazione lipidica del tessuto muscolare e gli OCs sono stati estratti e quantificati con il metodo della gascromatografia-spettrometria di massa (Malarvannan *et al.*, 2014). I metalli pesanti target (Zinco, Rame, Piombo Cromo, Cadmio e Mercurio) sono stati analizzati con il metodo dell'assorbimento atomico con fornello di grafite Perkinelmer AAnalyst 600.

Gli stessi esemplari di anguilla sacrificati per le analisi sui contaminanti sono stati utilizzati anche per valutare l'eventuale livello di infestazione da *Anquillicola crassus*.

Infine sono stati determinati gli individui infetti da due virus (l'Herpes Virus 1, detto Anghv-1, e l'Eel virus European X o EVEX) con metodo genetico (Polymerase Chain Reaction). Tali infezioni sono associate a una minor efficienza di nuoto che comprometterebbe il potenziale riproduttivo delle anguille argentine (van Ginneken *et al.*, 2005)

L'insieme dei dati relativi a contaminazione e patologie sono stati utilizzati per calcolare diversi indici che descrivono la "qualità globale" dei riproduttori di questa specie al fine di caratterizzare il contributo di una popolazione locale alla riproduzione della specie anche da un punto di vista qualitativo e non solo quantitativo.

Tabella 1: Analisi delle pressioni antropogeniche: categorie e indicatori identificati, periodicità e dimensione della valutazione effettuata, sintesi delle fonti bibliografiche considerate.

<i>Categoria</i>	<i>Indicatore</i>	<i>Fonte</i>	<i>Periodicità della valutazione</i>	<i>Dimensione della valutazione</i>	<i>Referenza</i>
MORFOLOGIA	SCAMBIO IDRICO – Confinamento e tempo medio rinnovo acque	Report “Progetto Laghi Costieri, 1984”	Fisso nel tempo*	Intera laguna	Kjerfve, 1994 Ferrarin <i>et al.</i> , 2013 Newton. <i>et al.</i> , 2013
	ARGINI – Percentuale di sponde antropizzate	Osservazioni <i>In situ</i> Strumento GIS- Progetto PRIN 2009	Fisso nel tempo	Settori	Giudizio esperto
	CANALI DI FOCE – Stato ed efficienza	Report “Progetto Laghi Costieri, 1984” Consorzio Bonifica, 2013 Progetto PRIN 2009	Fisso nel tempo	Settori	Giudizio esperto
	IMMISSARI – Tributari superficiali e loro funzionalità	Questo lavoro Progetto PRIN 2009 Consorzio Bonifica, 2013 Questo lavoro	Fisso nel tempo	Settori	Giudizio esperto
USO	PAESAGGIO – Percentuale di territorio antropizzato	Corine Land Cover Relazione Progetto PRIN 2009	Fisso nel tempo	Settori	Gardi <i>et al.</i> , 2010
	ACQUACULTURA – Mitilicoltura kg per metro lineare di fune	Report Uniprom, 2010	Annuale	Settori	Giudizio esperto
	BERTOVELLI – Densità di strumenti per ettaro	Banca Dati Reg. CE 199/2009 (2007-2016)	Annuale	Intera laguna	Giudizio esperto
	BARRIERE FISSE – Numero di giorni di attività o mesi	Banca Dati Reg. CE 199/2009 (2007-2016)	Annuale	Settori	Giudizio esperto
QUALITÀ	DO – Ossigeno disciolto	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06; Uriarte <i>et al.</i> , 2009
	Chl-a - Clorofilla	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06
	DIN – Azoto Inorganico Disciolto	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06
	RP – Fosforo Reattivo	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06

* considera come condizione pristina gli anni '80

RISULTATI

Per quanto riguarda la caratterizzazione ambientale, nella Figura 2 sono illustrati i risultati relativi ai valori assunti dall'indice di pressione finale nelle due lagune, e i valori di impatto stimati separatamente per le tre categorie di pressione, relativamente ai quattro settori spaziali in cui ogni lago è stato suddiviso.

Il valore dell'indice di pressione complessivo ottenuto per i due laghi risulta compreso tra 2 e 4, con un valore leggermente più elevato riscontrato a Fogliano, ma comunque “basso”.

Esaminando i valori dell'indice di pressione ottenuto per ciascuna categoria di pressione è possibile evidenziare il contributo delle diverse categorie, con alcune differenze tra laghi. Innanzitutto si osserva come il valore dell'indice per la categoria “Cambiamenti nella morfologia e idrologia” sia quello con contributo più elevato tra i tre considerati, pari a 5 (medio impatto) a Fogliano e 4 (ancora in un range di basso impatto) a Caprolace. L'indice relativo alla categoria “Qualità delle acque” è pari a 4 per Fogliano (rientrando nel range di medio impatto) e 4 per Caprolace (basso impatto). Per l'indice relativo a “Uso del suolo e allo sfruttamento delle risorse”, i valori ottenuti sono molto bassi per ambedue i laghi.

Il quadro che emerge evidenzia che ambedue le lagune sono influenzate da pressioni correlate agli aspetti di morfologia dei laghi, e alle conseguenti dinamiche idrologiche che ne derivano, in particolare aspetti connessi con la efficienza degli scambi idrici con il mare. Del resto è noto che questi aspetti condizionano i processi di vivificazione delle acque della laguna e giocano un ruolo fondamentale proprio nel mantenimento della natura stessa di ecosistemi lagunari di questa tipologia.

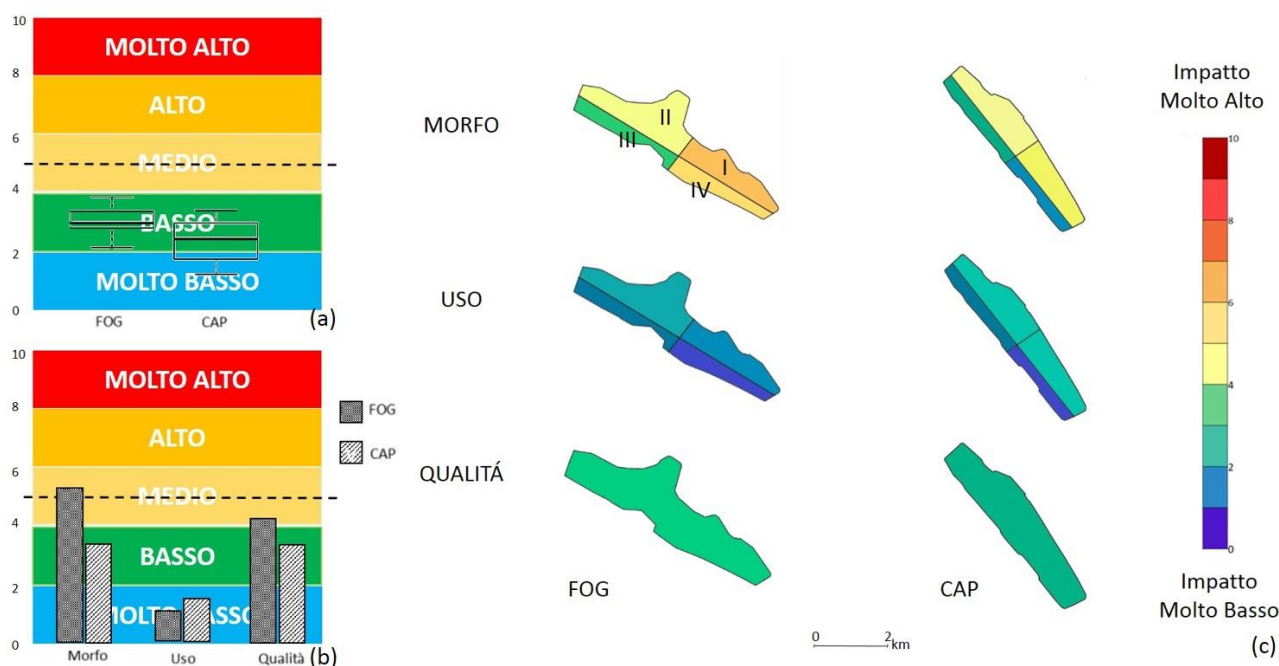


Figura 2: Caratterizzazione ambientale dei siti oggetto di studio. Fig. 3(a) indice di pressione totale; Fig. 3 (b) (c) indice di pressione ottenuto per categoria di pressione antropica e dettaglio della valutazione effettuata per quadrante.

La caratterizzazione qualitativa della comunità ittica permette, sulla base dell'elenco delle specie osservate nei due laghi nel corso del presente studio e in studi precedenti, di fare alcune considerazioni comparative di massima sugli avvicendamenti osservati nel popolamento ittico. A Fogliano si osserva una riduzione dell'anguilla, che invece in questo lago era la specie più

caratteristica, un notevole incremento del latterino, specie residente, e una rarefazione delle specie marine migranti. Questa rarefazione si osserva anche a Caprolace, dove invece l'anguilla è aumentata in termini di abbondanze, tra le specie residenti il latterino appare in decremento. Le specie marine occasionali sono state rinvenute sempre in modo discontinuo, in ambedue i laghi.

L'analisi della ripartizione mensile delle catture del pescato, condotta attraverso l'elaborazione delle serie storiche delle catture, calcolate come medie mensili negli anni tra il 1990 e il 2006 (Figura 3), ha mostrato come i mesi di catture più abbondanti siano Ottobre, Novembre e Dicembre, in particolare per le specie orata e anguilla, confermando che i mesi di migrazione riproduttiva di queste specie sono appunto quelli invernali. Tale dato è confermato anche da studi svolti in passato presso gli stessi laghi costieri da Ardizzone *et al.*, (1985).

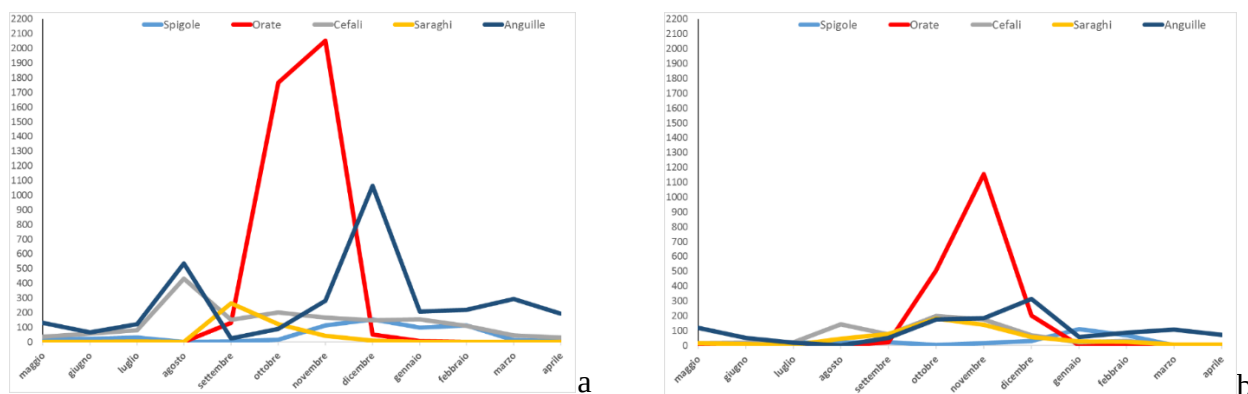


Figura 3: Medie mensili (kg) al lavoriero presso il Lago di Fogliano (a) e Caprolace (b) nel periodo dal 1990 al 2006. Elaborazione su di dati forniti dal Corpo Forestale dello Stato – Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Fogliano.

La messa a punto di un metodo automatizzato per l'elaborazione delle immagini acustiche del passaggio dei pesci nel canale di marea è uno dei principali risultati del progetto, poiché questo approccio (utilizzato nei passaggi per pesci delle dighe nelle acque interne) non era mai stato applicato in un contesto così complesso dal punto di vista ecologico come quello delle acque di transizione.

Singole immagini (formato .jpeg) sono state estrapolate ogni 3 secondi dal video di ciascuna notte di riprese (ca. 12h di filmato per ciascun campionamento per un totale di più di 400 ore per ciascun lago costiero nelle due stagioni di attività sperimentale). Tale intervallo è stato calcolato sulla base della dimensione della regione di interesse (ROI), ovvero un'area del canale di marea immediatamente antistante la paratoia di dimensione predefinita (118x360 pixel), che si è scelto di considerare per il conteggio dei pesci affinché fosse minimizzata la possibilità di conteggiare lo stesso individuo più volte.

La messa a punto del protocollo, effettuata sulla base delle riprese il primo anno presso il lago di Fogliano, ha previsto la scelta e l'impostazione di alcuni parametri per eliminare il rumore di fondo dai risultati del conteggio automatico, come la larghezza minima/massima degli "item" da considerare e un valore per la soglia di intensità degli item rispetto ai valori di sfondo vicini, al fine di controllare la sensibilità del rilevamento e della segmentazione (es. evitare che un item/pesce venga conteggiato come due o tre pesci più piccoli). Tale impostazioni sono state definite su un subset di riprese, dopo numerosi confronti dei risultati del software con conteggi manuali di un operatore esperto sia sulla base delle immagini sia riguardando più volte la sequenza video specifica.

Al fine di minimizzare ulteriormente il rumore di fondo, prima di ogni procedura di conteggio automatico su ciascuna immagine è stata sottratta una "background image" acquisita all'inizio della nottata di riprese in condizioni di assenza di qualsiasi passaggio di pesci.

Nelle figure 4, 5 e 6 sono mostrati alcuni passaggi del protocollo effettuati con il software di elaborazione di immagini per la conta degli individui in migrazione IMAGE J che ha utilizzato gli “screenshot” catturati dal software della camera acustica (BlueView).

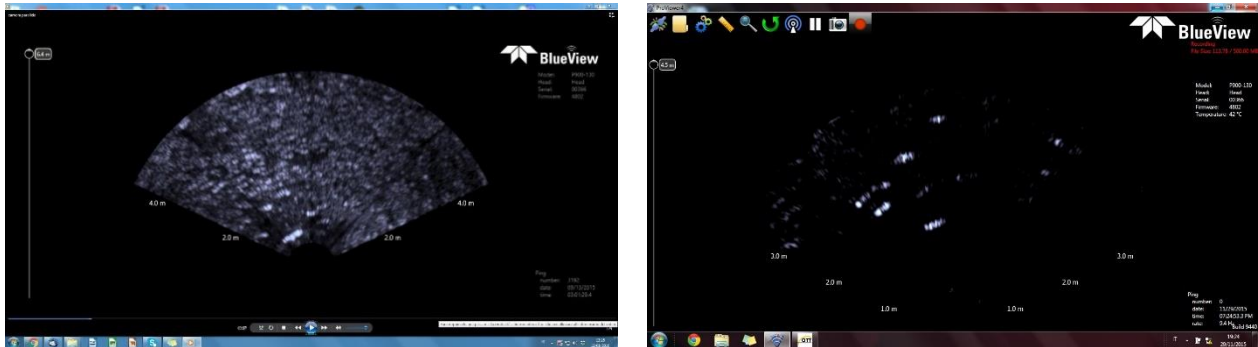


Figura 4: Fermo immagine raw di un video acustico ottenuto presso il canale di marea della laguna di Fogliano (a). Prima elaborazione per massimizzare il contrasto e il pesce in movimento (b).

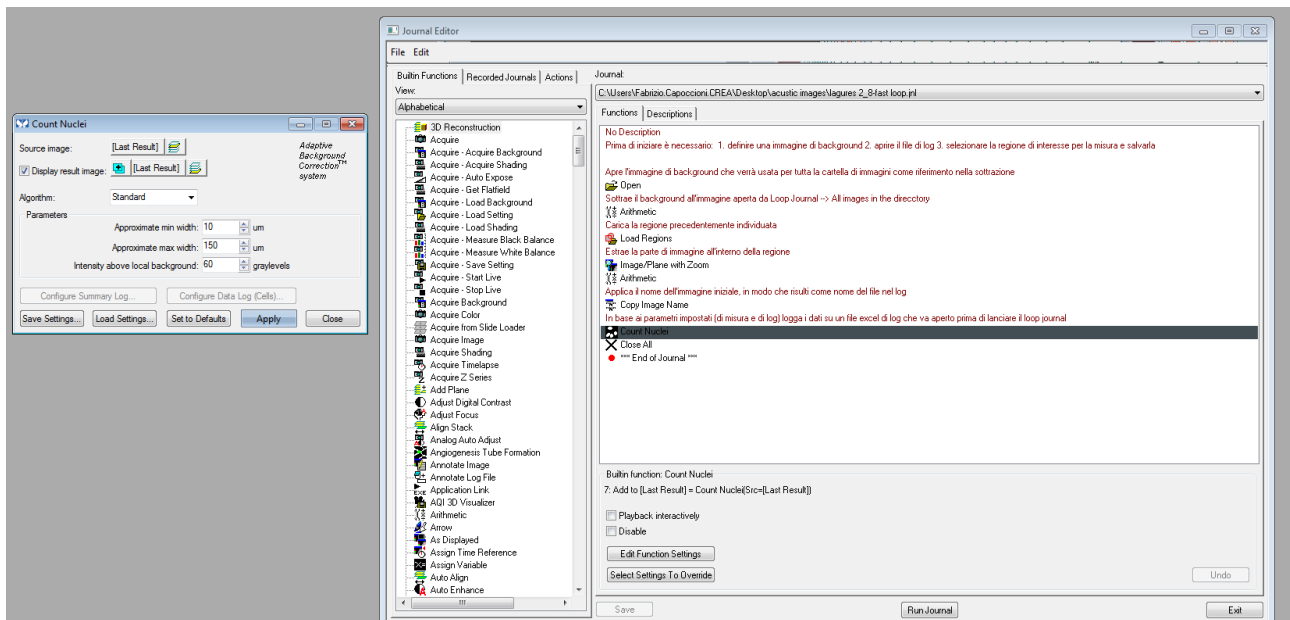


Figura 5: L'immagine mostra il protocollo (journal) automatizzato per la conta dei pesci e un dettaglio dei parametri soglia scelti per minimizzare il rumore di fondo.

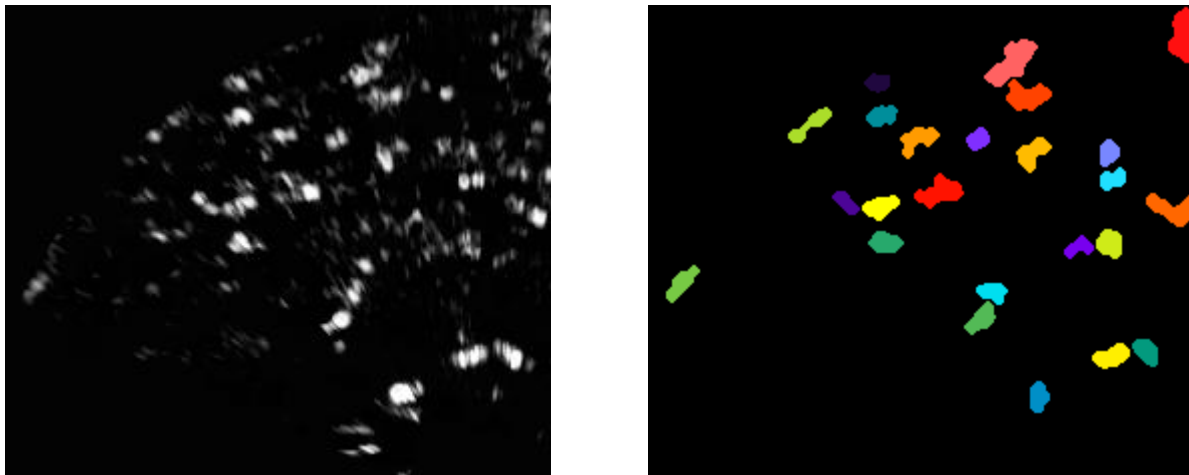


Figura 6: Dettaglio (ROI - region of interest) di un'immagine acustica (a) ed elaborazione attraverso l'utilizzo di diversi filtri (IMAGEJ software) per la conta automatica dei pesci (b).

I risultati dell'elaborazione delle immagini acustiche del lago di Fogliano sono stati utilizzati per la messa a punto e la validazione del protocollo, mentre di seguito vengono riportati i risultati relativi alla stagione di attività sperimentale 2016/17 svolte presso il lago costiero di Caprolace.

Presso questa laguna sono state effettuate 37 giornate di attività di riprese acustiche (36 di notte e una di giorno) a partire da Ottobre fino a Febbraio, secondo il calendario previsto. Il totale di riprese video è stato di 413 ore, in cui sono stati conteggiati 266.717 pesci. La frequenza del passaggio dei pesci è risultata molto variabile, da 1 a 63 pesci conteggiati al minuto. L'elaborazione dei dati ha permesso di evidenziare anche il passaggio multiplo di pesci conteggiati in una singola immagine. Tale fenomeno, detto "schooling", cioè un branco di pesci di dimensioni maggiori di 9 unità, è stato calcolato sempre in maniera automatica dal software ed è risultato anch'esso molto variabile, con giorni in cui tale fenomeno non è stato registrato e giorni in cui lo *schooling* è stato riscontrato fino a 218 volte.

Nella Figura 7 i valori sono riportati sotto forma di grafico a cui è stata aggiunta una media mobile (periodo= 2) per mostrare l'andamento durante la stagione. Si può notare come non ci sia correlazione fra i due valori (cross-correlation: lag=0 p=0,15).

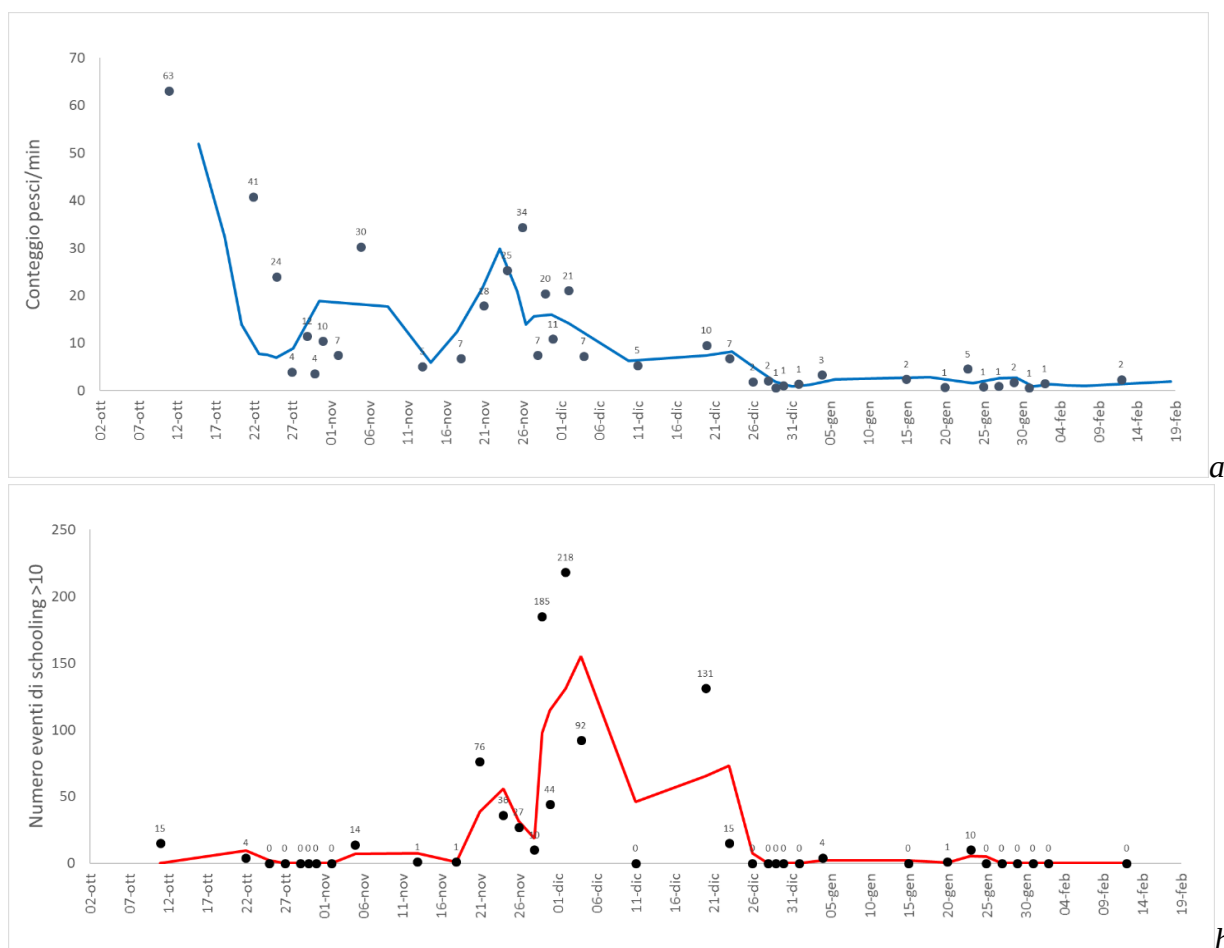


Figura 7: Trend e media mobile del numero di pesce conteggiati/min durante la stagione di campionamento a Caprolace (a) e media mobile degli eventi di schooling registrati nel medesimo periodo (b).

Sulla base dei risultati ottenuti dal conteggio automatico attraverso la rilevazione della camera acustica e con l'elaborazione del software è stata effettuata per la prima volta una valutazione della migrazione riproduttiva di *Sparus aurata*, una delle specie eurialine più importanti degli ambienti di transizione come le lagune Pontine.

Utilizzando i dati storici delle catture al lavoriero a Caprolace (1990-2006), sono state calcolate le percentuali di catture di orata rispetto al totale delle catture durante i mesi di migrazione (ottobre, novembre e dicembre), che sono risultati rispettivamente del 47,4%, 69,2% e del 30%. Queste

frequenze sono state applicate ai conteggi totali ottenuti nei giorni di campionamento con la camera acustica. Al fine di modellizzare la migrazione riproduttiva delle orate, è stata calcolata una curva gaussiana relativa alla stima del numero di orate conteggiate nei giorni di campionamento, per valutare il numero di individui in migrazione nei giorni di assenza di rilevamento nell'arco dell'intera stagione. Il risultato della modellizzazione ha permesso una stima del numero totale di individui di orata in uscita dalla laguna durante il periodo interessato (in totale 41 giorni) pari a 150.379 individui. Considerando un peso medio individuale di 100 g, corrispondenti alla dimensione media di questa specie quando intraprende la migrazione, si è potuta stimare una biomassa totale di orate in migrazione dalla laguna di Caprolace nell'inverno 2016 pari a circa 15 tonnellate.

L'ultimo obiettivo del progetto prevedeva di condurre valutazioni qualitative dei riproduttori in uscita dalle lagune di Fogliano e Caprolace, concentrando l'attenzione sull'Anguilla europea, per valutare il contributo effettivo dello stock locale al potenziale riproduttivo della specie. Per l'anguilla infatti, una specie catadroma panmittica, è importante conoscere questo aspetto, in quanto i riproduttori degli stock locali contribuiscono alla rinnovabilità dello stock globale. Visto lo stato dello stock di anguilla, la cui contrazione quantitativa ha imposto necessità di gestione coordinata finalizzata anche alla conservazione e al ripristino dello stock globale, l'attenzione è posta al contributo dei riproduttori in uscita dai diversi habitat colonizzati dalla specie in tutto l'areale alla migrazione oceanica verso l'area di riproduzione. Gli obiettivi per il recupero dello stock sono focalizzati sulla tutela e l'incremento dell'emigrazione (Reg. CE 1100/2007), ma ultimamente l'attenzione è stata rivolta anche a valutare la qualità dei riproduttori stessi, in quanto il contributo effettivo alla riproduzione della specie in oceano potrebbe risultare compromesso da una qualità ridotta degli animali, conseguente alle condizioni di degrado degli habitat in cui l'anguilla si accresce e alla diffusione di patologie specifiche (ICES, 2011).

Il profilo complessivo di contaminazione nei laghi mostra una situazione d'insieme di contaminazione relativamente bassa rispetto ad altre specie o all'anguilla stessa in altri siti italiani ed europei, e se paragonato con i limiti di legge per il consumo umano.

Per quanto riguarda i policlorobifenili (PCB) considerati (29 congeneri), le concentrazioni osservate hanno mostrato valori molto al di sotto del limite, fissato per la somma di soli 6 congeneri: Σ 6 PCBs (28,52,101,138,153,180) in 300 ng/g w.w. per l'anguilla. (EC/1259/2011). I valori osservati di Σ PCBs sono infatti 39,35 + 10,25 ng/g ww nelle anguille argentine del lago di Fogliano e 24,87 + 3,01 in quelle di Caprolace. Anche i valori massimi riscontrati sono stati al di sotto di tali valori. Si tratta di valori assai inferiori a quelli osservati in diversi siti in Europa (Szlander-Richert *et al.*, 2014) e paragonabili ad altre acque di transizione, come ad esempio l'estuario della Loira (Blanchet-Letrouvé, 2013). I congeneri che maggiormente contribuiscono al valore di Σ PCBs sono 5 dei 7 congeneri prioritari PCB 101, 118, 138, 153 e 180, unitamente a CB 99 e 187.

Per quanto riguarda i Polibromodibenzo-p-diossine polibromodibenzofurani (PBDE), sono stati considerati 9 congeneri, tra cui tre (PBDE 47, 99 e 153) di interesse prioritario in quanto sono quelli con maggior potenziale di bioaccumulo. I valori di Σ PBDE sono significativamente diversi nelle anguille argentine dai due laghi, pari a $2,18 \pm 0,20$ ng/g ww a Fogliano e $1,21 \pm 0,11$ 20 ng/g ww a Caprolace. Tali valori sono paragonabili a quelli osservati in molti siti Europei in cui si osservano bassi livelli di contaminazione di anguille per questi composti (Polonia, Irlanda, Olanda) e molto inferiori a quelli osservati in monitoraggi condotti in molti siti in Germania e Belgio (Szlander-Richert *et al.*, 2014, per una review), dove i livelli di contaminazione di anguille sono ancora alti tanto da vietarne il consumo.

Con riferimento alla contaminazione da pesticidi organici clorurati, sono stati presi in esame il Clordano, l'Esaclorobenzene (HCB), l'Esaclorocicloesano (HCH e suoi isomeri) e i DDT (suoi isomeri e metaboliti). Per quanto riguarda questi ultimi, il pp-DDT è presente in concentrazioni

simili nelle anguille provenienti dai due laghi (1,35 + 0,14 ng/g ww nei campioni di Fogliano e 1,02 + 0,07 ng/g ww in quelli di Caprolace). A Caprolace sono stati trovati valori simili a quelli osservati in passato (Quadroni *et al.*, 2012). Tra i composti di degradazione del DDT, il pp-DDE è il più abbondante: 7,41 + 1,21 ng/g ww nei campioni di Fogliano e 4,57 + 0,46 ng/g ww in quelli di Caprolace, ma per questo composto i valori sono più bassi di quelli osservati da Quadroni *et al.*, 2012. Il pp-DDE è in effetti quello che maggiormente contribuisce ai valori dei DDT totali: $\sum$ DDT è pari a 10,65 + 1,52 ng/g ww nei campioni di Fogliano, significativamente superiore ai 6,67 + 0,56 ng/g ww delle argentine di Caprolace. Si tratta comunque di concentrazioni più basse di quelle riscontrate in anguille argentine di altri siti Mediterranei, sia lagunari che fluviali (Amilhat *et al.*, 2013, per una review) e notevolmente inferiori rispetto ad anguille di altri siti del Nord-Europa (anche in questo caso si veda Szlinder-Richert *et al.*, 2014, per una review). Inoltre si tratta di valori 100 volte più bassi del massimo limite ammissibile nei prodotti ittici per il consumo umano (1000 ng/g ww, 86/363/EC; 5 µg/g ww US-FDA).

Gli altri pesticidi presi in esame ($\sum$ Chlordane, $\sum$ HCB e $\sum$ HCH) sono risultati presenti in concentrazioni molto basse e sempre al di sotto dei limiti sia per i prodotti ittici per consumo che per lo Standard di Qualità Ambientale (EQSs) per le acque di superficie (che includono organismi del biota come i pesci), fissato dalla Direttiva Quadro sulle Acque, WFD 2000/60/EC.

Per quanto riguarda i metalli pesanti presi in considerazione (Zinco, Rame, Cadmio, Cromo, Piombo e Mercurio), i livelli di contaminazione da metalli pesanti nelle anguille dai due siti sono risultati bassi se confrontati con quelli riportati da molti studi relativi a siti europei, e comparabili a quelli riportati per altri siti del Mediterraneo (Amilhat *et al.*, 2013). Per nessuno dei metalli pesanti misurati si sono osservati i valori, nel tessuto muscolare di anguille dai due siti, sopra i limiti di legge per questa specie relativamente alla sicurezza dell'uomo (EC 466/2001), neanche considerando le concentrazioni massime misurate. Fa eccezione solo il Mercurio: se si prendesse in considerazione lo standard di qualità biologica (EQS) previsto dalla WFD per i pesci, i valori medi riscontrati, per gli animali di ambedue i siti, risultano leggermente sopra i limiti consentiti (pari a 0,2 µg g⁻¹ w.w.). Questo metallo e i suoi composti (in particolare il metil-mercurio, altamente lipofilo) sono di particolare interesse sia per le conseguenze sulla salute umana, derivanti da effetti neurotossici e immuno-tossici e sullo sviluppo embrionale, sia per gli effetti potenziali sui pesci.

Dei 41 individui analizzati (20 a Fogliano e 21 a Caprolace) nessuno è risultato essere infestato da *Anguillicola crassus* (Nematoda, Dracunculoidea), mentre l'analisi della PCR relativamente all'AngHV-1 ha mostrato una percentuale di infezione a Fogliano del 25% (5 individui su 20) e a Caprolace del 42,9% (9 individui su 21). Lo stesso approccio metodologico eseguito per la determinazione dell'infezione da Virus EVEX ha mostrato una percentuale a Fogliano del 5% (1 individui su 20) e a Caprolace del 9,5% (2 individui su 21).

L'insieme dei dati relativi alla contaminazione e alle infestazioni da *A. crassus* e da Virus EVEX sono stati utilizzati per l'attribuzione a classi di qualità applicando diversi indici, che hanno avuto lo scopo di valutare lo stato complessivo, dal punto di vista qualitativo, dei potenziali riproduttori (anguille argentine) in migrazione dai siti interessati dal progetto, le lagune costiere di Fogliano e Caprolace.

Tutti gli indici applicati hanno mostrato come lo stato delle anguille argentine di ambedue i laghi risulti generalmente "buono". A Fogliano, il 70% delle argentine è stato classificato nella categoria 1 ("not polluted"), mentre il restante 30% nella classe 2 ("slightly polluted"). A Caprolace alla classe 1 sono state assegnate il 57,1% delle anguille argentine e alla classe 2 il 42,9%. Nessuna anguilla è stata classificata come "Polluted" o "Strongly polluted".

Infine, sempre specificatamente per questa specie, al fine di stimare il numero di anguille argentine di sesso femminile che annualmente lasciano le due lagune pontine per intraprendere la migrazione

riproduttiva verso il mar dei Sargassi è stato utilizzato per la prima volta il *Reproductive potential index*.

Insieme ai dati ottenuti in questo progetto (percentuale lipidica, peso medio individuale per entrambi i sessi, distanza dal sito di riproduzione) sono stati utilizzati in input una serie di parametri ottenuti da fonti bibliografiche e da rapporti nazionali: i) la biomassa (Bcurr) di anguille argentine stimata dal modello di *stock assessment* ESAM per le due lagune relativamente all'anno 2014 (FEP LAZIO, 2015); ii) il rapporto sessi (EU No 2017/1004 Data Collection Regulation – Italia). Secondo le stime prodotte dall'indice, da Fogliano uscirebbero annualmente 3.845 anguille argentine di sesso femminile (pari a 1,1 tonnellate) con energia sufficiente per affrontare la migrazione riproduttiva e la riproduzione (Figura 20). A Caprolace, il numero stimato di anguille argentine in grado di affrontare il viaggio verso il mar dei Sargassi è pari a 1.116 (0,5 tonnellate).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati conseguiti nell'ambito del Progetto di Ricerca “*Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)*”, è possibile fare una serie di considerazioni riguardo a vari aspetti.

Innanzitutto le attività tecnico-scientifiche condotte, si sono articolate in due distinti moduli progettuali;

- Messa a punto di un metodo per la valutazione quantitativa e qualitativa di stock di specie ittiche eurialine che migrano fra ambiente marino e ambiente lagunare, nell'ottica di un approccio ecosistemico alla gestione delle risorse. Unità Operativa 1 (CREA);
- Valutazione della funzionalità dei laghi costieri come siti di restituzione di riproduttori di specie ittiche eurialine, attraverso lo studio delle comunità ittiche e l'analisi della risposta ecosistemica alle pressioni ambientali Unità Operativa 2 (UTOV);

e hanno consentito di conseguire tutti gli obiettivi progettuali prestabiliti, andando anche oltre quelli che erano gli intenti originari. Questo è stato possibile grazie all'importante lavoro di coordinamento tra il personale tecnico-scientifico delle due Unità Operative, e al supporto del personale dell'Ufficio territoriale per la Biodiversità di Fogliano (Carabinieri Forestali) e dell'Ente Parco.

Il progetto, incentrato sulla valutazione del ruolo delle lagune costiere riguardo al loro contributo agli stock ittici marini in termini di restituzione dei riproduttori di specie eurialine oggetto di pesca, si è articolato in più fasi, aventi come obiettivo:

- a) la caratterizzazione ambientale e la valutazione della comunità ittica
- b) la valutazione dei flussi di biomassa ittica fra ambiente lagunare e marino
- c) la valutazione della qualità delle specie eurialine accresciute in ambiente lagunare: il caso dell'Anguilla Europea come esempio di legame tra qualità dei riproduttori e conservazione dello stock

I risultati delle varie attività sono stati in parte discussi nelle sezioni relative; qui di seguito si riportano alcune considerazioni sulle possibili ricadute per una gestione sostenibile delle lagune.

Nel complesso, si può affermare che il pacchetto metodologico impostato ha permesso il conseguimento di tutti gli obiettivi previsti dal Progetto di Ricerca. Per quanto riguarda specificamente i siti oggetto di studio, i laghi Pontini, è stato possibile delineare un quadro completo dello stato ecologico dei laghi, che comprende anche un aggiornamento qualitativo dello stato della comunità ittica, e una valutazione quantitativa della capacità restitutiva in termini di biomassa emigrante per due specie ittiche di notevole rilevanza, l'orata e l'anguilla. Tali risultati possono rappresentare importanti strumenti supplementari per ottimizzare le strategie di gestione delle lagune da parte dell'Ente Gestore, a supporto ed integrazione del Piano del Parco in vigore, che già delinea alcuni elementi per una strategia di gestione dei laghi costieri.

Al momento attuale la pressione che maggiormente influenza entrambi gli ambienti risulta essere una scarsa efficienza dei canali di marea, che influenza da un lato le dinamiche idrologiche e dall'altro condiziona fortemente sia il reclutamento che l'emigrazione di specie ittiche. Questa scarsa efficienza determina un accentuarsi delle condizioni eutrofiche della laguna di Fogliano, e una condizione di marcata marinizzazione del lago di Caprolace. Inoltre, gli episodi di insabbiamento dei canali, o anche solo la riduzione della loro batimetria, comportano la necessità di intervenire con dragaggi, e il movimento di sedimenti comporta la mobilitazione di contaminanti nella colonna d'acqua, con possibili ripercussioni sulle specie che costituiscono le comunità dei laghi.

Tra le ipotesi gestionali, il ripristino della funzionalità dei lavorieri presso i laghi, seppure con finalità diverse dalla pesca commerciale, potrebbe costituire una misura gestionale importante proprio per garantire la funzionalità dei canali, e in tal modo assicurare la capacità restitutiva dei laghi, sostenendo un corretto reclutamento e permettendo l'emigrazione dei riproduttori di specie ittiche marine. È stato infatti già evidenziato che in passato la pesca è stata una attività importante, presso i laghi del Parco del Circeo, non solo per il valore produttivo ed economico di questa attività, ma soprattutto in relazione alla funzione di presidio ambientale e al ruolo di strumento gestionale per il mantenimento della corretta funzionalità ecologica di questi ambienti. Questo ha garantito anche un importante risultato di salvaguardia e contributo alla conservazione.

Il modello di studio proposto, e le considerazioni che ne derivano, può costituire un esempio esportabile alla maggior parte delle lagune italiane e Mediterranee, soprattutto quelle ricadenti nella tipologia delle piccole lagune non tidali. Una strategia gestionale di questo tipo, del resto, riprende il modello tradizionale di gestione lagunare tipico dell'ambito Mediterraneo, gradualmente abbandonato in diverse lagune, non solo in relazione alle mutate condizioni ecologiche di questi ambienti, legate agli impatti antropici progressivamente crescenti che si sono andati verificando nel corso degli ultimi decenni, ma anche ai cambiamenti nella fruizione di questi ambienti, sempre più spesso orientata a pattern di uso legati ad attività quali il turismo e la conservazione. Sostenere le comunità ittiche attraverso una corretta funzionalità ecologica delle lagune potrà contribuire al mantenimento delle loro capacità restitutive per gli stock ittici della fascia costiera, sostenendo la loro rinnovabilità e la loro biomassa, nonché per l'anguilla, per la quale il recupero dello stock globale dipende dall'efficacia di misure esercitate nei diversi habitat dove la specie compie il ciclo biologico.

BIBLIOGRAFIA

- Aalto, E., Capoccioni, F., Terradez Mas, J., Schiavina, M., Leone, C., De Leo, G., & Ciccotti, E. (2015). Quantifying 60 years of declining European eel (*Anguilla anguilla* L., 1758) fishery yields in Mediterranean coastal lagoons. *ICES Journal of Marine Science*, 73(1), 101-110.
- AGCI Agrital, 2015. "Misure per la tutela ed il recupero della risorsa anguilla (*Anguilla anguilla*) nella Regione Lazio" (Reg. CE n. 498/2007 Recante modalità di applicazione del Reg. (CE) n. 1198/2006 del Consiglio relativo al Fondo Europeo per la Pesca (FEP) - Misura 3.2 – Misure intese a preservare e sviluppare la fauna e la flora acquatiche Codice di progetto: 3/BA/12-LA).

- Amilhat, E., Fazio, G., Simon, G., Manetti, M., Paris, S., Delahaut, L., Farrugio, H., Lecomte-Finiger, R., Sasal, P., Faliex, E., (2013). Silver European eels health in Mediterranean habitats. *Ecol. Freshw. Fish* 23, 49–64. doi:10.1111/eff.12077
- Aubry, A. and Elliott, M. (2006). The use of environmental integrative indicators to assess seabed disturbance in estuaries and coasts: application to the Humber Estuary, UK. *Marine Pollution Bulletin* 53, 175–185.
- Barnes, R.S.K., (1980). Coastal lagoons. Cambridge University Press, Cambridge, 106 pp. Beck et al., 2001; Belpaire, C., & Goemans, G. (2007). The European eel *Anguilla anguilla*, a rapporteur of the chemical status for the water framework directive? *Vie et Milieu-Life and Environment*, 57, 235–252.
- Belpaire, C., Goemans, G., Geeraerts, C., Quataert, P., Parmentier, K., Hagel, P., De Boer, J., (2009). Decreasing eel stocks: survival of the fattest? *Ecol. Freshw. Fish* 18, 197–214. doi:10.1111/j.1600-0633.2008.00337.x
- Cataudella S., Crosetti D., Massa F. (2015). Mediterranean coastal lagoons: sustainable management and interactions among aquaculture, capture fisheries and the environment *Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean*. No 95. Rome, FAO. 2015. 278 pp.
- EC, 2001. Commission Regulation (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal L* 077, 16/03/2001 P. 0001 – 0013.
- EC, 2007. European Council Regulation EC No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel. *Official J. Eur. Union L* 248/17e23 22.9.2007.
- EC, 2017. Council Regulation (EC) No 2017/1004 concerning the establishment of a Union framework for the collection, management and use of data in the fisheries sector and support for scientific advice regarding the Common Fisheries Policy. *OJ L* 157, 20.6.2017, p. 1–21.
- ICES. (2015a). Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEEL), 24 November–7 December 2015, Antalya, Turkey. *ICES CM* 2015/ACOM: 18. 130 pp.
- ICES. (2015b). Report of the Workshop of a Planning Group on the Monitoring of Eel Quality under the subject “Development of standardized and harmonized protocols for the estimation of eel quality” (WKPGMEQ), 20–22 January 2015, Brussels, Belgium. *ICES CM* 2014/SSGEF:14. 274 pp.
- Kjerfve, B., 1994. Coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.), *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 1–8.
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A.C., Colijn, F., Riva, S.D., Gertz, F., Hansen, J.W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Canu, D.M., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., Pérez-Ruzafa, A., Schernewski, G., Schubert, H., Carr, L., Solidoro, C., Zaldívar, J.-M., (2013). An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 1–28. doi:10.1016/j.ecss.2013.05.023
- Palstra, A.P., van Ginneken, V.J.T., Murk, a J., van den Thillart, G.E.E.J.M., (2006). Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? *Naturwissenschaften* 93, 145–8. doi:10.1007/s00114-005-0080-z
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Pérez-Ruzafa, I.M., (2011). Recent advances in coastal lagoons ecology: evolving old ideas and assumptions. *Transitional Waters Bull.* 5, 50–74. doi:10.1285/i1825229Xv5n1p50
- Szlinder-Richert J, Wiesława R, Nermer T, Usydus Z, Robak S (2014) The occurrence of organic contaminants in European eel (*Anguilla anguilla*) in Poland: an environmental quality assessment. *Chemosphere* 114:282–290

SYNTHESIS

Research title: “Evaluation of the restorative capacity of the lagoon environments in support of coastal local fish stocks: quantitative and qualitative aspects in two pilot sites, the Fogliano and Caprolace coastal lagoons (Circeo National Park, Lazio). [Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio).]”,

Scientific coordinator CREA:

Dott. Riccardo Aleandri

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA)

Centro di ricerca di Zootecnia e Acquacoltura

Via Salaria, 31, 00016 - Monterotondo (Roma) – ITALY

email: za.monterotondo@crea.gov.it

Scientific coordinator UTOV:

D.ssa Eleonora Ciccotti

Dipartimento di Biologia, Università Tor Vergata,

Via della Ricerca Scientifica, 00133, Roma

email: ciccotti@uniroma2.it

Keywords: quality assessment, fishery independent assessment methods, eurhyaline species, coastal lagoon.

Report to be quoted as:

Aleandri, R. & Ciccotti, E. 2018. “Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”. Rapporto Finale, Roma, Italia. Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, Piano Triennale della Pesca e dell'Acquacoltura, Area tematica Valutazione delle risorse biologiche.

INTRODUCTION

The Research Project “Evaluation of the restorative capacity of the lagoon environments in support of coastal local fish stocks: quantitative and qualitative aspects in two pilot sites, the Fogliano and Caprolace coastal lagoons (Circeo National Park, Lazio)” was jointly carried out by 2 Operative Units, the Research Center of Zootechnic and Aquaculture of the Council for Research in Agriculture and the Analysis of Agricultural Economics (CREA), and the Department of Biology of the University of Rome "Tor Vergata".

The research started on January 1, 2015, and took place between January 2015 and December 2017, for a total duration of 36 months (including an extension, requested by the two Scientific Managers in order to collect further data on the field and to be able to carry out the experimental activity also during a second season, for the whole winter 2016/2017).

The framework of the research concerns the study and the integrated evaluation of the importance, of transitional areas in the Mediterranean environments, considering jointly their ecological status and specific productive aspects. Coastal lagoons have always been a source of sustenance for human communities, in coastal areas of all the world. In recent decades, however, due to the environmental degradation that has progressively affected most of them, a considerable concern has arisen and has grown with regard to their status. The causes of this deterioration are numerous and must be identified not only within the natural ecological dynamics of these environments, unstable

and ephemeral by their nature, but also in the interaction of different anthropogenic impact factors, such as urbanization and pollution, coastline, inadequate management, over-exploitation of biological resources in lagoons and adjacent coastal areas.

A common feature to all coastal lagoons of the Mediterranean, resulting from the increase in pressure in the coastal area and on the lagoon ecosystems themselves, has been a progressive decline in fish productivity, and consequently in fishing yields. This has sometimes led to a decline in interest towards the fishing activities themselves and the neglect of lagoon management practices, also disregarding the importance of hydrological interventions. In many cases the management models based on traditional aquaculture and on artisanal fisheries have been abandoned.

These models should instead be considered a priority within desirable management strategies for Mediterranean coastal lagoons, in relation to the ecosystem services provided by these environments and by the traditional activities linked to them (Cataudella *et al.*, 2015). Many transitional areas and lagoons, included in protected areas such as regional parks, National, Ramsar areas and sites of the Natura 2000 network, are sites of great interest for the conservation of biodiversity, and are the target of specific management strategies. This commitment, both institutional and economic, not only has an environmental value, widely recognized, but also a profit feed-back, if we consider in particular fish resources that in these environments find refuge at the juvenile stage and then, after a period of growth, return to the sea for reproduction, where they are the target of commercial fishing. To date, the contribution that these environments have made to the marine stocks of these species, which reproduce in the sea and here return after their growth period in transitional environments, has not yet been quantified.

This research lies against this reference framework, and its general objective was to evaluate the restitution capacity of lagoon environments for euryhaline fish species of commercial interest. This has been pursued, on the one hand through the development of innovative, non-invasive and "fishery independent" methodologies, on the other hand by focusing also on the qualitative assessment, by evaluating contamination levels, of one paradigmatic species of transitional environments, the European eel, for which an international management plan is currently underway (European Community, FAO).

The research project included two distinct project modules.

1. Development of a method for the quantitative and qualitative evaluation of stocks of euryhaline fish species that migrate between marine and lagoon environment, with a view to an ecosystem approach to the management of resources, - Operative Unit 1 (CREA);
2. Evaluation of the functionality of coastal lakes as sites for restoring breeders of euryhaline fish, through the study of fish communities and the analysis of the ecosystem response to environmental pressures, - Operative Unit 2 (UTOV).

MATERIALS AND METHODS

To describe and evaluate the Pontine coastal lakes environmental status, an approach based on an expert judgment method was used following the approach proposed by Aubry and Elliot (2006), modified purposely for this study, which uses a series of environmental descriptors that contribute to assess direct and indirect anthropogenic pressures that act on the lagoon ecosystems under study and that can therefore have an impact on the fish community by modifying its quantitative and qualitative aspects.

To this end, an ecosystem assessment approach was applied for transitional waters, with particular reference to lagoon ecosystems in the Mediterranean area, currently under development based on the needs due to the implementation of the Water Framework Directive 2000/60 (WFD).

In order to characterize the fish community from a qualitative point of view, a sampling campaign was carried out in each of the two coastal lakes. For comparative purposes, data from experimental

fishing campaigns carried out in 2006, 2007 and 2012 within previous researches were summarized and used.

The assessment of fish biomass exchanges between lagoon and marine coastal area, specifically foreseen among the objectives of CREA (OU 1), has preliminarily entailed a preliminary bibliographic to provide an overall picture on the temporal dynamics of fish migration in the Circeo lagoons. This was performed by assembling the historical time series and daily catch data for each fish species, relative to the period 1990-2007, until the ceasing of the commercial fishing in the lagoons. This exercise was fundamental to establish the sampling scheme and also to compare the results obtained at the end of the experimental phase

The experimental activities aimed at evaluating the fish biomass migrating between the lagoon and the marine environment were carried out in the coastal lake of Fogliano in the 2015/16 season and in Caprolace in the 2016/17 season, in the winter period (October-March), in coincidence with the migratory season of the target species. A calendar of observations of 12 nights per month has been established in Fogliano and of 8 for Caprolace. The observations took place at night, from 7am to 7pm of the following day. At Fogliano 64 observations were carried out, while at Caprolace, the following year, 37 observation campaigns were carried out.

The activities included the collection of physico-chemical parameters, the recording of underwater images with an acoustic camera of fish passage by the tidal channel and fish sampling with fyke nets. The instrumentation used included an acoustic camera (SubSeaTech) which, positioned at the tidal channel, below the surface level, allowed at night and in conditions of high water turbidity to detect the passage of fishes in transit from the lagoon towards marine environment. The acoustic signal was processed, displayed and recorded on a laptop. At the same time a multiparametric probe (Hydrolab), also positioned in the tidal channel, recorded the main physical and chemical parameters (temperature, salinity, turbidity, conductivity, dissolved oxygen, chlorophyll *a*). A series of fyke-nets were placed in the tidal channel, to verify fish species composition varying during sampling months.

The last topic addressed by the project was related to the evaluation of the quality of the potential spawners of European eel and their contribution to the conservation of the global stock.

A total of 41 individuals of silver eels (20 from Fogliano and 21 from Caprolace) were analyzed to determine concentration of organic contaminants: PCBs (29 congeners), Chlordane, chlorinated pesticides (total DDT, and its isomers and metabolites) hexachlorobenzene (HCB), hexachlorocyclohexane (HCH and its isomers) and polybromodibenzo-p-dioxins and polibromodibenzofurans (total BDE). The lipid fraction of muscle tissue and OCs were extracted and quantified using the gas chromatography-mass spectrometry method (Malarvannan *et al.*, 2014). The target heavy metals (Zinc, Copper, Lead Chromium, Cadmium and Mercury) were analyzed by the atomic absorption method with Perkinelmer graphite furnace AAnalyst 600.

The same specimens of eel sacrificed for the contaminant analyzes were also used to evaluate the potential level of *Anguillicola crassus* infestation.

Finally, individual infection by two viruses (Herpes Virus 1, called Anghv-1, and Eel virus European X or EVE X) with genetic method (Polymerase Chain Reaction) was determined. These infections are associated with lower swimming efficiency that would compromise the reproductive potential of silver eels (van Ginneken *et al.*, 2005).

RISULTATI

The assessment of the environmental status of the two lagoons under study shows that both are influenced by pressures related to the morphology of the lakes, and to the consequent hydrological dynamics deriving from them, in particular for what concerns the reduced efficiency of water exchanges with the sea. It is well known that these aspects also condition the processes of

“vivification” of the lagoons and play a fundamental role in maintaining the nature of lagoon ecosystems.

The qualitative characterization of the fish community has allowed, on the basis of the list of species observed in the two lakes during the present study and in previous studies, to make some general comparative considerations on the changes observed in the fish community. In Fogliano a reduction of eel, which in this lake was the most characteristic species, a notable increase in *Atherina boyeri*, a resident species, and a rarefaction of migrant marine species are observed. This last feature was also observed in Caprolace, while here the eel has increased in terms of abundance, and, among the resident species *Atherina boyeri* appears to have decreased. The occasional marine species have been found discontinuously, in both lakes.

The development of an automated method for the capture and processing of acoustic images of the fish transit in the tidal channel is one of the main achievements of the project, as such a tool (used in dams fishladders in inland waters) has never been applied in complex environments such as transitional waters.

The results of the acoustic image processing of Fogliano lake were used for the setting up and validation of the protocol, while the results for the 2016/17 experimental activity season carried out at the Caprolace coastal lake allowed the effective achievement of the assessment.

In this lagoon, 37 sampling days were carried out (36 at nighttime and one in daytime) from October to February, according to the scheduled timetable. The total video footage was 413 hours, in which 266,717 fish were counted. The frequency of fish passage was highly variable, from 1 to 63 fish counted per minute. Data processing also allowed to highlight the multiple passage of fish counted in a single image. This phenomenon, called "schooling", i.e. a group of fishes of more than 9 units, was calculated automatically by the software and was also variable, with days when this phenomenon was not recorded and days where schooling was recorded up to 218 times. The results of fish counts have been used to estimate the biomass of sea bream (*Sparus aurata*) escaping from Caprolace during 2016/17 season, that amounted to 15 tons.

The last objective of the project was to perform a qualitative assessments of the breeding stock of the lagoons of Fogliano and Caprolace, focusing attention on the European eel, to evaluate the actual contribution of the local stock to the reproductive potential of the whole species.

The overall contamination profile in the lakes shows a relatively low contamination level compared to other species or to eel local populations in other Italian and European sites, and when compared with the legal limits for human consumption.

All the applied classification systems have shown that the status of the silver eels of both lakes is generally "good". In Fogliano, 70% of silver eels were classified in category 1 ("not polluted"), while the remaining 30% in class 2 ("slightly polluted"). In Caprolace, 57.1% of silver eels have been assigned to class 1 to and 42.9% to class 2. No eel has been classified as "Polluted" or "Strongly polluted".

Finally, specifically for the European eel, in order to estimate the number of female migrating silver eels that yearly leave the two Pontine lagoons to undertake the reproductive migration towards the Sargasso Sea, a Reproductive Potential Index was used for the first time. Together with the data obtained in this project (lipid percentage and distance from the breeding site, individual average weight for both sexes), a series of parameters obtained from bibliographic sources and national reports were used: i) biomass (Bcurr) of silver eels estimated from the ESAM stock assessment model for the two lagoons for the year 2014 (FEP LAZIO, 2015); ii) the sex ratio (EU No 2017/1004 Data Collection Regulation – Italia). According to estimates yielded by the index, 3,845 female silver eels (1.1 tons) would escape annually from Fogliano, displaying enough energy to cope with reproductive migration and reproduction. In Caprolace, the estimated number of silver eels able to face the journey to the Sargasso Sea amounts to 1,116 (0.5 tons).

DISCUSSION AND CONCLUSION

On the basis of the results achieved during the Research Project “Evaluation of the restorative capacity of the lagoon environments in support of coastal local fish stocks: quantitative and qualitative aspects in two pilot sites, the Fogliano and Caprolace coastal lagoons (Circeo National Park, Lazio).”, it is possible to make a series of considerations regarding both ecological and management issues.

Overall, it can be said that the methodological package set up within the Project allowed the achievement of all the objectives foreseen by the Research. For what specifically concerns the two sites under study, the Pontine coastal lakes, it has been possible to outline a comprehensive picture of their ecological status, which also includes a qualitative update of the state of the fish community, and a quantitative assessment of the escaping fish biomass, *i.e.* the lagoon restorative capacity to the marine coastal area for two significant fish species, the sea bream and the European eel. These results may represent important additional tools to optimize lagoon management strategies by the Managing Authority, to support and integrate the current National Park Plan, which already outlines some elements for a sustainable as well as conservative management strategy of these coastal lakes.

At present, the pressure that most influences both environments seems to be the low efficiency of tidal channels, which affects hydrological dynamics on the one hand and on the other strongly affects both the recruitment and the emigration of fish species. This poor efficiency determines an increase in the eutrophic conditions of the lagoon of Fogliano, and a shift towards marine conditions for the lake of Caprolace. Moreover, the frequent silting up of the canals, or even only the reduction of their bathymetry, entail the need to intervene with dredging, and the movement of sediments involves the mobilization of contaminants in the water column, with possible repercussions on the species that constitute the communities of lakes.

Among the management hypotheses, the restoration of the functionality of the fish barriers at the tidal channels, albeit with different purposes than commercial fishing, could constitute an important management measure to ensure the functionality of the canals, thus also guaranteeing the restoring capacity of the lakes to fish stocks, by supporting a correct recruitment of juveniles to the lagoon and allowing the escapement of adult marine fish. In fact, it has already been pointed out that in the past fishing has been an important activity in the Circeo lagoons, not only for the productive and economic value of this activity, but also as a management tool for maintaining the peculiar and correct ecological functionality of these environments. This has accordingly provided an important result in safeguarding the lagoon persistence and in contributing to its conservation.

The proposed approach for assessment, and the considerations that derive from it, can be extended to most Italian and Mediterranean lagoons, especially those that fall within the typology of small non-tidal lagoons. A management strategy of this type, moreover, incorporates the traditional lagoon management model typical of the Mediterranean area. This model has been gradually abandoned, not only in consequence of the changed ecological conditions of these environments, due to the progressively increasing anthropogenic impacts occurred over the last decades, but also to the shift in the use of these environments, progressively oriented to patterns linked to activities such as tourism and conservation. Supporting fishing communities through the correct ecological functionality of the lagoons can contribute to the maintenance of their restoring capacity for coastal fish stocks, supporting their renewability and their biomass. This assumes a paramount importance for a catadromous panmictic species such as the eel, for which the recovery of the stock on a global basis relies on the effectiveness of measures carried out in the different habitats where the species completes the biological cycle.

References

- Aalto, E., Capoccioni, F., Terradez Mas, J., Schiavina, M., Leone, C., De Leo, G., & Ciccotti, E. (2015). Quantifying 60 years of declining European eel (*Anguilla anguilla* L., 1758) fishery yields in Mediterranean coastal lagoons. *ICES Journal of Marine Science*, 73(1), 101–110.
- AGCI Agrital, 2015. “Misure per la tutela ed il recupero della risorsa anguilla (*Anguilla anguilla*) nella Regione Lazio” (Reg. CE n. 498/2007 Recante modalità di applicazione del Reg. (CE) n. 1198/2006 del Consiglio relativo al Fondo Europeo per la Pesca (FEP) - Misura 3.2 – Misure intese a preservare e sviluppare la fauna e la flora acquatiche Codice di progetto: 3/BA/12-LA).
- Amilhat, E., Fazio, G., Simon, G., Manetti, M., Paris, S., Delahaut, L., Farrugio, H., Lecomte-Finiger, R., Sasal, P., Faliex, E., (2013). Silver European eels health in Mediterranean habitats. *Ecol. Freshw. Fish* 23, 49–64. doi:10.1111/eff.12077
- Aubry, A. and Elliott, M. (2006). The use of environmental integrative indicators to assess seabed disturbance in estuaries and coasts: application to the Humber Estuary, UK. *Marine Pollution Bulletin* 53, 175–185.
- Barnes, R.S.K., (1980). Coastal lagoons. Cambridge University Press, Cambridge, 106 pp. Beck et al., 2001; Belpaire, C., & Goemans, G. (2007). The European eel *Anguilla anguilla*, a rapporteur of the chemical status for the water framework directive? *Vie et Milieu-Life and Environment*, 57, 235–252.
- Belpaire, C., Goemans, G., Geeraerts, C., Quataert, P., Parmentier, K., Hagel, P., De Boer, J., (2009). Decreasing eel stocks: survival of the fittest? *Ecol. Freshw. Fish* 18, 197–214. doi:10.1111/j.1600-0633.2008.00337.x
- Cataudella S., Crosetti D., Massa F. (2015). Mediterranean coastal lagoons: sustainable management and interactions among aquaculture, capture fisheries and the environment *Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean*. No 95. Rome, FAO. 2015. 278 pp.
- EC, 2001. Commission Regulation (EC) No 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal L* 077, 16/03/2001 P. 0001 – 0013.
- EC, 2007. European Council Regulation EC No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel. *Official J. Eur. Union* L248/17e23 22.9.2007.
- EC, 2017. Council Regulation (EC) No 2017/1004 concerning the establishment of a Union framework for the collection, management and use of data in the fisheries sector and support for scientific advice regarding the Common Fisheries Policy. *OJ L* 157, 20.6.2017, p. 1–21.
- ICES. (2015a). Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL), 24 November–7 December 2015, Antalya, Turkey. *ICES CM* 2015/ACOM: 18. 130 pp.
- ICES. (2015b). Report of the Workshop of a Planning Group on the Monitoring of Eel Quality under the subject “Development of standardized and harmonized protocols for the estimation of eel quality” (WKPGMEQ), 20–22 January 2015, Brussels, Belgium. *ICES CM* 2014/SSGEF:14. 274 pp.
- Kjerfve, B., 1994. Coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.), *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 1–8.
- Newton, A., Icelly, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A.C., Colijn, F., Riva, S.D., Gertz, F., Hansen, J.W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Canu, D.M., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., Pérez-Ruzafa, A., Schernewski, G., Schubert, H., Carr, L., Solidoro, C., Zaldívar, J.-M., (2013). An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 1–28. doi:10.1016/j.ecss.2013.05.023
- Palstra, A.P., van Ginneken, V.J.T., Murk, a J., van den Thillart, G.E.E.J.M., (2006). Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? *Naturwissenschaften* 93, 145–8. doi:10.1007/s00114-005-0080-z
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Pérez-Ruzafa, I.M., (2011). Recent advances in coastal lagoons ecology: evolving old ideas and assumptions. *Transitional Waters Bull.* 5, 50–74. doi:10.1285/i1825229Xv5n1p50
- Szlinder-Richert J, Wiesława R, Nermer T, Usydus Z, Robak S (2014) The occurrence of organic contaminants in European eel (*Anguilla anguilla*) in Poland: an environmental quality assessment. *Chemosphere* 114:282–290

1. Introduzione

Le lagune costiere sono ecosistemi caratterizzati da ridotta profondità delle acque, limitato idrodinamismo, grande variabilità dei parametri abiotici, alto tasso di sedimentazione e alta produttività. Dal punto di vista ecologico, gli ecosistemi lagunari sono sistemi complessi, proprio perché regolati da fattori chimico-fisici che variano fortemente, e non possono mantenere una lunga stabilità nel tempo proprio a causa di eventi improvvisi che determinano alterazioni all'interno del sistema e delle sue comunità. Questa variabilità, e la grande instabilità che ne consegue, rende gli ecosistemi lagunari ambienti peculiari e unici, all'interno dei quali si possono creare dei microhabitat molto differenti tra loro, e le comunità biologiche presenti in questi ecosistemi sono peculiari poiché sono in grado di adattarsi a condizioni ambientali estreme e/o assai variabili.

Una caratteristica di tutte le lagune costiere, e delle acque di transizione più in generale, è il loro ruolo come aree di *nursery* per molte specie ittiche eurialine considerate importanti sia dal punto di vista ecologico che economico (Beck *et al.*, 2001; Mumby & Hastings, 2008). Molte specie ittiche tra quelle che popolano le lagune in sistemi temperati (Anguillidae, Sparidae, Mugilidae, Serranidae, Sciaenidae, Pleuronectidae, Engraulidae) sono infatti coinvolte in qualche forma di diadromia.

Gli habitat lagunari forniscono condizioni di protezione perché fungono da rifugio fisico e offrono protezione dai predatori, garantendo anche l'accrescimento grazie all'alta produttività e alle robuste reti trofiche tipiche di questi ecosistemi. Questa funzione delle lagune costiere è anche resa possibile dalla concomitanza temporale tra il reclutamento dei pesci nelle lagune e la disponibilità delle prede, una coincidenza ben precisa che riguarda la maggior parte delle specie migratrici. La rete di connettività che collega lagune ed estuari a zone costiere, analogamente alla connettività di popolazioni ittiche marine distribuite spazialmente, si basa quindi su questi pattern migratori dei pesci, coinvolgendo sia gli stadi larvali e giovanili, sia gli adulti che migrano fuori che entrano e escono lagune durante il loro ciclo biologico. Attraverso queste migrazioni delle specie ittiche lagunari, consolidate dal punto di vista ontogenetico, le lagune costiere contribuiscono a molti stock ittici adulti della fascia costiera, sostenendo la loro rinnovabilità e la loro biomassa, e questo è un ruolo importante che le lagune svolgono per molte specie di pesci in aree costiere (Able, 2015; Brehmer *et al.*, 2013).

Gli habitat lagunari sostengono comunità biologiche complesse e hanno dunque una notevole rilevanza dal punto di vista della conservazione e della biodiversità. La conservazione e la gestione di questi ambienti sono perciò estremamente importanti, anche in relazione al ruolo socio-economico che rivestono per le comunità umane della fascia costiera.

Tuttavia nel complesso le attività antropiche, che possono agire in maniera diretta o anche indiretta sull'ecosistema lagunare, costituiscono anche i principali fattori di impatto e degrado per questi ambienti. Le lagune sono ecosistemi fortemente instabili e disturbati, sia per loro natura (Barnes, 1980; Kjerfve, 1994; UNESCO, 1980), sia perché, essendo a stretto contatto con gli ecosistemi terrestri circostanti, risentono dell'impatto delle attività umane che vi insistono.

Fattori di stress naturali sono ad esempio quelli climatici (precipitazioni, evaporazione, venti), che possono comportare fluttuazioni stagionali della salinità e della temperatura, più o meno accentuate in dipendenza delle dimensioni, della profondità e della latitudine della laguna stessa.

Attualmente, tuttavia, le minacce più gravi per questi ambienti sono le pressioni antropiche che agiscono direttamente o indirettamente su questi ambienti. Si è detto sopra che l'acquacoltura e la pesca possano essere attività che possono incidere sulla funzionalità di questi sistemi. Altre azioni dirette sono rappresentate dalle attività di edilizia idraulica, di dragaggio e di bonifica. Questo tipo di interventi incidono sui sedimenti e sulla corretta funzione idraulica della laguna. Una gestione non corretta di questi lavori causa la messa in sospensione di sedimento liberando inquinanti che

erano precipitati e causando la torbidità delle acque, dando origine a possibili eventi anossici. Questo tipo di interventi deve essere effettuato con criterio e solo quando strettamente necessario per regolare la circolazione idraulica delle acque (Newton *et al.*, 2013).

La crescita degli insediamenti umani e lo sviluppo delle zone costiere è un altro fattore di importante impatto antropico poiché risulta in una riduzione delle sponde naturali che sono importanti habitat di rifugio per molte specie, e perché comporta un aumento di scarichi diretti, e l'aumento delle acque di dilavamento ricche di sostanze inquinanti che arrivano dai centri urbani, e delle acque di ruscellamento superficiale da zone agricole, ricche di nutrienti ed eventualmente di residui di pesticidi, con conseguenze esacerbate dall'assenza di una vegetazione ripariale che non esercita più la funzione di filtraggio delle acque. Lo sviluppo delle attività costiere è legato anche all'aumento del turismo, che influisce anch'esso sulla qualità delle acque che arrivano alle lagune e rappresenta un fattore di stress diretto per le attività, come pesca sportiva, sport acquatici e balneazione (Newton *et al.*, 2013).

Alcuni di questi impatti quindi riguardano la laguna direttamente, poiché avvengono all'interno della laguna stessa o sulle sue sponde, altri invece derivano dalle attività esercitate nelle aree circostanti la laguna. Particolarmente gravi possono essere le conseguenze legate alla presenza di attività industriali. In alcuni casi, come quello delle centrali elettriche, gli sversamenti di acque, utilizzate per il raffreddamento, avvengono direttamente in quelle lagunari, creando alterazioni della temperatura, della salinità e rilasciando prodotti inquinanti (Newton *et al.*, 2013).

Infine va considerato il ruolo di impatti alla scala globale, e in particolare dei cambiamenti climatici. Questi, nel medio e lungo termine, potranno provocare conseguenze a diversi livelli, come grandi variazioni del bilancio idrologico, della salinità, dell'ossigenazione e del grado di confinamento; fenomeni di erosione, di stratificazione, di risalita di acque salmastre lungo gli immissari; alterazione della fisiologia e dei cicli riproduttivi delle specie lagunari; alterazione del trasporto solido; profonde modifiche degli habitat, perdita di specie autoctone e aumento di specie aliene invasive; alterazioni delle reti trofiche e dei cicli bio-geochimici (Occhipinti - Ambroggi, 2007; Tagliapietra *et al.*, 2014).

Proprio per le dinamiche con cui si originano, per la loro posizione geografica e per le loro caratteristiche di grande variabilità, nonché per gli impatti di natura antropica a cui possono essere soggette, le lagune sono sistemi "effimeri" che nel tempo tendono a scomparire. Una corretta gestione da parte dell'uomo può contrastare la transitorietà di questi ambienti: va sottolineato che la permanenza nel tempo di una laguna costiera è sempre strettamente legata alla natura degli interventi gestionali che in essa vengono effettuati, interventi che spesso sono legati all'uso delle lagune per la pesca e l'acquacoltura.

In quest'ottica, l'uso delle lagune a scopo di pesca o acquacoltura ha da sempre consentito non solo la conservazione di porzioni importanti di lagune dalle bonifiche, ma anche la loro tutela da un punto di vista qualitativo. Tuttavia, con il passare del tempo e per via dei cambiamenti ambientali e sociali, nonché con l'intensificarsi delle attività umane e dei conseguenti impatti, con conseguenze ambientali aggravate dall'instabilità di questi sistemi, c'è stato un progressivo abbandono di questi ambienti dal punto di vista produttivo, che ne ha ridotto quindi la gestione e il mantenimento, compromettendo ulteriormente la funzionalità di questi ecosistemi e la loro possibilità di permanere nel tempo.

Lagune e zone umide sono oggi riconosciute come aree di eccezionale valore ambientale, da gestire in un'ottica di conservazione e tutela. La salvaguardia delle zone umide costiere, lagune comprese, è divenuta infatti obiettivo prioritario nella politica di conservazione delle risorse nel Mediterraneo. La natura multifunzionale degli ecosistemi lagunari, che vede tra le destinazioni d'uso principali la conservazione ambientale, le ha rese obiettivo storico di diverse convenzioni e direttive internazionali e comunitarie. Tra queste, la prima in ordine temporale è la convenzione di Ramsar (1975). Questa convenzione fa esplicito riferimento al fatto che "paesaggi e fauna selvatica delle zone umide sono risultato delle complesse interazioni tra le persone e la natura nel corso dei secoli".

Più recentemente, la Direttiva Uccelli (79/409/CEE), e la Direttiva Habitat (92/43/CEE) si sono rivelate strumenti fondamentali per la protezione della biodiversità. La implementazione anche a livello nazionale di quest'ultima direttiva, attraverso la Rete Natura 2000, ha portato alla identificazione di numerosi siti di interesse comunitario (SIC) e zone di protezione speciale per l'avifauna (ZPS) in coincidenza con molti ambienti lagunari italiani.

Quanto detto fin qui sottolinea il fatto che i legami tra funzionalità dell'ecosistema, gestione lagunare e pesca sono molto forti, e hanno una serie di interferenze con la gestione ambientale. La pesca è un elemento di pressione sugli ecosistemi lagunari, ma il ruolo che essa svolge è tale che la gestione non può prescindere dal tenerla in considerazione. D'altra parte, è ormai ampiamente riconosciuto che una corretta strategia di gestione delle lagune deve tener conto di un approccio ecosistemico alla pesca. La consapevolezza che ci sia la necessità di rivedere l'attuale gestione della pesca riguarda anche la pesca artigianale esercitata nella fascia costiera e nelle acque interne, acque di transizione comprese. In quest'ottica, vi è la necessità di prendere in considerazione in modo efficace le interazioni che esistono tra sistemi di pesca ed ecosistemi, e il fatto che ambedue siano interessate da una variabilità naturale nel lungo termine, nonché influenzate da altre utenze non legate al prelievo.

L'approccio ecosistemico è posto al centro delle istanze di *governance* anche per quanto riguarda la valutazione dello stato di salute degli ambienti acquatici. Dalla fine degli anni '80 gli Stati Membri dell'UE hanno elaborato direttive e raccomandazioni per la gestione degli ambienti acquatici, la cui adozione ha richiesto un evidente mutamento di approccio nell'identificazione delle strategie di regolazione e di gestione. Infatti, da una visione molto parziale dei sistemi ambientali, spesso limitata a scale locali-regionali e su analisi basate su pochi descrittori ambientali (parametri fisici e chimici), si è passati a scale più ampie (eco-regionali) che, seguendo un approccio olistico, hanno posto al centro dell'attenzione lo "stato di salute" degli ecosistemi, per la cui valutazione vengono ricercate sempre più chiavi di lettura basate su descrittori biologici ed ecologici.

La Direttiva 2000/60/EC (WFD), in particolare, che prevede la protezione delle acque interne, delle acque costiere e delle acque di transizione, ha prefissato una serie di obiettivi di qualità ambientale da raggiungere. L'approccio di valutazione è basato sulla necessità di individuare le condizioni biologiche di riferimento specifiche per ciascuna tipologia, e questo vale anche per le acque di transizione, lagune comprese. Tra gli elementi di qualità biologica da utilizzare per la definizione dello stato ecologico dei corpi acquatici, la norma prevede il ricorso ad alcuni attributi delle comunità ittiche, come: composizione, abbondanza e struttura demografica delle popolazioni che compongono la comunità ittica a livello locale. Pihl *et al.*, (2002) stimano una quantità di "dati conosciuti" riguardo alle comunità ittiche delle lagune Mediterranee compresa tra 0 e 27%, una percentuale molto bassa se paragonata a quella esistente per i siti del Nord Europa. Pertanto, sono necessari nuovi studi per aumentare la conoscenza sulle comunità ittiche delle lagune Mediterranee, attraverso l'individuazione di siti per i quali le informazioni sono scarse e con un approccio ecosistemico riguardo alla correlazione esistente tra struttura e funzionamento dei popolamenti ittici e fattori ambientali, attività umane comprese. Recentemente, sono state intraprese diverse attività di ricerca e di intercalibrazione finalizzate alla messa a punto di un approccio di valutazione ecosistemico per le acque di transizione, con particolare riferimento agli ecosistemi lagunari in area Mediterranea, considerando i criteri qualitativi e le necessità legate all'implementazione della WFD (Franco *et al.*, 2008, 2009).

La presente ricerca si inserisce in questo quadro di riferimento, e si è posta come obiettivo generale quello di valutare la capacità restitutiva di specie eurialine di interesse commerciale in ambienti lagunari. Questo è stato perseguito, da una parte attraverso la messa a punto di metodologie innovative, non invasive e "*fishery independent*", dall'altra effettuando un approfondimento non solo dal punto quantitativo ma anche qualitativo, inteso come livello di contaminazione, di una delle

specie paradigmatiche degli ambienti di transizione, l'anguilla europea, per la quale è ad oggi in corso un piano di gestione internazionale (Comunità Europea, FAO).

Tra le molte specie che compongono le comunità di pesci delle lagune costiere mediterranee, l'anguilla europea (*Anguilla anguilla*, L. 1758) è infatti una specie il cui ciclo vitale dipende fortemente sulla connessione tra acque di transizione, acque continentali e mare. In breve, le larve oceaniche (*leptocephali*) vengono trasportate dalle correnti attraverso l'Atlantico fino alla piattaforma continentale europea dove metamorfosano in ceche. Queste reclutano nelle acque continentali dell'Europa e dell'Africa settentrionale, dove rimangono fino a quando raggiungono una fase pre-riproduttiva (anguille argentine) raggiunta la quale intraprendono la migrazione attraverso l'Oceano Atlantico per raggiungere il Mar dei Sargassi, che è inequivocabilmente riconosciuto come l'unica area di riproduzione (Als *et al.*, 2011).

L'anguilla è presente in una grande varietà di habitat costieri non solo per le modalità di riproduzione e reclutamento, ma anche grazie alla sua alta valenza ecologica, e mostra un'estrema plasticità nei tratti fenotipici. Con specifico riferimento agli habitat lagunari, Aalto *et al.*, (2015), sulla base di una valutazione preliminare del livello di emigrazione dei riproduttori stimato in condizioni pristine ed attuali, hanno suggerito che le sottopopolazioni mediterranee possano fornire un contributo significativo allo stock di anguilla europea a livello globale. Il ruolo e la rilevanza delle lagune mediterranee come habitat di accrescimento per questa specie è stato evidenziato anche dallo studio sull'uso dell'habitat in ambienti lagunari Mediterranei, che ha dimostrato come nelle acque di transizione in questa regione i tassi di crescita e le abitudini differiscano da quelli in fiumi e in habitat costieri a latitudini più settentrionali (Acou *et al.*, 2003; Capoccioni *et al.*, 2014).

La questione della scelta dell'habitat basata sulla disponibilità di cibo e il rapporto tra abitudini trofiche, dieta e crescita, sembrano rilevanti in relazione alla qualità biologica dei riproduttori (Belpaire *et al.*, 2009). Un prolungato declino del reclutamento e la riduzione delle catture di anguilla in tutta l'area di distribuzione (ICES, 2009) hanno infatti destato preoccupazione per lo stock globale, gettando le basi per l'attuazione di un quadro specifico per la sua protezione e il recupero, che si è concretizzato con l'emanazione di uno specifico Regolamento CE 1100/2007 (Commissione dell'Unione Europea 2007).

Le cause del declino dell'anguilla sono considerate numerose e concomitanti, attribuibili sia a cause naturali che di natura antropogenica (van Ginneken e Maes, 2005). Tra queste, i rischi associati ad una ridotta qualità delle anguille argentine sono stati indicati come possibili cause di riduzione dell'idoneità dei potenziali riproduttori, con conseguenze possibili sull'intero stock. Si ritiene che l'accumulo di specifici contaminanti, e la loro potenziale mobilitazione durante la migrazione siano fattori chiave che riducono la probabilità di successo della migrazione e della riproduzione (Geeraerts e Belpaire, 2010). Una quantità crescente di prove indica che le informazioni sulla qualità delle anguille argentine potrebbero essere importanti non solo per comprendere le ragioni del declino delle specie (Belpaire *et al.*, 2016), ma anche per sostenere qualsiasi quadro per la protezione e il recupero dello stock di anguilla (Robinet e Feunteun, 2002).

Il progetto di ricerca è costituito da tre temi principali:

- a) *Caratterizzazione ambientale dei siti di studio e in particolare della comunità ittica*
- b) *Valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e marino*
- c) *Valutazione della qualità delle specie eurialine accresciute in ambiente lagunare: il caso dell'Anguilla Europea come esempio di link tra qualità dei riproduttori e conservazione dello stock.*

I siti di riferimento dove le valutazioni oggetto della ricerca sono state condotte sono le lagune Pontine, il complesso di quattro laghi costieri del Parco Nazionale del Circeo. Queste lagune, sin dai tempi della bonifica, sono state destinate alla pesca e all'acquacoltura estensiva, praticata con una gestione attiva dell'ambiente lagunare che ha contemplato il controllo e l'ottimizzazione degli scambi idrici e la gestione della comunità ittica. Questo modello ha di fatto contribuito al mantenimento nel tempo dei laghi, attraverso interventi e adattamenti per fare fronte ai cambiamenti

derivanti proprio dall'aumentare degli impatti antropici e delle pressioni dal territorio circostante, ma anche dalle dinamiche naturali dell'ambiente costiero, come l'erosione, e dai mutamenti globali. Nel tempo, con la transizione da una conduzione privata ad una gestione indirizzata alla conservazione legata al passaggio nel Parco Nazionale, le priorità sono cambiate, essendo orientate alla protezione di flora e fauna, in primo luogo l'avifauna, in un quadro complessivo di tutela della biodiversità e dell'ambiente acquatico in generale.

Proprio per la loro natura e per il loro interesse ecologico e naturalistico, presso le lagune pontine sono stati condotti negli anni numerosi progetti e studi da parte di diversi enti di ricerca, e questo ha permesso la produzione di una mole interessante di dati riguardo a diverse componenti degli ecosistemi lagunari, compresa la comunità ittica (Ciccotti, pers. comm.) e aspetti qualitativi e di dinamica di popolazione dello stock locale di anguilla (Bettinetti *et al.*, 2010; Bevacqua *et al.*, 2012; Capoccioni *et al.*, 2014; Quadroni *et al.*, 2012).

Le lagune Pontine sono quindi contraddistinte da una condizione ideale per effettuare la messa a punto metodologica e l'esercizio di valutazione della biomassa ittica che annualmente, dopo un periodo di accrescimento, lascia le lagune per tornare nelle zone costiere, essendo qui dal 2007 interdetta la pesca. A tale valutazione quantitativa si è affiancata la necessità di verificare anche lo stato qualitativo dei potenziali riproduttori di anguilla europea, inteso come (1) stato di benessere generale (percentuale lipidica), (2) presenza di contaminazione da parte da pesticidi organici e da metalli pesanti, (3) parassitosi e malattie che da una parte riflettono lo stato degli ambienti di accrescimento, dall'altro forniscono un'indicazione sul potenziale riproduttivo degli individui.

La presente relazione presenta i risultati relativi ai due distinti moduli progettuali

3. Messa a punto di un metodo per la valutazione quantitativa e qualitativa di stock di specie ittiche eurialine che migrano fra ambiente marino e ambiente lagunare, nell'ottica di un approccio ecosistemico alla gestione delle risorse. Unità Operativa 1 (CREA);
4. Valutazione della funzionalità dei laghi costieri come siti di restituzione di riproduttori di specie ittiche eurialine, attraverso lo studio delle comunità ittiche e l'analisi della risposta ecosistemica alle pressioni ambientali Unità Operativa 2 (UOTV);

I risultati relativi ai due moduli sono riportati in modo congiunto, in una unica relazione, in quanto strettamente correlati tra loro e realizzati grazie alla collaborazione tra le due Unità Operative.

5. Materiali e Metodi

2.1. Caratterizzazione dei siti di studio

Uno degli obiettivi preliminari del progetto, con particolare riferimento agli scopi e alle attività della UO 2 – Tor Vergata, era quello di effettuare una caratterizzazione ecosistemica dei siti, considerando sia i livelli delle pressioni antropiche che insistono sui due laghi oggetto di studio che la composizione della comunità ittica, con lo scopo di disporre di un quadro di riferimento per interpretare e contestualizzare i risultati delle varie attività di ricerca volti a valutare la capacità restitutiva delle lagune considerate.

I siti interessati sono due lagune costiere, Fogliano (41° 24' 12" 54') e Caprolace (41° 21' 12" 58'), che fanno parte dei Laghi Pontini, dal 1975 inclusi nel comprensorio del Parco Nazionale del Circeo (Figura 1). L'intera area è stata dichiarata "Zona Umida di Valore Internazionale" ai sensi della convenzione di Ramsar per la protezione delle zone umide (DM 16/10/1978) e nel 1995 ne è stata proposta l'inclusione nella Rete Natura 2000 (92/43/CEE, Direttiva Habitat) come Sito di Importanza Comunitaria (SIC) oltre che "Zone a Protezione Speciale" (ZPS), ai sensi della Direttiva Uccelli (79/409/CEE).

La gestione tecnica e amministrativa delle lagune, così come quella del resto del territorio del Parco, è dal 2002 affidata all'Ente Parco (istituito nel 2002, art. 12 L. 31 del 31/07/2002). Questo garantisce sull'intero territorio norme e programmi di conservazione ambientale (in accordo con la Convenzione di Ramsar, Programma MAB Unesco e Rete Natura 2000), privilegiando metodi e programmi atti a realizzare una gestione sostenibile degli ambienti e delle attività economiche e sociali del territorio e delle popolazioni locali. L'Ente disciplina e persegue i suoi obiettivi attraverso uno specifico strumento, il Piano per il Parco, adottato dalla Giunta Regionale del Lazio nel 2017, che prevede anche punti specifici per la gestione dei laghi costieri. I laghi di Fogliano e Caprolace sono dunque tutelati e gestiti dall'Ente Parco Nazionale del Circeo, coadiuvato dal Corpo dei Carabinieri Forestali.

I laghi nella loro conformazione attuale sono il risultato delle modifiche effettuate con la bonifica delle paludi Pontine. Sia Fogliano che Caprolace sono orientate parallelamente alla costa e mostrano una forma rettangolare per via dei lavori di arginatura eseguiti tra il 1920 e il 1935. Fogliano è la più settentrionale e la più estesa tra le lagune pontine; è connessa al mare da due canali, Foce Vecchia che confluisce nel Rio Martino e Foce del Duca. Quest'ultimo canale di marea, l'unico attualmente funzionante, fu realizzato nel 1920 per ovviare ai frequenti interramenti del Foce Vecchia. La laguna di Caprolace è connessa al mare da due canali di foce che vennero aperti negli anni 20 (Foce di San Nicolò e canale della Lavorazione). Prima del 1985 gli apporti di acqua dolce alle due lagune provenivano principalmente da due fiumi principali (Cicerchia e Rio Martino) e da altri canali minori, ma poi per motivi di inquinamento delle acque, gli immissari furono fatti confluire nel Rio Martino in uscita sul mare. Ad oggi quindi entrambe le lagune non ricevono apporti di acqua dolce superficiale a meno di fenomeni di percolamento e ruscellamento.

In Tabella 1 sono riepilogate le caratteristiche morfologiche e idrologiche delle lagune prese in esame. La tipologia lagunare in cui ricadono le lagune pontine è quella di appartenenza all'Ecoregione Mediterranea, non tidale (<50 cm), piccola (<2.5 km²) ed eurialina (media 30 PSU), definizione ai sensi della Direttiva 2000/60 CE.

Per quanto concerne la gestione dei laghi, questa ha sempre contemplato, sin dai tempi della bonifica, la coesistenza di tecniche di pesca artigianale, basate essenzialmente sull'uso di reti da posta, con tecniche di moderna gestione lagunare basate sull'uso del lavoriero e della gestione degli scambi idrici. Queste attività hanno avuto una evoluzione, che ha riguardato finalità, modalità e tecniche, che si è intrecciata con le vicende gestionali ed ambientali che hanno avuto luogo nell'intero territorio nello stesso arco di tempo. Nel corso del tempo la finalità produttiva è stata sostituita da finalità più tipicamente volte alla conservazione e alla tutela della biodiversità, in

primo luogo l'ornitofauna, e questo ha comportato una progressiva perdita di importanza della pesca, nonché delle modalità gestionali ad essa connesse, e questa attività è stata definitivamente abbandonata nel 2008. Restano alcune attività di pesca sportiva e scientifica. È inoltre in vigore dal 2015 un divieto di pesca specifico per l'anguilla, che riguarda sia il prelievo a scopo commerciale che per la pesca ricreativa di qualsiasi stadio della specie, la chiusura definitiva è stata ratificata con Delibera del Consiglio Direttivo dell'11/11/2015 e poi riconfermata con Delibere Presidenziali il 10/3/2016 e il 31/01/2017. Questa è una misura attuata specificamente per la specie *Anguilla anguilla*, nell'ambito del "Piano di Gestione dell'anguilla nei Laghi di Caprolace, Fogliano e Monaci (Parco Nazionale del Circeo – Latina) - Misure per la tutela ed il recupero della risorsa anguilla (*Anguilla anguilla*) nella Regione Lazio". [Codice di progetto: 3/BA/12-LA Reg. (CE) n. 498/2007 Recante modalità di applicazione del Reg. (CE) n. 1198/2006 del Consiglio relativo al Fondo Europeo per la Pesca (FEP) - Misura 3.2 – Misure intese a preservare e sviluppare la fauna e la flora acquatiche]. Tale Piano di Gestione è stato preparato nell'ambito del suddetto progetto ad integrazione ed attuazione dei Piani di Gestione Regionale e Nazionale per questa specie, redatti nell'ambito delle azioni attuative del Regolamento CE 1100/2007 del Consiglio del 18 settembre 2007, che istituisce misure per la ricostituzione dello stock di anguilla europea.

2.1.1. Caratterizzazione ambientale

Per descrivere la situazione dei laghi da un punto di vista della qualità ambientale complessiva ed effettuare la valutazione della qualità degli ambienti studiati, si è utilizzato un approccio basato su un metodo di giudizio esperto, che usa una serie di descrittori ambientali che concorrono a determinare le pressioni antropiche dirette e indirette che agiscono sugli ecosistemi lagunari presi in esame, e che quindi possono esercitare un impatto sulla comunità ittica modificandone gli aspetti quantitativi e qualitativi.

A questo scopo, è stato applicato un approccio di valutazione ecosistemico per le acque di transizione, con particolare riferimento agli ecosistemi lagunari in area Mediterranea, in corso di messa a punto sulla base delle necessità legate all'attuazione della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60 (WFD). In questa ottica, al fine di aumentare la conoscenza relativa alla correlazione che esiste tra struttura e funzionamento dei popolamenti ittici e fattori ambientali, attività antropiche comprese, è stata messa a punto una metodologia standardizzata di caratterizzazione ambientale finalizzata al monitoraggio comparativo di diversi ecosistemi di acque di transizione. Lo schema di identificazione e quantificazione delle pressioni antropiche è stato impostato seguendo l'approccio proposto da Aubry e Elliot (2006) e successivamente modificato da questa U.O. nell'ambito di precedenti attività di ricerca (progetto di ricerca PRIN 2009, Leone *et al.*, in prep), per adattarlo alla tipologia della maggior parte delle lagune italiane (piccole, eurialine e non tidali) che rappresentano ambienti tipici delle acque di transizione della Regione Mediterranea (Cataudella *et al.*, 2015).

L'analisi delle pressioni antropiche si basa sulla scelta di specifici indicatori facenti capo a 3 categorie: "Cambiamenti nella morfologia e nell'idrologia" (MORFO), "Uso del suolo e delle risorse" (USO) e "Qualità dell'acqua" (QUALITÀ) (Tabella 2). Per ogni categoria, sono considerati 4 specifici indicatori di pressione, che sono quantificati sulla base di una scala di valori costruita arbitrariamente (da 0 a 10) che ne descrive il grado di pressione, che va da grado di pressione "nullo" (classe 0) a grado di pressione "molto alto" (classe 10).

La prima categoria descrive come i sistemi lagunari siano stati modificati nel tempo sia da pressioni naturali sia da attività umane, che cambiando la morfologia ne hanno modificato, o modificano attualmente, anche le dinamiche idrologiche. La seconda categoria focalizza l'attenzione sulle tipologie di attività umane che sono esercitate sia all'interno del bacino sia sul territorio circostante e che possono alterare l'ambiente lagunare e le sue risorse. La terza categoria di pressione riguarda la qualità delle acque e comprende indicatori che offrono una stima della qualità della risorsa idrica,

con particolare riguardo allo stato di trofia delle acque, riflettendo quindi indirettamente gli effetti e l'entità delle pressioni antropiche contemplate nelle prime due categorie.

Ogni indice di categoria di pressione (IPC), e l'indice finale di pressione (IPF) che ne risulta, è calcolato come media aritmetica dei valori associati al grado di pressione dei singoli indicatori:

$$IPC = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots Y_n$$

$$IPF = \sum_{c=1}^3 IPC = \frac{(MORFO + USO + QUALITÁ)}{3}$$

Ne deriva che maggiore è il valore di tale indice, maggiore è l'impatto della presenza e dell'attività umana sul territorio, con ripercussioni negative sulla qualità dello stato ecologico delle lagune.

I dati relativi agli indicatori, per le diverse categorie, sono stati raccolti mediante un'ampia ricerca bibliografica a partire da pubblicazioni scientifiche, letteratura grigia, strumenti e agenzie. La Tabella 2 ne riepiloga le fonti.

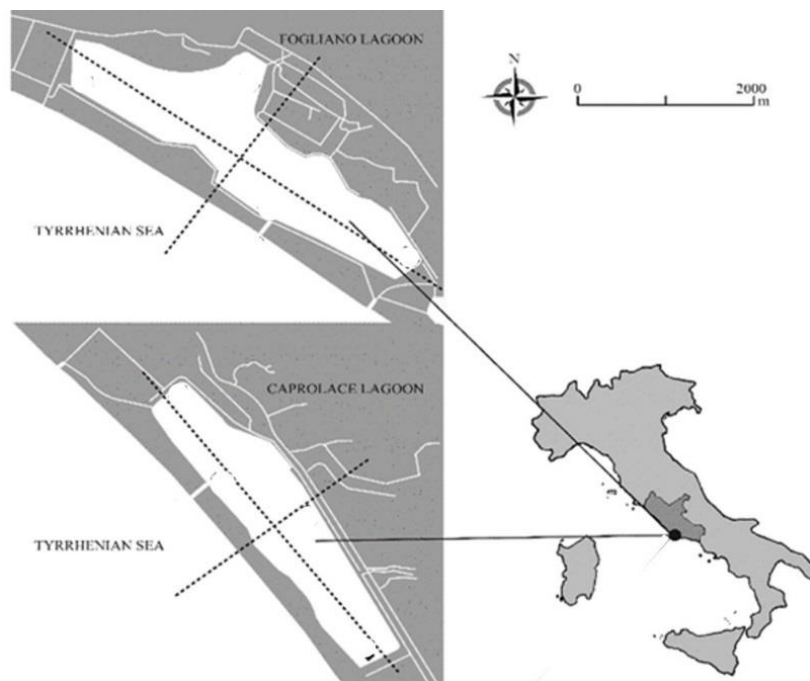


Figura 1. Il Parco Nazionale del Circeo: le lagune oggetto di studio di Fogliano e Caprolace.

Tabella 1: Principali caratteristiche morfologiche e idrologiche delle lagune costiere di Fogliano e Caprolace.

Laguna	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Perimetro (km)	Ettari (ha)	Profondità max (m)	Profondità media (m)
FOGLIANO	41°24'	12°54'	11,2	404	2,0	0,89
CAPROLACE	41°21'	12°58'	8,4	226	2,9	1,30
	Volume (m³)	Canali (n°)	Immissari (n°)	Range marea (cm)	Salinità (PSU)	Tempo ricambio (gg)
FOGLIANO	3.616.000	2	0	23	40,57	60
CAPROLACE	2.923.783	2	0	21	39,08	90

Tabella 2: Analisi delle pressioni antropogeniche: categorie e indicatori identificati, periodicità e dimensione della valutazione effettuata, sintesi delle fonti bibliografiche considerate.

<i>Categoria</i>	<i>Indicatore</i>	<i>Fonte</i>	<i>Periodicità valutazione</i>	<i>della Dimensione valutazione</i>	<i>della Referenza</i>
MORFOLOGIA	SCAMBIO IDRICO – Confinamento e tempo medio rinnovo acque	Report “Progetto Laghi Costieri, 1984”	Fisso nel tempo*	Intera laguna	Kjerfve, 1994 Ferrarin <i>et al.</i> , 2013 Newton. <i>et al.</i> , 2013
	ARGINI – Percentuale di sponde antropizzate	Osservazioni <i>In situ</i> Strumento GIS- Progetto PRIN 2009	Fisso nel tempo	Settori	Giudizio esperto
	CANALI DI FOCE – Stato ed efficienza	Report “Progetto Laghi Costieri, 1984” Consorzio Bonifica, 2013 Progetto PRIN 2009	Fisso nel tempo	Settori	Giudizio esperto
	IMMISSARI – Tributari superficiali e loro funzionalità	Questo lavoro Progetto PRIN 2009 Consorzio Bonifica, 2013 Questo lavoro	Fisso nel tempo	Settori	Giudizio esperto
USO	PAESAGGIO – Percentuale di territorio antropizzato	Corine Land Cover Relazione Progetto PRIN 2009	Fisso nel tempo	Settori	Gardi <i>et al.</i> , 2010
	ACQUACULTURA – Mitilicoltura kg per metro lineare di fune	Report Uniprom, 2010	Annuale	Settori	Giudizio esperto
	BERTOVELLI – Densità di strumenti per ettaro	Banca Dati Reg. CE 199/2009 (2007-2016)	Annuale	Intera laguna	Giudizio esperto
	BARRIERE FISSE – Numero di giorni di attività o mesi	Banca Dati Reg. CE 199/2009 (2007-2016)	Annuale	Settori	Giudizio esperto
QUALITÀ	DO – Ossigeno disciolto	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06; Uriarte <i>et al.</i> , 2009
	Chl-a – Clorofilla	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06
	DIN – Azoto Inorganico Disciolto	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06
	RP – Fosforo Reattivo	ARPA dataset (2005-2016)	Stagionale	Intera laguna	L.D. no. 152/06

* considera come condizione pristina gli anni '80

2.1.2. Caratterizzazione della comunità ittica

Per caratterizzare la comunità ittica da un punto di vista qualitativo, così come previsto tra gli obiettivi del progetto, è stata condotta una campagna di campionamento in ciascuno dei due laghi. In ogni laguna, nel periodo autunnale e invernale (Novembre-Marzo) sono stati installati due bertovelli (caratteristiche dello strumento: lunghezza totale 4 m, lunghezza delle ali 2 m, 2 camere di cattura, maglia 6 mm), in due punti diversi dell'area antistante il canale di marea, con una frequenza di 2 giorni al mese. Le catture sono state esaminate giornalmente, nelle prime ore della mattinata, per il riconoscimento tassonomico delle specie ittiche catturate, il conteggio degli individui ed eventualmente (solo per le specie di maggiori dimensioni) le misurazioni relative a Peso e Lunghezza. In ogni mese, è inoltre stata effettuata una pescata con rete mono-filamento (caratteristiche dello strumento: lunghezza totale 250 m, altezza della rete 3,5 m, maglie 25 e 40 mm).

Tutti i pesci catturati sono stati liberati.

Le varie specie ittiche sono state classificate ed assegnate a Gruppi Funzionali di due tipi, il primo basato sulle modalità di uso dell'habitat (UH, Franco *et al.*, 2008, modificato) e l'altro basato sulla tipologia di alimentazione (TA, Elliott & Quintino *al.*, 2007; Franco *et al.*, 2008; Potter *et al.*, 2015). Le preferenze alimentari sono state determinate in base alla letteratura disponibile ("www.fishbase.org"; Froese e Pauly, 2015).

A scopo comparativo, sono stati sintetizzati e utilizzati i dati provenienti da campagne di pesca sperimentale condotte nel 2006, 2007 e 2012, nell'ambito di precedenti ricerche. Tali campagne sono state effettuate con alcune differenze nei metodi di campionamento, che negli studi precedenti hanno visto impiegata la sciabica oltre al bertovello, e non la rete mono-filamento, un calendario di campionamento su base stagionale (3 campionamenti all'anno: marzo, giugno, ottobre), e una scala spaziale diversa (4 stazioni in ciascun lago, di cui due in prossimità delle foci e due sul versante più confinato). Inoltre le operazioni di pesca erano state condotte in modo standardizzato, per ottenere dati di abbondanza e di biomassa. Nell'esame comparative tra i risultati delle campagne precedenti e quelli ottenuti nel corso del presente progetto, sono stati utilizzati solo i dati qualitativi, riferiti alla presenza/assenza di specie. Nella Tabella 3 sono riepilogate le caratteristiche salienti delle metodologie di campionamento negli anni di riferimento.

Tabella 3. Piano di campionamento seguito per la caratterizzazione della comunità ittica nel corso del progetto (2017), e piani di campionamento seguiti in precedenti campagne di ricerca presso gli stessi laghi.

	2006	2007	2012	2017
Stazioni	4	4	4	2
Stagione/mesi	PRI-EST-AUT	PRI-EST-AUT	PRI-EST-AUT	Novembre-Marzo (FOG+Gugno)
Strumento	Sc - B	Sc	Sc - B	MF - B
Parametri ambientali	DO-T-Sal-Chl-DIN-RP	DO-T-Sal-Chl-DIN-RP	DO-T-Sal-Chl-DIN-RP	DO-T-Sal-Chl-DIN-RP
Gestione	Ordinaria	Nessuna Gestione	Straordinaria	Straordinaria

Legenda

PRI Primavera; EST Estate; AUT Autunno. Sc Sciabica; B Bertovello MF rete mono-filamento. DO ossigeno disciolto; T temperatura; Sal salinità; Chl clorofilla-a; DIN azoto inorganico disciolto; RP fosforo reattivo. Gestione ordinaria: pesca e gestione del canale di marea; Nessuna Gestione: pesca sospesa, nessun controllo del canale di marea; Straordinaria: gestione del canale di marea secondo necessità.

2.2. Valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e zona costiera UO1

2.2.1. Analisi delle serie storiche del pescato

Al fine di avere un quadro generale sulle dinamiche temporali di migrazione dei pesci nelle lagune del Circeo è stata condotta un'approfondita ricerca per risalire ai dati di pesca giornalieri per singola specie di pesce, raccolti nel corso degli anni presso le lagune del Parco del Circeo, fino al 2007, anno in cui la pesca nei laghi del Parco è stata sospesa. Tale indagine, sia di tipo bibliografico che di raccolta diretta dei dati presso il Parco, ha avuto lo scopo di verificare i calendari di migrazione delle specie ittiche di interesse commerciale e di valutare aspetti quantitativi degli stock locali delle specie di maggior rilevanza, anche al fine di stabilire il calendario dei campionamenti. Le informazioni raccolte hanno permesso inoltre di disporre delle informazioni necessarie per un confronto con i risultati ottenuti al termine della fase sperimentale.

2.2.2. Descrizione dell'attività sperimentale sul campo

Le attività sperimentali volte alla valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e ambiente marino sono state svolte nel lago costiero di Fogliano nella stagione 2015/16 e a Caprolace nella stagione 2016/17 nel periodo invernale (Ottobre-Marzo), in coincidenza con le migrazioni riproduttive delle specie target. È stato stabilito un calendario di 12 notti al mese a Fogliano e di 8 per Caprolace. I campionamenti sono stati condotti nelle ore notturne, estendendosi dalle 19 alle 7 del giorno successivo. A Fogliano le notti di campionamento complessive sono state 64 (Tabella 4), mentre a Caprolace, l'anno successivo, sono state effettuate 37 campagne notturne (Tabella 5). Si è deciso di concentrare i campionamenti in coincidenza con la fase di luna scura, sulla base del fatto che in coincidenza con questa si verifica la migrazione più consistente, per la maggior parte delle specie ittiche. In entrambi i laghi è stata organizzata una giornata di campionamento, a scopo di controllo, anche durante le ore diurne.

In concomitanza con le operazioni di campionamento, presso le due foci sono state svolte in maniera coordinata una serie di attività inerenti le specifiche competenze delle due unità operative (CREA-ZA e Università di Tor Vergata), finalizzate ai seguenti scopi: i) la registrazione di immagini subacquee con telecamera acustica del passaggio dei pesci nel canale di marea, ii) la raccolta dei parametri fisico-chimici, iii) il campionamento con bertovelli.

La strumentazione impiegata ha riguardato una telecamera acustica (SubSeaTech) che, posizionata nel canale di marea, sotto il livello della superficie dell'acqua, ha permesso nelle ore notturne e in condizioni di elevata torbidità di rilevare il passaggio dei pesci che transitavano fra la laguna e l'ambiente marino. Il segnale acustico veniva elaborato, visualizzato e registrato su un PC. Contestualmente una sonda acustica multiparametrica (Hydrolab), posizionata sempre nel canale di marea, ha registrato ad intervalli di un'ora i principali parametri chimico fisici e biologici (temperatura, salinità, torbidità, conducibilità, ossigeno disciolto, clorofilla *a*). Inoltre una serie di bertovelli posizionati sempre nel canale di marea hanno permesso di verificare quali specie ittiche risultavano effettivamente in migrazione verso il mare. Le reti sono state controllate tra le due e le tre volte per notte, registrando numero, specie e dimensioni degli individui catturati. I campioni necessari per le analisi di laboratorio sono stati prelevati, e poi trasferiti presso il LESA (Laboratorio di Ecologia Sperimentale ed Acquacoltura) di Tor Vergata dove sono stati conservati a -80°C in attesa delle analisi per la misurazione dei parametri biologici e per i successivi esami (presenza di parassiti, virus, determinazione dei contaminanti).

Tabella 4: Calendario delle attività sperimentali di rilevazione della migrazione dei pesci nella laguna di Fogliano.

Mese/giorno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Settembre 2015																															
Ottobre 2015																															
Novembre 2015																															
Dicembre 2015																															
Gennaio 2016																															
Febbraio 2016																															
Marzo 2016																															

Legenda
■ Luna scura
■ giorni di campionamento

Tabella 5: Calendario delle attività sperimentali di rilevazione della migrazione dei pesci nella laguna di Caprolace.

Mese/giorno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Ottobre 2016																															
Novembre 2016																															
Dicembre 2016																															
Gennaio 2017																															
Febbraio 2017																															

Legenda
■ Luna scura
■ giorni di campionamento

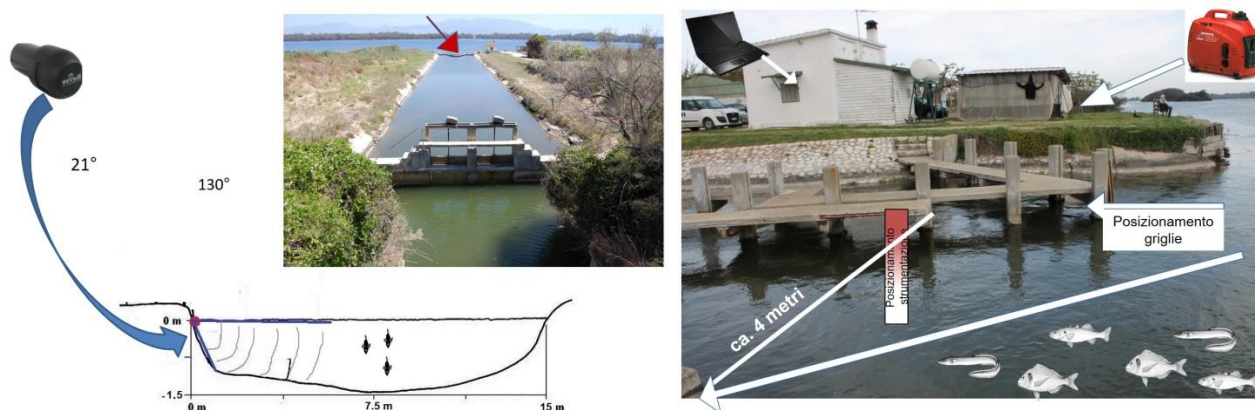


Figura 2: Rappresentazione del piano sperimentale dell'attività di rilevamento delle specie in migrazione. L'energia elettrica è fornita attraverso un generatore silenziato.

2.2.3. Elaborazione dei dati

I dati relativi alle catture dei bertovelli e alle condizioni meteo sono stati raccolti in *logbook* con cadenza giornaliera. I dati raccolti dalla sonda multi-parametrica e dalla telecamera acustica sono stati elaborati con software specifici una volta terminate le attività sperimentali sul campo.

Per quanto riguarda l'elaborazione automatizzata delle immagini acustiche, essendo questa attività assolutamente innovativa se applicata alla quantificazione dei flussi migratori dei pesci eurialini tra mare e laguna, essa verrà descritta nella sezione risultati poiché rappresenta un importante *deliverable* del progetto.

2.3. Valutazione della qualità delle specie eurialine accresciute in ambiente lagunare - il caso dell'Anguilla Europea: relazione tra qualità dei riproduttori e obiettivi di conservazione dello stock. UO2 e UO1

2.3.1. Dati biologici

Un totale di 20 individui argentini (stadio di pre-migrazione) della specie anguilla sono state prelevate per ciascun lago costiero nel corso delle campagne notturne di campionamento invernale, dalle reti tipo “bertovello” posizionate lungo le sponde del canale di marea. Gli animali immediatamente dopo la cattura sono stati sacrificati tramite anestesia con 2-fenossi-etanolo 1%, di ognuno è stato rilevato il peso totale (approssimato al grammo) e la lunghezza totale (approssimata al millimetro), i campioni sono stati poi trasferiti in giornata in laboratorio, dove sono stati conservati alla temperatura di -80° C per le successive analisi.

Le anguille sono state scongelate e dissezionate nell'arco di una unica giornata: sono stati prelevati gli otoliti per la determinazione dell'età con metodo otolitometrico (Daverat *et al.*, 2005; Carbonara *et al.*, 2015), e sono stati raccolti campioni di tessuto da cervello, branchie, cuore, milza, fegato e pelle, fissati in buffer specifici per le analisi sulla presenza di virus (il rhabdovirus European X (EVEX) e l'herpesvirus-1 (Ang-HV1)). Le gonadi sono state esaminate per la determinazione macroscopica del sesso dello stadio di sviluppo. Infine sono stati prelevati campioni di muscolo (2cm² nella zona dorsale, dietro la parte cefalica), liofilizzati per le analisi dei contaminanti organici (POPs) e dei metalli pesanti (HM).

2.3.2. Analisi della presenza e contaminazione di contaminanti organici e metalli pesanti

Tra i contaminanti organici scelti per le analisi di laboratorio figurano i PCBs (29 congeneri), il Clordano, i pesticidi clorurati (DDT totali, e i suoi isomeri e metaboliti), all'Esaclorobenzene (HCB), all'Esaclorocicloesano (HCH e dei suoi isomeri) e ai Polibromodibenzo-p-diossine e polibromodibenzofurani (BDE totali). La frazione lipidica del tessuto muscolare e gli OCs sono stati estratti (Metodo Folch, 1957) e quantificati con il metodo della gascromatografia-spettrometria di massa (Malarvannan *et al.*, 2014).

I metalli pesanti target (Zinco, Rame, Piombo Cromo, Cadmio e Mercurio), sono stati estratti usando il microonde Mileston Ethos 900 per la fase di mineralizzazione usando Acido Nitrico 64%, perossido di idrogeno e acqua ultrapura. Il campione così ottenuto è stato portato a volume noto con acqua ultrapura bidistillata e analizzato. Pb, Cr e Cd sono stati analizzati con il metodo dell'assorbimento atomico con fornello di grafite Perkinelmer AAnalyst 600, seguendo le procedure standard della Perkin Elmer, ed i valori sono stati espressi in µg/g di sostanza secca. Zn, Fe, e Cu sono invece stati analizzati con fornello a fiamma ad assorbimento atomico Perkinelmer AAS3100 ed espressi in mg/kg di sostanza secca. Per il Mercurio invece è stato usato il metodo dell'assorbimento atomico FIMS100 Perkin Elmer con carrier HCl 3%e soluzione riducente composta da NaBH₄ 0,2%: NaOH 0,05% (p/v).

2.3.4. Analisi di infezioni virali

Sono state effettuate analisi specifiche con metodo genetico (Polymerase Chain Reaction) per la determinazione di eventuali infezioni virali dei campioni di anguille provenienti da Caprolace (n = 21) e Fogliano (n = 20).

Per la determinazione dell'anguillid Herpes Virus 1 (Anghv-1) è stato estratto, omogenizzato ed isolato DNA da 25g di tessuti diversi (fegato, cervello, milza, cuore, pelle, branchie) per ciascun individuo (Rijsewijk *et al.*, 2005; Quiagen QIAamp DNA Mini kit).

L'amplificazione della PCR ha utilizzato *primers* identificati da Rijsewijk *et al.* (2005), e la reazione è stata effettuata con 50 µL di volume finale, 5 µL di DNA purificato, 2 µM di ciascun primer e 25 µL di HotStarTaq Master Mix kit (Quiagen). I cicli della PCR sono descritti come segue: denaturazione iniziale di 5 min a 95°C, 40 cicli di 30 secondi a 94°C, 45 secondi a 65°C, e 1 min di elongazione a 72°C. I prodotti dell'amplificazione sono stati separati in gel di agarosio e le bande di 394 bp visualizzate su Gel Red (Biotum).

Per la determinazione dell'Eel virus European X (EVEX) è stato estratto, omogenizzato ed isolato l'RNA (max 20 mg) di tessuti diversi (fegato, cervello, milza, cuore, pelle, branchie) per ciascun individuo (van Beurden *et al.*, 2011; Quiagen QIAamp RNeasy Mini kit).

L'amplificazione della Real-time PCR ha utilizzato *primers* identificati da van Beurden *et al.* (2011) con l'uso di kit OneStep RT-PCR (Quiagen).

Il profile termico della RT-PCR è caratterizzato da 30 min a 50°C per la trascrizione inversa, 15 min a 95 °C per l'attivazione della HotStartTaq DNA Polymerase, 3-step cycling (40 cicli) per 1 min a 94°C, 1 min a 55°C, 1 min a 72°C and infine 10 min a 72°C.

I prodotti dell'amplificazione sono stati separati in gel di agarosio e le bande di 120 bp visualizzate su Gel Red (Biotum).

2.3.5. Analisi statistica dei dati

L'elaborazione si è svolta grazie all'utilizzo di diversi software statistici (Excel, PST, Statistica 6.0) e ha previsto l'uso di tecniche univariate di tipo parametrico (ANOVA) e non parametrico (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney).

Le immagini acustiche sono state acquisite mediante il software ProViewer 4.3.1 della SUBSEA-TECH, ditta produttrice della telecamera acustica. Per l'elaborazioni delle immagini è stato utilizzato il software Metamorph Image System (Universal Imaging, Downingtown, PA).

2.3.6 Elaborazione Indice di qualità

Per valutare lo stato complessivo dal punto di vista qualitativo dei potenziali riproduttori (anguille argentine) in uscita dai siti di accrescimento (nel caso di questo studio, le lagune costiere di Fogliano e Caprolace) verso il mare, per intraprendere la migrazione riproduttiva, sono stati utilizzati alcuni sistemi di classificazione e indici proposti e utilizzati nei Reports dell'ICES/EIFAAC/GFCM Working Group on Eels, e descritti in numerose pubblicazioni scientifiche. Sono stati scelti i seguenti sistemi:

- 1) Eel Quality classes (Belpaire & Goemans, 2007)

Questa classificazione considera un vasto numero di contaminanti organici ed elabora i livelli di contaminazione nel tessuto muscolare di POPs e HMs, assegnando gli individui a 4 possibili classi di contaminazione, i cui intervalli considerano livelli di contaminazioni di riferimento messi a punto su popolazioni fluviali del nord Europa (Tabella 6).

Tabella 6: Valori di riferimento e limiti delle 4 classi di contaminazione per i POPs (valori espressi in ng/g su w.w) e HMs (valori espressi in µg/g su w.w) dell'EQC.

Quality classes	1	2	3	4	
Contaminant	Reference value (RV)	Not deviating log C/RV < 0.4	Slightly deviating 0.4 ≤ log C/RV < 0.8	Deviating 0.8 ≤ log C/RV < 1.2	Strongly deviating log C/RV ≥ 1.2
PCB 28	0.12	< 0.3	0.3 < 0.8	0.8 < 1.9	≥ 1.9
PCB 31	0.1	< 0.3	0.3 < 0.6	0.6 < 1.6	≥ 1.6
PCB 28+31	0.25	< 0.6	0.6 < 1.6	1.6 < 4	≥ 4
PCB 52	1	< 2.5	2.5 < 6.3	6.3 < 15.8	≥ 15.8
PCB 101	2.5	< 6	6 < 16	16 < 40	≥ 40
PCB 105	1.2	< 3	3 < 7.6	7.6 < 19	≥ 19
PCB 118	3.5	< 9	9 < 22	22 < 55	≥ 55
PCB 138	7.7	< 19	19 < 49	49 < 122	≥ 122
PCB 153	10	< 25	25 < 63	63 < 158	≥ 158
PCB 156	0.6	< 1.5	1.5 < 3.8	3.8 < 9.5	≥ 9.5
PCB 180	4.5	< 11	11 < 28	28 < 71	≥ 71
Σ PCBs	29	< 73	73 < 183	183 < 460	≥ 460
Σ PCBs ¹	240	< 603	603 < 1514	1514 < 3804	≥ 3804
o-HCH	0.05	< 0.1	0.1 < 0.3	0.3 < 0.8	≥ 0.8
γ-HCH	1.3	< 3.3	3.3 < 8.2	8.2 < 20.6	≥ 20.6
Dieldrin	1.1	< 2.8	2.8 < 6.9	6.9 < 17.4	≥ 17.4
HCB	0.5	< 1.3	1.3 < 3.2	3.2 < 7.9	≥ 7.9
p,p'-DDD	2.5	< 6	6 < 16	16 < 40	≥ 40
p,p'-DDT	0.005	< 0.01	0.01 < 0.03	0.03 < 0.08	≥ 0.08
p,p'-DDE	13	< 33	33 < 82	82 < 206	≥ 206
Σ DDTs	16	< 40	40 < 101	101 < 254	≥ 254

(adattato da Belpaire & Goemans, 2007)

Quality classes		1	2	3	4
Contaminant	Reference value (RV)	Not deviating log C/RV < 0.4	Slightly deviating 0.4 ≤ log C/RV < 0.8	Deviating 0.8 ≤ log C/RV < 1.2	Strongly deviating log C/RV ≥ 1.2
Mercury	40	< 100	100 - < 252	252 - < 634	≥ 634
Cadmium	2	< 5	5 - < 12.6	12.6 - < 31.7	≥ 31.7
Lead	10	< 25	25 - < 63	63 - < 158	≥ 158
Copper ²	0.25	< 0.6	0.6 - < 1.6	1.6 - < 4	≥ 4
Zinc ²	14	< 35	35 - < 88	88 - < 222	≥ 222
Nickel	14	< 35	35 - < 88	88 - < 222	≥ 222
Chrome	96	< 241	241 - < 606	606 - < 1521	≥ 1521
Arsenic	41	< 103	103 - < 259	259 - < 650	≥ 650
Selenium	205	< 515	515 - < 1293	1293 - < 3249	≥ 3249

2) Eel Quality Index (EQI) (ICES, 2010; 2011; 2012)

Questo indice prende in considerazione oltre al livello di contaminazioni da metalli pesanti e contaminanti organici anche il livello di infestazione di *A. crassus* e di infezione dei virus EVEX e Ang-HV1. Si basa sull'attribuzione degli individui a 4 possibili classi, e permette il calcolo di indici di contaminazione individuale (EQI_{cont}) che possono essere utilizzati per valutare il livello di qualità medio per una popolazione (Tabella 7)

Tabella 7: Valori di riferimento e calcolo dell'indice EQI per i POPs (valori espressi in ng/g su w.w), HMs (valori espressi in µg/g su w.w) e presenza/assenza di virus e parassiti.

Class	Not polluted	Slightly polluted	polluted	Strongly polluted
Σ 6 PCBs	< 62	62 - 155	155 - 391	> 391
Σ DDTs	< 40	40 - 101	101 - 254	> 254
Cd	< 5	5 - 12,6	12,6 - 31,7	> 31,7
Hg	< 100	100 - 252	252 - 634	> 634
Pb	< 25	25 - 63	63 - 158	> 158

Using these quality classes it is possible to calculate EQI_{cont} for individual yellow and silver stage eels. EQI_{cont} is defined as the average value of the quality classes for the measured contaminants.

$$EQI_{cont} = \left[\sum_{i=1}^n \text{contaminant classes} \right] / n$$

with n = the number of measured contaminants

Boundary values of the EQI_{cont} are suggested in Table 5.4 in order to visualize and highlight eels with very low and high load of contaminants.

Table 5.4. Boundary values of the Eel Quality Index.

	Not/low polluted	Slightly polluted	Polluted	Strongly polluted
EQI Classes	1	2	3	4
EQI _{cont}	≤ 1.50	> 1.50-2.50	> 2.50-3.50	> 3.50-4

	Not infected	Slightly infected	Moderately Infected	Strongly infected
Quality Classes	1	2	3	4
SDI	0	1-2	3	≥ 4
EVEX virus	not present			Present
AngHV-1	not present			Present with low Ct value (<25) and/or cpe in 1 st passage in cell culture

3) Individual mean bioaccumulation index (IMBI) (Maes *et al.*, 2005)

Questo indice, che restituisce un valore compreso fra 0 e 1, considera esclusivamente la contaminazione da metalli pesanti. Poiché i valori individuali vengono standardizzati con il valore massimo rinvenuto nel campione, l'utilizzo di tale indice è utile ai fini del confronto di gruppi di individui provenienti da ambienti analoghi, e simili per livelli di contaminazione.

$$IMBI = \left[\sum_{i=1}^n (C_i / C_{i\max}) \right] / n$$

dove n è il numero totale di metalli analizzati, C_i è la concentrazione individuale del metallo i , $C_{i\max}$ è il valore massimo osservato per l' i -esimo metallo.

4) Reproductive potential delle anguille argentine di sesso femminile

Questo indice è stato proposto da ICES (2012, 2013) e poi descritto approfonditamente (ICES, 2015), con il fine di quantificare il possibile effetto della qualità dei riproduttori di sesso femminile di anguilla – le anguille argentine – ed integrare tale informazione nello *stock assessment* della specie.

Questo approccio si basa sulla valutazione della fitness delle anguille argentine femmine in termini di dimensione e riserve lipidiche. Il *Reproductive potential index* (RP) viene calcolato sulla base di diversi parametri morfologici e fisiologici, sia della specie che dello stock locale, integrando anche informazioni relative alla localizzazione geografica della unità di gestione (EMU), come la distanza dal Mar dei Sargassi (DSS). Il risultato che si ottiene è una stima della fecondità potenziale delle anguille argentine femmine in termini di quantità di uova prodotte.

Di seguito sono elencati i passaggi del calcolo dell'indice:

- I. Contenuto lipidico all'inizio della migrazione = **Peso (kg) * % Lipidi / 100**
- II. Costo energetico della migrazione riproduttiva
(COT; g fat) = **Peso (kg) * 14.5 (mg fat/kg/km) * Distanza dal sito di riproduzione (DSS; km)**

Il calcolo del COT è basato su studi fisiologici in laboratorio attraverso l'utilizzo di "swimming tunnel" per la stima della spesa energetica durante il nuoto prolungato delle anguille argentine. Il calcolo della DSS avviene considerando il punto di riproduzione a 61°00' W e 26°00' N (come descritto da van Ginneken and Maes (2005).

- III. Energia residua per riproduzione
(ER_{ind}) = **Contenuto lipidico all'inizio della migrazione – COT**

- IV. *Reproduction potential* individuale (RP_{ind}) = **ER_{ind} (g fat) * 1.72**

RP è calcolato come la biomassa di uova prodotte utilizzando l'energia residua (ER_{ind}) utilizzando un fattore di conversione di 1.72 g eggs/g di lipidi (van Ginneken and van den Thillart, 2000):

- V. *Reproduction potential* per unità di gestione EMU,
 $RP_{EMU} = \sum RP_{ind\ ER > 0} / N_{ind\ ER > 0} * N_{EMU\ ER > 0}$

Tale stima può essere applicata alle singole unità di gestione, riunendo le informazioni relative alla quantità e qualità dei riproduttori. Individui con un ER_{ind} negativo o pari a 0 non contribuiranno alla riproduzione poiché non avranno energie sufficienti per la produzione di uova o nemmeno per raggiungere il sito di riproduzione. $N_{EMU\ ER > 0}$ = son il numero di anguille argentine femmine con $ER_{ind} > 0$ che sono in procinto di lasciare le acque continentali.; $N_{ind\ ER > 0}$ sono il numero di anguille argentine femmine con peso e percentuale lipidica tali che ER_{ind} (Energia residua per riproduzione) sia > 0 (ICES 2013, 2014).

6. Risultati

3.1. Caratterizzazione dei siti di studio UO2

3.1.1. Caratterizzazione ambientale

Nella Figura 3 sono illustrati i risultati relativi alla caratterizzazione ambientale delle lagune: sono riportati i valori dell'indice di pressione finale (Figura 3a) e i valori degli indici di categoria, per ciascun lago (Figura 3b). Nella Figura 3c sono illustrati i risultati relativi per ciascuna categoria di pressione, considerando i quattro settori in cui ogni lago è stato suddiviso.

Il valore dell'indice di pressione finale ottenuto per i due laghi risulta compreso tra 2 e 4, con un valore leggermente più elevato riscontrato a Fogliano, ma comunque “basso” (Figura 3a).

Esaminando i valori dell'indice di pressione per categorie di pressione (Figura 3b), è possibile evidenziare il livello di impatto esercitato sui laghi dalle diverse categorie, che mostrano alcune differenze tra laghi. Innanzitutto si osserva come il valore dell'indice per la categoria “Cambiamenti nella morfologia e idrologia” sia quello con contributo più elevato tra i tre considerati, pari a 5 (medio impatto) a Fogliano e 4 (che rientra in un range di basso impatto) a Caprolace. Per l'indice relativo a “Uso del suolo e allo sfruttamento delle risorse”, i valori ottenuti sono molto bassi per ambedue i laghi. Il valore dell'indice relativo alla categoria “Qualità delle acque” è leggermente superiore a 4 per Fogliano (rientrando nel range di medio impatto) e inferiore a 4 per Caprolace (basso impatto).

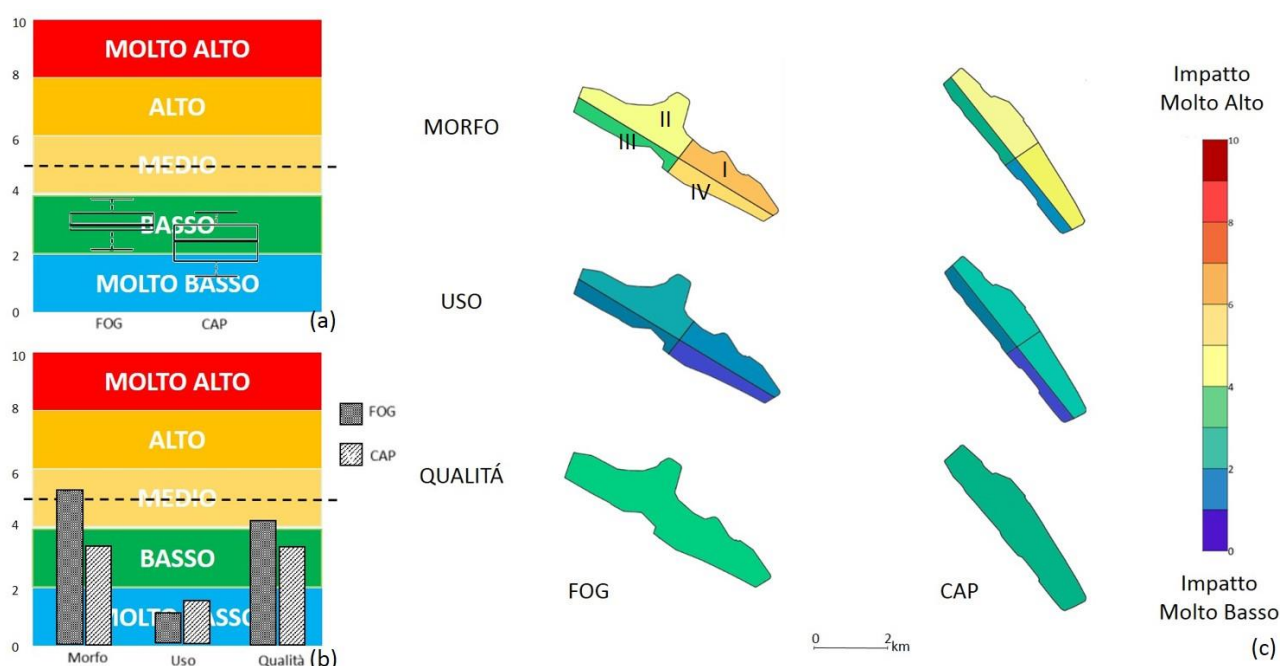


Figura 3: Caratterizzazione ambientale dei siti oggetto di studio. Fig. 3(a) indice di pressione totale; Fig. 3 (b) (c) indice di pressione per categoria di pressione antropica, e dettaglio della valutazione effettuata per quadrante.

Il quadro che emerge evidenzia che ambedue le lagune sono influenzate da pressioni correlate agli aspetti di morfologia dei laghi, e alle conseguenti dinamiche idrologiche che ne derivano, in particolare aspetti connessi con la efficienza degli scambi idrici con il mare. Del resto è noto che questi aspetti condizionano i processi di vivificazione delle acque della laguna e giocano un ruolo fondamentale proprio nel mantenimento della natura stessa di ecosistemi lagunari di questa tipologia.

Entrando nel dettaglio del ruolo esercitato dalle varie pressioni antropiche, un quadro più dettagliato può essere ricavato dall'esame delle situazioni relative alle varie aree (quadranti) esaminate in

ciascuna laguna (Figura 3 c). A Fogliano, il valore dell'indice di pressione relativo alla categoria "Cambiamenti nella morfologia e idrologia" è progressivamente più elevato procedendo in senso orario dal II quadrante (lato destro del canale di marea) verso i quadranti adiacenti, sul lato interno. Lo stesso si osserva nel lago di Caprolace, dove però i valori dell'indice di categoria sono leggermente più bassi. Ciò è legato ai valori assunti dai singoli indicatori di pressione, in particolare dell'indicatore relativo allo "stato di efficienza del canale di foce", in relazione alla frequente occlusione dei canali di foce, che si riflette sugli scambi idrici tra mare e laguna, e al ruolo giocato dalla riduzione degli apporti di acqua dolce, come testimoniato dall'indicatore "tributari superficiali e loro funzionalità": l'effetto delle modificazioni relative a questi singoli indicatori, e al valore di pressione medio-alta che ne risulta, non è uniforme in tutto al lago, ma ha conseguenze diverse rispettivamente sul versante delle lagune adiacente ai canali di marea e sul versante interno.

Lo stato della "qualità delle acque" delle due lagune risulta comunque buono, essendo bassi i contributi dei singoli indicatori al valore assunto dall'indicatore di questa categoria di pressione. I valori dell'indice di categoria "qualità delle acque" sono sempre compresi, in ambedue i laghi per tutti i settori, entro valori bassi (tra 3 e 4 per Fogliano, tra 2 e 3 per Caprolace), leggermente più elevati a Fogliano a causa di valori un po' più alti dei singoli indicatori, nello specifico chl- α e azoto, a testimonianza di uno stato di eutrofizzazione.

Del resto, questo trova riscontro con quanto si osserva per la categoria di pressione "Uso del suolo e allo sfruttamento delle risorse", nell'ambito della quale si evidenzia che gli impatti sono dovuti al momento principalmente dalle attività che si svolgono nel territorio circostante, nello specifico zootecnia e agricoltura, più che allo sfruttamento delle risorse nelle acque lagunari, visto che sono assenti al momento sia attività di pesca che di acquacoltura. I valori per questa categoria sono infatti i più bassi, sia a Fogliano che a Caprolace, sebbene in quest'ultimo i settori sul versante interno mostrino valori leggermente più elevati.

Nel complesso si può osservare che gli indicatori presi in considerazione sono utili per trarre importanti indicazioni sulla circolazione delle acque, monitorare i fenomeni eutrofici dipendenti da apporti di nutrienti veicolati da comparto agricolo e zootecnico, e per valutare le caratteristiche trofiche di base del corpo idrico e dello stato degli ecosistemi. Il quadro che viene restituito riguardo alla qualità degli ecosistemi lagunari presi in considerazione è quello di una situazione complessiva di media o buona qualità, condizionata al momento in ambedue i laghi essenzialmente dalla funzionalità dei canali di marea, che influenza il ridotto scambio con il mare e la circolazione delle acque nei laghi.

3.1.2. Caratterizzazione della comunità ittica

Nelle Tabelle 8 e 9 sono riportati i risultati delle campagne di pesca sperimentale effettuate con i diversi strumenti nella stagione 2016/2017, con la lista delle specie rinvenute rispettivamente nei due laghi, per ogni mese e in totale, espresse come abbondanze numeriche e in percentuale del totale delle catture.

Nel lago di Fogliano, sono state rinvenute in totale 18 specie ittiche, di cui la più abbondante è risultata essere la specie residente *Atherina boyeri* (60,5% del totale degli individui catturati), seguita dalla specie catadroma *Anguilla anguilla* (24,3%). Terza per ordine di importanza è la specie *Mugil cephalus* (5,5%), specie marina migrante. Nel lago di Caprolace sono state rinvenute 11 specie ittiche: *Atherina boyeri* è stata catturata occasionalmente, 2 individui nel mese di novembre, e rappresenta solo l'1,8 % degli individui catturati. Le specie più abbondanti sono tutte di origine marina, con l'anguilla che rappresenta la specie più abbondante (57,7% del totale degli individui rinvenuti nelle catture), seguita da *Mullus barbatus* (6,3%), specie marina occasionale, e *Diplodus annularis* (5,4%), specie marina migrante che colonizza la laguna allo stadio giovanile.

Tabella 8: Risultati delle pesche sperimentali presso il lago di Fogliano: catture (Numero di individui, N) nei mesi, Totale (N) e Percentuale del Totale per specie ittica.

	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Giugno	Totale (N)	Tot (%)
<i>Anguilla anguilla</i>		0	109	15	4	21	149	24,3
<i>Aphanius fasciatus</i>						2	2	0,3
<i>Atherina boyeri</i>		26	133	111	21	80	371	60,5
<i>Belone belone</i>						1	1	0,2
<i>Dicentrarchus labrax</i>						7	7	1,1
<i>Diplodus annularis</i>			4			3	7	1,1
<i>Gobius niger</i>		1	1			5	7	1,1
<i>Knipvowitschia panizzae</i>			3			1	4	0,7
<i>Lithognatus mormyrus</i>						9	9	1,5
<i>Liza aurata</i>						1	1	0,2
<i>Liza saliens</i>						1	1	0,2
<i>Mugil cephalus</i>		2	25	1		6	34	5,5
<i>Mullus barbatus</i>						2	2	0,3
<i>Ophisurus serpens</i>			2				2	0,3
<i>Salaria pavo</i>			1			3	4	0,7
<i>Scorpaena porcus</i>						3	3	0,5
<i>Solea solea</i>				4	1	3	8	1,3
<i>Syngnathidae</i>						1	1	0,2

Tabella 9: Risultati delle pesche sperimentali presso il lago di Caprolace: catture (Numero di individui, N) nei mesi, Totale (N) e Percentuale del Totale per specie ittica.

	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Totale (N)	Tot (%)
<i>Anguilla anguilla</i>	19	50	14	1	84	75,7
<i>Atherina boyeri</i>	2	0	0	0	2	1,8
<i>Belone belone</i>	1	0	0	0	1	0,9
<i>Dicentrarchus labrax</i>	3	0			3	2,7
<i>Diplodus annularis</i>	6	0	0	0	6	5,4
<i>Lithognatus mormyrus</i>	1	0	0	0	1	0,9
<i>Mullus barbatus</i>	7	0	0	0	7	6,3
<i>Scorpaena porcus</i>	2	0	0	0	2	1,8
<i>Solea solea</i>	3	0	0	0	3	2,7
<i>Spaurus aurata</i>	1	0	0	0	1	0,9

Nella Tabella 10 l'elenco delle specie rinvenute nei due laghi nel corso del presente studio è riportato unitamente a quello osservato nel corso di precedenti campagne sperimentali, relative agli anni 2006, 2007 e 2012. Sono indicati nella tabella gli strumenti di campionamento usati nel corso delle pesche sperimentali. Nella tabella sono anche riportate le attribuzioni delle specie ittiche alle categorie di Uso dell'Habitat (UH) e di Tipologie di Alimentazione (TA).

Nonostante l'impostazione dei piani di campionamento sia stata diversa nel corso dei quattro progetti, sia per cadenza di campionamento sia per tipologie di strumenti utilizzati (vedi Tabella

10), è possibile fare alcune considerazioni comparative. Il quadro più esaustivo è quello relativo all'anno 2012 (Progetto PRIN), in cui le campagne sono state effettuate in tre stagioni e replicate su 4 stazioni in ogni lago, utilizzando oltre al bertovello, la sciabica, strumento che permette di catturare individui giovanili, e quindi a questo si fa riferimento per una comparazione. La campagna di pesca sperimentale condotta nel presente anno, nonostante il minor numero di specie catturate, permette di confermare la presenza di tutte le specie residenti nel lago di Fogliano, mentre a Caprolace queste sono rappresentate nel 2017 solo dal latterino, osservato tuttavia qui solo occasionalmente e con un numero esiguo di individui. Per quanto riguarda le specie marine migranti, è confermata in ambedue i laghi la presenza della spigola, *Dicentrarchus labrax*, e del sarago sparaglion, *Diplodus annularis*. I Mugilidi sono presenti solo a Fogliano, con le specie *Liza aurata* e *Liza saliens*, oltre a *Mugil cephalus* già menzionato. L'orata, *Sparus aurata*, è invece stata osservata solo a Caprolace. In ambedue i laghi sono state catturate specie marine occasionali, le stesse specie compaiono nei due laghi, ma sempre con presenze molto modeste, per lo più a Novembre a Caprolace e nel campionamento aggiuntivo di Giugno a Fogliano. Si tratta dell'aguglia, *Belone belone*, della mormora *Lithognathus mormyrus*, della triglia *Mullus barbatus*, della sogliola *Solea solea* e dello scorfano, *Scorpaena porcus*. Rinvenuta invece a Fogliano per la prima volta la serpe di mare, *Ophisurus serpens*, nel mese di gennaio.

Nelle Tabelle 11 e 12 è riportato ancora una volta l'elenco delle specie osservate, rispettivamente nei due laghi, nel corso del presente studio e a scopo comparativo negli studi precedenti, questa volta riportando osservazioni di massima sulle abbondanze relative nei diversi anni. Non sono state riportate valutazioni di biomassa, perché le campagne nei vari anni non erano in realtà standardizzate in modo analogo, e dunque le considerazioni comparative sulle abbondanze sono solo indicative. Nonostante ciò, si possono fare alcune considerazioni di massima sugli avvicendamenti osservati nel popolamento ittico. A Fogliano si osserva una riduzione dell'anguilla, che invece in questo lago era la specie più caratteristica, un notevole incremento del latterino, specie residente, e una rarefazione delle specie marine migranti. Questa riduzione si osserva anche a Caprolace, dove invece l'anguilla è aumentata in termini di abbondanze; tra le specie residenti il latterino appare in decremento, mentre le altre specie residenti sono paragonabili in termini di abbondanza tranne *Aphanius fasciatus*, assente (va detto tuttavia che questa specie di piccole dimensioni può essere sfuggita al campionamento nel 2017, in quanto non è stata usata la sciabica, ma solo il bertovello). Le specie marine occasionali infine sono state rinvenute sempre in modo discontinuo, in ambedue i laghi.

Tabella 10. Elenco delle specie rinvenute presso il lago di Fogliano (FOG) e di Caprolace (CAP) nelle campagne di pesca sperimentale in precedenti progetti di ricerca (2006, 2007 e 2012) e nel corso del presente studio (2017). Per le specie ittiche è riportata l'attribuzione delle specie alle categorie di Uso dell'Habitat (UH) e di Tipologie di Alimentazione (TA).

	SPECIE	UH	TA	2006		2007		2012		2017	
				FOG	CAP	FOG	CAP	FOG	CAP	FOG	CAP
1	<i>Anguilla anguilla</i>	C	BMa,HP	Sc/B	B		Sc	Sc/B	B	B	B
2	<i>Aphanius fasciatus</i>	RS	OV	Sc/B	Sc/B	Sc	Sc	Sc/B	Sc/B	B	
3	<i>Atherina boyeri</i>	RS	HZ	Sc/B	Sc/B	Sc	Sc	Sc/B	Sc/B	B	B
4	<i>Gobius niger</i>	RS	Bmi,BMa,H Z	Sc/B	Sc/B			Sc/B	Sc/B	B	
5	<i>Knipowitschia panizzae</i>	RS	Bmi,HZ	Sc/B	Sc/B	Sc		Sc/B	Sc/B	B	
6	<i>Salaria pavo</i>	RS	Bmi,OV	B	Sc/B			Sc/B	Sc/B	MF	
7	<i>Syngnathus abaster</i>	RS	Bmi,HZ	Sc/B	Sc/B	Sc	Sc	Sc/B	Sc/B	B	
8	<i>Mugil cephalus</i>	MM	OV, DV				Sc	Sc		MF	
9	<i>Chelon labrosus</i>	MM	OV, DV			Sc			B		MF
10	<i>Dicentrarchus labrax</i>	MM	HZ,HP	Sc/B	Sc/B		Sc	Sc/B	B	MF	MF
11	<i>Diplodus annularis</i>	MM	Bmi,BMa,H Z	Sc/B	Sc/B		Sc	Sc/B	Sc/B	MF	MF
12	<i>Diplodus puntazzo</i>	MM	OV	B	Sc/B	Sc	Sc		Sc		
13	<i>Diplodus sargus</i>	MM	OV	Sc	Sc/B	Sc	Sc	Sc/B	Sc/B		
14	<i>Diplodus vulgaris</i>	MM	Bmi,BMa,H Z			Sc	Sc	Sc			
15	<i>Engraulis encrasicolus</i>	MM	PL			Sc					
16	<i>Liza aurata</i>	MM	OV,DV	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc/B	Sc/B	MF	
17	<i>Liza ramada</i>	MM	OV,DV	Sc/B	Sc/B		Sc	Sc/B	Sc		
18	<i>Liza saliens</i>	MM	OV,DV	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc/B	Sc/B	MF	
19	<i>Sparus aurata</i>	MM	Bmi,BMa,H Z	Sc/B	Sc/B	Sc	Sc	Sc/B	Sc/B		MF
20	<i>Apogon imbertis</i>	MS							B		
21	<i>Belone belone</i>	MS	HP					Sc		MF	MF
22	<i>Dentex dentex</i>	MS						B			
23	<i>Epinephelus marginatus</i>	MS		B							
24	<i>Gobius cobitis</i>	MS			B						
25	<i>Lithognathus mormyrus</i>	MS	Bmi,BMa,H Z					B	B	MF	MF
26	<i>Mullus barbatus</i>	MS	Bmi,BMa	Sc				Sc/B	B	B	B
27	<i>Mullus surmuletus</i>	MS	Bmi,BMa						B		
28	<i>Pagellus acarneae</i>	MS	Bmi,BMa					Sc/B	Sc		
29	<i>Sardina pilchardus</i>	MS	PL	Sc		Sc			B		
30	<i>Sarpa salpa</i>	MS	Bmi,HV	Sc	Sc/B		Sc	Sc			
31	<i>Sciaena umbra</i>	MS						B	B		
32	<i>Serranus cabrilla</i>	MS	BMa,HP					Sc	B		
33	<i>Scorpaena porcus</i>	MS	BMa,HP							MF	MF
34	<i>Solea solea</i>	MS	Bmi,BMa	B	B			B		B	B
35	<i>Spicara maena</i>	MS	HZ	B	Sc/B			Sc	B		
36	<i>Symphodus tinca</i>	MS	Bmi,BMa		B		Sc				
37	<i>Trachinotus ovatus</i>	MS	Bmi,BMa					B			

Legenda: Gruppi funzionali secondo l'Uso dell'Habitat: (C) Specie Catadroma, (RS) Specie Residente, (MM) Specie Marina Migrante, (MS) Specie Marina Occasionale.

Gruppi Funzionali secondo la tipologia di Alimentazione: (Bmi) Specie Microbentivora (BMa) Specie Macrobentivora, (HZ) Specie Iperbentivora/Zooplancivora, (HP) Specie Iperbentivora/Piscivora. (OV) Specie Onnivora, (DV) Specie Detritivora, (PL) Specie Plancivora.

Strumento di cattura: B Bertovello, Sc Sciabica, MF Rete Monofilamento.

Tabella 11. Elenco delle specie rinvenute presso il lago di Fogliano nelle campagne di pesca sperimentale in precedenti progetti di ricerca (2006, 2007 e 2012) e nel corso del presente studio (2017): per le specie ittiche è riportata una valutazione quantitativa indicativa.

Lago di Fogliano				
	SPECIE	2006-07	2011-12	2016-17
1	<i>Anguilla anguilla</i>	++	+++	++
2	<i>Aphanius fasciatus</i>	+++	++	+
3	<i>Atherina boyeri</i>	+++	+++	++++
4	<i>Gobius niger</i>	++	++	+
5	<i>Knipowitschia panizzae</i>	++	++	+
6	<i>Salaria pavo</i>	++	++	+
7	<i>Syngnathus abaster</i>	+	+	+
8	<i>Mugil cephalus</i>	++	+	++
9	<i>(Chelon labrosus)</i>			
10	<i>Dicentrarchus labrax</i>	++	+	+
11	<i>Diplodus annularis</i>	+++	++	+
12	<i>Diplodus puntazzo</i>	++		
13	<i>Diplodus sargus</i>	+	++	
14	<i>Diplodus vulgaris</i>	+	+	
15	<i>Engraulis encrasicolus</i>	+		
16	<i>Liza aurata</i>	++	++	+
17	<i>Liza ramada</i>	+++	++	
18	<i>Liza saliens</i>	++	++	+
19	<i>Sparus aurata</i>	+++	++	
20	<i>(Apogon imbertis)</i>			
21	<i>Belone belone</i>	+	+	+
22	<i>Dentex dentex</i>	+	+	
23	<i>Epinephelus marginatus</i>	+		
24	<i>(Gobius cobitis)</i>			
25	<i>Lithognathus mormyrus</i>		+	+
26	<i>Mullus barbatus</i>	+	++	+
27	<i>(Mullus surmuletus)</i>			
28	<i>Ophysurus serpens</i>			+
29	<i>Pagellus acarnae</i>		++	
30	<i>Sardina pilchardus</i>	+		
31	<i>Sarpa salpa</i>	++	+	
32	<i>Sciaena umbra</i>		++	
33	<i>Serranus cabrilla</i>		+	
34	<i>Scorpaena porcus</i>			+
35	<i>Solea solea</i>	+	+	+
36	<i>Spicara maena</i>	+	+	
37	<i>(Symphodus tinca)</i>			
38	<i>Trachinotus ovatus</i>		+	

Tabella 12. Elenco delle specie rinvenute presso il lago di Caprolace nelle campagne di pesca sperimentale in precedenti progetti di ricerca (2006, 2007 e 2012) e nel corso del presente studio (2017): per le specie ittiche è riportata una valutazione quantitativa indicativa.

Lago di Caprolace		2006-07	2011-12	2016-17
	SPECIE			
1	<i>Anguilla anguilla</i>	++	++	++
2	<i>Aphanius fasciatus</i>	+++	++	
3	<i>Atherina boyeri</i>	+++	+++	++
4	<i>Gobius niger</i>	++	++	+
5	<i>Knipowitschia panizzeae</i>	++	++	+
6	<i>Salapia pavo</i>	++	++	
7	<i>Syngnathus abaster</i>	++	++	
8	<i>Mugil cephalus</i>	+		+
9	<i>Chelon labrosus</i>		+	
10	<i>Dicentrarchus labrax</i>	+++	+	+
11	<i>Diplodus annularis</i>	+++	++	+
12	<i>Diplodus puntazzo</i>	+++	+	
13	<i>Diplodus sargus</i>	+++	++	
14	(<i>Diplodus vulgaris</i>)			
15	(<i>Engraulis encrasicolus</i>)			
16	<i>Liza aurata</i>	+	++	+
17	<i>Liza ramada</i>	+	+	
18	<i>Liza saliens</i>	+	++	+
19	<i>Sparus aurata</i>	++	++	+
20	<i>Apogon imbertis</i>		+	
21	<i>Belone belone</i>			+
22	<i>Dentex dentex</i>			
23	(<i>Epinephelus marginatus</i>)			
24	<i>Gobius cobitis</i>	+		
25	<i>Lithognathus mormyrus</i>		+	+
26	<i>Mullus barbatus</i>		+	+
27	<i>Mullus surmuletus</i>		+	
28	<i>Ophysurus serpens</i>			
29	<i>Pagellus acarne</i>		+	
30	<i>Sardina pilchardus</i>		+	
31	<i>Sarpa salpa</i>	++		
32	<i>Sciaena umbra</i>		+	
33	<i>Serranus cabrilla</i>		+	
34	<i>Scorpaena porcus</i>			+
35	<i>Solea solea</i>	+		+
36	<i>Spicara maena</i>	++	+	
37	<i>Symphodus tinca</i>	+		
38	(<i>Trachinotus ovatus</i>)			

3.2. Valutazione dei flussi di biomassa fra ambiente lagunare e marino

Uno dei due obiettivi prioritari del progetto era quello di effettuare una valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari in termini di biomassa ittica, per valutare il contributo di questi ambienti al sostegno degli stock ittici locali costieri. Questo obiettivo è stato conseguito attraverso alcune attività specifiche:

- Analisi delle serie storiche del pescato, con lo scopo di verificare, attraverso l'analisi delle catture passate, aspetti qualitativi (specie di maggior rilevanza, calendari di migrazione) e per acquisire informazioni su aspetti quantitativi degli stock locali, con particolare riguardo a specie di rilevanza commerciale.
- Messa a punto di un processo automatizzato dell'analisi di immagini acustiche per la valutazione quantitativa dei movimenti di specie ittiche in transizione nel canale di marea.
- Stima della biomassa emigrante di una specie eurialina di interesse economico, *Sparus aurata*, dalla laguna di Caprolace nella stagione 2016/17.
- Valutazione delle variabili che influenzano la migrazione di *Anguilla anguilla*, specie di interesse a fini conservazionistici.

Lo scopo di questa parte del lavoro è stata quella di acquisire conoscenze utili per individuare e mettere a punto ipotesi d'intervento che possano risultare incisive in termini di ripristino della qualità dell'ambiente lagunare nonché di recupero delle risorse biologiche della fascia costiera.

3.2.1. Analisi delle serie storiche del pescato

L'analisi delle serie storiche del pescato ha permesso di valutare aspetti qualitativi (calendari di migrazione) e quantitativi degli stock locali delle specie di maggior rilevanza, nel periodo precedente all'avvento del divieto di pesca nei laghi del PNC. Le informazioni relative a tali aspetti sono state fondamentali per mettere a punto il disegno sperimentale.

Nella Tabella 13 e nelle Figure 4a e 4b, e sono riportate le serie storiche delle catture per i laghi costieri di Fogliano e Caprolace, per le principali specie di interesse commerciale. Il lago di Fogliano mostra sempre produzioni nettamente maggiori rispetto a quello di Caprolace. Le catture più consistenti sono, in entrambi i laghi, quelle relative a orate e anguille, e in misura minore a cefali.

Per considerare l'andamento mensile delle catture, sono state calcolate le medie per mese dal 1990 al 2006, riportate nella Tabella 14 e nelle figure 5a e 5b. I mesi con le catture più abbondanti sono Ottobre, Novembre e Dicembre, in particolare per le specie di orata e anguilla, confermando che le catture avvengono per lo più in concomitanza con i mesi di migrazione riproduttiva di queste specie, che sono appunto quelli invernali. Tale dato è confermato anche dall'esame delle catture mensili relative al periodo 1979-1982 presso il lago di Fogliano (Figura 6) (Ardizzone *et al.*, 1985).

Tabella 13: Catture annuali (in kg) al lavoriero e con bertovelli presso il Lago di Fogliano (a) e Caprolace (b) nel periodo dal 1990 al 2006. Elaborazione su dati forniti dal Corpo Forestale dello Stato – Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Fogliano.

FOGLIANO (kg)																	
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Spigole	na	na	na	na	na	218	304	162	977	111	747	1.350	483	350	224	843	6
Orate	na	na	na	na	na	2.962	4.131	0	1.630	1.505	5.685	6.969	5.625	283	1.421	7.256	829
Cefali	na	na	na	na	na	1.824	1.351	438	1.698	570	2.524	2.315	346	72	291	691	6
Saraghi	na	na	na	na	na	264	78	0	170	745	0	1.548	59	125	2	0	1.062
Anguille	na	na	na	na	na	2.771	3.161	908	2.640	869	264	1.725	2.730	1.290	4.716	4.255	41
TOTALE	na	na	na	na	na	8.039	9.025	1.508	7.115	3.800	9.220	13.907	9.243	2.120	6.654	13.045	1.944

CAPROLACE (kg)																	
Spigole	1.183	355	340	65	202	5	40	42	261	72	168	274	587	201	725	47	45
Orate	2.985	4.958	1.676	0	0	818	4.424	10	662	20	3.502	4.724	3.024	302	495	391	6
Cefali	819	2.748	3.018	153	849	548	707	530	758	154	384	908	762	86	775	668	160
Saraghi	1.034	202	530	0	876	77	282	0	295	227	48	1.002	152	116	245	174	197
Anguille	na	na	na	na	na	1.738	1.284	520	546	882	1.561	1.194	1.460	1.060	1.426	498	311
TOTALE	6.021	8.262	5.564	218	1.927	3.186	6.737	1.102	2.522	1.355	5.663	8.102	TOTALE	1.765	3.666	1.778	719

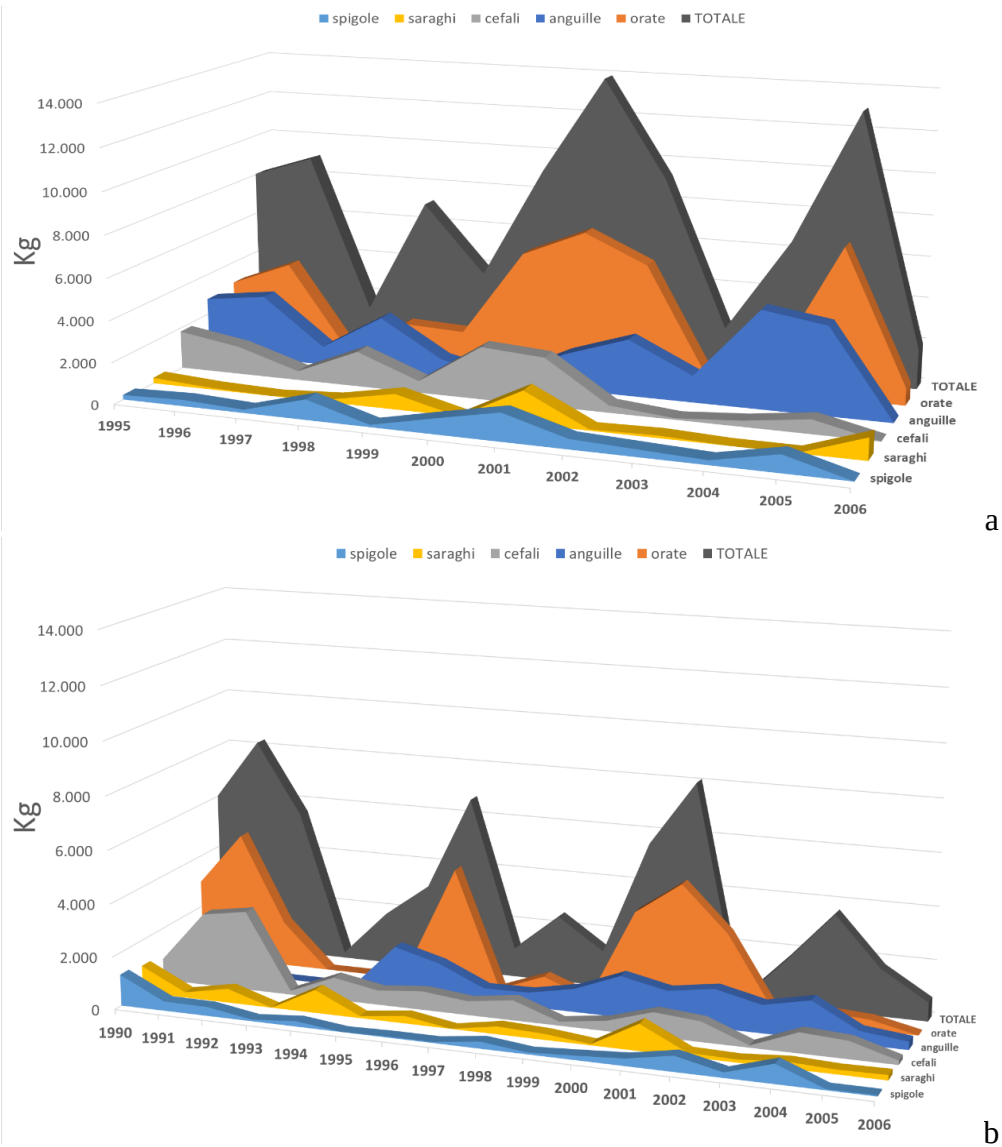


Figura 4: Catture totali (kg), suddivise per specie, con il lavoriero presso il Lago di Fogliano (a) e Caprolace (b) nel periodo dal 1990 al 2006. Elaborazione su di dati forniti dal Corpo Forestale dello Stato – Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Fogliano

Tabella 14: Medie mensili (in kg) del pescato al lavoriero e con bertovelli presso i Laghi di Fogliano e Caprolace nel periodo dal 1990 al 2006. Elaborazione con dati forniti dal Corpo Forestale dello Stato – Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Fogliano.

FOGLIANO (kg)												
	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile
Spigole	4	9	18	18	20	5	16	31	110	70	2	1
Orate	0	0	0	0	23	505	1157	203	1	0	0	0
Cefali	14	18	21	143	75	199	175	69	21	30	5	4
Saraghi	14	11	5	44	77	181	141	58	29	24	7	6
Anguille	121	51	20	0	52	175	183	314	58	88	108	72

CAPROLACE (kg)												
	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile
Spigole	18	21	32	0	3	15	114	155	99	113	13	6
Orate	0	0	0	0	132	1767	2053	50	6	1	0	0
Cefali	38	56	82	432	152	203	166	149	156	109	46	30
Saraghi	0	0	5	0	262	121	43	10	1	0	0	0
Anguille	130	66	122	535	26	89	283	1063	209	220	295	194

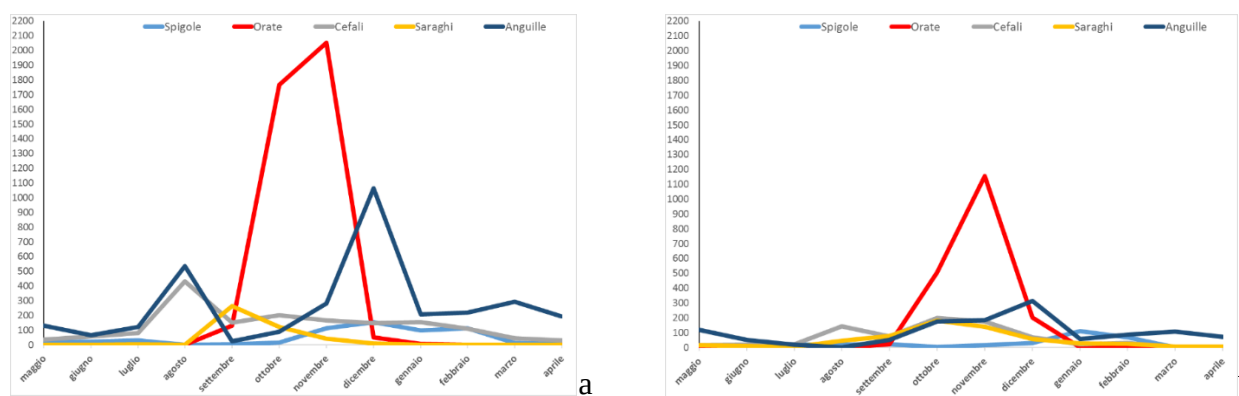


Figura 5: Medie mensili (kg) al lavoriero presso il Lago di Fogliano (a) e Caprolace (b) nel periodo dal 1990 al 2006. Elaborazione su di dati forniti dal Corpo Forestale dello Stato – Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Fogliano.

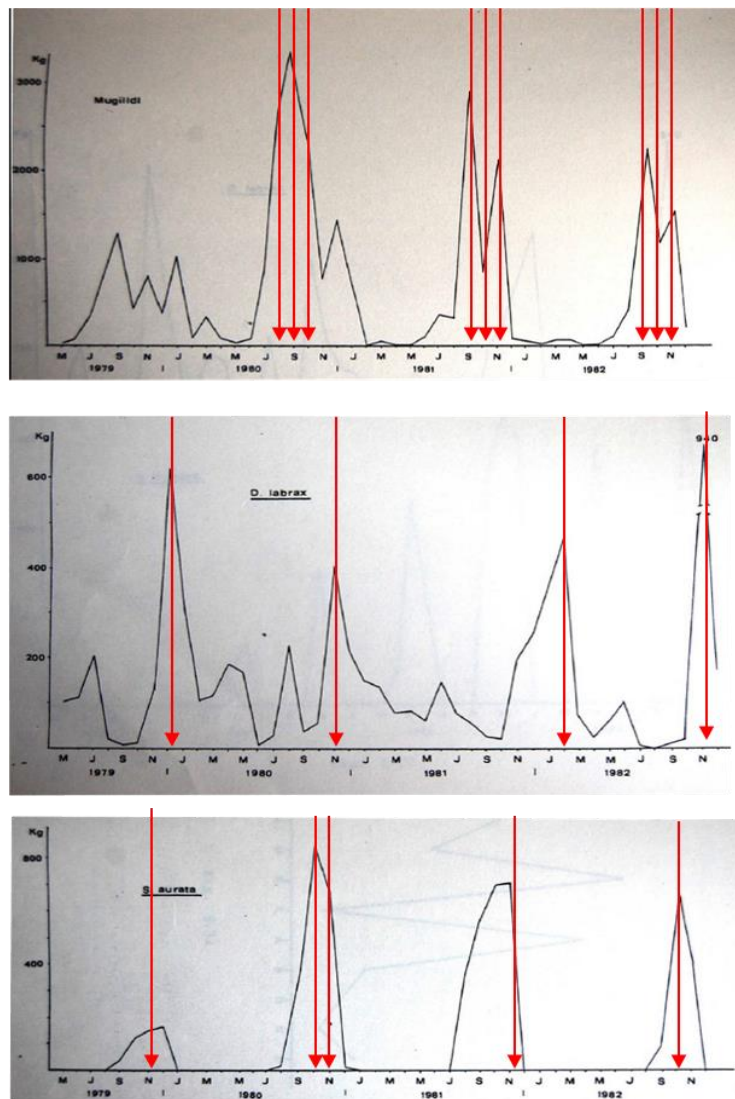


Figura 6: Andamento delle catture mensili per le specie di interesse commerciale (Mugilidi, spigola e orata) presso il lavoriero di Fogliano (periodo 1979-1982). Le frecce rosse indicano i mesi di maggior catture per ciascuna specie. Fonte: Ardizzone *et al.* 1985.

3.2.2. Messa a punto di un processo automatizzato dell'analisi di immagini acustiche per il conteggio dei pesci nel canale di marea

La messa a punto di un metodo automatizzato per l'elaborazione delle immagini acustiche del passaggio dei pesci nel canale di marea è uno dei principali risultati del progetto, poiché mai questo approccio (utilizzato nei passaggi per pesci delle dighe nelle acque interne) era stato applicato in un contesto così complesso dal punto di vista ecologico come quello delle acque di transizione. Singole immagini (formato .jpeg) sono state estrapolate ogni 3 secondi dal video di ciascuna notte di riprese (ca. 12h di filmato per ciascun campionamento per un totale di più di 400 ore per ciascun lago costiero nelle 2 stagioni di attività sperimentale). Tale intervallo è stato calcolato sulla base della dimensione della regione di interesse (ROI), ovvero un'area del canale di marea immediatamente antistante la paratoia di dimensione predefinita (118x360 pixel), che si è scelto di considerare per il conteggio dei pesci affinché fosse minimizzata la possibilità di conteggiare lo stesso individuo più volte.

La messa a punto del protocollo, effettuata sulla base delle riprese il primo anno presso il lago di Fogliano, ha previsto la scelta e l'impostazione di alcuni parametri per eliminare il rumore di fondo dai risultati del conteggio automatico, come la larghezza minima/massima degli "item" da

considerare e un valore soglia di intensità minima dei pixel degli item al fine di controllare la sensibilità del rilevamento e della segmentazione (es. evitare che un items/pesce venga conteggiato come due o tre pesci più piccoli). Tali impostazioni sono state definite su un subset di riprese, dopo numerosi confronti dei risultati del software con conteggi manuali di un operatore esperto, sia sulla base delle immagini sia riguardando più volte la sequenza video specifica. Tale procedimento ha permesso anche di calcolare l'errore di conteggio del software che è stato stimato di circa il 10% (d.s. ± 1.2).

Al fine di minimizzare ulteriormente il rumore di fondo prima che il software iniziasse la procedura di conteggio automatico, da ciascuna immagine è stata sottratta una “background image” acquisita all'inizio della nottata di riprese, in condizioni di assenza di qualsiasi passaggio di pesci.

Nelle figure 7, 8 e 9 sono mostrati alcuni passaggi del protocollo, effettuati con il software di elaborazione di immagini per la conta degli individui in migrazione, IMAGE J, che ha utilizzato gli “screenshot” catturati dal software della camera acustica (BlueView).

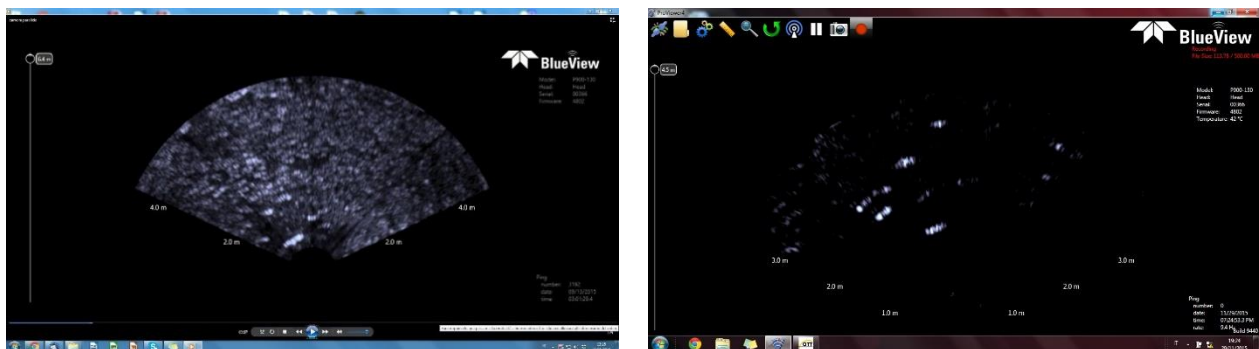


Figura 7: Fermo immagine raw di un video acustico ottenuto presso il canale di marea della laguna di Fogliano (a). Prima elaborazione per massimizzare il contrasto e il pesce in movimento (b)

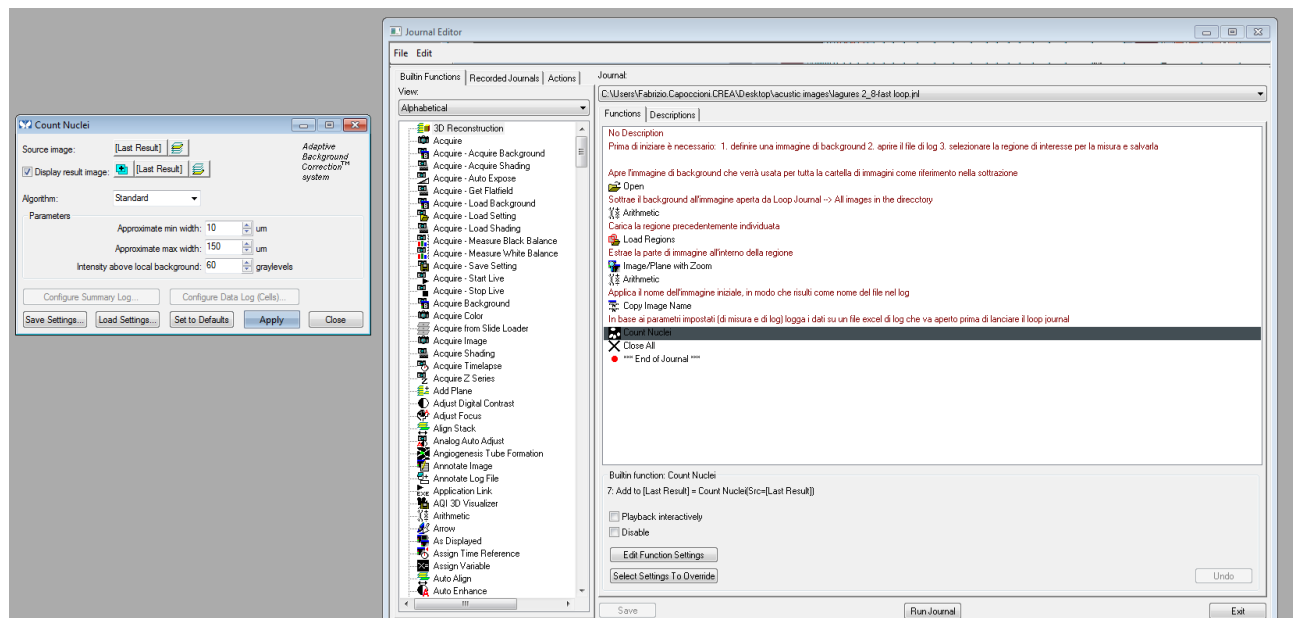


Figura 8: L'immagine mostra il protocollo (journal) automatizzato per la conta dei pesci e un dettaglio dei parametri soglia scelti per minimizzare il rumore di fondo.

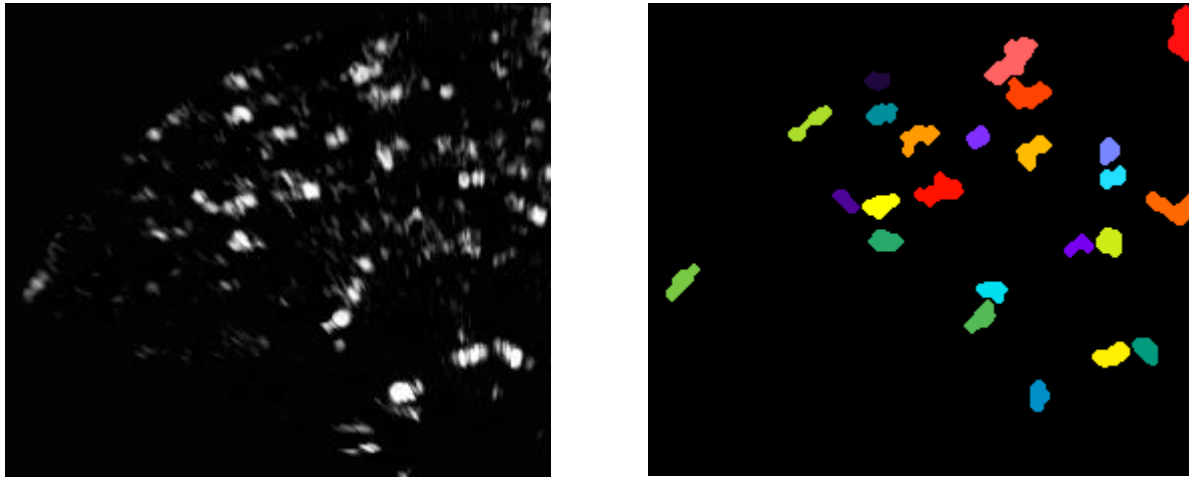


Figura 9: Dettaglio (ROI - region of interest) di un'immagine acustica (a) ed elaborazione attraverso l'utilizzo di diversi filtri (IMAGEJ software) per la conta automatica dei pesci (b).

3.2.3. Risultati del conteggio automatico

In questa sezione sono presentati i risultati relativi alla stagione di attività sperimentale 2016/17 svolte presso il lago costiero di Caprolace. I risultati dell'elaborazione delle immagini acustiche del lago di Fogliano (stagione 2015/2016) sono stati utilizzati per la messa a punto e la validazione del protocollo.

Nella Tabella 15 sono mostrati i risultati delle 37 riprese acustiche (36 di notte e una di giorno) effettuate da Ottobre a Febbraio secondo il calendario previsto. Le ore di riprese video sono state in totale 413, nel corso delle quali sono stati conteggiati 266.717 pesci. La frequenza del passaggio dei pesci è risultata molto variabile, da 1 a 63 pesci al minuto. L'elaborazione dei dati ha permesso di evidenziare anche il passaggio multiplo di pesci in una singola immagine. Tale fenomeno, detto "schooling", cioè un branco di pesci di dimensioni maggiori di 9 unità, è stato calcolato sempre in maniera automatica dal software, ed è risultato anch'esso di frequenza variabile, con giorni in cui tale fenomeno non è stato registrato e giorni in cui lo *schooling* è stato riscontrato fino a 218 volte.

Nella Figura 10 sono riportati i conteggi al minuto in funzione del tempo, aggiungendo una media mobile (periodo = 2) per mostrare l'andamento durante la stagione. Si può notare come non ci sia correlazione fra i due valori (cross-correlation: lag=0 $p=0,15$).

Tabella 15: risultato del conteggio automatico dei pesci nel lago costiero di Caprolace, numero di minuti di riprese e numero di fenomeni di schooling riscontrati.

STAGIONE 2016-17 Caprolace	CONTE TOTALE GIORNO	PESCI/min	Minuti effettivi registrazione	di	Eventi di Schooling (n>10)
11-ott	38.443	63	609		15
22-ott	28.487	41	698		4
25-ott	16.306	24	681		0
27-ott	2.678	4	674		0
29-ott	8.133	12	706		0
30-ott	2.268	4	629		0
31-ott	6.786	10	654		0
02-nov	4.757	7	642		0
05-nov	19.898	30	658		14
13-nov	3.561	5	698		1
18-nov (mattina)	1.895	7	280		1
21-nov	12.422	18	697		76
24-nov	17.096	25	676		36
26-nov	24.537	34	714		27
28-nov	5.016	7	676		10
29-nov	14.417	20	706		185
30-nov	7.224	11	665		44
02-dic	15.111	21	718		218
04-dic	5.064	7	695		92
11-dic	3.586	5	671		0
20-dic	6.761	10	707		131
23-dic	4.549	7	674		15
26-dic	1.271	2	689		0
28-dic	1.488	2	711		0
29-dic	383	1	641		0
30-dic	728	1	680		0
01-gen	996	1	716		0
04-gen	2.329	3	703		4
15-gen	1.695	2	700		0
20-gen	489	1	708		1
23-gen	3.142	5	688		10
25-gen	553	1	704		0
27-gen	561	1	632		0
29-gen	1.222	2	690		0
31-gen	403	1	719		0
02-feb	1.053	1	708		0
12-feb	1.409	2	605		0
totale	266.717		24.823		

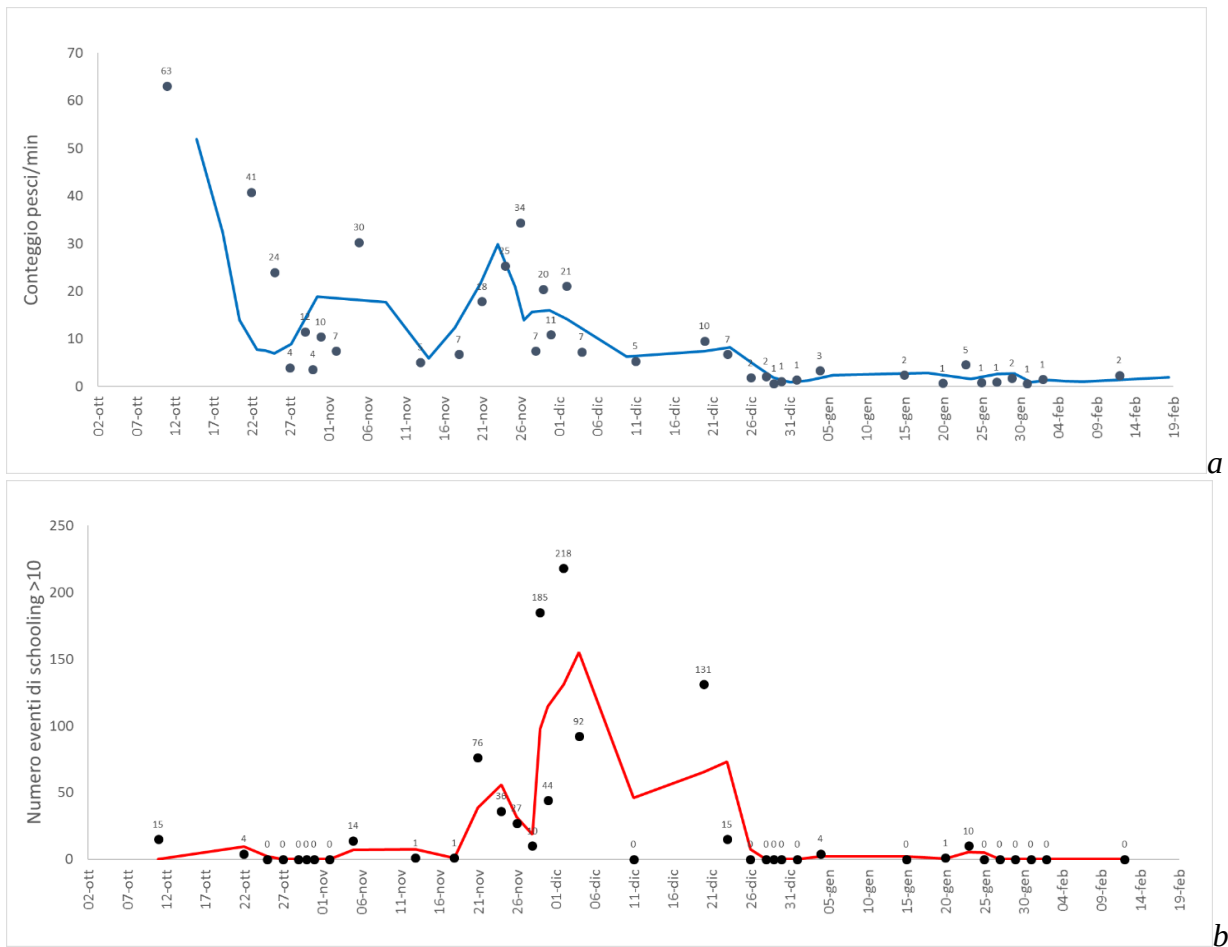


Figura 10: Trend e media mobile del numero di pesce conteggiati/min durante la stagione di campionamento a Caprolace (a) e media mobile degli eventi di schooling registrati nel medesimo periodo (b).

Per comprendere il comportamento dei pesci eurialini che si muovono fra la laguna e il mare sulla base dell'esame dei passaggi, è stata effettuata una ulteriore elaborazione dei dati. I conteggi automatici della camera acustica, espressi come percentuale del totale giornaliero, sono stati esaminati su base oraria (dalle 19 di sera alle 7 di mattina) (Figura 11a), e in base all'andamento della marea giornaliera (flusso, riflusso e cambio di marea/assenza di marea) (Figura 11b). Per quanto riguarda la distribuzione oraria dei passaggi di pesce, all'alba (dalle 6 alle 6:55) la percentuale di conteggi è risultata significativamente (ANOVA; $p < 0,05$) più alta rispetto a quella delle altre ore, in particolare rispetto a quella corrispondente alle ore immediatamente successive al tramonto (dalle 19 alle 19:55), che hanno mostrato la frequenza più bassa di passaggi.

Per quanto riguarda il confronto della frequenza del passaggio rispetto alle fasi di marea, i conteggi stati raggruppati in 3 categorie: conteggi durante la fase di alta marea (flusso), e cioè con acqua in entrata in laguna, conteggi durante la fase di bassa marea (reflusso), con acque in uscita dalla laguna, e conteggi durante la fase di inversione di marea, circa 1 ora durante la quale non sono apprezzabili movimenti idrici in nessuna delle due direzioni (Figura 11 b-c).

I risultati mostrano in media conteggi più consistenti durante la fase di flusso (ANOVA; $p\text{-same} < 0.01$) rispetto a quelli osservati durante la bassa marea e la fase di assenza di flusso idrico, a dimostrazione del fatto che i pesci eurialini si muovono verso l'uscita della laguna in concomitanza con l'alta marea. Esaminando le frequenze di conteggio in funzione della fase di marea su base giornaliera (Figura 11c), si osserva che i movimenti più consistenti nella fase di flusso sono concentrati in alcune giornate durante l'intero periodo di osservazione, mentre in altre il movimento più consistente è durante la fase di riflusso. Questo è probabilmente da mettere in relazione all'interazione con un possibile effetto della fase lunare, che anch'essa influenza i movimenti dei pesci.

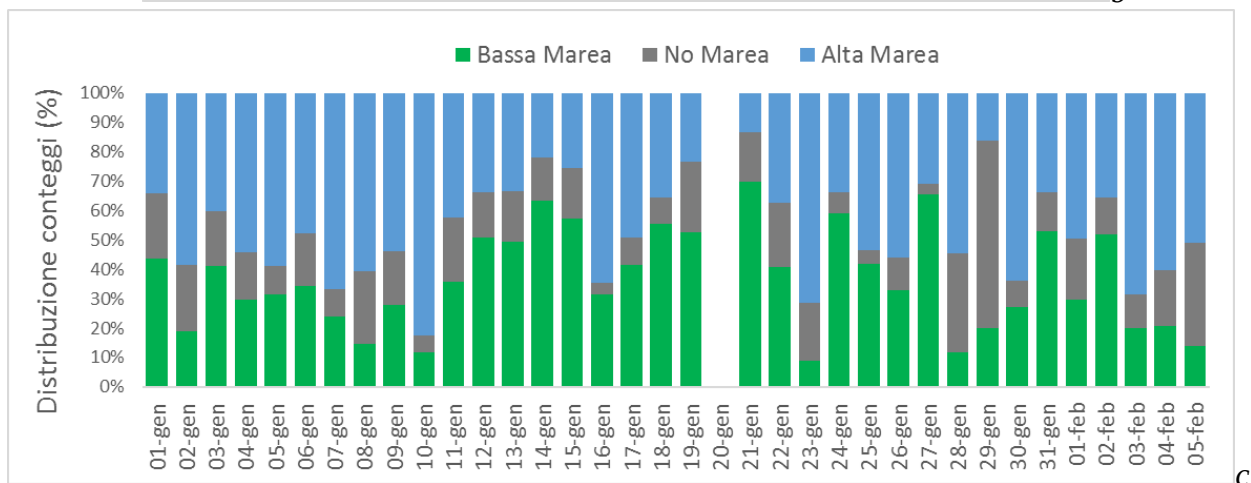
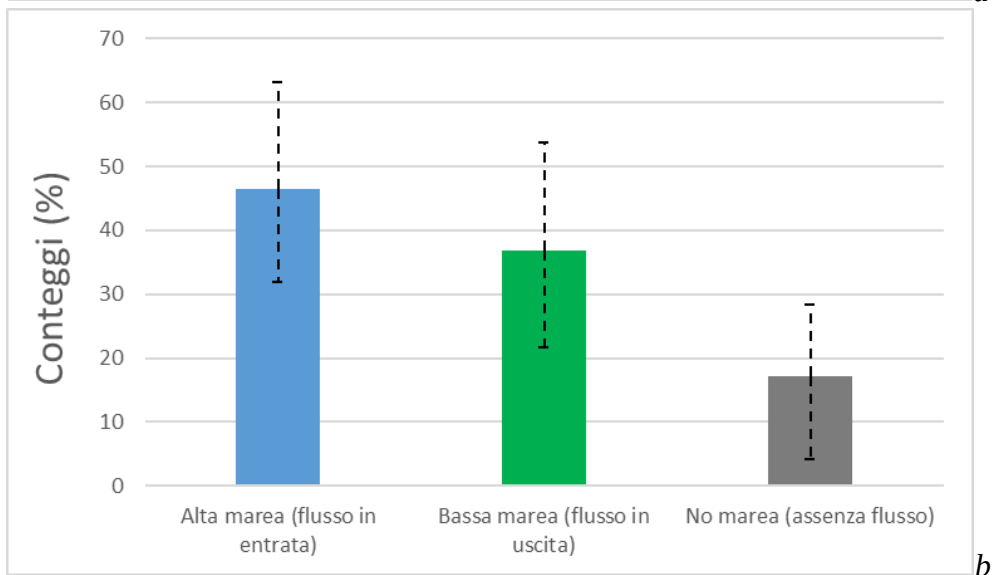
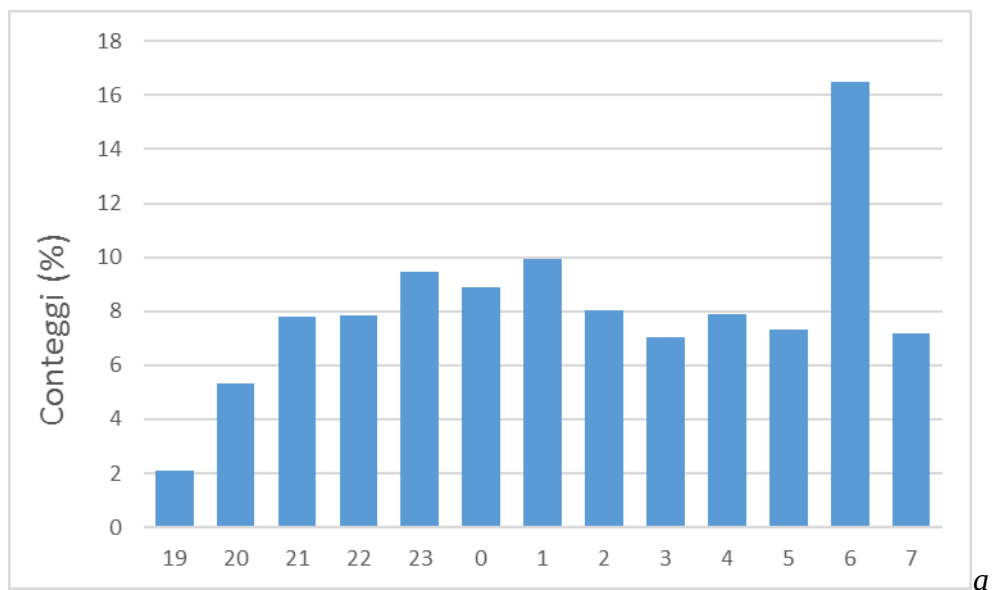


Figura 11: Percentuale dei conteggi durante la campagna di campionamenti di Caprolace rispetto alle ore notturne (a), rispetto alle tre fasi di marea (b) e distribuzione dei conteggi in percentuale per singolo giorno di campionamento (c).

3.2.4. Stima della migrazione di *Sparus aurata* dalla laguna di Caprolace nella stagione 2016/17

La seconda attività specifica è stata l'applicazione del metodo per la stima della biomassa emigrante alla valutazione della biomassa emigrante di una sola specie ittica, e verifica dell'attendibilità della stima. La scelta si è incentrata su una specie eurialina di interesse economico, *Sparus aurata*, in quanto specie più abbondante presso i laghi pontini, e la valutazione è stata condotta per la laguna di Caprolace, relativamente alla stagione 2016/17.

Le caratteristiche della migrazione riproduttiva di questa specie dagli ambienti lagunari, dove si è accresciuta, verso il mare sono ampiamente descritte in letteratura: tale fenomeno avviene durante una finestra temporale ristretta (nei mesi invernali) nella quale numerosi banchi di orate di circa 20-25 cm lasciano contemporaneamente gli ambienti lagunari dove la temperatura, a cui sono particolarmente sensibili, si abbassa notevolmente a causa della profondità ridotta. Tale fenomeno anche nelle lagune pontine è confermato dai dati di catture storiche al lavoriero (vedere sezione 3.2.1).

Per la stagione considerata, si è ritenuto che la "smontata" di orate sia coincisa con l'inizio (13 novembre 2016), protraendosi fino alla fine (23 dicembre 2016), in particolare corrispondendo ai numerosi fenomeni di *schooling* ($n > 9$) che la telecamera acustica ha rilevato a Caprolace. È possibile desumere che tali banchi di pesci corrispondano ad esemplari di orata in migrazione, e questo è stato anche confermato da alcune pesche sperimentali svolte presso il canale di marea nelle stesse giornate.

Utilizzando i dati storici delle catture al lavoriero a Caprolace (1990-2006), sono state calcolate le percentuali di catture di orate rispetto al totale delle catture durante i mesi di migrazione (ottobre, novembre e dicembre), che sono risultati rispettivamente del 47,4%, 69,2% e del 30%. Queste frequenze sono state applicate ai conteggi totali ottenuti nei giorni di campionamento con la camera acustica. Al fine di modellizzare la migrazione riproduttiva delle orate, è stata calcolata una curva gaussiana relativa alla stima del numero di orate conteggiate nei giorni di campionamento, per valutare il numero di individui in migrazione nei giorni di assenza di rilevamento nell'arco dell'intera stagione (Figura 12). Il risultato della modellizzazione ha permesso una stima del numero totale di individui di orata in uscita dalla laguna durante il periodo interessato (in totale 41 giorni) pari a 150.379 individui. Considerando un peso medio individuale di 100 g, corrispondenti alla dimensione media di questa specie quando intraprende la migrazione, si è potuta stimare una biomassa totale di orate in emigrazione dalla laguna di Caprolace nell'inverno 2016 usciti pari a circa 15 tonnellate di orate.

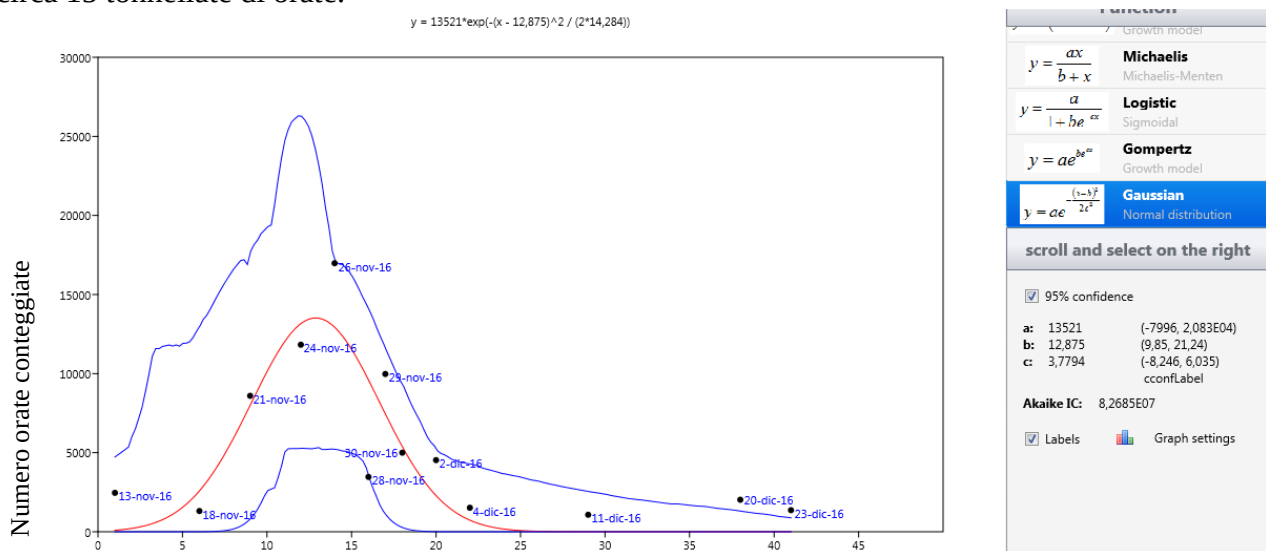


Figura 12: Regressione gaussiana applicata ai dati di conteggio di orate durante il periodo di campionamenti presso la laguna costiera di Caprolace. Periodo selezionato (0: 13 Novembre; 41: 23 Dicembre)

3.2.5. Valutazione delle variabili che influenzano la migrazione di *Anguilla europea*

L'anguilla (*A. anguilla*) è l'altra specie che in termini di abbondanza ha costituito in passato una parte importante delle catture nei laghi pontini, anche se nel corso degli anni è andata incontro ad una notevole rarefazione, come dimostrano le catture progressivamente decrescenti (Tabella 13). Oggi questa specie è in forte contrazione ovunque, nelle lagune italiane e Mediterranee così come nel resto delle acque interne e costiere dell'Europa e del Nord-Africa. L'anguilla è una specie catadroma che risente di una serie di problemi legati alla biologia complessa della specie e agli impatti di natura antropogenica, tra cui pesca, inquinamento, cambiamenti climatici. Al momento, per essa è in via di implementazione un Piano per la ricostituzione dello stock, che vede coinvolti tutti i Paesi Europei, sulla base di uno specifico regolamento (Reg. 1100/2007). In Italia è quindi in vigore un Piano di Gestione Anguilla, articolato su scala nazionale per alcune parti, e comprendente anche nove Piani Regionali (il tutto nell'ambito di un coordinamento supervisionato dal MIPAAF), tra cui quello della regione Lazio, che prevedono una serie di misure per il ripristino degli stock a livello locale, orientate ad ottenere, nel breve e medio termine, un miglioramento dei livelli di emigrazione dalle singole Unità di Gestione, le Regioni.

Con un progetto specifico FEP Lazio¹, attuato da vari soggetti scientifici (A.G.E.I., Dipartimento di Biologia) o coinvolti nella gestione (Osservatorio per la Biodiversità dell'ARSIAL, Regione Lazio, Provincia di Latina, Consorzio di Bonifica, Ente Parco e UTB), si è compiuto un passo successivo, preparando Piani di Gestione alla scala di singoli bacini, nella consapevolezza che è a questa scala che è possibile attuare le migliori strategie di gestione, e prefigurare in modo concreto le misure di conservazione e gli interventi in grado di ripristinare/mantenere lo stato dello stock locale di anguilla. In quest'ottica tra i bacini prescelti per il Lazio, i laghi costieri inseriti nel Parco Nazionale del Circeo sono stati identificati come siti pilota di elezione, in relazione sia al contesto gestionale in cui sono inseriti, sia da un punto di vista ambientale e della situazione degli stock locali di anguilla, ampiamente studiati e conosciuti per le loro caratteristiche biologiche e di dinamica delle popolazioni locali. Al momento attuale, per i laghi gestiti dal PNC, la sospensione di tutte le attività di cattura di anguille, sia ricreativa che commerciale, ha determinato, attraverso l'annullamento di qualsiasi mortalità da pesca, una ripresa degli stock locali, certamente in termini di biomassa (attraverso la crescita degli individui che compongono la sottopopolazione) se non in termini numerici (attraverso una sopravvivenza degli individui che reclutano ciascun anno).

Le valutazioni quantitative e qualitative obiettivo del presente Progetto acquistano particolare rilevanza proprio in relazione alla presenza di un Piano di Gestione Anguilla locale, andando a costituire un completamento delle attività in corso per questa specie.

Per quello che riguarda le valutazioni quantitative, l'elaborazione delle immagini acustiche ha mostrato che i movimenti di questa specie, e il comportamento migratorio delle anguille argentine, sono difficili da monitorare con questo metodo poiché il nuoto avviene sul fondo, a differenza di spigole e orate che nuotano nella colonna d'acqua, e il riflesso acustico si confonde appunto con il *background*. Per questo aspetto, si rimanda quindi alla sezione 3.3.5, in cui si riportano le stime del numero di anguille argentine di sesso femminile che annualmente lasciano le due lagune pontine per intraprendere la migrazione riproduttiva verso il mar dei Sargassi, effettuate applicando il *Reproductive potential index*, che integra informazioni qualitative con dati di valutazione di biomassa emigrante ottenute nell'ambito del Piano di Gestione Anguilla Regionale.

È stata comunque effettuata una valutazione delle dinamiche migratorie dell'anguilla, basata sulla elaborazione dei dati relativi alle catture lungo il canale di marea con i bertovelli nelle notti in cui

¹2014- 2015 (concluso, è in corso la Sorveglianza Scientifica 2016-2020) PIANO DI GESTIONE DELL'ANGUILLA DEI LAGHI di CAPROLACE, FOGLIANO E MONACI (PARCO NAZIONALE DEL CIRCEO – LATINA) - Misure per la tutela ed il recupero della risorsa anguilla (*Anguilla anguilla*) nella Regione Lazio-. Codice di progetto: 3/BA/12-LA Reg. (CE) n. 498/2007 Recante modalità di applicazione del Reg. (CE) n. 1198/2006 del Consiglio relativo al Fondo Europeo per la Pesca (FEP) - Misura 3.2 – Misure intese a preservare e sviluppare la fauna e la flora acquatiche

Appare chiaro quindi come la funzionalità della connessione laguna mare debba essere efficiente in questo periodo proprio per garantire il contributo in termini di biomassa di ambienti lagunari, come quelli oggetto dello studio, alla riproduzione di questa specie.



51

3.3. Valutazione della qualità di specie ittiche in ambiente lagunare: il caso dell'Anguilla Europea come esempio di relazione tra qualità dei riproduttori e conservazione dello stock. UO2

L'ultimo obiettivo del progetto ha previsto di condurre valutazioni qualitative dei riproduttori in uscita dalle lagune di Fogliano e Caprolace, concentrando l'attenzione sull'anguilla europea, per valutare il contributo effettivo dello stock locale al potenziale riproduttivo della specie. Per l'anguilla infatti, una specie catadroma panmittica, è importante conoscere questo aspetto, in quanto i riproduttori degli stock locali contribuiscono alla rinnovabilità dello stock globale. Visto lo stato dello stock di anguilla, la cui contrazione quantitativa ha imposto necessità di gestione coordinate finalizzate anche alla conservazione e al ripristino dello stock globale, l'attenzione è posta al contributo dei riproduttori in uscita dai diversi habitat colonizzati dalla specie in tutto l'areale alla migrazione oceanica verso l'area di riproduzione. Gli obiettivi per il recupero dello stock sono focalizzati sulla tutela e l'incremento dell'emigrazione (Reg. CE 1100/2007), ma ultimamente l'attenzione è stata rivolta anche a valutare la qualità dei riproduttori stessi, in quanto il contributo effettivo alla riproduzione della specie in oceano potrebbe risultare compromesso da una qualità ridotta degli animali, conseguente alle condizioni di degrado degli habitat in cui l'anguilla si accresce e alla diffusione di patologie specifiche (ICES, 2011).

Le valutazioni qualitative sullo stato delle anguille argentine sono quindi rivolte a considerare lo stato di benessere generale (percentuale lipidica), la presenza di contaminazione da parte di pesticidi organici e da metalli pesanti, parassitosi e patologie virali, che sono gli aspetti che possono pregiudicare l'effettivo potenziale riproduttivo degli individui.

Nella presente sezione sono quindi riportati i risultati relativi a questi aspetti, per gli stock locali di anguilla dei laghi di Fogliano e Caprolace.

3.3.1. Dati biologici

Nella tabella 16 sono riportati, suddivisi per sesso, i valori relativi alle caratteristiche biologiche dei campioni di anguille argentine nei due laghi costieri di Fogliano e Caprolace (rispettivamente 20 e 21 individui), considerando la taglia, l'accrescimento e la condizione degli individui.

Tabella 16: Media ($\pm$ E.S.) della lunghezza totale, peso età, accrescimento medio annuale, fattore di condizione e contenuto lipidico, di maschi e femmine di anguilla argentina provenienti dalle lagune pontine di Caprolace e Fogliano. Le lettere indicano differenze significative fra i valori (Mann-Whitney test Bonferroni corrected (p-values < 0.05)).

	Fogliano				Caprolace			
	Femmine (n = 12)		Maschi (n = 8)		Femmine (n = 14)		Maschi (n = 6)	
	Media	$\pm$ S,E,	Media	$\pm$ S,E,	Media	$\pm$ S,E,	Media	$\pm$ S,E,
Lunghezza totale (mm)	51,2 ^a	2,6	36,8	1,2	69,5 ^b	4,2	37,3	0,8
Peso (g)	281,8 ^a	56,3	82,6	7,2	830,9 ^b	139,2	85,5	5,1
Age (yr)	11,1	0,5	8,2	0,3	9,8	0,5	7,4	0,6
Accrescimento annuale (mm/yr)	4,7 ^a	0,3	4,6	0,3	7,4 ^b	0,7	5,3	0,3
Le Cren's Condition factor	1,0	0,0	1,0	0,0	1,1	0,1	1,0	0,0
% Lipidi (ww)	21,4	1,3	24,5	0,9	18,3	1,2	23,7	0,5

Lunghezza totale e peso delle femmine, e conseguentemente l'accrescimento medio annuo, sono risultati significativamente più elevati a Caprolace che a Fogliano, e l'accrescimento delle femmine argentine è significativamente più rapido a Caprolace, con un tasso di crescita di 7,4 mm all'anno per una età massima osservata di circa 10 anni. I maschi, come noto da bibliografia, hanno una taglia e peso poco variabile alla maturità, le femmine argentine possono presentare a seconda delle caratteristiche dell'habitat differenze notevoli.

Per quanto riguarda il Fattore di condizione e la percentuale lipidica, non sono state riscontrate differenze significative nei due siti, per nessuno dei due sessi.

Per quanto concerne, in particolare, la concentrazione dei lipidi nel tessuto muscolare delle anguille argentine dai due siti, questa ha mostrato valori compresi tra i 18,3 e 24,5 %, con valori più alti nei maschi. Anche solo considerando il contenuto lipidico delle sole argentine di sesso femminile, i valori osservati sono sempre superiori al 18 %.

È stato trovato un alto contenuto lipidico medio nel tessuto muscolare di tutte le anguille argentate femminili provenienti dai nove siti di campionamento (> 18% in peso). A differenza di molti altri pesci, le anguille conservano un alto contenuto lipidico immagazzinato tra le fibre muscolari (Henderson e Tocher, 1987), e il contenuto di grassi è considerato un tratto riproduttivo, importante per il nuoto a lunga distanza che questa specie deve affrontare verso l'area riproduttiva, così come per la crescita delle gonadi e la produzione di gameti (van den Thillart *et al.*, 2007). La teoria che gli animali debbano raggiungere una massa grassa critica per poter iniziare il processo di maturazione che si accompagna alla metamorfosi ad anguilla argentina è stata ampiamente accettata, ed è stato dimostrato che il raggiungimento di questa soglia è ciò che innesca i processi fisiologici relativi ai cambiamenti riproduttivi (Lokman *et al.*, 2003; Belpaire *et al.*, 2009). D'altra parte, diversi studi hanno proposto risultati divergenti relativamente al fabbisogno energetico minimo (in % lipidi su peso umido muscolare) necessari per il completamento della migrazione e la riproduzione riuscita (Boetius, 1980: 20%; Palstra *et al.*, 2006: 13,5% van van Thillart *et al.*, 2007: 20,7%). Le anguille argentine femmina analizzate in questo lavoro mostrano percentuali di lipidi nel tessuto muscolare al di sopra o prossimi alla massa lipidica critica suggerita dagli autori sopra citati, quindi tutti gli animali mostrano una quantità sufficiente di riserva energetica per affrontare con probabilità di successo la migrazione oceanica e la deposizione delle uova nel Mar dei Sargassi.

3.3.2. Contaminazione da contaminanti organici (OCs) e metalli pesanti (HM)

Il profilo complessivo di contaminazione mostra per i laghi una situazione d'insieme di contaminazione relativamente bassa rispetto ad altre specie o all'anguilla stessa in altri siti italiani ed europei, e se paragonato con i limiti di legge per il consumo umano. Esaminando specificamente i diversi contaminanti, si possono comunque fare osservazioni più specifiche.

Per quanto riguarda i policlorobifenili (PCB), composti altamente lipofili con molteplici effetti tossici nel lungo termine per la salute umana e per diversi organismi collocati ai vari livelli della catena trofica, essi rientrano nella categoria dei disruptori endocrini in quanto responsabili di disordini nella riproduzione per molti animali. Di questi composti, sono stati presi in esame ben 29 congeneri, e oltre alle concentrazioni dei singoli, sono stati valutati sia i valori relativi all'insieme dei PCBs, somma totale Σ PCBs, sia quelli relativi ai 7 congeneri (CB 28, 52, 101, 118, 138, 153 e 180: ICES Σ 7 PCBs) segnalati da ICES in varie occasioni come congeneri di interesse prioritario, perché sono quelli che di solito contribuiscono in misura maggiore al totale dei PCBs e anche in quanto oggetto di monitoraggio da più tempo e in modo ubiquitario.

Il paragone con dati da letteratura relativi ad altri siti è reso difficile dal fatto che i PCBs sono espressi talvolta relativamente alla frazione lipidica (ng/g lw), talvolta rispetto al peso fresco (ng/g ww), a seconda dello scopo del lavoro, e per l'anguilla spesso non è specificato lo stadio degli animali (anguilla gialla o argentina).

In linea di massima le concentrazioni riscontrate sui campioni di anguilla argentina dei laghi pontini

esprese sulla base della frazione lipidica sono più basse di quelle osservate in molti siti del Nord-Europa, ad esempio nelle Fiandre, e che tuttavia mostrano una grande variabilità da sito a sito (Malarvannan *et al.*, 2014). I livelli osservati sono più elevati a Fogliano, sia per le femmine che per i maschi (rispettivamente $262,6 \pm 264,0$ e $112,3 \pm 172,2$ ng g⁻¹) rispetto a Caprolace ($139,9 \pm 72,90$ e $70,0 \pm 22,9$ ng g⁻¹, rispettivamente per femmine e maschi). Il confronto con altri ambienti Mediterranei per i quali i risultati sono paragonabili (valori espressi in funzione del lw), si osservano concentrazioni più elevate che presso le lagune di Lesina e S. Giusta, dei laghi di Bracciano e Bolsena, e più vicini a quelli osservati nella laguna Orbetello e nel basso corso del Tevere (Fig. 14).

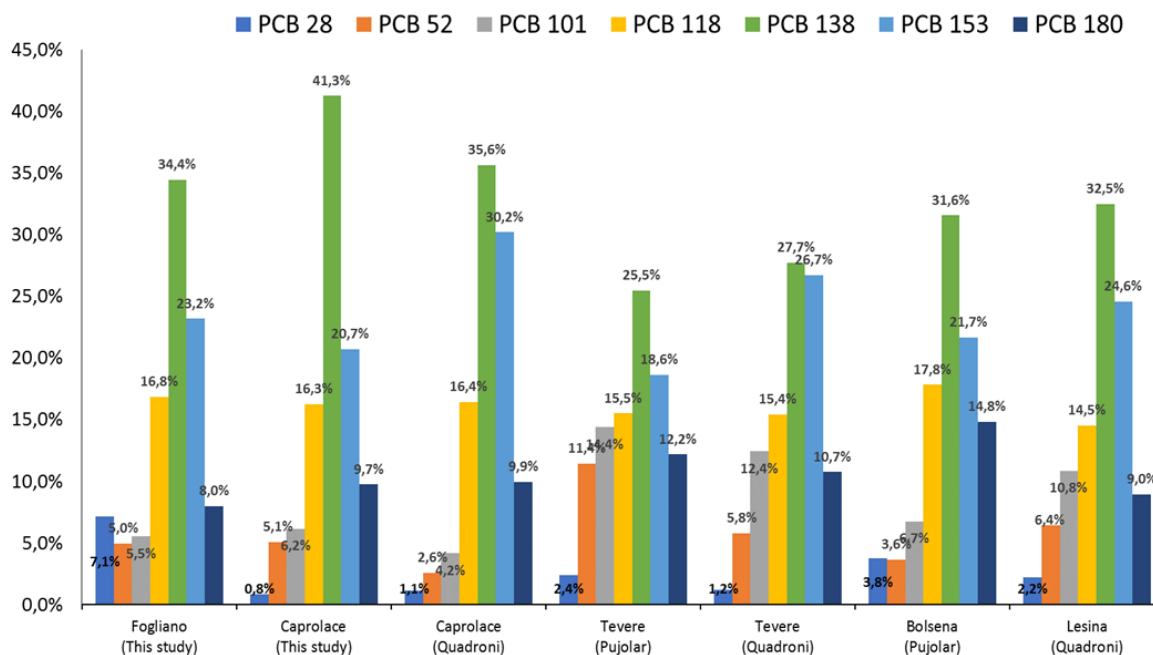


Figura 14: Confronto della percentuale di contaminazione dei 7 principali congeneri PCBs nei siti di studio e in alcuni siti italiani

Per quanto riguarda gli effetti specifici dei contaminanti lipofilici sulla qualità dei riproduttori di anguilla, i PCBs, sulla base del meccanismo d'azione, possono essere attribuiti gli stessi effetti tossicologici imputabili a diossine e furani. Questo meccanismo include il legame con uno specifico recettore cellulare. Gli effetti osservati sui mammiferi e pesci sono relativi a effetti teratogeni e comportamentali con riflessi sulle performances vitali della prole, in particolare di sesso maschile. Questi includono effetti sull'apparato genitale e sul sistema immunitario.

Per agevolare il confronto tra siti per i diversi contaminanti, e per effettuare raffronti con i dati di letteratura e con i limiti di riferimento riportati nelle normative, i risultati delle analisi di tutti i contaminanti effettuate sui campioni di anguille argentine di ambedue i sessi, ma suddivisi per sito di campionamento, ed espressi relativamente al peso fresco (ng/g ww) sono riportati nella Tabella 17.

Ancora per il totale dei PCBs, le concentrazioni osservate hanno mostrato valori molto al di sotto del limite, fissato per la somma di soli 6 congeneri: Σ 6 PCBs (28,52,101,138,153,180) in 300 ng/g w.w. per l'anguilla. (EC/1259/2011). I valori osservati di Σ PCBs sono infatti $39,35 \pm 10,25$ ng/g ww nelle anguille argentine del lago di Fogliano e $24,87 \pm 3,01$ in quelle di Caprolace. Anche i valori massimi riscontrati sono stati al di sotto di tali valori. Si tratta di valori assai inferiori a quelli osservati in diversi siti in Europa (Szylinder-Richert *et al.*, 2014) e paragonabili ad altre acque di transizione, come ad esempio l'estuario della Loira (Blanchet-Letrouvé, 2013). I congeneri che maggiormente contribuiscono al valore di Σ PCBs sono 5 dei 7 congeneri prioritari PCB 101, 118,

138, 153 e 180, unitamente a CB 99 e 187 (Tabella 17). Tutti gli altri PCB esaminati presentano concentrazioni basse nel tessuto muscolare dei campioni, mentre il PCB 209 è risultato al di sotto della soglia misurabile, così come il PCB 28 nelle anguille di Fogliano e il PCB 151 in quelle di Caprolace.

Per quanto riguarda i Polibromodibenzo-p-diossine polibromodibenzofurani (PBDE), sono stati considerati 9 congeneri, tra cui tre (PBDE 47, 99 e 153) di interesse prioritario in quanto sono quelli con maggior potenziale di bioaccumulo. Si tratta di composti ritardanti di fiamma brominati, contenuti in varie percentuali nei composti commerciali, come il Penta PBDE. Si tratta di una classe di sostanze lipofile anch'esse altamente persistenti in quanto non facilmente biodegradabili, soprattutto alcuni dei congeneri. La loro tossicità è dovuta proprio al potenziale bioaccumulo, e pertanto l'uso di miscele di questi composti è vietato dal 2004 (Reg. 793/93/EC). Tutti hanno mostrato valori molto bassi o al di sotto della soglia misurabile, eccetto che per le 2 forme metossilate (2-MeO-DBE68 e 6-MeO-BDE47). I valori di $\sum$ PBDE sono significativamente diversi nelle anguille argentine dai due laghi, pari a $2,18 \pm 0,20$ ng/g ww a Fogliano e $1,21 \pm 0,11$ 20 ng/g ww a Caprolace. Tali valori sono paragonabili a quelli osservati in molti siti Europei in cui si osservano bassi livelli di contaminazione di anguille per questi composti (Polonia, Irlanda, Olanda) e molto inferiori a quelli osservati in monitoraggi condotti in molti siti in Germania e Belgio (Szlinder-Richert *et al.*, 2014, per una review), dove i livelli di contaminazione di anguille sono ancora alti tanto da vietarne il consumo. L'anguilla è una delle specie più vulnerabili all'effetto dei contaminanti lipofili come PCBs e PBDEs, in quanto in questa specie iteropara non vi sono perdite di questi contaminanti in relazione a variazioni del metabolismo lipidico e alla riproduzione, ma accumulo durante l'intera fase di accrescimento e di maturazione, che raggiunge i livelli massimi di accumulo nelle argentine che si accingono a migrare in oceano. Questo è il motivo per cui l'attenzione per l'anguilla si è concentrata sul livello di contaminazione di questi composti: nel corso della migrazione le riserve lipidiche contaminate vengono consumate, determinando alti livelli di contaminazione da PCB, diossine e PBDE nel sangue, con danni agli organi riproduttivi e alle uova, con effetti anche sull'embriogenesi (ICES, 2015b).

Con riferimento alla contaminazione da pesticidi organici clorurati, sono stati presi in esame il Clordano, l'Esaclorobenzene (HCB), l'Esaclorocicloesano (HCH e suoi isomeri) e i DDT (suoi isomeri e metaboliti). Per quanto riguarda questi ultimi, il pp-DDT è presente in concentrazioni simili nelle anguille provenienti dai due laghi ($1,35 \pm 0,14$ ng/g ww nei campioni di Fogliano e $1,02 \pm 0,07$ ng/g ww in quelli di Caprolace). A Caprolace sono stati trovati valori simili a quelli osservati in passato (Quadroni *et al.*, 2012). Tra i composti di degradazione del DDT, il pp-DDE è il più abbondante: $7,41 \pm 1,21$ ng/g ww nei campioni di Fogliano e $4,57 \pm 0,46$ ng/g ww in quelli di Caprolace, ma per questo composto i valori sono più bassi di quelli osservati da Quadroni *et al.*, 2012. Il pp-DDE è in effetti quello che maggiormente contribuisce ai valori dei DDT totali: $\sum$ DDT è pari a $10,65 \pm 1,52$ ng/g ww nei campioni di Fogliano, significativamente superiore ai $6,67 \pm 0,56$ ng/g ww delle argentine di Caprolace. Si tratta comunque di concentrazioni più basse di quelle riscontrate in anguille argentine di altri siti Mediterranei, sia lagunari che fluviali (Amilhat *et al.*, 2013, per una review) e notevolmente inferiori rispetto ad anguille di altri siti del Nord-Europa (anche in questo caso si veda Szlinder-Richert *et al.*, 2014, per una review). Inoltre si tratta di valori 100 volte più bassi del massimo limite ammissibile nei prodotti ittici per il consumo umano (1000 ng/g ww, 86/363/EC; 5 µg/g ww US-FDA).

Gli altri pesticidi presi in esame ($\sum$ Chlordane, $\sum$ HCB e $\sum$ HCH) sono risultati presenti in concentrazioni molto basse (Tabella 17), e sempre al di sotto dei limiti sia per i prodotti ittici per consumo che per lo Standard di Qualità Ambientale (EQSs) per le acque di superficie (che includono organismi del biota come i pesci), fissato dalla Direttiva Quadro sulle Acque, WFD 2000/60/EC.

Infine sono stati infine presi in esame sei metalli (Zinco, Rame, Cadmio, Cromo, Piombo e Mercurio), spesso utilizzati come indicatori del livello di bioaccumulo e contaminazione per l'anguilla, in quanto associati a condizione alterata e ridotta variabilità genetica (Maes *et al.*, 2005). I livelli di contaminazione da metalli pesanti nelle anguille dai due siti sono risultati bassi se confrontati con quelli riportati da molti studi relativi a siti europei, e comparabili a quelli riportati per altri siti del Mediterraneo (Amilhat *et al.*, 2013). Per nessuno dei metalli pesanti misurati si sono osservati i valori, nel tessuto muscolare di anguille dai due siti, sopra i limiti di legge per questa specie relativamente alla sicurezza dell'uomo (EC 466/2001, neanche considerando le concentrazioni massime misurate. Fa eccezione solo il Mercurio: se si prendesse in considerazione lo standard di qualità biologica (EQS) previsto dalla WFD per i pesci, i valori medi riscontrati, per gli animali di ambedue i siti, risultano leggermente sopra i limiti consentiti (pari a $0,2 \mu\text{g g}^{-1}$ w.w.). Questo metallo e i suoi composti (in particolare il metil-mercurio, altamente lipofilo) sono di particolare interesse sia per le conseguenze sulla salute umana, derivanti da effetti neurotossici e immuno-tossici e sullo sviluppo embrionale, sia per gli effetti potenziali sui pesci. Elevati livelli di accumulo di Hg nel cervello e negli occhi infatti possono indurre nei pesci non solo modificazioni biochimiche, ma anche alterazioni di pattern comportamentali (correlati all'alimentazione, all'interazione con predatori, alle migrazioni), in quanto possono compromettere i processi neurosensoriali (ICES, 2015 WKCBEEL).

Come ultimo passo nello studio del pattern di contaminazione delle anguille argentine delle lagune pontine, per verificare eventuali differenze di accumulo delle sostanze contaminanti prese in considerazione nei maschi e nelle femmine, sono stati effettuati test statistici di confronto, considerando il sesso degli individui fra le variabili-gruppo, per i contaminanti che si sono rivelati più importanti, sia quelli organici lipofilici altamente persistenti ($\sum$ PCB, $\sum$ PBDE) che per i pesticidi organici clorurati che per alcuni metalli pesanti (Figura 15). L'elaborazione statistica è stata effettuata con un metodo non parametrico in relazione al numero di individui per i 4 gruppi (Fogliano femmine e maschi, Caprolace femmine e maschi). Tale approccio (Kruskall Wallis test) ha permesso di verificare che a Fogliano le femmine hanno valori significativamente più alti dei maschi relativamente a DDT e Clordano, mentre la situazione opposta si presenta per l'HCH. A Caprolace solo per il Mercurio le femmine hanno mostrato un valore mediano significativamente più alto dei maschi.

Tabella 17. Concentrazioni medie ($\pm$ S.E.) e ranges di sostanze contaminanti di origine organica (ng g^{-1} ww) e metalli ($\mu\text{g g}^{-1}$ w.w.) analizzati nel tessuto muscolare di anguille argentine catturate nelle lagune costiere di Fogliano e Caprolace. Soglia di significatività: * $p=0,05$, ** $p=0,01$.

Contaminante	Fogliano (n = 21)				Caprolace (n = 20)			
	Media	$\pm$ S.E.	Min	Max	Media	$\pm$ S.E.	Min	Max
PCB 28	<DL	<DL	<DL	<DL	0,76	0,16	0,80	1,98
PCB 49	0,27	0,05	0,24	0,84	0,19	0,03	0,25	0,51
PCB 52	0,73	0,14	0,41	2,14	0,66	0,11	0,42	1,55
PCB 74	0,45	0,08	0,28	1,82	0,17	0,04	0,39	0,57
PCB 95	0,26	0,05	0,10	0,83	0,16	0,03	0,18	0,47
PCB 99	3,08	0,74	0,84	15,11	1,74	0,24	0,73	4,80
PCB 146	1,98	0,51	0,37	10,95	1,08	0,13	0,37	2,44
PCB 149	1,10	0,40	0,31	8,31	0,61	0,10	0,45	1,69
PCB 151	0,13	0,02	0,33	0,54	<DL	<DL	<DL	<DL
PCB 153	9,23	2,20	1,63	46,20	5,44	0,75	1,70	13,89
PCB 156	0,41	0,13	0,06	2,54	0,27	0,05	0,11	1,00
PCB 170	0,97	0,32	0,14	6,81	0,52	0,07	0,15	1,43
PCB 171	0,25	0,09	0,11	1,82	0,13	0,02	0,11	0,33
PCB 174	0,16	0,06	0,10	1,36	0,09	0,01	0,10	0,21
PCB 177	0,36	0,14	0,10	2,92	0,18	0,03	0,10	0,45
PCB 180	2,50	0,91	0,29	19,15	1,24	0,16	0,34	2,92
PCB 183	0,75	0,26	0,14	5,51	0,40	0,05	0,13	0,89
PCB 187	2,65	0,81	0,45	17,14	1,50	0,18	0,44	3,49
PCB 194	0,36	0,13	0,11	2,72	0,18	0,03	0,13	0,42
PCB 196/203	0,33	0,14	0,10	2,86	0,14	0,02	0,10	0,37
PCB 199	0,34	0,14	0,03	2,97	0,14	0,02	0,10	0,33
PCB 206	0,11	0,02	0,10	0,38	0,09	0,00	0,10	0,10
PCB 209	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
Σ 7PCBs	22,30	5,52	4,64	115,34	15,22	1,84	6,94	39,99
Σ PCBs	39,35	10,25	8,59	216,60	24,87	3,01	10,56	65,28
PBDE 28	0,05	0,00	0,05	0,05	<DL	<DL	<DL	<DL
PBDE 47	0,15	0,04	0,06	0,92	0,05	0,01	0,05	0,15
PBDE 99	0,05	0,00	<DL	0,11	<DL	<DL	<DL	<DL
PBDE 100	0,07	0,01	0,05	0,32	<DL	<DL	<DL	<DL
PBDE 153	<DL	<DL	0,05	0,05	<DL	<DL	<DL	<DL
PBDE 154	<DL	<DL	0,06	0,06	<DL	<DL	<DL	<DL
PBDE 183	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
2-MeO-PBDE68	0,17	0,04	0,05	0,81	0,11	0,02	0,06	0,29
6-MeO-PBDE47	1,54	0,27	0,25	4,71	0,76	0,10	0,19	1,86
Σ PBDE	**2,18	0,28	0,65	5,32	1,21	0,11	0,5	2,49
op-DDD	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL	<DL
op-DDT	0,54	0,08	0,71	1,64	<DL	<DL	<DL	<DL
pp-DDE	7,41	1,21	2,21	25,84	4,57	0,46	2,08	9,10
pp-DDD	0,96	0,24	0,39	5,02	0,34	0,08	1,26	1,42

pp-DDT	1,35	0,14	0,69	3,52	1,02	0,07	0,57	1,53
Σ DDT	**10,65	1,52	3,88	35,12	6,67	0,56	3,61	12,76
HCB	0,59	0,04	0,42	0,79	0,63	0,04	0,45	0,85
a-HCH	0,08	0,00	0,11	0,11	0,08	0,00	0,07	0,10
b-HCH	0,13	0,02	0,10	0,28	0,15	0,01	0,09	0,26
g-HCH	0,24	0,02	0,13	0,36	0,28	0,01	0,23	0,35
Σ HCH	0,45	0,03	0,22	0,66	0,51	0,02	0,37	0,65
Cu	0,29	0,02	0,08	0,49	0,31	0,02	0,17	0,54
Zn	30,37	1,87	18,03	47,19	28,45	1,64	19,17	51,21
Cr	0,00	0,00	<DL	0,02	**0,01	0,00	<DL	0,04
Cd	<DL	<DL	<DL	<DL	0,00	<DL	<DL	0,00
Pb	**0,02	0,01	<DL	0,14	0,00	0,00	<DL	0,00
Hg	0,31	0,03	0,07	0,57	0,30	0,04	0,07	0,72

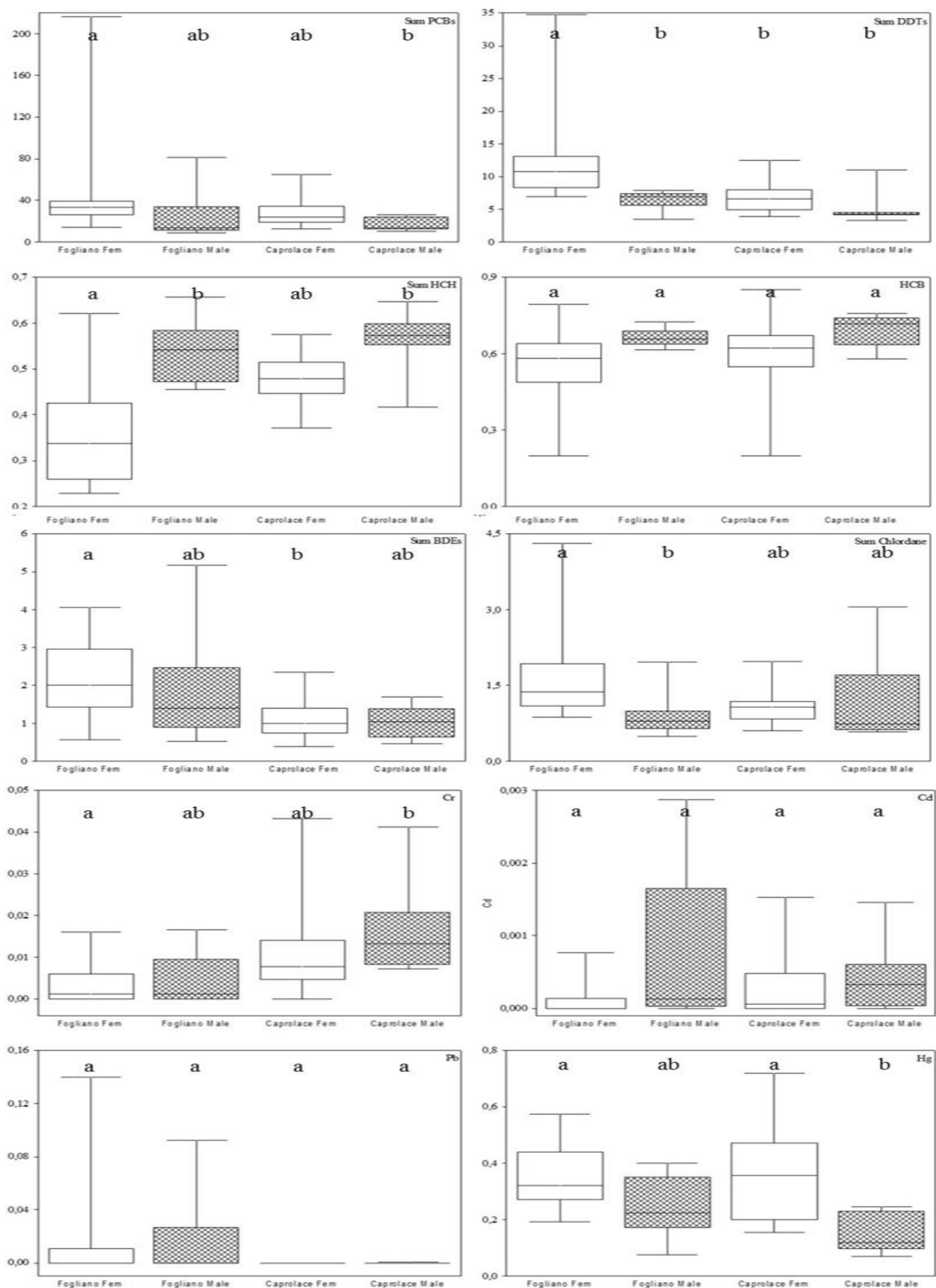


Figura 154: Box-plots (mediana, 25%-75% e 1%-99%) dei contaminanti (ng g⁻¹ w.w.) e dei metallic pesanti (µg g⁻¹ w.w.) in femmine e maschi di anguilla argentina delle due lagune costiere di Fogliano e Caprolace. Le lettere (a e b) indicano le differenze (p < 0.05).

3.3.3. Presenza di parassiti

Nessuno dei 41 individui analizzati (20 a Fogliano e 21 a Caprolace) è risultato essere infestato da *Anguillicoloides crassus* (Nematoda, Dracunculoidea) (Figura 16). Questo risultato, che conferma quanto già osservato (Quadroni *et al.*, 2012), può essere importante per la messa a punto di strategie di tutela di accertare siti esenti da infestazione per questo parassita, che si ritiene possa aver avuto un ruolo nella contrazione dello stock della specie e comunque avere un ruolo nel ridurre la qualità dei riproduttori in emigrazione dalle acque continentali europee. In altre lagune Mediterranee sono stati osservati livelli di prevalenza tra 4 e 94 % (Fazio *et al.*, 2008; Amilhat *et al.*, 2013).



Figura 16. Vescica natatoria non infestata da *A. crassus*.

3.3.4. Analisi della presenza di virus

Per quanto riguarda la presenza di virus, la ricerca di AngHV-1 condotta mediante PCR e ha rivelato percentuali di infezione del 25 % per le anguille a Fogliano (5 individui su 20) e del 42.9 % in quelle di Caprolace (9 individui su 21) (Figura 17).

La ricerca del Virus EVEX mediante RT-PCR ha evidenziato livelli di infezione pari al 5 % negli animali da Fogliano (1 individuo su 20) e del 9.5 % in quelli da Caprolace (2 individui su 21) (Figura 18). I dati epidemiologici per questo virus in ambienti lagunari Mediterranei sono scarsi. Amilhat *et al.*, 2013, hanno riscontrato infezione solo in una laguna (Laguna di Salses, Francia), con una prevalenza del 17 %.

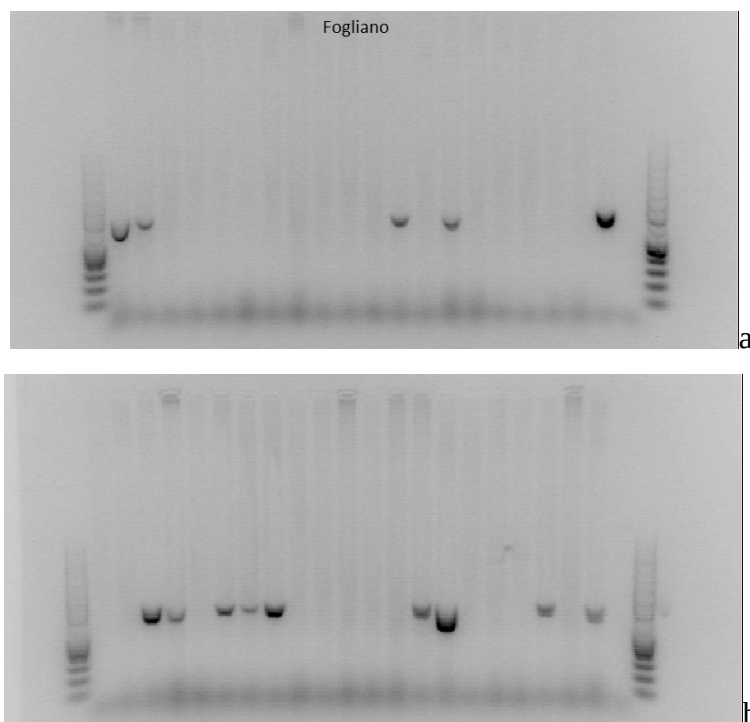


Figura 17. Amplificazione delle bande relative al virus AngHV-1 e visualizzazione su gel di agarosio all'1.5% e colorante Gel Red (Biotum) che mostrano per Fogliano (a) e Caprolace (b) gli individui infettati.

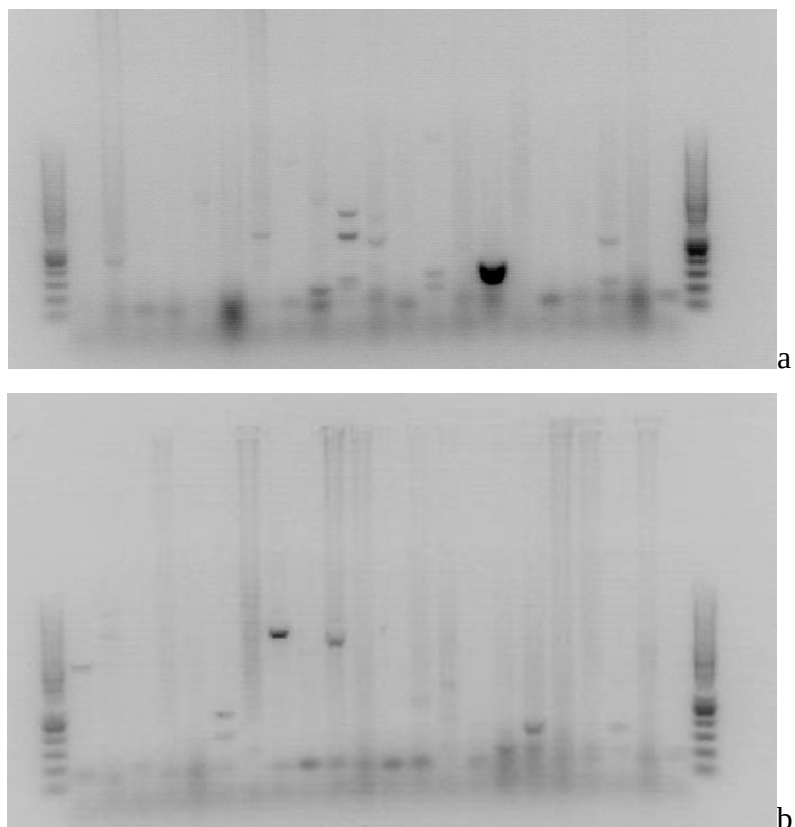


Figura 18. Amplificazione delle bande relative al virus EVEX e visualizzazione su gel di agarosio all'1.5% e colorante Gel Red (Biotum) che mostrano per Fogliano (a) e Caprolace (b) gli individui infettati. La RT-PCR ha prodotto una serie di nucleotidi non-specifici attribuibili alla efficacia del processo analitico.

3.3.5. Indice di qualità

L'insieme dei dati relativi alla contaminazione e alle infestazioni da *A. crassus* e da Virus EVEX dono stati utilizzati per l'attribuzione a classi di qualità applicando diversi indici, che hanno avuto lo scopo di valutare lo stato complessivo, dal punto di vista qualitativo, dei potenziali riproduttori (anguille argentine) in migrazione dai siti interessati dal progetto, le lagune costiere di Fogliano e Caprolace. Di seguito vengono riportati i risultati relativi, che costituiscono risultati complessivi di qualità complementari alle valutazioni quantitative, ritenute importanti per l'integrazione dei risultati quantitativi derivanti dai modelli di *stock assessment*.

1) Eel Quality classes (Belpaire & Goemans, 2007)

Lo stato delle anguille argentine di Fogliano e Caprolace è mostrato in Figura 19. In base alla attribuzione alle *Eel quality classes*, per quasi tutti i contaminanti la classe predominante è la 1 ("not deviating"). La situazione risulta essere sovrapponibile per i due siti, in quanto in entrambi sono stati rilevate concentrazioni che si discostano dai valori di riferimento dell'indice per gli stessi composti, il pp-DDT (isomero del diclorodifeniltricloroetano – DDT) e il mercurio.

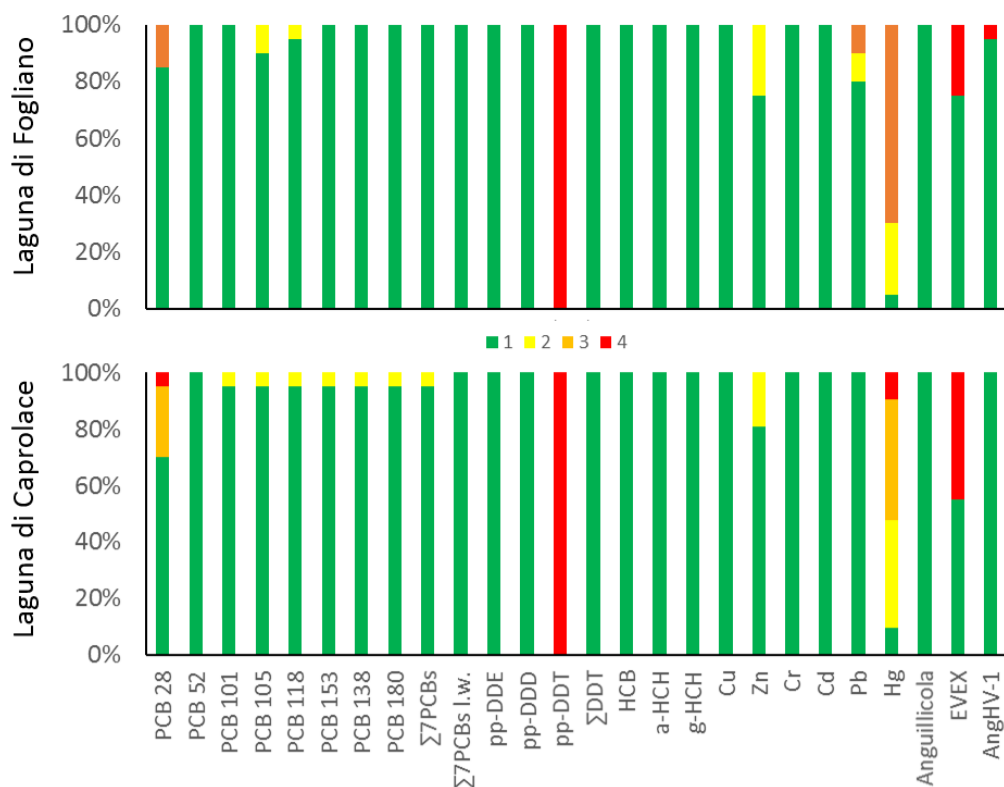


Figura 19. Composizione percentuale dei campioni relativamente alle classi EQI per i diversi contaminanti nelle lagune costiere di Fogliano e Caprolace.

2) Eel Quality Index (EQI) (ICES, 2010; 2011; 2012)

L'attribuzione alle classi definite dall'indice EQI ottenuta per gli individui dei campioni di anguille argentine provenienti dalle due lagune pontine (Tabella 18) permette di definire uno stato generale (contaminazione, parassitosi e infezioni da virus) generalmente buono. Per la laguna di Fogliano il 70% delle argentine sono state classificate nella categoria 1 ("not polluted"), mentre il restante 30% nella classe 2 ("slightly polluted"). Per quanto riguarda il campione di Caprolace, il 57,1% delle anguille argentine risulta nella classe 1, e il 42,9% è costituito da individui assegnati alla classe 2. Nessuna anguilla è stata classificata come "Polluted" o "Strongly polluted".

Tabella 18. Attribuzione delle anguille argentine dai laghi di Fogliano e Caprolace nelle classi definite dall'Eel Quality Index (EQI).

<i>Classe</i>	Fogliano (n=20)	Caprolace (n=21)
1	14	12
2	6	9
3	0	0
4	0	0

3) Individual mean bioaccumulation index (IMBI) (Maes *et al.* 2005)

Questo indice, che permette un confronto fra la concentrazione da metalli pesanti in contesti geografici simili, è stato utilizzato per sintetizzare su base comparativa i dati relativi alla contaminazione da metalli nei campioni di anguille argentine provenienti dalle due lagune pontine. I risultati relativi, ripartiti per sesso, sono sintetizzati nella Figura 20. È possibile notare come non risultino differenze significative fra i 4 gruppi (ANOVA; $p\text{-value} > 0,005$), nonostante si osservino valori medi dell'indice leggermente più elevati per i campioni relativi alle femmine.

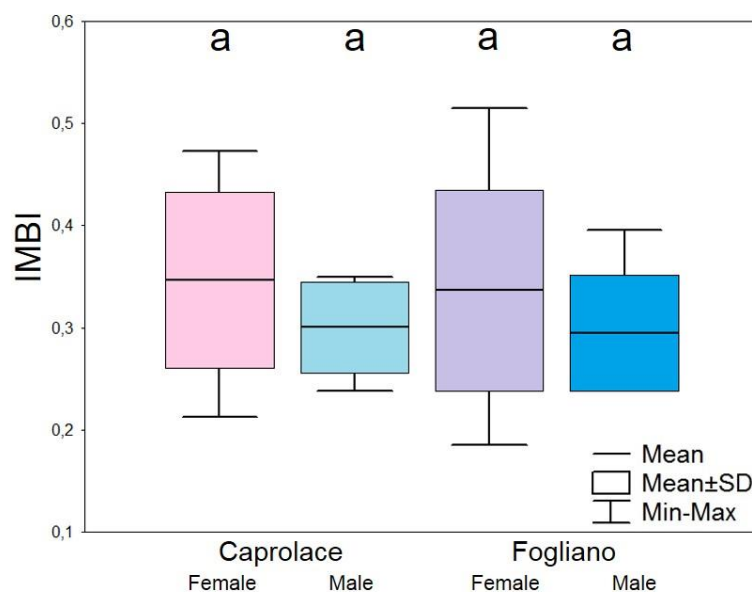


Figura 20. Box plot dei valori medi dell'indice IMBI, per la contaminazione da metalli pesanti, calcolato separatamente per i due sessi, nelle anguille dalle lagune costiere di Fogliano e Caprolace.

4) Reproductive potential delle anguille argentine di sesso femminile

Per stimare il numero di anguille argentine di sesso femminile che annualmente fuoriescono dalle due lagune pontine per intraprendere la migrazione riproduttiva verso il mar dei Sargassi (Figura 21), è stato infine utilizzato per la prima volta il *Reproductive potential index*.

Insieme ai dati ottenuti in questo progetto (percentuale lipidica e distanza dal sito di riproduzione, peso medio individuale per entrambi i sessi) sono stati utilizzati in input una serie di parametri ottenuti da fonti bibliografiche e da rapporti nazionali: i) la biomassa (Bcurr) di anguille argentine stimata dal modello di *stock assessment* ESAM per le due lagune relative all'anno 2014 (FEP LAZIO, 2015); ii) il rapporto sessi (EU No 2017/1004 Data Collection Regulation – Italia).

I risultati relativi all'applicazione del RPI hanno permesso di stimare per il lago di Fogliano un quantitativo di anguille argentine pari a 3.845 femmine con energia sufficiente per affrontare la migrazione riproduttiva e la riproduzione, corrispondente a 1,1 tonnellate. Per il lago di Caprolace, il numero stimato di anguille argentine in grado di affrontare il viaggio verso il mar dei Sargassi è pari a 1.116 femmine, corrispondenti a circa 0,5 tonnellate.

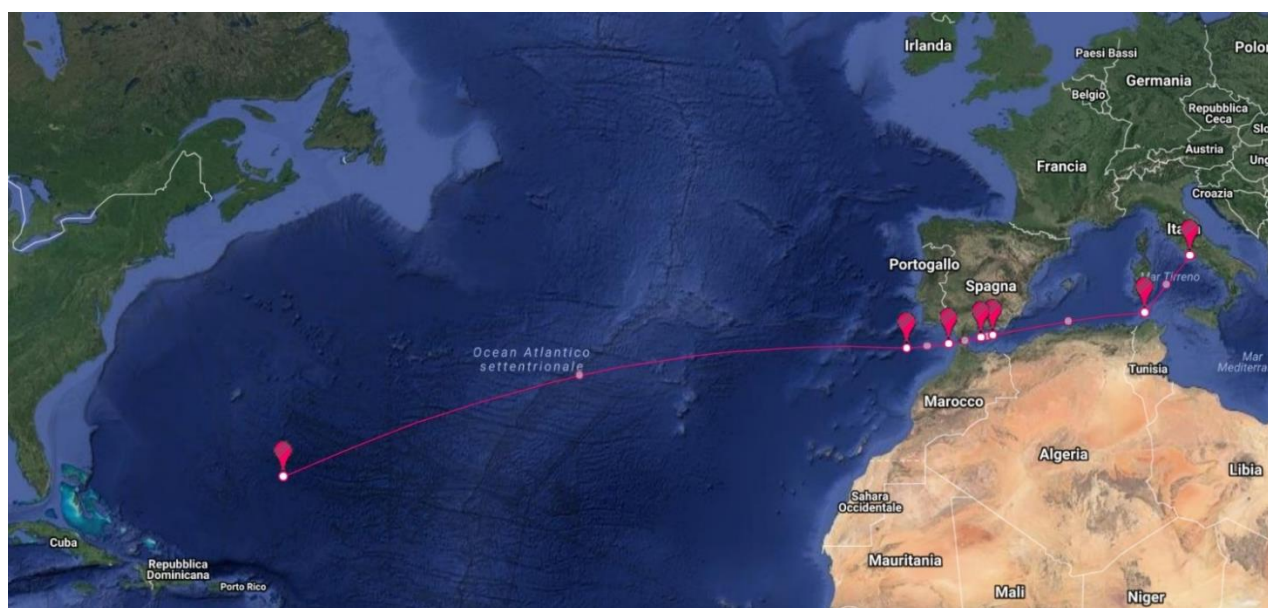


Figura 21. Simulazione del percorso di migrazione e calcolo della distanza delle anguille argentine dalle lagune pontine al punto di riproduzione nel Mar dei Sargassi nell'Oceano Atlantico.

7. Discussione e conclusioni

Alla luce dei risultati conseguiti nell'ambito del Progetto di Ricerca *“Valutazione della capacità restituiva degli ambienti lagunari a sostegno di stock ittici locali costieri: aspetti quantitativi e qualitativi nei siti pilota dei laghi costieri di Fogliano e Caprolace (Parco Nazionale del Circeo, Lazio)”*, è possibile fare una serie di considerazioni riguardo a vari aspetti.

Conseguimento dei risultati previsti

Le attività tecnico-scientifiche condotte, si sono articolate in due distinti moduli progettuali;

- Messa a punto di un metodo per la valutazione quantitativa e qualitativa di stock di specie ittiche eurialine che migrano fra ambiente marino e ambiente lagunare, nell'ottica di un approccio ecosistemico alla gestione delle risorse. Unità Operativa 1 (CREA);
- Valutazione della funzionalità dei laghi costieri come siti di restituzione di riproduttori di specie ittiche eurialine, attraverso lo studio delle comunità ittiche e l'analisi della risposta ecosistemica alle pressioni ambientali Unità Operativa 2 (UTOV);

e hanno consentito di conseguire tutti gli obiettivi progettuali prestabiliti, andando anche oltre quelli che erano gli intenti originari. Questo è stato possibile grazie all'importante lavoro di coordinamento tra il personale tecnico-scientifico delle due Unità Operative, e al supporto del personale dell'Ufficio territoriale per la Biodiversità di Fogliano (Carabinieri Forestali) e dell'Ente Parco.

Il progetto, incentrato sulla valutazione del ruolo delle lagune costiere riguardo al loro contributo agli stock ittici marini in termini di restituzione dei riproduttori di specie eurialine oggetto di pesca, si è articolato in più fasi, aventi come obiettivo:

- a) *la caratterizzazione ambientale e la valutazione della comunità ittica*
- b) *la valutazione dei flussi di biomassa ittica fra ambiente lagunare e marino*
- c) *la valutazione della qualità delle specie eurialine accresciute in ambiente lagunare: il caso dell'Anguilla Europea come esempio di legame tra qualità dei riproduttori e conservazione dello stock*

I risultati delle varie attività sono stati in parte discussi nelle sezioni relative; qui di seguito di riportano alcune considerazioni sugli aspetti più rilevanti, con il fine di illustrare i principali contributi apportati sul piano conoscitivo, le innovazioni metodologiche e le possibili ricadute per una gestione sostenibile delle lagune.

Considerazioni sulla valutazione di qualità ambientale dei laghi e sullo stato della comunità ittica

Dal punto di vista della caratterizzazione ambientale e dell'inquadramento della comunità ittica, i risultati relativi ad ambedue le lagune, sia Fogliano che Caprolace, evidenziano che entrambi gli ambienti risultano condizionati in modo prioritario da una scarsa efficienza del canale di marea, e dalle conseguenti variazioni delle dinamiche idrologiche. A questa situazione può anche essere ricondotta la tendenza all'eutrofia, che si osserva in entrambi i laghi ma più evidente a Fogliano, in relazione agli effetti determinati da queste pressioni nel concorrere a determinare la qualità delle acque. A Caprolace gli episodi di chiusura della foce, o una ridotta efficienza nello scambio con il mare dovuta ad insabbiamento del canale e riduzione della sua batimetria, hanno determinato una

ulteriore marinizzazione dell'ambiente lagunare, che si ripercuote sulla comunità ittica con una rarefazione delle specie residenti, per le quali l'ambiente lagunare risulta meno idoneo. Il contrario si verifica a Fogliano, dove si è osservata una rarefazione di anguilla, specie catadroma caratteristica di questo lago, a favore di un incremento di una specie residente, il latterino.

Si osserva inoltre, in entrambe le lagune, una rarefazione delle specie marine migranti, con tutta probabilità dovuta a ridotto reclutamento di queste specie nei periodi di rimonta. La diminuzione interessa sia il numero di specie che le abbondanze per le singole specie, delle specie marine migranti, mentre sono invariate le marine occasionali. Ciò è con tutta probabilità la conseguenza del ridotto scambio tra mare e laguna, e dalle ricorrenti occlusioni delle foci, che condizionano negativamente sia il reclutamento dell'anguilla e la sua colonizzazione dell'ambiente lagunare, sia la funzione di nursery della laguna stessa per le altre specie marine migranti che colonizzano questo ambiente allo stadio giovanile.

Le attuali situazioni ambientali, e le ripercussioni sulla comunità ittica, delle due lagune risentono dunque nel complesso di una serie di impatti, di cui i più evidenti sembrano essere riconducibili alle condizioni di gestione delle lagune stesse. In assenza della pesca, è venuto a mancare il fondamentale contributo costituito dalla gestione attiva delle lagune che la pesca imponeva. Con la sospensione delle attività di pesca, sono mutate le priorità per quanto riguarda le attività di manutenzione e gestione nei laghi: diminuite in frequenza, sono anche cambiate nella finalità, avendo ormai lo scopo essenzialmente di proteggere i laghi e gli argini dalle mareggiate e dall'ingresso di materiale da queste apportato, e non più quello di mantenere l'efficienza del canale di marea per il reclutamento delle specie ittiche al lago. Paradossalmente, questa riduzione degli interventi deriva, almeno in parte, dall'approccio gestionale finalizzato in modo prioritario alla conservazione della fauna e degli ambienti lagunari.

Considerazioni sulla valutazione della biomassa ittica emigrante

Nonostante gli evidenti cambiamenti strutturali e quantitativi a carico della comunità ittica, i laghi sono ancora siti importanti di restituzione agli stock ittici marini, come dimostrano le valutazioni di biomassa effettuate con un metodo basato sul rilevamento di immagini acustiche del passaggio dei pesci nel canale di marea.

L'applicazione del sistema di stima quantitativa presso i due laghi, dove sono state effettuate oltre 400 ore di riprese, distribuite su più di 80 notti fra Caprolace e Fogliano, ha permesso di verificare e quantificare la frequenza del passaggio dei pesci, che è risultata molto variabile: da 1 a 63 pesci al minuto. Il metodo permette di evidenziare anche il passaggio multiplo di pesci, ovvero il fenomeno dello *schooling* con il quale avviene, per molte specie, la fuoriuscita degli adulti dalle lagune per la riproduzione. Si sono osservati movimenti più consistenti durante la fase di flusso rispetto a quelli osservati durante la bassa marea e la fase di assenza di flusso idrico, a dimostrazione del fatto che i pesci eurialini si muovono verso l'uscita della laguna in concomitanza con l'alta marea.

Grazie all'applicazione del metodo acustico, è stato possibile procedere, a titolo esemplificativo, alla valutazione della biomassa emigrante di una sola specie ittica, e verificare la attendibilità della stima. La scelta si è incentrata su una specie eurialina di interesse economico, *Sparus aurata*, in quanto la specie più abbondante presso i laghi pontini, e la valutazione è stata condotta per la laguna di Caprolace, relativamente alla stagione 2016/17.

Il risultato della modellizzazione ha permesso una stima del numero di individui di orata in uscita dalla laguna durante il periodo interessato, stimato in 150.379 individui, che potrebbero corrispondere, considerando un peso medio individuale di 100 g, a circa 15 tonnellate di orate in emigrazione dalla laguna di Caprolace nell'inverno 2016. Tale valore appare congruente con i quantitativi di orate catturati in questo lago nel corso degli anni, in cui le catture di orate, seppur

fortemente variabili tra gli anni, hanno raggiunto anche le 5 tonnellate, testimoniando quindi un ruolo importante di questo lago come area di nursery e accrescimento per questa specie.

Per l'anguilla, altra specie di interesse prioritario in relazione al potenziale ruolo di restituzione da parte delle lagune Mediterranee (Aalto *et al.*, 2015) allo stock globale ai fini della conservazione della specie, il sistema di valutazione mediante immagini acustiche si è rivelato meno efficiente in quanto i movimenti di questa specie, e il comportamento migratorio delle anguille argentine, sono più difficili da registrare con questo metodo poiché il nuoto avviene sul fondo, a differenza di specie pelagiche che nuotano nella colonna d'acqua, e il segnale acustico appare di conseguenza confuso.

È stata comunque effettuata una valutazione delle dinamiche migratorie dell'anguilla, sulla base dei dati di cattura nel canale di marea ottenuti con campionamenti presso i laghi costieri di Fogliano e Caprolace, che sono stati esaminati in relazione a variabili indicate in letteratura come quelle che hanno maggiore influenza sull'inizio del fenomeno migratorio e l'uscita dalle lagune (Capoccioni *et al.*, 2014). Ciò ha permesso di accertare che la migrazione delle argentine avviene con dinamiche temporali simili nei due laghi, entro una finestra temporale molto ristretta (Dicembre), nei giorni a ridosso della luna scura e in concomitanza di giorni di pioggia soprattutto dopo un periodo di assenza di precipitazioni.

Una valutazione quantitativa dell'emigrazione di anguille argentine è stata comunque effettuata, per i due laghi, mediante un approccio che unisce valutazioni quantitative derivanti da modelli con valutazione della fitness delle femmine in termini di dimensione e riserve lipidiche, integrando anche informazioni relative alla localizzazione geografica del sito o della unità di gestione. Il *Reproductive potential index* è stato proposto da ICES (2012, 2013) per quantificare il possibile effetto della qualità dei riproduttori di sesso femminile di anguilla, ad integrazione dei risultati di *stock assessment*. Con questo approccio è stato possibile stimare per il lago di Fogliano una fuoriuscita quantitativa di anguille argentine pari a 3.845 femmine con energia sufficiente per affrontare la migrazione riproduttiva e la riproduzione, corrispondente a 1,1 tonnellate. Per il lago di Caprolace, il numero stimato di anguille argentine in grado di affrontare il viaggio verso il mar dei Sargassi è pari a 1.116 femmine, corrispondenti a circa 0,5 tonnellate. Anche in questo caso le stime appaiono congruenti con quanto illustrato dalle serie storiche delle catture nei laghi, che in passato ammontavano, nelle annate migliori, a oltre 4 tonnellate a Fogliano e anche oltre 1,5 a Caprolace, e che negli ultimi anni in cui è stata praticata la pesca, avevano mostrato notevoli riduzioni.

Trova conferma quindi l'importanza di questi siti lagunari, e delle lagune Mediterranee in generale, rispetto alla possibilità di contribuire allo stock globale di anguilla, ma i risultati di queste valutazioni pongono anche l'attenzione al fatto che la funzionalità della connessione tra laguna e mare deve essere garantita, e mantenuta efficiente in coincidenza con il momento della "smontata", proprio per garantire la fuoriuscita degli individui migranti, e il loro contributo alla riproduzione di questa specie.

Considerazioni sulla valutazione qualitativa e quantitativa di *Anguilla anguilla* da ambienti lagunari

L'ultimo obiettivo del progetto prevedeva di condurre valutazioni qualitative dei riproduttori in uscita dalle lagune di Fogliano e Caprolace, concentrando l'attenzione sull'Anguilla europea, per valutare il contributo effettivo dello stock locale al potenziale riproduttivo della specie, in relazione al suo stato qualitativo. Le valutazioni sullo stato delle anguille argentine sono state quindi rivolte a considerare lo stato di benessere generale (percentuale lipidica), la presenza di contaminazione da parte di pesticidi organici e da metalli pesanti, parassitosi e patologie virali, che sono gli aspetti che possono pregiudicare l'effettivo potenziale riproduttivo degli individui.

Le anguille argentine di sesso femminile analizzate in questo lavoro mostrano percentuali di lipidi nel tessuto muscolare al di sopra o prossimi alla massa lipidica critica suggerita dagli autori sopra

citati, quindi tutti gli animali mostrano una quantità sufficiente di riserva energetica per affrontare con probabilità di successo la migrazione oceanica e la deposizione delle uova nel Mar dei Sargassi.

Il profilo complessivo di contaminazione mostra i laghi una situazione d'insieme di contaminazione relativamente bassa rispetto ad altre specie o all'anguilla stessa in altri siti italiani ed europei, e se paragonato con i limiti di legge per il consumo umano. Solo alcuni composti sono risultati presenti in concentrazioni che, sebbene basse, non sono del tutto trascurabili, in particolare alcuni composti di degradazione del DDT e il Mercurio. Anche se la maggior parte dei composti commerciali contenenti contaminanti lipofilici stati progressivamente vietati, sono evidentemente ancora presenti molti loro composti di degradazione (come ad esempio il pp_DDE), visto che si tratta in tutti i casi di contaminanti altamente persistenti. Inoltre non va dimenticato che tali composti, immobilizzati nei sedimenti, occasionalmente tornano ad essere disponibili nelle acque sia in relazione a eventi meteorologici sia, soprattutto, in coincidenza con opere di scavo e asporto di sedimenti.

Gli effetti della contaminazione in anguilla sono comunque complessi, descritti a vari livelli di organizzazione da quello subcellulare a quello organismico a quello di popolazione, e sono documentati disturbi a livello del sistema immunitario, del sistema nervoso e del sistema endocrini, nonché dell'apparato riproduttivo (Belpaire *et al.*, 2016). I composti coinvolti sono molti e molto diversi tra loro, e spesso composti diversi sono presenti contemporaneamente e accumulati grazie a loro proprietà simili o stessa origine, e le combinazioni di contaminanti possono determinare effetti sinergici, cumulativi o antagonisti.

Lo stato qualitativo dei riproduttori di anguilla è comunque risultato buono sulla base di tutte le elle classificazioni utilizzate, sia in relazione alla contaminazione che alle patologie. E' inoltre importante la conferma che i due laghi pontini sono siti esenti da infestazione da *Anguilliculoides crassus*. Questo insieme di considerazioni dimostra che queste lagune sono siti di elezione per la conservazione degli stock locali di anguilla, che potranno contribuire significativamente al ripristino dello stock.

Considerazioni sugli approcci metodologici

Un importante risultato conseguito nel corso del progetto riguarda la messa a punto di approcci metodologici innovativi, che potranno rappresentare strumenti utili di valutazione e pianificazione nell'ambito della definizione di strategie gestionali applicabili a contesti lagunari italiani, nonché Mediterranei.

La prima metodologia originale è quella che è stata utilizzata per la caratterizzazione ambientale e la valutazione ecologica dei laghi pontini. L'approccio utilizzato, basato su un metodo di giudizio esperto, usa una serie di descrittori ambientali che concorrono a determinare le pressioni antropiche dirette e indirette che agiscono sugli ecosistemi lagunari presi in esame, e permette di dare una valutazione integrata dello stato delle lagune, in quanto considera una serie di variabili che nel loro complesso possono esercitare un impatto sull'ecosistema lagunare, e di conseguenza sulla comunità ittica modificandone gli aspetti quantitativi e qualitativi (Leone *et al.*, in prep.). I risultati ottenuti dalle valutazioni sulla condizione ambientale dei siti sono coerenti con le Valutazioni dello stato ecologico e stato chimico ottenute con i monitoraggi richiesti ai sensi della WFD condotti dall'ARPA (De Luca, 2018), ma partendo da una base di dati più esaustiva, che considera anche attività antropiche esercitate sulla laguna e nel territorio circostante, offrono un quadro più esauriente e una valutazione più precisa, quantificata attraverso specifici indici di pressione antropica

L'altra metodologia innovativa messa a punto riguarda la valutazione delle biomasse di specie ittiche emigranti dalle lagune. La definizione del metodo automatizzato basato sulla elaborazione delle immagini acustiche del passaggio di pesci nel canale di marea è uno dei principali risultati del

progetto poiché mai questo approccio (utilizzato nei passaggi per pesci delle dighe nelle acque interne) era stato applicato in un contesto così complesso dal punto di vista ecologico come quello delle acque di transizione. Il metodo permette di valutare la biomassa ittica effettiva che fuoriesce dalla laguna, e grazie alle osservazioni condotte in modo continuativo presso i laghi pontini, è stato anche possibile valutare la dinamica temporale dei movimenti delle specie interessate. La conoscenza delle dinamiche stagionali e giornaliere dei movimenti del pesce, e soprattutto la quantificazione di questi ultimi, sono strumenti indispensabili per pianificare strategie gestionali adeguate alle diverse finalità, siano esse produttive (pesca) o conservative (restituzione agli stock ittici costieri).

In ultimo va sottolineato il contributo metodologico apportato per quanto riguarda la valutazione qualitativa e quantitativa della biomassa emigrante di riproduttori di anguilla. In questo caso, sono stati utilizzati approcci già proposti, ma integrati per una valutazione complessiva del potenziale restitutivo delle lagune di Fogliano e Caprolace. L'integrazione dei dati di qualità e contaminazione dei riproduttori, ottenuti con le analisi condotte nel corso della ricerca, con le valutazioni quantitative disponibili per questi laghi costieri, nel Reproductive Potential Index, unitamente alla definizione della finestra temporale utile per l'emigrazione, permette di disporre di una stima precisa dei riproduttori di sesso femminile emigranti da ciascun sito. Si tratta di un elemento indispensabile a supporto del Piano di Gestione Anguilla già definito per questi laghi nell'ambito di un Progetto FEP, essendo il Parco Nazionale del Circeo un sito pilota di elezione, in relazione sia al contesto gestionale, da un punto di vista ambientale e della situazione degli stock locali di anguilla. Disporre di valutazioni precise dal punto di vista qualitativo e quantitativo potrà permettere di definire meglio, rivedere ed eventualmente correggere le misure di gestione e / o conservazione già messe in campo. Questo approccio di valutazione e la sua integrazione in Piani di Gestione Anguilla alla scala dei singoli bacini è un esempio che potrà essere esportato ad altre realtà lagunari italiane, in relazione alle necessità dei Piani Anguilla Regionali già operativi ai sensi del Regolamento CE 1100/2007. Lo stesso approccio potrà trovare applicazione più in generale anche in altre lagune del bacino Mediterraneo, considerato che le aree lagunari di questa regione sono da considerare rilevanti in termini di potenziali siti di restituzione di riproduttori allo stock globale (Aalto *et al.*, 2015), e che per l'intera regione Mediterranea è in via di definizione un Piano strategico per una gestione condivisa degli stock di anguilla (GFCM, 2018), che contempla anche per questa regione un quadro finalizzato alla gestione sostenibile della risorsa che possa contribuire anch'esso al ripristino dello stock globale.

Considerazioni conclusive

Nel complesso, si può affermare che il pacchetto metodologico impostato ha permesso il conseguimento di tutti gli obiettivi previsti dal Progetto di Ricerca. Per quanto riguarda specificamente i siti oggetto di studio, i laghi Pontini, è stato possibile delineare un quadro completo dello stato ecologico dei laghi, che comprende anche un aggiornamento qualitativo dello stato della comunità ittica, e una valutazione quantitativa della capacità restitutiva in termini di biomassa emigrante per due specie ittiche di notevole rilevanza, l'orata e l'anguilla. Tali risultati possono rappresentare importanti strumenti supplementari per ottimizzare le strategie di gestione delle lagune da parte dell'Ente Gestore, a supporto ed integrazione del Piano del Parco in vigore, che già delinea alcuni elementi per una strategia di gestione dei laghi costieri.

Al momento attuale la pressione che maggiormente influenza entrambi gli ambienti risulta essere una scarsa efficienza dei canali di marea, che influenza da un lato le dinamiche idrologiche e dall'altro condiziona fortemente sia il reclutamento che l'emigrazione di specie ittiche. Questa scarsa efficienza determina un accentuarsi delle condizioni eutrofiche della laguna di Fogliano, e una condizione di marcata marinizzazione del lago di Caprolace. Inoltre gli episodi di

insabbiamento dei canali, o anche solo la riduzione della loro batimetria, comportano la necessità di intervenire con dragaggi, e il movimento di sedimenti comporta la mobilitazione di contaminanti nella colonna d'acqua, con possibili ripercussioni sulle specie che costituiscono le comunità dei laghi.

Tra le ipotesi gestionali, il ripristino della funzionalità dei lavorieri presso i laghi, seppure con finalità diverse dalla pesca commerciale, potrebbe costituire una misura gestionale importante proprio per garantire la funzionalità dei canali, e in tal modo assicurare la capacità restitutiva dei laghi, sostenendo un corretto reclutamento e permettendo l'emigrazione dei riproduttori di specie ittiche marine. È stato infatti già evidenziato che in passato la pesca è stata una attività importante, presso i laghi del Parco del Circeo, non solo per il valore produttivo ed economico di questa attività, ma soprattutto in relazione alla funzione di presidio ambientale e al ruolo di strumento gestionale per il mantenimento della corretta funzionalità ecologica di questi ambienti. Questo ha garantito anche un importante risultato di salvaguardia e contributo alla conservazione.

Il modello di studio proposto, e le considerazioni che ne derivano, può costituire un esempio esportabile alla maggior parte delle lagune italiane e Mediterranee, soprattutto quelle ricadenti nella tipologia delle piccole lagune non tidali. Una strategia gestionale di questo tipo, del resto, riprende il modello tradizionale di gestione lagunare tipico dell'ambito Mediterraneo, gradualmente abbandonato in diverse lagune non solo in relazione alle mutate condizioni ecologiche di questi ambienti, legate agli impatti antropici progressivamente crescenti che si sono andati verificando nel corso degli ultimi decenni, ma anche ai cambiamenti nella fruizione di questi ambienti, sempre più spesso orientata a pattern di uso legati ad attività quali il turismo e la conservazione. Sostenere le comunità ittiche attraverso una corretta funzionalità ecologica delle lagune potrà contribuire al mantenimento delle loro capacità restitutive, per stock ittici della fascia costiera, sostenendo la loro rinnovabilità e la loro biomassa, nonché per l'anguilla, per la quale il recupero dello stock globale dipende dalla efficacia di misure esercitate nei diversi habitat dove la specie compie il ciclo biologico.

8. Raccomandazioni gestionali

Le raccomandazioni gestionali che possono essere delineate riguardano essenzialmente l'opportunità di programmare Piani di Gestione locali per le lagune costiere italiane, che tengano conto dei principali quadri normativi e di riferimento a livello nazionale e comunitario, nonché istanze ambientali specifiche e vocazioni produttive a livello locale.

In questo senso, nella maggior parte delle aree lagunari Documenti di indirizzo e Piani Gestionali già esistono, e vedono coinvolti gli Enti Gestori, Amministrazioni locali o altri eventuali soggetti coinvolti nella gestione. Un aspetto importante da sottolineare è che Piani di gestione appositamente formulati sulla base di un approccio integrato dovranno prevedere valutazioni di diverso tipo, sulla base delle quali condurre le necessarie consultazioni con gli stake-holders a vari livelli.

Nell'ambito delle valutazioni utili ai fini della predisposizione di Piani di Gestione lagunare, sulla base dei risultati della presente ricerca, è possibile proporre quanto segue:

1. Prevedere valutazioni della qualità ambientale degli ambienti lagunari di tipo integrato, prendendo in considerazione non solo parametri relativi alla qualità delle acque e dei sedimenti nonché gli elementi di qualità biologica, ma anche descrittori ambientali che concorrono a determinare relativi alle pressioni antropiche dirette e indirette che agiscono sugli ecosistemi lagunari presi in esame.
2. Ai fini di una pianificazione gestionale corretta, sia essa finalizzata alla gestione della pesca oppure tesa alla messa a punto di piani di conservazione, prevedere valutazioni specifiche sulla connettività tra laguna e mare per quanto riguarda gli stock ittici di specie eurialine di interesse commerciale. Tali valutazioni potranno utilizzare la metodologia per la valutazione della biomassa ittica basata sul rilevamento di immagini acustiche del passaggio dei pesci nel canale di marea.
3. Prevedere una gestione della laguna che assicuri in via prioritaria e in modo continuativo la pervietà dei canali di marea, per assicurare gli scambi idrici e le dinamiche idrologiche dei laghi, nonché per sostenere corrette dinamiche di movimento e migrazione per le specie ittiche marine migranti che si muovono tra mare e laguna. Questo potrà essere realizzato mantenendo o ripristinando strutture fisse come i lavorieri, che grazie alla presenza di griglie rimuovibili, consentono il fluire della marea e evitano insabbiamento, pur consentendo il passaggio di pesci. Evitare l'insabbiamento dei canali permette di evitare interventi d'urgenza con dragaggi quando si profilano pericoli di distrofie, interventi che, comportando movimenti di sedimenti, provocano perturbazioni nelle condizioni delle acque, anche riportando in circolazione contaminanti.
4. Specificamente per l'anguilla, prevedere Piani di Gestione Anguilla locali, alla scala dei singoli bacini, da coordinare con i Piani Anguilla Regionali già esistenti e operativi ai sensi del Regolamento CE 1100/2007. Tali Piani locali dovranno prevedere valutazioni del potenziale emigrante che tengano conto non solo degli aspetti quantitativi ma anche di quelli qualitativi, attraverso valutazioni dello stato dei riproduttori. Questo permetterà di delineare misure di gestione tese ad incrementare il numero di riproduttori di alta qualità, sia limitando ulteriormente i livelli di contaminazione in siti che risultano più inquinati, sia prevedendo piani di protezione specifici dei siti a minore impatto antropico.

9. Partecipazione a meeting nazionali e internazionali

Dal 20 al 22 Gennaio 2015 il Dott. Capoccioni del CREA-PCM ha partecipato al “Workshop of a Planning Group on the Monitoring of Eel Quality” organizzato a Bruxelles (Belgio) dall’ICES sul tema ““Development of standardized and harmonized protocols for the estimation of eel quality” (WKPGEQ).

Dal 25 al 27 Gennaio 2016 la Dott.ssa Ciccotti dell’Università degli studi di Roma Tor Vergata ha partecipato al Joint Workshop of the Working Group on Eel and the Working Group on Biological Effects of Contaminants (WKBECCEL): “Are contaminants in eels contributing to their decline?”

Partecipazione al Workshop “Nuove azioni nel territorio del Parco Nazionale del Circeo. Tra sicurezza e tutela ambientale”. Sabaudia Centro Visitatori Parco Nazionale del Circeo, 26 – 27 Gennaio 2018.

10. Bibliografia

- Aalto, E., Capoccioni, F., Terradez Mas, J., Schiavina, M., Leone, C., De Leo, G., & Ciccotti, E. (2015). Quantifying 60 years of declining European eel (*Anguilla anguilla* L., 1758) fishery yields in Mediterranean coastal lagoons. *ICES Journal of Marine Science*, 73(1), 101-110.
- Able, K. W. (2005). A re-examination of fish estuarine dependence: evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64(1), 5-17.
- AGCI Agrital, 2015. "Misure per la tutela ed il recupero della risorsa anguilla (*Anguilla anguilla*) nella Regione Lazio" (Reg. CE n. 498/2007 Recante modalità di applicazione del Reg. (CE) n. 1198/2006 del Consiglio relativo al Fondo Europeo per la Pesca (FEP) - Misura 3.2 – Misure intese a preservare e sviluppare la fauna e la flora acquatiche Codice di progetto: 3/BA/12-LA).
- Aliaume, C., Do Chi, T., Viaroli, P. & Zaldivar, J.M. (2007). Coastal lagoons of Southern Europe: recent changes and future scenarios. *Transitional Waters Monographs*, 1 (1): 1-12.
- Amilhat, E., Fazio, G., Simon, G., Manetti, M., Paris, S., Delahaut, L., Farrugio, H., Lecomte-Finiger, R., Sasal, P., Faliex, E., (2013). Silver European eels health in Mediterranean habitats. *Ecol. Freshw. Fish* 23, 49–64. doi:10.1111/eff.12077
- Aubry, A. and Elliott, M. (2006). The use of environmental integrative indicators to assess seabed disturbance in estuaries and coasts: application to the Humber Estuary, UK. *Marine Pollution Bulletin* 53, 175–185.
- Barnes, R.S.K., (1980). Coastal lagoons. Cambridge University Press, Cambridge, 106 pp. Beck et al., 2001;
- Belpaire, C., & Goemans, G. (2007). The European eel *Anguilla anguilla*, a rapporteur of the chemical status for the water framework directive? *Vie et Milieu-Life and Environment*, 57, 235–252.
- Belpaire, C., Goemans, G., Geeraerts, C., Quataert, P., Parmentier, K., Hagel, P., De Boer, J., (2009). Decreasing eel stocks: survival of the fattest? *Ecol. Freshw. Fish* 18, 197–214. doi:10.1111/j.1600-0633.2008.00337.x
- Bettinetti, R., Galassi, S., Quadroni, S., Volta, P., Capoccioni, F., Ciccotti, E., De Leo, G.A.G. a., (2010). Use of *Anguilla anguilla* for Biomonitoring Persistent Organic Pollutants (POPs) in Brackish and Riverine Waters in Central and Southern Italy. *Water, Air, Soil Pollut.* 217, 321–331. doi:10.1007/s11270-010-0590-y
- Bevacqua, D., Capoccioni, F., Melià, P., Vincenzi, S., Pujolar, J.M., De Leo, G.A., Ciccotti, E., (2012). Fishery-induced selection for slow somatic growth in European eel. *PLoS One* 7, e37622. doi:10.1371/journal.pone.0037622
- Blanchet-Letrouvé, I., Zalouk-Vergnoux, a, Vénisseau, a, Couderc, M., Le Bizec, B., Elie, P., Herrenknecht, C., Mouneyrac, C., Poirier, L., (2013). Dioxin-like, non-dioxin like PCB and PCDD/F contamination in European eel (*Anguilla anguilla*) from the Loire estuarine continuum: Spatial and biological variabilities. *Sci. Total Environ.* 472C, 562–571. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.11.037
- Boetius, J. (1980). Atlantic *Anguilla*. A presentation of old and new data of total numbers of vertebrae with special reference to the occurrence of *Anguilla rostrata* in Europe. *Dana. Charlottenlund*. 1: 93- 112
- Brehmer, P., Laugier, T., Kantoussan, J., Galgani, F., Mouillot, D., (2013). Does coastal lagoon habitat quality affect fish growth rate and their recruitment? Insights from fishing and acoustic surveys. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 126, 1–6. doi:10.1016/j.ecss.2013.03.011 Bush et al., 1997)
- Capoccioni, F., Costa, C., Canali, E., Aguzzi, J., Antonucci, F., Ragonese, S., Bianchini, M.L., (2014). The potential reproductive contribution of Mediterranean migrating eels to the *Anguilla anguilla* stock. *Sci. Rep.* 4, 7188. doi:10.1038/srep07188
- Carbonara P., Bellodi A., Capoccioni F., Cau A., Ciccotti E., Colella S., Colloca F., Casciaro L., Donato F., Follesa M.C., Garibaldi F., Lanteri L., Leone C., Mannini A., Massaro A., Mulas A., Palmisano M., Panfili M., Sion L., Vitale S., Vittori, S. Relini G. (2015). Handbook For Fish Age Determination Theory And Practice In Italian Data Collection Framework Context. Report Del Progetto Di Ricerca: Costituzione Di Gruppi Di Lavoro Finalizzati All’ottimizzazione Delle Metodologie D’indagine Campionarie Per La Valutazione Dello Stato Delle Risorse (Ministero Delle Politiche Agricole, Alimentari E Forestali – Direzione Pesca E Acquacoltura) - Gruppo Di Lavoro Sulla Lettura Dell’età Dei Pesci. Società Italiana Di Biologia Marina: 210

- Cataudella S., Crosetti D., Massa F. (2015). Mediterranean coastal lagoons: sustainable management and interactions among aquaculture, capture fisheries and the environment Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No 95. Rome, FAO. 2015. 278 pp.
- Dauvin, J.C., Ruellet, T., 2009. The estuarine quality paradox: Is it possible to define an ecological quality status for specific modified and naturally stressed estuarine ecosystems? *Marine Pollution Bulletin* 59, 38-47
- Daverat, F., Tomas, J., Lahaye, M., Palmer, M., Elie, P., (2005). Tracking continental habitat shifts of eels using otolith Sr/Ca ratios: validation and application to the coastal, estuarine and riverine eels of the Gironde–Garonne–Dordogne. *Mar. Freshw. Res.* 56, 619–627. Direttiva 2000/60 /EC (WFD).
- De Luca, F., 2018. Analisi comparativa di popolazioni di *Atherina boyeri* (Pisces, Teleostei) in ecosistemi lagunari: anomalie scheletriche come descrittori complementari della qualità ambientale. Tesi magistrale in Facoltà Di Scienze Matematiche Fisiche E Naturali Corso di laurea magistrale in ecobiologia Università degli Studi La Sapienza.
- EC, 2007. European Council Regulation EC No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel. *Official J. Eur. Union* L248/17e23 22.9.2007.
- EC, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy.
- EC, 2017. Council Regulation (EC) No 2017/1004 concerning the establishment of a Union framework for the collection, management and use of data in the fisheries sector and support for scientific advice regarding the Common Fisheries Policy. *OJ L* 157, 20.6.2017, p. 1–21.
- Elliott, M. and Quintino, V. (2007). The estuarine quality paradox, environmental homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Marine Pollution Bulletin* 54(6), 640-645.
- Fazio, G., Moné, H., Lecomte-Finiger, R., Sasal, P., (2008). Differential gene expression analysis in European eels (*Anguilla anguilla*, L. 1758) naturally infected by macroparasites. *J. Parasitol.* 94, 571–7. doi:10.1645/GE-1316.1 Franco et al., 2008
- Franco, A., Elliott, M., Franzoi, P., Torricelli, P. (2008). Life strategies of fishes in European estuaries: the functional guild approach. *Marine Ecology Progress Series* 354, 219-228.
- Franco, A., Torricelli, P., and Franzoi, P. (2009). A habitat-specific fish-based approach to assess the ecological status of Mediterranean coastal lagoons. *Marine pollution bulletin*, 58 (11), 1704-1717
- Froese, R., Pauly, R., (Eds). (2017). FishBase. World Wide Web electronic publication, version(06/2017). Retrieved from <http://www.fishbase.org>
- GFCM, 2018. Report of the Workshop on the management of European eel (WKMEASURES-EEL), 16 April, 2018, Gammarth (Tunisia). 29 pp. <http://www.fao.org/gfcm/reports/technical-meetings/detail/en/c/1142115/>.
- Henderson, R.J. and Tocher, D.R. 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid Res.* 26: 281–347
- ICES. (2010). The report of the 2010 Session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels, September 2010; ICES CM 2009/ACOM:18. 198 pp. and Country Reports.
- ICES. (2011). Report of the Study Group on International Post-Evaluation on Eels (SGIPEE). ICES CM 2011/SSGEF:13. 42p.
- ICES. (2012). Report of the Joint EIFAAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL), 3–9 September 2012, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2012/ACOM:18. 824 pp.
- ICES. (2015a). Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL), 24 November–7 December 2015, Antalya, Turkey. ICES CM 2015/ACOM: 18. 130 pp.
- ICES. (2015b). Report of the Workshop of a Planning Group on the Monitoring of Eel Quality under the subject “Development of standardized and harmonized protocols for the estimation of eel quality” (WKPGMEQ), 20–22 January 2015, Brussels, Belgium. ICES CM 2014/SSGEF:14. 274 pp.
- Kjerfve, B., 1994. Coastal lagoons. In: Kjerfve, B. (Ed.), *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 1–8.
- Leone et al., *in prep.* Assessing the influence of anthropogenic pressures in Mediterranean coastal lagoon: does a multi-metric indices approach detect changes of fish fauna?
- Lokman, P.M., Rohr, D.H., Davie, P.S., Young, G., 2003. The physiology of silvering in anguillid eels: androgens and control of metamorphosis from the yellow to silver stage. In: Tsukamoto, A.K., Yamauchi, K. (Eds.), *Eel Biology*. Springer, Heidelberg, pp. 484.

- Maes, G.E., Raeymaekers, J. a M., Pampoulie, C., Seynaeve, A., Goemans, G., Belpaire, C., Volckaert, F. a M., (2005). The catadromous European eel *Anguilla anguilla* (L.) as a model for freshwater evolutionary ecotoxicology: relationship between heavy metal bioaccumulation, condition and genetic variability. *Aquat. Toxicol.* 73, 99–114. doi:10.1016/j.aquatox.2005.01.010
- Malarvannan, G., Belpaire, C., Geeraerts, C., Eulaers, I., Neels, H., Covaci, A., (2014). Assessment of persistent brominated and chlorinated organic contaminants in the European eel (*Anguilla anguilla*) in Flanders, Belgium: levels, profiles and health risk. *Sci. Total Environ.* 482–483, 222–233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.127>.
- Mumby, P.J., Hastings, A., (2008). The impact of ecosystem connectivity on coral reef resilience. *J. Appl. Ecol.* 45 (3), 854–862
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A.C., Colijn, F., Riva, S.D., Gertz, F., Hansen, J.W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Canu, D.M., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., Pérez-Ruzafa, A., Schernewski, G., Schubert, H., Carr, L., Solidoro, C., Zaldívar, J.-M., (2013). An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 1–28. doi:10.1016/j.ecss.2013.05.023
- Occhipinti-Ambrogi, (2007). Global change and marine communities: alien species and climate change *Mar. Pollut. Bull.*, 55, pp. 342-352
- Palstra, A.P., van Ginneken, V.J.T., Murk, a J., van den Thillart, G.E.E.J.M., (2006). Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? *Naturwissenschaften* 93, 145–8. doi:10.1007/s00114-005-0080-z
- Pérez-Ruzafa, A., Marcos, C., Pérez-Ruzafa, I.M., (2011). Recent advances in coastal lagoons ecology: evolving old ideas and assumptions. *Transitional Waters Bull.* 5, 50–74. doi:10.1285/i1825229Xv5n1p50
- Pihl, L., Baden, S., Kautsky, N., Rönnbäck, P., Söderqvist, T., Wennhage, H., (2006). Shift in fish assemblage structure due to loss of seagrass *Zostera marina* habitats in Sweden. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 67, 123–132. doi:10.1016/j.ecss.2005.10.016
- Potter, I. C., Tweedley, J. R., Elliott, M., & Whitfield, A. K. (2015). The ways in which fish use estuaries: a refinement and expansion of the guild approach. *Fish and Fisheries*, 16(2), 230-239.
- Quadroni, S., Galassi, S., Capoccioni, F., Ciccotti, E., Grandi, G., De Leo, G. a G.A., Bettinetti, R., 2013. Contamination, parasitism and condition of *Anguilla anguilla* in three Italian stocks. *Ecotoxicology* 22, 94–108. doi:10.1007/s10646-012-1006-0
- Rijsewijk, F., Pritz-Verschuren, S., Kerkhoff, S., Botter, A., Willemsen, M., Nieuwstadt, T. Van, Haenen, O., (2005). Development of a polymerase chain reaction for the detection of Anguillid herpesvirus DNA in eels based on the herpesvirus DNA polymerase gene. *J. Virol. Methods* 124, 87–94. doi:10.1016/j.jviromet.2004.11.007
- Szlinder-Richert J, Wieslawa R, Nermer T, Usydus Z, Robak S (2014) The occurrence of organic contaminants in European eel (*Anguilla anguilla*) in Poland: an environmental quality assessment. *Chemosphere* 114:282–290
- Tagliapietra, D., Magni, P., Basset, A., & Viaroli, P. (2014). Ecosistemi costieri di transizione: trasformazioni recenti, pressioni antropiche dirette e possibili impatti del cambiamento climatico. *Biologia Ambientale*, 28(2), 101-111.
- UNESCO, 1980. Coastal Lagoon Survey. Technical Papers in Marine Science 31.
- van den Thillart, G.E.E.J.M., Palstra, A.P., van Ginneken, V.J.T., (2007). Simulated migration of European silver eel; swim capacity and cost of transport. *J. Mar. Sci. Technol.* 15, 1–16.