

# Zone umide: dal degrado al recupero ecologico. Il caso del lago di Massaciuccoli (Toscana nord-occidentale)

**Gilberto N. Baldaccini**

*Biologo, Via Rosso di San Secondo, 47 – Lido di Camaiore (LU). E-mail: gilbaldaccini@libero.it*

*Pervenuto il 2.3.2018; accettato il 12.5.2018*

## **Riassunto**

Attraverso lo studio della letteratura scientifica disponibile sull'argomento e delle vigenti normative in materia di tutela ambientale, vengono esaminate le cause e gli effetti che determinano il degrado della zona umida del Massaciuccoli (Parco Regionale Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli, Toscana nord occidentale), area Ramsar di interesse internazionale. Le pressioni antropiche che si sono avviate nel corso degli anni e l'utilizzo che si è fatto dell'area hanno infatti determinato sostanziali mutamenti nell'assetto funzionale e negli aspetti ecosistemici e naturalistici dell'area, minacciandone la biodiversità. Ponendo come obiettivo principale il raggiungimento delle condizioni di riferimento, ricostruite prevalentemente in base all'analisi storica dei dati, vengono individuate alcune delle azioni ritenute necessarie per il ripristino, la salvaguardia e la gestione dell'area.

PAROLE CHIAVE: subsidenza / salinizzazione / meromissi / specie alloctone / eutrofizzazione

## **Wetlands: from degradation to ecological recovery. The case of Massaciuccoli lake**

By a review of the scientific literature available and the existing directive on environmental protection, the causes and effects that determine the degradation of the Massaciuccoli wetlands (Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli Regional Park, northwestern Tuscany), Ramsar area of international interest, are examined. The alteration caused over the years by anthropic pressures and the use that has been made of the area have caused substantial changes in the functionality and naturalistic aspects of this ecosystem in particular threatening the biodiversity. Taking as main objective the achievement of the reference conditions, mainly reconstructed on the base of historical data, are identified some of the actions considered necessary for the restoration, preservation and management of the area.

KEY WORDS: subsidence / salinization / meromixis / alien species / eutrophication

## **INTRODUZIONE**

La rilevanza delle zone umide, ampiamente riconosciuta e sancita attraverso importanti convenzioni internazionali, prima fra queste quella di Ramsar (1971), si sta diffondendo nella cultura popolare, soppiantando lentamente il retaggio che per secoli ha emarginato questi ecosistemi. Nell'ambito del principale strumento europeo per la tutela degli ecosistemi acquatici, la Direttiva 2000/60/CE, tuttavia, le zone umide non sono state inserite tra gli elementi del reticolo superficiale ai quali si applicano gli obiettivi di qualità ambientale, stabiliti dalla direttiva stessa. Al fine di superare questa ambigua situazione, la Commissione europea, gli Stati

membri e la Norvegia, nel novembre del 2001, decisero di sviluppare, nel contesto della Strategia Comune di Implementazione, un documento guida per definire il ruolo delle zone umide e degli ecosistemi terrestri nell'ambito della suddetta normativa (Siligardi *et al.*, 2007).

Le linee guida scaturite da tale processo di implementazione (Wetlands Horizontal Guidance, 2003) individuarono le principali componenti idonee a caratterizzare le zone umide, in quanto ecosistemi diversi e complessi, che tendono a svilupparsi all'interno di un gradiente idrologico, passando da habitat terrestri ad habitat principalmente acquatici. Le definirono ecosistemi

eterogenei che si sviluppano naturalmente o anche come il prodotto di attività umane. Aspetto, quest'ultimo, che sembrava rivolto a tutelare e conservare anche habitat creati o modificati dall'intervento dell'uomo.

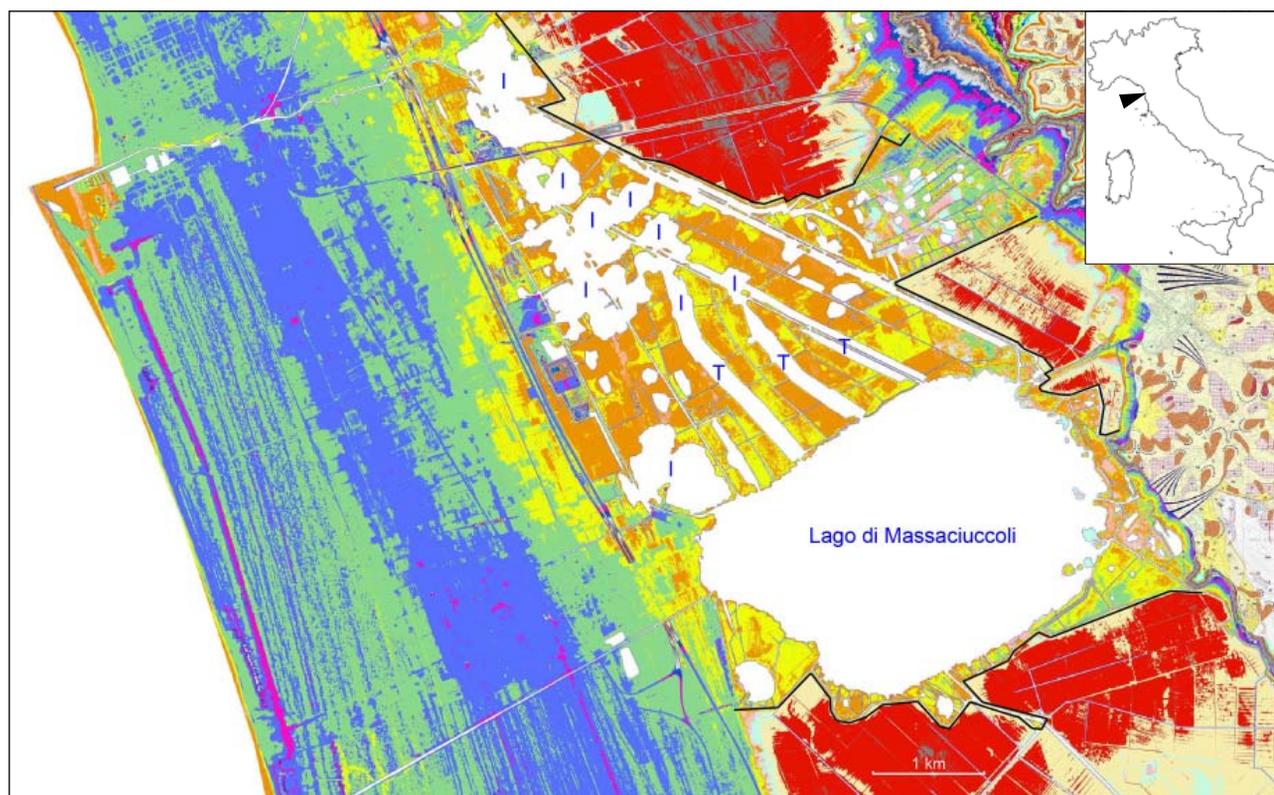
Il processo di implementazione cercò quindi di recuperare l'importanza della funzione delle zone umide all'interno della logica della Direttiva, riconoscendo loro un ruolo potenzialmente importante per una gestione sostenibile dei bacini idrografici, pur non definendone gli obiettivi ambientali. Le zone umide, in quanto strettamente legate ai corpi idrici, avrebbero tratto beneficio dagli obblighi che discendevano dalla normativa comunitaria. Secondo tale processo sarebbero stati dunque i piani di gestione elaborati dalle Autorità di Bacino (oggi Autorità di Bacino Distrettuali) a contenere le misure idonee a tutelarle: la salvaguardia o la creazione delle zone umide o il loro miglioramento avrebbero potuto offrire meccanismi sostenibili, economicamente validi e socialmente accettabili per contribuire al raggiungimento degli obiettivi ambientali (Pacini, 2005).

Rimaneva il fatto che la Direttiva non avrebbe fornito chiari strumenti di tutela delle zone umide basati sul raggiungimento di precisi obiettivi e, ancor meno, di

gestione. Essa, tuttavia, ha introdotto importanti concetti innovativi, anche se non del tutto concretizzabili per i conflitti che possono derivare dalla loro applicazione (Nardini *et al.*, 2008), fondati sull'approccio ecosistemico degli ambienti acquatici e sul concetto delle condizioni di riferimento, da cui è possibile attingere suggerimenti anche per la gestione e la tutela delle zone umide.

L'identificazione delle condizioni di riferimento viene richiesta per fornire un modello rispetto al quale misurare gli effetti delle attività umane passate e presenti su ogni corpo idrico. La strada che conduce alla loro ricostruzione dovrebbe necessariamente attraversare una delle seguenti fasi: 1) ricerca delle tipologie simili non soggette a pressioni; 2) elaborazione di modelli teorici che si possono anche basare sul parere esperto; 3) analisi storica dei dati e delle informazioni disponibili su una determinata area.

Il presente lavoro ha l'intento di evidenziare la complessità dei problemi che può comportare la tutela ma, soprattutto, la gestione di una zona umida, prendendo spunto da un caso reale ed effettuandone una ricostruzione basata sull'analisi storica dei dati.



**Fig. 1.** Area di studio. Cartografia in falsi colori rappresentativa dei livelli altimetrici. La linea nera individua gli argini che delimitano la zona umida a nord e a sud. Gli specchi acquei (colore bianco) interni alla zona palustre rappresentano i chiari e gli invasi, sito di estrazione delle sabbie (lettera I). I tratti di forma rettangolare (lettera T) sono riconducibili all'estrazione della torba. Le zone bonificate esterne all'area, riconoscibili per la frammentazione tipica degli ambiti rurali e identificate con i colori grigio (da -7,6 a -3 s.l.m.), rosso (da -2,9 a -2 s.l.m.) e beige (da -1,9 a -1 s.l.m.), sono quelle caratterizzate da subsidenza (da [http://www.autorità.bacinoserchio.it/cartografie/dsm\\_dtm#ricostruzione](http://www.autorità.bacinoserchio.it/cartografie/dsm_dtm#ricostruzione), modificato, data di accesso 20/02/2018).

## AREA DI STUDIO

La zona umida del Massaciuccoli (Fig. 1) comprende il lago omonimo e rappresenta il residuo di un più ampio comprensorio palustre e lagunare che fino a circa 3000 anni fa (Bini *et al.*, 2009) occupava gran parte della pianura versiliese (Toscana nord-occidentale). L'intero distretto lacuo-palustre è stato oggetto nel corso del tempo di interventi antropici che hanno inciso sulla sua estensione.

Sebbene i primi tentativi di regimazione delle acque risalcano all'epoca romana, fino alla metà del secolo XIX lo specchio lacustre era circondato da paludi che si estendevano a sud e a nord del lago (Fig. 2). In seguito all'azione della bonifica idraulica, intrapresa in modo sistematico a partire dall'inizio del secolo scorso (Pedreschi, 1956), si è giunti al residuo di zona umida

che oggi vediamo delimitata a nord e a sud da argini artificiali, a ovest dall'ampia duna costiera che la separa dal mare e a est da un sistema orografico collinare. Il lago si estende per circa 700 ha e ha una profondità media intorno ai 2 m (Di Grazia *et al.*, 2011). La zona palustre si estende per circa 1700 ha ed è intersecata da tre canali navigabili (Burlamacca, Malfante e Quindici) e da una serie di piccoli canali minori, la cui profondità non supera i 2,5 m. In gran parte colonizzata da associazioni vegetali tipiche (Tomei e Garbari, 1981; Tomei *et al.*, 1994; Tomei *et al.*, 1997), la palude costituisce uno dei più importanti siti italiani per l'estensione di *Cladium mariscus* e la conservazione di questo tipo di habitat (Viciani *et al.*, 2017). La sua superficie è interrotta da una serie di "chiarì", raccolte d'acqua isolate dove la profondità è limitata a poche decine di centimetri e

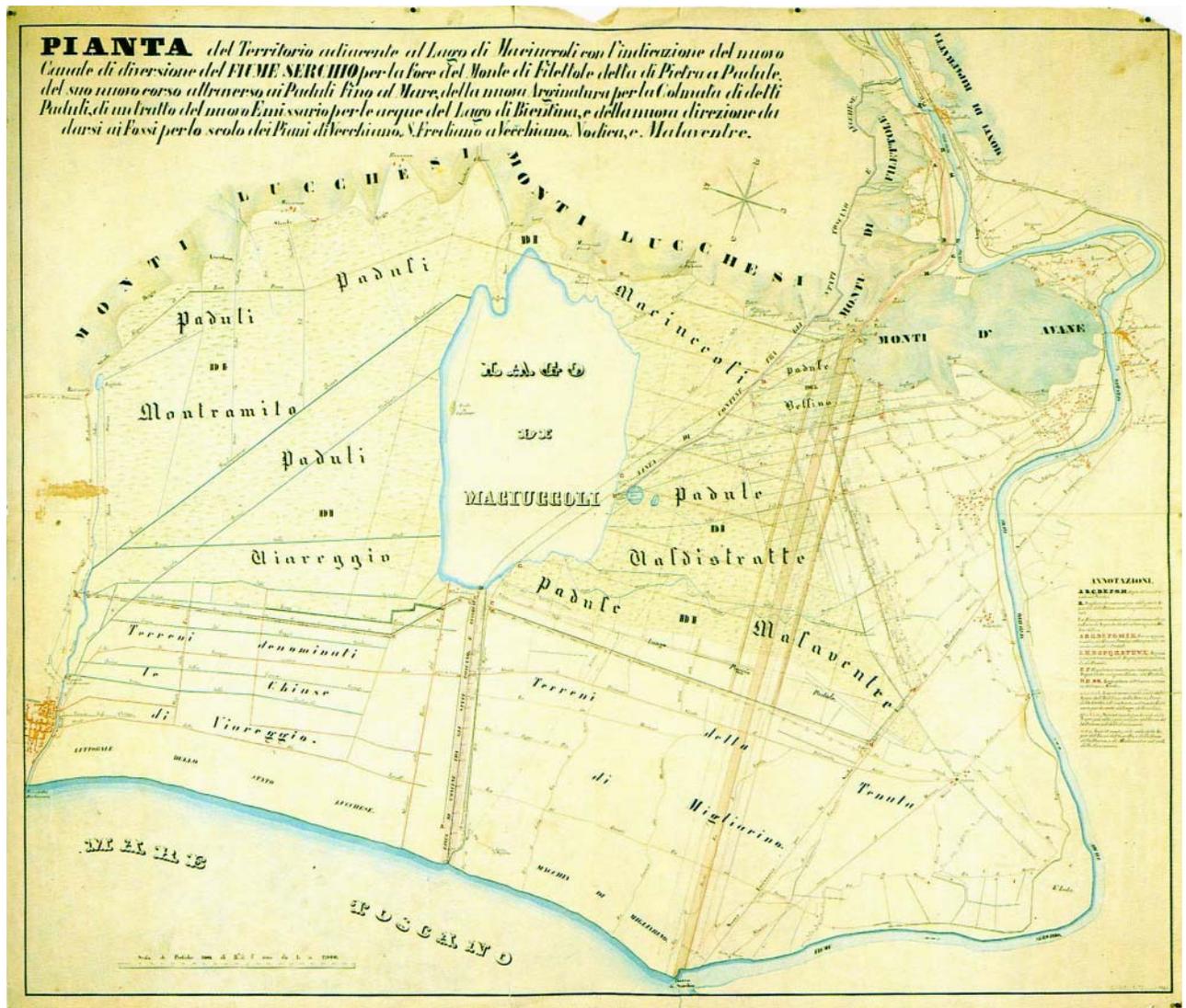


Fig. 2. Cartografia storica risalente alla metà del secolo XVIII in cui si apprezza la maggior estensione dell'area palustre che circondava il lago di Massaciuccoli (da Cervellati e Maffei Cardellini, 1988).

dove predominano praterie di caracee, e di invasi, residuo dell'escavazione della sabbia silicea, che invece possono raggiungere i 24 m di profondità (Fig. 1 e 3).

Oggi l'area è compresa nel Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli (AA. VV., 1983; Cervellati e Maffei Cardellini, 1988) e rappresenta una delle più importanti zone umide della Toscana e d'Italia, costituendo un comprensorio di importanza internazionale ai sensi della convenzione di Ramsar, essendo stata designata con Decreto MATTM del 21/10/2013 e inserita nell'elenco ufficiale nel giugno 2017 con n. 2311<sup>1</sup>. È inoltre Sito di Interesse Regionale e Zona di Protezione Speciale ai sensi delle direttive 79/0409/CEE e 92/43/CEE.

### LA SUBSIDENZA

Le aree circostanti, a nord e a sud del lago, sono per la gran parte destinate a una forma di agricoltura convenzionale, con ordinamento produttivo prevalentemente cerealicolo (mais) (Baneschi *et al.*, 2013), che oggi presentano situazioni di criticità ormai insostenibili. Tali zone, infatti, sembrano risultare del tutto esauste per gli effetti della subsidenza causata da una consistente compattazione del terreno, dovuta al reiterato pompaggio delle acque per la bonifica idraulica e alle pratiche agricole. Complessi processi di mineralizzazione, liberando ingenti quantità di gas volatili come anidride carbonica, ossidi di azoto, metano, ecc., hanno provocato nel tempo una consistente riduzione della massa degli strati torbosi. Tali processi sono stati favoriti da pratiche agronomiche che hanno portato in superficie torbe non ancora mineralizzate. La consistente subsidenza registrata ha reso pensile l'intera area umida rispetto al territorio circostante, rendendo indispensabile la costante opera di manutenzione degli argini e mettendo a dura prova l'azione della bonifica meccanica nel mantenere il franco di coltivazione. Tale situazione ha indotto una profonda riflessione sulla opportunità di continuare l'opera di bonifica, per le aree coltivate che si collocano ormai a vari metri sotto il livello medio marino (dai -0,25 m rilevati nel 1935 si è passati ad altezze minime intorno a -3 m s.l.m.: Di Grazia *et al.*, 2009). La soluzione di tale problema, ancora oggetto di un acceso dibattito, dovrà passare attraverso varie alternative di gestione del territorio bonificato tra cui il possibile abbandono della bonifica meccanica e la restituzione delle aree al lago, con perdita totale delle funzioni agricole.

### L'ESTRAZIONE DELLA TORBA

L'area palustre sovrasta un giacimento torboso che presenta uno spessore variabile da 1 a 8 m in direzione ovest-est che a sua volta la separa dai sottostanti giacimenti

di sabbia silicea (Federigi, 1987). L'estrazione della torba ha interessato parte dell'area palustre, sin da tempi remoti (Pedreschi, 1956). L'attività si è svolta durante tre periodi principali: dal 1894 al 1910, con una prima torbiera posta tra i canali Burlamacca e Malfante, con produzione modesta, di cui rimangono oggi poche vestigia delle opere murarie. L'attività fu incrementata dal 1917 al 1921 per la richiesta di energia del primo dopoguerra ma sempre con quantitativi contenuti, nel nuovo insediamento di Torre del Lago (LU). Dal 1922 al 1927 l'attività attraversò il periodo più florido, quando dalla torba si estraevano solfato d'ammonio e catrame paraffinoso, oltre al gas utilizzato per la produzione di energia elettrica. La zona destinata all'estrazione della torba venne divisa in strisce parallele (Fig. 1) che rappresentarono una prima forma di impatto sulle biocenosi vegetali presenti nell'area. Per coltivare i banchi era infatti necessario liberarli dalla vegetazione palustre sovrastante. L'attività di coltivazione sottrasse circa 200 ha di area palustre, lasciando settori allagati, di forma regolare e privi di vegetazione, profondi circa 2,5 m, mai più ricolonizzati dalla vegetazione elofitica (Fig. 1, lettera T). Durante la fase produttiva la torbiera doveva anche produrre scarichi inquinanti tant'è che proprio in quel periodo iniziarono le prime indagini idrobiologiche (Brunelli e Cannicci, 1935; 1942) per valutarne l'impatto.

### ESTRAZIONE DELLA SABBIA SILICEA

A nord dello specchio lacustre, nell'orizzonte sottostante la vegetazione palustre e lo strato delle torbe, si trovano banchi di sabbia silicea (Federigi, 1987) che, come già accennato, sono stati sottoposti a sfruttamento. L'attività di coltivazione viene segnalata già a partire dalla fine del XVII secolo (Pandolfi, 1975) e l'impatto da essa esercitato vede il picco maggiore a seguito del forte incremento verificatosi nei decenni del secondo dopoguerra quando, per l'evolversi delle tecnologie utilizzate e la spinta del mercato che richiedeva il prezioso materiale, si è progressivamente costruito lo scenario che oggi possiamo osservare (Fig. 1). L'attività di escavazione è terminata intorno alla metà degli anni '90, in quanto ritenuta impattante per l'area palustre, ormai sottoposta ai vincoli del Parco. La coltivazione dei banchi di sabbia richiedeva infatti la preeliminazione e totale asportazione della vegetazione e del sottostante letto di torbe fossili. Successivamente a questa fase preparatoria, iniziava il prelievo delle sabbie fino a profondità variabili da -18 a -24 m slm, che lasciava sul posto invasi con altrettanta profondità.

Il primo studio sulle caratteristiche chimico-fisiche di questi invasi risale agli anni '70 (Geotecneco, 1975), quando si evidenziò che tali depressioni costituivano una sorta di trappola per l'acqua salata in ingressione. Successivamente Baldaccini e Bianucci (1986) studiarono

<sup>1</sup> [www.rsis.ramsar.org/ris/2311](http://www.rsis.ramsar.org/ris/2311) (Data di accesso: 1/5/2018)



l'impatto del fenomeno sulle biocenosi acquatiche causato proprio dalla elevata salinità che si riscontrava negli strati inferiori delle cave. Ulteriori studi furono effettuati da Spandre e Meriggi (1997) che ne definirono gli aspetti batimetrici e ne approfondirono quelli idrogeologici. Recenti rilievi (Di Grazia *et al.*, 2011) hanno ridefinito con maggior dettaglio lo stato attuale delle batimetrie dell'area palustre e di quella lacustre, misurandone l'estensione e valutandone la capacità di invaso (Fig. 3).

Come dimostrato dai lavori citati e confermato da una recente indagine condotta sulla conducibilità delle acque del comprensorio (Gabrielli e Di Grazia, 2014), la presenza delle cave ha accentuato gli effetti dell'ingressione marina, favorita anche dal malfunzionamento delle barriere realizzate proprio per contrastare tali effetti (cateratte a bilico e barriera gonfiabile). Il cuneo salino veicolato dal canale Burlamacca, unico emissario che collega direttamente la zona umida con il mare, incrementa i livelli di conducibilità delle acque profonde delle cave, modificando così la struttura di tali corpi idrici. La maggior parte di questi, infatti, si comporta come un sistema meromittico (Tonolli, 1969), caratterizzato da uno strato superficiale (mixolimnio), di spessore variabile, in genere non superiore ai tre metri, con una concentrazione della salinità che oggi oscilla mediamente intorno a 1,9 ‰ (dati da Di Grazia e Gabrielli, 2014, modificato), soggetto a rimescolamento stagionale delle acque; da un piano orizzontale intermedio, di transizione, dove si verifica il flesso in aumento della curva del parametro salinità (chemocline o, meglio, alocline), e uno strato profondo più salato (monimolimnio), dove le acque possono raggiungere salinità maggiori (10-17‰). Per effetto della maggior densità, le acque più salate che si depositano sul fondo rimangono costantemente separate dallo strato più superficiale. Questo fenomeno influenza la concentrazione dell'ossigeno disciolto lungo la colonna d'acqua e i livelli di temperatura che vengono così rappresentati da un andamento curvilineo pressoché stabile nell'arco delle stagioni (Fig. 4).

I sistemi meromittici sono relativamente improduttivi a causa dell'isolamento degli strati profondi. La mancanza di ossigeno innesca inoltre processi di decomposizione anaerobica che generano sostanze riducenti ( $H_2S$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{++}$ , ecc.) ostili alla vita acquatica. Inoltre non è da escludere che nel tempo si verificano, a livello di mixolimnio, una contaminazione salina delle acque più superficiali (Tonolli, 1969) che, in condizioni meteorologiche povere di precipitazioni, possono raggiungere concentrazioni sfavorevoli alle comunità stenoaline. La caratterizzazione biogeochimica delle acque presenti nelle cave è stata ben evidenziata da Baneschi (2007), con un aggiornamento ed un approfondimento dei processi evidenziati in passato.

L'ambiente delle cave condiziona quindi lo svilup-

po delle biocenosi macrobentoniche e macrofittiche, confinandole negli strati superficiali e impedendone l'insediamento negli strati profondi che ospitano solo comunità batteriche anaerobiche, come dimostrato dalle indagini di Baldaccini e Bianucci (1986). La totale assenza di disponibilità di cibo, non favorisce la sosta di avifauna acquatica, ostacolata anche dall'eccessiva profondità, che non consentirebbe di pascolare sul fondo. Questa nuova tipologia di habitat si allontana da quella canonica di zona umida non presentandone i requisiti fondamentali.

Una delle definizioni più accreditate di zona umida è infatti quella riportata nella convenzione di Ramsar, il cui principale scopo era garantire l'idoneità per l'avifauna acquatica. La definizione individuava la varietà di habitat che potevano essere compresi nelle zone umide e i caratteri morfologici distintivi, indispensabili per una loro identificazione. Uno di questi era dato dalla profondità

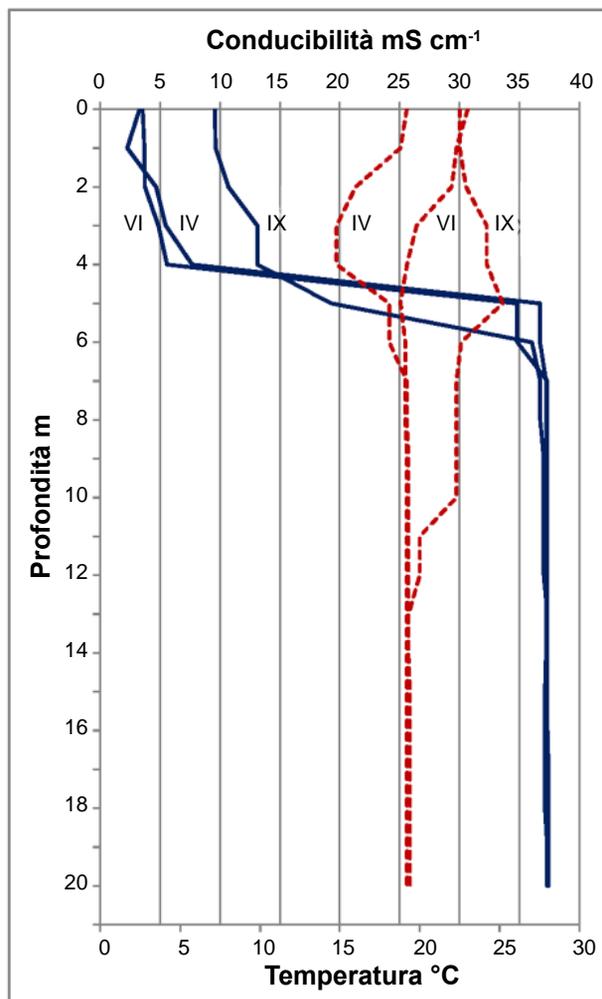


Fig. 4. Andamento dei parametri conducibilità ( $mS\ cm^{-1}$  – linea intera) e temperatura ( $^{\circ}C$  – linea tratteggiata) in una ex cava di sabbia, rilevati nei mesi di aprile, giugno e settembre del 2013 (da Gabrielli e Di Grazia, 2014, modificato).

che, sebbene venisse fissata solo per i tratti di mare, non doveva superare i 6 metri. Tale aspetto risulta compatibile con la capacità degli uccelli marini di raggiungere il fondo e cibarsi. Sebbene non specificato, ne consegue che anche le zone umide nelle acque interne dovrebbero essere caratterizzate da profondità contenute, forse anche inferiori a quella stabilita per le acque marine, per garantire il pascolo delle varie specie di avifauna acquatica.

Una deroga alla profondità sembra essere prevista dalla stessa convenzione e dal manuale di applicazione redatto nel 2013 dove si inseriscono anche fiumi e laghi (Ramsar Convention Secretariat, 2013). Questa scelta appare del tutto cautelativa e rivolta ad ambienti che integrano le funzioni delle zone umide e ne garantiscono la conservazione.

Sommando le superfici occupate dalle cave, si calcola che circa 260 ettari di area palustre non sono più funzionali alla zona umida per una serie di effetti che possono essere riassunti nei seguenti punti:

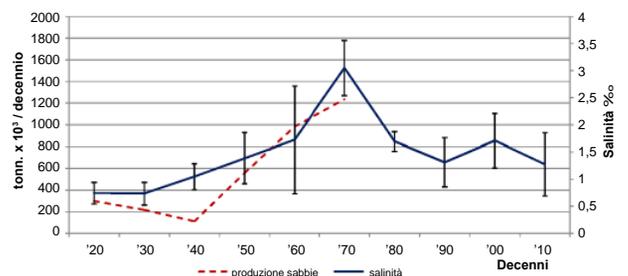
- scomparsa delle fitocenosi palustri e dei “chiari” che ne caratterizzavano la superficie e conseguente decremento di diversità paesaggistica e biologica;
- accumulo di acqua salata sul fondo degli invasi con effetto “trappola” sul fenomeno di ingressione salina;
- innesco di fenomeni di stratificazione di ingenti volumi di acqua a diversa densità con ripercussioni sugli aspetti chimico-fisici e biologici (sistema meromittico);
- possibile incremento della salinità dell’intera area umida per gli inevitabili scambi nell’interfaccia (alocline) tra strati superiori e inferiori e l’improbabile ritorno delle acque salate al mare;
- produzione di sostanze tossiche derivanti dai processi anaerobici e biogeochimici che impediscono l’insediamento di fitocenosi acquatiche e delle comunità perfitiche associate;
- scarsa o nessuna attrattiva per l’ittiofauna dato l’ambiente inospitale e per l’avifauna acquatica causa l’eccessiva profondità delle acque.

## SALINIZZAZIONE DELLE ACQUE

La stretta vicinanza della zona umida al mare e gli interventi di riconnessione operati dall’uomo nel corso dei secoli (Paderi, 1935) hanno da sempre favorito il fenomeno dell’ingressione di acque salate nella depressione retrodunale oggi occupata dal lago di Massaciuccoli. Per contrastare tale fenomeno, ritenuto responsabile della malaria che imperversava in questi luoghi, verso la metà del XVIII secolo venne progettato un sistema di barriere, costituito da cateratte a bilico, in grado di contrastarlo (Sforza, 1894; Pedreschi, 1956). Con tale intervento, nel corso dei secoli, grazie anche al copioso apporto di acque dolci provenienti dalle sorgenti collinari, la concentrazione della salinità delle acque interne si stabilizzò intorno a valori oligoalini che, fino alla fine degli anni

’30, non superavano lo 0,7‰ (Brunelli e Cannicci, 1935; 1942). Utilizzando i dati reperibili in letteratura (Brunelli e Cannicci, 1942; Pedreschi, 1956; Geotecneco, 1975; Baldaccini e Bianucci, 1986; Crema, 1989; Pensabene *et al.*, 1997; Spandre e Meriggi, 1997; banca dati ARPAT<sup>2</sup>) è stato ricostruito l’andamento della salinità superficiale del lago nel corso degli ultimi cento anni (Fig. 5). I dati utilizzati, nella maggioranza dei casi espressi in mg/L di cloruri (Cl<sup>-</sup>), sono stati convertiti in corrispondenti valori di salinità ‰ con la formula di Knudsen (Cognetti e Sarà, 1974). Nei casi in cui erano disponibili solo valori della conducibilità (mS/cm), il calcolo è stato integrato con il rapporto esistente tra concentrazione di cloruri e conducibilità per le acque della zona (Duchi, 1985). Nella consapevolezza che molte variabili possono aver condizionato i livelli di salinità nel corso degli anni (andamento delle precipitazioni atmosferiche, funzionamento delle barriere, validità del dato, ecc.) e che i dati reperibili nella maggior parte dei casi si riferivano a un numero limitato di anni del decennio considerato, sembra chiaro come l’andamento dei valori evidenzia una notevole instabilità. È ragionevole supporre che la causa dell’incremento rilevato negli anni sia da ricercare nella scarsa efficacia delle barriere anti-intrusione protrattasi per anni, ma anche nei consistenti volumi di acqua salata che nel tempo sono andati ad occupare il fondo delle cave, incrementando così la concentrazione salina delle acque superficiali. Il sensibile aumento rilevato nel periodo successivo al secondo conflitto, che raggiunge il valore massimo negli anni ’70, sembra coincidere con la notevole espansione dell’estrazione delle sabbie registrata in quegli anni (Fig. 5). Negli ultimi decenni la tendenza sembra in diminuzione, sebbene con valori ancora sensibilmente più elevati rispetto al periodo anteguerra.

2 Arpat. Banca dati MAS acque superficiali. [www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it) (data di accesso: 31/01/2018).



**Fig. 5.** Andamento della salinità (linea intera - valori medi e deviazione standard) e della produzione decennale di sabbia silicea (linea tratteggiata - valori tratti da Pandolfi, 1975). Data la mancanza di dati, al fine di dare continuità al grafico, il valore della salinità per gli anni '50 è stato ottenuto dalla media dei valori riscontrati nei due decenni limitrofi. La minor produzione di sabbie degli anni '40 risente degli effetti legati al periodo bellico. Come riportato nel testo l’escavazione delle sabbie si interrompe a metà degli anni '90.

All'interno delle ex cave di sabbia, Gabrielli e Di Grazia (2014) hanno riscontrato un ulteriore incremento dei valori della conducibilità rispetto al passato, con un andamento che, allontanandosi dalle barriere anti-ingressione, diminuisce fino a valori confrontabili con quelli medi delle acque superficiali. Ciò sembrerebbe evidenziare da un lato il malfunzionamento delle barriere ma, nel contempo, la mancanza dell'effetto rimescolamento delle acque associabile all'attività di escavazione, terminata a metà degli anni '90, che favorisce il contenimento della salinizzazione.

La salinizzazione delle acque, oltre a ostacolarne l'uso irriguo, costringe le comunità acquatiche ad adattarsi a un ambiente salmastro, tipico delle zone di transizione. Nel lago di Massaciuccoli varie campagne di studio avevano evidenziato variazioni significative all'interno della comunità zooplanctonica correlabili con i cambiamenti della salinità delle acque (Baldaccini *et al.*, 1997; Baldaccini *et al.*, 1999). La salinità media rilevata nel corso di quegli anni risultava chiaramente correlabile con il tasso annuale di precipitazioni e in grado di condizionare la dominanza di alcune componenti zooplanctoniche (Copepodi, Calanoidi o Ciclopoidi) che si avvicendavano in funzione del comportamento più o meno eurialino. I Cladoceri inoltre, altamente stenohalini, sembravano risentire maggiormente dell'aumento della salinità e della comparsa di forme eurialine come i Misidacei, che possono esercitare una pesante azione predatoria su di essi. L'instabilità delle comunità planctoniche, soprattutto a scapito dei macrofiltratori, ha favorito nel tempo gli effetti del processo di eutrofizzazione che hanno inciso sulla trasparenza delle acque, la scomparsa di macrofite, ecc. Le variazioni della salinità, insieme al processo di eutrofizzazione, già dagli anni '70 sono state ritenute responsabili della comparsa di specie algali tossiche con conseguenti morie di fauna ittica (Simoni, 1977; Simoni e Bianucci, 1997).

## EUTROFIZZAZIONE

Noto anche come eutrofizzazione culturale (Odum, 1973), il processo ha inizio con un aumento della disponibilità di sostanze nutrienti (carbonio, azoto, fosforo, ecc.), provenienti in genere dai prodotti di rifiuto del metabolismo umano e zootecnico, dalle attività produttive con particolare riguardo all'agricoltura. Esso accelera le fasi naturali attraversate dalla vita di una zona umida (eutrofizzazione naturale).

Gli effetti provocati dall'eutrofizzazione tendono a mutare le condizioni ambientali, alterando in modo particolare gli aspetti estetici e funzionali dell'ecosistema acquatico. Dell'intero comprensorio umido, lo specchio lacustre è quello che ha maggiormente risentito di questo processo (forse più che del fenomeno salinizzazione), rilevato per l'area già negli anni '70 (Geotecneco, 1975).

In ambienti con acque poco profonde è possibile

applicare il modello proposto da Phillips (1992) che prevede tre fasi che, per il Massaciuccoli, possono essere così sintetizzabili:

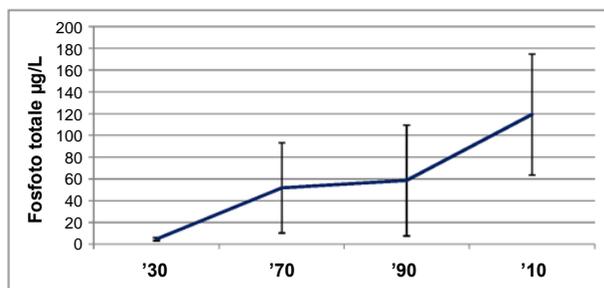
- 1) Condizioni di riferimento (fase 1). Le acque sono molto limpide, scarso contenuto di nutrienti, con particolare riguardo al P come fattore limitante (una media annuale < 50-60 µg/L), la vegetazione sommersa è distribuita secondo modelli naturali e caratterizzata, nelle zone più distanti dalla riva, da macrofite di fondale (caracee e fanerogame), in grado di ospitare una fauna macrobentonica molto diversificata, prevalentemente epifitica, e dove la comunità zooplanctonica è dominata dai macrofiltratori.
- 2) Condizioni intermedie (fase 2). Le macrofite di fondale tendono a scomparire per dare spazio a fitocenosi composte da macrofite radicate flottanti (*Ceratophyllum* sp., *Myriophyllum* sp.) ed emergenti (*Nymphaea* sp., *Callitriche* sp.), e quindi in grado di porre grossi ostacoli alla navigazione. Questa fase è associata ad un aumento dei nutrienti (una media annuale fino a 100-125 µg/L Ptot) e a una riduzione della trasparenza delle acque, a causa di un certo incremento della comunità fitoplanctonica e dei solidi sospesi. Con questa fase inizia anche una diminuzione della diversità biologica.
- 3) Condizioni di degrado avanzato (fase 3, quella attuale). Nelle acque si registra una progressiva e totale scomparsa di macrofite; domina oramai una elevata torbidità che varia in relazione ai mutamenti stagionali e al regime dei venti, dovuta a un eccesso di produttività primaria e sollevamento dei sedimenti dal fondo. Le acque sono interessate da successioni di fioriture di alghe fitoplanctoniche, con dominanza delle cianofitiche. Le concentrazioni di nutrienti sono ormai a livelli di eutrofia (fosforo con medie annuali > 125 µg/L), le comunità macrobentoniche che popolano il fondo del lago, ormai costituito solo da una matrice limo-argillosa, presentano una netta perdita della diversità e anche la popolazione zooplanctonica è sostenuta principalmente da organismi di piccole dimensioni (Rotiferi), forme tipiche di ambienti eutrofizzati.

L'eutrofizzazione delle acque ha inoltre favorito la proliferazione di cianobatteri (*Microcystis aeruginosa*) (Simoni e Bianucci, 1997) e la produzione di microcistine da essi derivanti (Simoni *et al.*, 2004), con implicazioni di ordine sanitario (Funari *et al.*, 2008) tali da consigliare il divieto dell'utilizzo alimentare di prodotti ittici di origine lacustre e della balneazione nelle acque del comprensorio umido.

Le cause di questo processo e di processi indotti, come l'interrimento, sono da ricercare prevalentemente negli apporti veicolati nel lago dagli impianti idrovori che drenano il comparto agricolo adiacente e, in parte, negli effluenti derivanti da impianti di trattamento reflui urbani (Geotecneco, 1975; Caporali e Palmerini,

1981; Baneschi *et al.*, 2007; Pistocchi *et al.*, 2012; AA. VV., 2013). Utilizzando dati disponibili in letteratura (Brunelli e Cannicci, 1942; Geotecneco, 1975; Cini *et al.*, 1997) e nelle banche dati ARPAT, è stato costruito l'andamento di uno dei fattori limitanti che possono giocare un ruolo determinante nell'innescare di fenomeni eutrofici. La scelta è caduta sulla concentrazione di fosforo totale, per la possibilità di confrontare dati su lungo periodo. Da tale elaborazione si evince come rispetto al periodo prebellico si assista ad un sensibile incremento di tale composto negli anni '70 che sembra mantenersi stabile fino agli anni '90. Dopo tale periodo cresce considerevolmente in tempi attuali (Fig. 6).

La spiegazione di tale comportamento potrebbe essere fornita dall'elevato contenuto di nutrienti immagazzinati nei sedimenti (Frascari *et al.*, 1994; Pensabene *et al.*, 1997) e che oggi, nonostante il tentativo di abbatterne la concentrazione negli scarichi, continuano ad essere rilasciati. Il fenomeno può essere accentuato dallo scarso assorbimento da parte della vegetazione sommersa, quasi totalmente scomparsa. Le quantità medie di P tot. rilevate negli anni '70 non sembravano giustificare le condizioni di eutrofia elevata, che si manifestavano con la diminuzione della trasparenza e l'elevata concentrazione di fitoplancton, in quanto non costantemente sopra valori ritenuti indicatori di tale fenomeno. Per l'innescare del processo è apparsa piuttosto determinante l'azione volta a modificare drasticamente l'assetto del paesaggio sommerso: testimonianze attendibili, anche se non facilmente documentabili, riportavano attività del secondo dopoguerra volte all'eradicazione totale delle macrofite acquatiche in quanto ostacolavano l'utilizzo del lago finalizzato alla pesca, agli sport nautici, ecc. (Baldaccini e Cenni, 1999). La scomparsa dell'azione consolidante sui sedimenti da parte delle macrofite, potrebbe aver innescato fenomeni di rimescolamento che hanno prodotto periodici intorbidamenti delle acque con effetti negativi sulla loro stessa crescita (Zuccarini *et al.*, 2011). L'assenza del contributo fornito dalla vegetazione acquatica sul metabolismo dei nutrienti, potrebbe averne favorito l'assorbimento da parte delle comunità fitoplanctoniche.



**Fig. 6.** Andamento della concentrazione di Fosforo totale rilevata nelle acque superficiali dello specchio lacustre nel corso di quattro decenni (media e dev. st.).

Come già accennato, uno dei processi indotti dall'eutrofizzazione è quello del progressivo interrimento e della perdita di capacità di invaso. A lunga scadenza il processo è attribuibile alla maggior produzione interna di sedimenti ma nel breve periodo dall'apporto di sedimenti che nel caso del Massaciuccoli giungono direttamente dai terreni bonificati insieme alle acque di drenaggio (Cenni, 1997). Il problema fu sollevato in modo eclatante negli anni '90 del secolo scorso, allorché si intrapresero specifiche indagini volte anche a giustificare una sperimentazione sulla escavazione delle sabbie nel lago (Duchi *et al.*, 1995). Il fenomeno era stato già segnalato da Pedreschi (1956) che aveva calcolato le batimetrie del lago confrontandole con precedenti rilievi del secolo XIX. Ne risultava una perdita di invaso di circa 5 milioni di m<sup>3</sup> in un arco di tempo di circa 110 anni. Ma la cosa che sembrava allarmare era che ben 2 milioni di capacità di invaso si erano perduti in poco più di trenta anni dal rilevamento di Pedreschi. Un recente lavoro sulle batimetrie dell'area (Di Grazia *et al.*, 2011) sembra aver messo in discussione la validità delle precedenti misurazioni. La capacità di invaso risulta infatti comparabile con quella misurata nel secolo XIX essendo pari a circa 14 milioni di m<sup>3</sup>. Il fenomeno dell'interrimento apparirebbe quindi inconsistente, nonostante vi siano tutti i presupposti perché tale fenomeno possa verificarsi, come rilevato da indagini mirate (Cini *et al.*, 1997) e dimostrato anche dalle foto aeree che evidenziano gli afflussi di torbide provenienti dalle idrovore (Cenni, 1997), frequenti durante i periodi particolarmente piovosi. L'apparente discrepanza riscontrabile nelle recenti misurazioni della batimetria, peraltro effettuate con tecnologie più sofisticate e quindi più attendibili, ha indotto a formulare alcune ipotesi, tra cui quella di un possibile abbassamento del fondo del lago, "trascinato", sebbene in misura molto minore, dalla subsidenza. La manutenzione degli argini, il loro continuo consolidamento e innalzamento, avrebbero quindi attenuato la percezione di tale fenomeno (Di Grazia, comunicazione personale).

### PRESENZA DI SPECIE ALLOCTONE

Le invasioni biologiche sono ormai da tempo ritenute una delle principali cause del declino della biodiversità, e il lago di Massaciuccoli, come molti laghi italiani (Ciutti e Cappelletti, 2017), non è certo esente da questo fenomeno (Tab. 1). Paradossalmente, quando nel 1979 veniva stipulata la convenzione di Berna<sup>3</sup>, nel medesimo istante venivano forse introdotti i primi esemplari di persico trota (*Micropterus salmoides*) della storia di questa zona umida. Allora c'era la ferma convinzione

<sup>3</sup> L. 5-8-1981 n. 503, ratifica ed esecuzione della convenzione relativa alla conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa, con allegati, adottata a Berna il 19 settembre 1979.

**Tab. I.** Lista delle specie alloctone animali naturalizzate nel comprensorio umido del Massaciuccoli. L'anno si riferisce indicativamente alla prima segnalazione.

Gruppo	Famiglia	Specie	Anno	Bibliografia
Hirudinea	Piscicolidae	<i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1758)	1992	Baldaccini <i>et al.</i> , 1997
Gastropoda	Physidae	<i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)	1985	Baldaccini e Bianucci, 1986
Gastropoda	Planorbidae	<i>Ferissia californica</i> (Rowell, 1863)	1991	Baldaccini e Bianucci, 1994; Baldaccini, 1995
Bivalvia	Unionidae	<i>Sinanodonta woodiana</i> (Lea, 1834)	2005	Ercolini, 2015a
Copepoda	Cyclopidae	<i>Apocyclops panamensis</i> (Marsh, 1913)	1992	Baldaccini <i>et al.</i> , 1997
Decapoda	Cambaridae	<i>Procambarus clarkii</i> (Girard, 1852)	1995	Baldaccini, 1995; Gherardi <i>et al.</i> , 1999
Osteichthyes	Centrarchidae	<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	1982	AA.VV., 1983; Alessio <i>et al.</i> , 1994; Chelucci, 2005
Osteichthyes	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i> Lacépède, 1802	1982	AA.VV., 1983; Alessio <i>et al.</i> , 1994; Chelucci, 2005
Osteichthyes	Cyprinidae	<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)	1982	AA.VV., 1983; Alessio <i>et al.</i> , 1994; Chelucci, 2005
Osteichthyes	Cyprinidae	<i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758)	1982	AA.VV., 1983; Alessio <i>et al.</i> , 1994; Chelucci, 2005
Osteichthyes	Cyprinidae	<i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)	1935	Brunelli e Cannicci, 1935; AA.VV., 1983; Alessio <i>et al.</i> , 1994; Chelucci, 2005
Osteichthyes	Ictaluridae	<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	1982	AA.VV., 1983; Alessio <i>et al.</i> , 1994; Chelucci, 2005
Osteichthyes	Poeciliidae	<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859	1982	AA.VV., 1983; Alessio <i>et al.</i> , 1994; Chelucci, 2005
Osteichthyes	Siluridae	<i>Silurus glanis</i> Linnaeus 1758	2005	Chelucci, 2005; Ercolini, 2015b
Osteichthyes	Cyprinidae	<i>Pseudorasbora parva</i> Schlegel, 1842	2005	Chelucci, 2005
Mammalia	Myocastoridae	<i>Myocastor coypus</i> Molina, 1782	?	Baldaccini e Ercolini, 2006

che, nutrendosi di piccoli pesci, avrebbero favorito lo sviluppo di specie zooplanctoniche filtratrici, utili per controllare l'eutrofizzazione che si stava manifestando (dato inedito). Ma questa non era certo la prima delle invasioni di specie alloctone. Nel lago, infatti, la presenza di specie come la gambusia (*Gambusia holbrooki*), che avevano seguito gli eventi di eradicazione della malaria (Sommani, 1967), o il persico sole (*Lepomis gibbosus*), introdotto casualmente con le azioni di ripopolamento (Tortonese, 1975), era stata ormai accertata da tempo (AA.VV., 1983). La composizione della comunità ittica sembra tuttavia che non avesse subito alterazioni fino al periodo prebellico, se si fa eccezione per la carpa (*Cyprinus carpio*) la cui introduzione sembrerebbe coincidere proprio con esso (Brunelli e Cannicci, 1935). Ulteriori indagini hanno confermato, sin dalla metà degli anni '80, la presenza di specie alloctone nella zona umida del Massaciuccoli (Baldaccini e Bianucci, 1986; Alessio *et al.*, 1994; 1997; Baldaccini, 1995; Baldaccini *et al.*, 1997) e l'elenco iniziato con quelle indagini non accenna ad esaurirsi (Chelucci, 2005; Ercolini, 2015a), anzi è molto improbabile che ciò si verifichi se non interverranno azioni decise per invertirne la tendenza.

Il problema delle specie alloctone viene comunemente sottovalutato anche se la letteratura scientifica è prodiga nella produzione di articoli che descrivono ogni anno specie nuove, evidenziandone gli impatti. Buona parte delle specie ittiche alloctone rilevate nel comprensorio del Massaciuccoli sono naturalizzate al punto da costituire la preponderanza della biomassa nella comunità (Alessio *et al.*, 1994). Il regime alimentare di queste specie, inoltre, essendo orientato verso organismi filtratori, favorisce lo sviluppo del fitoplancton e degli effetti negativi dell'eutrofizzazione (Rongoni *et al.*, 1996). La pressione predatoria di specie come il persico trota (*Micropterus salmoides*), evidenziata da vari Au-

tori (Marinelli *et al.*, 2002; 2004; 2006) potrebbe aver contribuito alla scomparsa di crostacei autoctoni come *Palaemonetes antennarius* e *Athyaephyra desmaresti*, un tempo abbondanti nei vari ambiti palustri. Per tale specie ittica non è poi da escludere la possibile competizione con il luccio (*Esox lucius*) come evidenziato da Lorenzoni *et al.* (2002) per altri ambienti lacustri. L'introduzione di specie aliene ha favorito la loro dispersione in altre acque interne italiane, come nel caso del gambero della Louisiana (*Procambarus clarkii*) (Gherardi *et al.*, 1999) dando avvio ad un fenomeno difficile da arrestare, le cui responsabilità vanno ricercate anche nella scarsa attenzione verso il problema, dimostrata da una parte dei fruitori delle acque interne. Il potenziale impatto del crostaceo esotico sulla vegetazione acquatica (Ciurli e Alpi, 1999; Barbaresi, 2002; Donato *et al.*, 2018) contribuisce inoltre a ostacolare ogni tentativo di nuovo insediamento di questa importante componente ecosistemica (Ciurli *et al.*, 2009).

La cultura generale sul fenomeno specie alloctone non è per niente cambiata rispetto ai tempi in cui non sembrava costituire alcun problema, anzi si potrebbe affermare che se prima prevaleva la scarsa consapevolezza degli effetti prodotti, oggi sono gli aspetti economici che prevalgono. Come evidenziato recentemente (Baldaccini e Ercolini, 2016), sembra che neppure la normativa regionale sulla pesca delle acque interne sia riuscita a imporsi in modo incisivo sul controllo delle specie alloctone, a causa delle implicazioni di ordine economico e sociale ad esse legate. Una svolta al problema potrebbe essere data dalla recente normativa nazionale in materia (D. Lgs. 230/2017), peraltro ancora da perfezionare nella parte, del tutto sostanziale, relativa all'elenco delle specie invasive, che attualmente, almeno per gli ambienti acquatici, comprende solo in minima parte quelle rilevate sul territorio nazionale.

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Gli obiettivi della Direttiva 2000/60, per l'area del Massaciuccoli, sono stati fissati solo per lo specchio lacustre, inserito nella rete regionale di monitoraggio dei laghi come corpo idrico significativo (Del. GR Toscana 25 maggio 2009, n. 416). Nel triennio 2013-2015 il lago è stato classificato in stato ecologico *scarso* e stato chimico *non buono* (Franchi e Cavalieri, 2016). Lo stato ecologico, che si desume da un indice complessivo<sup>4</sup> basato sullo studio del fitoplancton, conferma lo stato eutrofico in cui versa il lago. Il raggiungimento dell'obiettivo di stato *buono* previsto dal piano di gestione dell'Autorità di Bacino aggiornato al 2016<sup>5</sup> è stato rinviato al 2027. L'area è inoltre interessata da inquinamento da sostanze pericolose, prime tra queste mercurio e tributilstagno (quest'ultimo in decremento dal 2013), che ne hanno determinato lo stato chimico, poi piombo (in aumento dal 2012), arsenico e cromo totale con valori che oscillano a seconda degli anni. Il raggiungimento dell'obiettivo di stato chimico buono previsto dal piano di gestione è rinviato al 2021.

Il monitoraggio periodico non evidenzia nella giusta misura le complesse problematiche che sono state descritte e che incidono ormai da decenni sull'equilibrio di questa zona umida. Negli anni '90 (Cenni, 1994; 1997; AA.VV., 1999) furono realizzate indagini rivolte alla ricerca di ipotetiche condizioni di riferimento elaborate sulla base di precedenti ricerche (Brunelli e Cannicci, 1942), di documentazione storica (Pedreschi, 1956) e recente, di interviste e inchieste ai fruitori e frequentatori dell'area, che fornissero un quadro applicabile all'intera zona umida, coerente anche con gli obiettivi dettati dalle direttive Habitat (Dir 92/43/CEE e s.m.i.) e Uccelli (Dir 79/409/CEE).

In modo particolare erano state le indagini ecologiche effettuate da Brunelli e Cannicci (1942) e le notizie riportate dalle cronache storiche, a fornire elementi utili a stabilire condizioni di riferimento, che avrebbero riproposto lo stato dell'area come si presentava nel periodo antecedente al secondo conflitto bellico, per un ambito territoriale ormai definito dalla vigente normativa regionale sulle aree protette<sup>6</sup>.

Tali condizioni possono essere rappresentate da elementi biologici, idromorfologici e idroclimatici sintetizzabili in: 1) presenza di comunità acquatiche,

animali e vegetali, autoctone e tipiche degli ecosistemi palustri, con caratteristiche dulciacquicole o moderatamente eurialine; 2) profondità media delle acque intorno a 2,5 m; 3) concentrazione di cloruri stabile su valori oligoalini bassi (salinità media < 0,7 ‰); 4) massima concentrazione di fosforo non superiore a 50 µg/L; 5) trasparenza delle acque al disco di Secchi non inferiore a 2,50 m.

Il ripristino delle condizioni di riferimento fornirebbe servizi oggi non più disponibili, tra cui possiamo includere una percezione del paesaggio con livelli di gradevolezza elevati, la presenza di comunità in grado di richiamare avifauna acquatica sia stanziale che di passo, un utilizzo idoneo delle acque per uso irriguo, un utilizzo sostenibile della pesca sportiva e professionale. Potrebbe favorire inoltre il reinserimento di specie di interesse ecologico e conservazionistico oggi scomparse come la lontra (*Lutra lutra*), un tempo elemento di valore faunistico dell'area (Cenni, 1984). Il presente lavoro, che si configura come esempio di indagine di ecologia storica applicata (Swetnam *et al.*, 1999), ha individuato obiettivi il cui raggiungimento non può tuttavia prescindere da una complessa serie di azioni, combinate e in stretta sinergia tra loro, da attuarsi sull'intero sistema lacuo-palustre e sul relativo comprensorio di bonifica, dal quale provengono i maggiori carichi di nutrienti e di solidi sospesi. Tra queste azioni andrebbero incluse: 1) controllo puntuale dell'ingressione di acqua salata dall'emissario, con ripristino della gestione diretta e consapevole delle barriere anti-intrusione (cateratte a bilico e barriera sommersa) e con la gestione degli afflussi e dei deflussi idrici finalizzato all'immagazzinamento di acque dolci, anche meteoriche, da effettuare nel rispetto dei limiti di sicurezza verso il rischio idraulico; 2) svuotamento delle masse d'acqua salata poste sul fondo delle cave originatesi dall'estrazione della sabbia, sfruttando le correnti emissarie (misura peraltro prevista dal piano di gestione citato) e recupero della funzionalità ecologica delle medesime con ripristino delle profondità compatibili con le caratteristiche di zona umida e quindi non superiori a 4-5 m; 3) abbattimento del carico di nutrienti, sia di origine interna sia esterna (su cui peraltro numerosi sono stati i contributi scientifici degli ultimi anni, cfr. Cenni, 1994; 1997; AA. VV., 1999), tramite anche la riconversione delle pratiche agricole e delle finalità d'uso di porzioni del territorio, e l'estrazione di sedimenti ricchi di nutrienti; 4) ampliamento dell'area umida tramite il riallagamento di aree bonificate ormai non più sostenibili, come già previsto in precedenti piani di gestione (Cervellati e Maffei Cardellini, 1988), che consentirebbe la sedimentazione delle acque prima di essere veicolate nel lago e il recupero dalla subsidenza; 5) lotta alle specie alloctone, da orientarsi prevalentemente verso il recupero e la salvaguardia delle comunità ittiche autoctone, se necessario anche in deroga alle

4 La classificazione dei laghi e degli invasi a partire dal fitoplancton si basa sulla media dei valori di due indici, l'Indice medio di biomassa e l'Indice di composizione. Il calcolo di questi due indici si basa a sua volta su più indici componenti: Concentrazione media di clorofilla *a*, Biovolume medio, PTI (PTI<sub>tot</sub>, PTI<sub>species</sub>, MedPTI) e Percentuale di cianobatteri caratteristici di acque eutrofe. (Decreto MATTM 260/2010).

5 <http://www.autorita.bacinoserchio.it/pianodigestione-aggiornamento-piano> (Data di accesso: 20/02/2018).

6 L.R. Toscana n. 61 del 13/12/1979.

vigenti normative sulla pesca; 6) azione di tutela della vegetazione acquatica sommersa e la sua conservazione, se il caso tramite interventi di ripristino (anche in questo settore non sono mancati contributi, cfr. Ciurli e Alpi, 1999; Ciurli *et al.*, 2009); 7) regolamentazione delle attività ludico-sportive per un utilizzo moderato e sostenibile dello specchio lacustre e dell'ambiente acquatico in genere.

Le indagini effettuate nel corso degli anni hanno messo in luce queste principali problematiche, cercando di definire un possibile scenario di riferimento, ma altri sono stati gli indirizzi degli interventi fino ad oggi iniziati o portati a termine, spesso con una logica non del tutto coerente con le necessità proprie della zona umida. Da un lato si è scelta la strategia di captare acqua per gli usi domestici, sottraendola al lago per deviarla direttamente in mare e dall'altro si è progettato il prelievo di acqua dal vicino Serchio, motivandolo con la necessità di risanare il lago, ma in realtà finalizzato a soddisfare esigenze irrigue<sup>7</sup>, senza curarsi delle possibili conseguenze. Sebbene ad oggi su tale progetto vi siano mutamenti d'opinione<sup>8</sup>, le

finalità principali di molti interventi passati non hanno coinciso effettivamente con le esigenze di ripristino della zona umida che, nel frattempo, ha visto progredire il degrado causato dall'eutrofizzazione e da una gestione disattenta. La recente opportunità fornita dal Contratto di Lago<sup>9</sup> ha evidenziato quanto sia preponderante il peso degli aspetti socio economici rispetto alla primaria esigenza di ripristinare condizioni di stato ecologico funzionali e consoni agli obiettivi di riferimento, costati anni di indagini e indispensabili per il mantenimento di prerogative proprie di una zona umida. L'applicazione delle linee di indirizzo previste per la salvaguardia di questi particolari ambienti forse richiede *in primis* un serio impegno educativo che contrasti il notevole grado di arretratezza culturale sui temi ambientali.

#### Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento a Chiara Rustighi e Susanna Cavalieri per aver facilitato l'accesso alla banca dati di ARPAT e all'anonomo revisore per la lettura critica del manoscritto e i consigli suggeriti.

7 (<http://www.provincia.pisa.it/it/provincia/40080/La-salvezza-del-lago-di-Massaciuccoli.html>) (Data di accesso: 13/02/2018).

8 Mozione Consiglio Regionale n. 741, Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 17 del 26.04.2017.

9 (<http://www.architettilucca.it/pdf/guida-del-partecipante-cdl-massaciuccoli.pdf>) (Data di accesso: 13/02/2018).

#### BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1983. *Dal Calambrone al Burlamacca*. Nistri-Lischi Ed., Pisa, 141 pp.
- AA.VV., 1999. *Il risanamento del lago di Massaciuccoli*. Arpat, Firenze, 254 pp.
- AA.VV., 2013. *Agricoltura e tutela delle acque nel bacino del lago di Massaciuccoli*. Pacini Editori, Pisa, 287 pp.
- Alessio G., Baldaccini G.N., Bianucci P., Duchi A., Esteban Alonso J., 1994. Fauna ittica e livello trofico del lago di Massaciuccoli: dati preliminari. In: Cenni M. (ed.), *Atti del seminario "Problemi di eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli"* Massarosa, dic. 1992. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 167-180.
- Alessio G., Duchi A., Bercelli M., Baldaccini G.N., Bianucci P., 1997. Interrelazione tra ittiofauna e eutrofizzazione nel lago di Massaciuccoli. In: Cenni M. (Ed.), *Lago di Massaciuccoli 13 ricerche finalizzate al risanamento. 2° contributo*. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 347-378.
- Baldaccini G.N., 1995. *Considerazioni su alcuni macroinvertebrati dell'area umida del Massaciuccoli (Toscana)*. Il Bacino del Massaciuccoli. Collana di Indagini Tecniche e Scientifiche. Consorzio Idraulico di II Categoria. Pacini Editore, Pisa: 91-103.
- Baldaccini G.N., Bianucci P., 1994. Prime considerazioni sulla ecologia e sulla struttura delle componenti zooplanctonica e macrobentonica nel bacino del Massaciuccoli. In: Cenni M. (ed.), *Atti del seminario "Problemi di eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli"* Massarosa, dic. 1992. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 167-180.
- Baldaccini G.N., Bianucci P., 1986. Il padule del lago di Massaciuccoli: indagine idrobiologica in relazione all'attività di escavazione. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. S.B.*, **93**: 257-286.
- Baldaccini G.N., Cenni M., 1999. L'eutrofizzazione come processo degenerativo. In: AA.VV., *Il risanamento del lago di Massaciuccoli*. Arpat, Firenze: 23-35.
- Baldaccini G.N., Ercolini P., Bresciani O., 1999. Comunità zooplanctonica e macrobentonica nell'area palustre. Struttura e dinamica delle popolazioni sotto l'effetto dei mutamenti ambientali. In: AA.VV., *Il risanamento del lago di Massaciuccoli*. Arpat, Firenze: 124-152.
- Baldaccini G.N., Ercolini P., Mattioli M., 1997. Eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli. Composizione ed evoluzione temporale delle comunità zooplanctonica e macrobentonica. In: Cenni M. (ed.), *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 289-346.
- Baldaccini G.N., Ercolini P., 2016. Gestione della fauna ittica alloctona: riflessioni sulla normativa di settore. *Biologia Ambientale*, **30**: 57-66.
- Baldaccini N.E., Ercolini P., 2006. *Il popolamento animale*. In: Fanfani T. (ed.), *Terra e acqua, una bonifica per lo sviluppo*. Pacini Editori, Pisa: 111-131.
- Baneschi I., 2007. *Geochemical and environmental study of a coastal ecosystem: Massaciuccoli lake (northern Tuscany)*

- Italy). Tesi di Dottorato, Università Ca' Foscari, Venezia, 93 pp. <https://tel.archives-ouvertes.fr>. (data di accesso: 01/03/2018)
- Baneschi I., Gonfiantini R., Guidi M., Michelot J.L., Andreani D., Zuppi G.M., 2007. Isotopic and chemical study of lake Massaciuccoli, Tuscany. Hydrodynamic patterns, water quality and anthropogenic impact. *Proceedings of an International Symposium on Advances in Isotope Hydrology, Vol. I*, IAEA, Vienna: 317-326
- Baneschi I., Basile P., Guidi M., Pistocchi C., Risaliti R., Rossetto R., Sabbatini T., Silvestri N., 2013. I risultati ottenuti. In: AA. VV., *Agricoltura e tutela delle acque nel bacino del lago di Massaciuccoli*. Pacini Editori, Pisa: 105-166.
- Barbaresi S., 2002. Proprietà invasive di *Procambarus clarkii*. In: Petrini R. e Venturato E. (ed.), Atti convegno nazionale "La gestione delle specie alloctone in Italia: il caso della nutria e del gambero rosso della Louisiana". *Quaderni del Padule di Fucecchio*, 2: 89-94.
- Bini M., Sarti G., Da Prato S., Fabiani F., Paribeni E., Baroni C., 2009. Geoarchaeological evidences of changes in the coastline progradation rate of the Versilia coastal plain between Camaiore and Viareggio (Tuscany, Italy): possible relationships with late Holocene high-frequency transgressive-regressive cycles. *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 22 (2): 257-266.
- Brunelli G., Cannici G., 1935. Notizie preliminari sulle caratteristiche chimiche e biologiche del lago di Massaciuccoli. *Rend. Acc. Lincei*, 22, ser. VI, 12: 598-604.
- Brunelli G., Cannici G., 1942. Il lago di Massaciuccoli. *Boll. Pesca Pisc. Idrobiol.*, 18: 5-63.
- Caporali F., Palmerini M., 1981. *Il contributo dell'agricoltura al processo di eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli*. Collana di Indagini Tecniche e Scientifiche. Consorzio Idraulico di II Categoria. Pacini Editore, Pisa: 1-11.
- Cenni M., 1984. Risultati negativi di una indagine sulla presenza della lontra (*Lutra lutra* L.) nel bacino del Lago di Massaciuccoli ed osservazioni sull'ambiente. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie B*, 91: 233-239.
- Cenni M. (Ed.), 1994. *Atti del convegno "Problemi di eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, dic. 1992*. Universitaria Litografica Felici, Pisa, 223 pp.
- Cenni M. (Ed.), 1997. *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Universitaria Litografica Felici, Pisa, 410 pp.
- Cervellati P.L., Maffei Cardellini G., 1988. *Il Parco di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli: "la storia e il progetto"*. Marsilio Ed., Venezia, 274 pp.
- Cini C., Nottoli R., Calafà A., Manzione R., Giaconi V., 1997. Valutazione della concentrazione di nutrienti nel lago di Massaciuccoli. In: Cenni, M. (ed.), *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 115-130.
- Ciurli A., Alpi A., 1999. Valutazioni sulla capacità di ripresa delle macrofite acquatiche: limiti e certezze. In: AA.VV., *Il risanamento del lago di Massaciuccoli*. Arpat, Firenze: 169-184.
- Ciurli A., Zuccarini P., Alpi A., 2009. Growth and nutrient absorption of two submerged aquatic macrophytes in mesocosms, for reinsertion in a eutrophicated shallow lake. *Wetlands Ecol. Manage.*, 17: 107-115. DOI 10.1007/s11273-008-9091-9.
- Ciutti F., Cappelletti C., 2017. Invasioni biologiche: il caso del Lago di Garda. *Biologia Ambientale*, 31 (1): 1-6.
- Cognetti G., Sarà M., 1974. *Biologia marina*. Calderini, Bologna, 439 pp.
- Chelucci L., 2005. *I pesci del comprensorio del Massaciuccoli. Check list, distribuzione, note biologiche*. Tesi di Laurea, Università di Pisa, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, 151 pp.
- Crema R., 1989. *Osservazioni sulla situazione ecologica del bacino palustre di Massaciuccoli in rapporto con l'attività estrattiva della sabbia*. Rapporto inedito, SISA srl, Torre del Lago, 57 pp.
- Di Grazia A., Baldaccini I., Coscini N., Lorenzo D., Sadun S., 2011. *Rilievo batimetrico del Lago di Massaciuccoli e del suo reticolo idraulico*. [www.autorita.bacinoserchio.it](http://www.autorita.bacinoserchio.it) (data di accesso 27/09/2017): 1-25.
- Di Grazia A., Giannecchini L., Sadun S., 2009. *Problematiche da subsidenza indotta nel bacino del Lago di Massaciuccoli*. [www.autorita.bacinoserchio.it](http://www.autorita.bacinoserchio.it) (Data di accesso 06/02/2018): 1-54.
- Donato R., Rollandin M., Favaro L., Ferrarese A., Pessani D., Ghia D., 2018. Habitat use and population structure of the invasive red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in a protected area in northern Italy. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 419, 12: 1-10.
- Duchi G., 1985. Studio idrogeologico finalizzato alla determinazione dell'inquinamento da acque salmastre in un'area prospiciente la località Brentino (Viareggio). In: Ferrari R. (ed.), 1987, *Studio idrogeologico della piana versiliese*. Associazione Intercomunale della Versilia: 21-33.
- Duchi G., Ferrari R., Matraia M., Viti C., 1995. *Contributo alle conoscenze idrogeologiche sul bacino del lago di Massaciuccoli*. Il Bacino del Massaciuccoli. Collana di Indagini Tecniche e Scientifiche. Consorzio Idraulico di II Categoria. Pacini Editore, Pisa: 11-42.
- Ercolini P., 2015a. *Anodonta (Sinanodonta) woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia, Unionidae), nel comprensorio di bonifica idraulica della Versilia (Toscana nord-occidentale). *Biologia Ambientale*, 29 (1):15-20.
- Ercolini P., 2015b. Il siluro (*Silurus glanis* Linnaeus, 1758) nelle acque del Lago di Massaciuccoli: un rischio per la biodiversità. *Biologia Ambientale*, 29 (2): 35-38.
- Federigi P.R., 1987. *Stato attuale delle conoscenze geomorfologiche e geologiche del bacino del Massaciuccoli in Versilia (Toscana)*. Collana di Indagini Tecniche e Scientifiche, Consorzio Idraulico di II Categoria. Pacini Editore, Pisa: 27-52.
- Franchi A., Cavalieri S. (Ed.), 2016. *Risultati monitoraggio delle acque superficiali. Risultati 2015*. [www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it). (data di accesso: 31/01/2017), 64 pp.
- Frascardi F., Bergamini M.C., Caridei F., Misericocchi S., 1994. Studio geochimico sedimentologico dei fondali in funzione del ciclo delle sostanze nutrienti nel lago di Massaciuccoli. In Cenni M. (ed.), *Atti del seminario "Problemi di eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, dic. 1992*. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 87-101.
- Funari E., Scardala S., Testai E. (Ed.), 2008. *Cianobatteri potenzialmente tossici: aspetti ecologici, metodologici e valutazione del rischio*. Roma: Istituto Superiore di Sanità, Rapporti ISTISAN, 08/6: 4-29.
- Gabrielli I., Di Grazia A., 2014. *Analisi dati di conducibilità elettrica nel canale Burlamacca e Lago di Massaciuccoli*. [www.autorita.bacinoserchio.it](http://www.autorita.bacinoserchio.it) (data di accesso 27/09/2017): 1-113.
- Gherardi F., Baldaccini G.N., Ercolini P., Barbaresi S., De Luise G., Mazzoni D., Mori M., 1999. The situation in

- Italy. In: Gherardi F. e Holdich D.M. (Eds.), *Crayfish in European alien species. How to make the best of a bad situation?* A.A. Balkema Publishers, Rotterdam: 107-128.
- Geotecneco, 1975. *Accertamenti e indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio. I fase.* Ministero Agricoltura e Foreste, Roma, 50 pp.
- Lorenzoni M., Corboli M., Dörr A.J.M., Giovinazzo G., Selvi S., Mearelli M., 2002. Diets of *Micropterus salmoides* Lac. And *Esox lucius* L. in lake Trasimeno (Umbria, Italy) and their diet overlap. *Bull. Fr. Piscic.*, 365/366: 537-547.
- Marinelli A., Scalici M., Moccia G., Gibertini G., 2002. L'acclimatazione del persico trota (*Micropterus salmoides*, Lacepede 1802) nel Lago di Bracciano (Lazio). In: Petrini R., Venturato E. (Ed.), *Atti del Convegno Nazionale "La gestione delle specie alloctone in Italia: il caso della nutria e del gambero della Louisiana"*. Quaderni Padule di Fucecchio, n.2: 153-158
- Marinelli A., Scalici M., Gibertini G., 2004. Osservazioni preliminari sull'introduzione del persico trota (*Micropterus salmoides*, Lacépède 1802) nel Lago di Bracciano (Lazio). *Biologia Ambientale*, **18** (1): 251-254 pp.
- Marinelli A., Scalici M., Gibertini G., 2006. Alimentazione del persico trota (*Micropterus salmoides*, Lacépède 1802) nel Lago di Bracciano (Lazio). Descrizione della nicchia trofica. *Biologia Ambientale*, **20** (1): 301-303.
- Nardini A., Sansoni G., Schipani I., Conte G., Goltara A., Boz B., Bizzi S., Polazzo A., Monaci M., 2008. Problemi e limiti della Direttiva Quadro sulle Acque. Una proposta integrativa: FLEA (FLuvial Ecosystem Assessment). *Biologia Ambientale*, **22** (2): 1-16.
- Odum E.P., 1973. *Principi di Ecologia*. Piccin Editore, Padova, 584 pp.
- Pacini N., 2005. La gestione delle zone umide secondo la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60. *Ann. Ist. Super. Sanità*, **41** (3): 305-316.
- Paderi E., 1935. Modificazioni storiche del litorale dal Serchio a Motrone. *L'universo*, 16, 137: 2-11.
- Pandolfi P., 1975. *La sabbia silicea della Bassa Versilia e i suoi impieghi*. S.E.A., Carrara, 389 pp.
- Pedreschi L., 1956. Il lago di Massaciuccoli e il suo territorio. *Mem. Soc. Geogr. Ital.*, **22**, 225 pp.
- Pensabene G., Frascari F., Cini C., 1997. Valutazione quantitativa del carico di nutrienti e di solidi sospesi immessi nel lago di Massaciuccoli dai comprensori di bonifica di Vecchiano e Massaciuccoli. In: Cenni, M. (ed.), *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*, Universitaria Litografica Felici, Pisa: 131-147.
- Phillips G., 1992. A case study in restoration: shallow eutrophic lakes in the Norfolk Broads. In: Harper D. (ed.), *Eutrophication of freshwater*. Chapman & Hall, London: 251-277.
- Pistocchi C., Silvestri N., Rossetto R., Sabbatini T., Guidi M., Baneschi I., Bonari E., Trevisan D., 2012. A Simple Model to Assess Nitrogen and Phosphorus Contamination in Ungauged Surface Drainage Networks Application to the Massaciuccoli Lake Catchment, Italy. *Journal of Environmental Quality*, DOI 10.2134/jeq2011.0302: 544-553.
- Ramsar Convention Secretariat, 2013. *The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971), 6th ed.* Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland, 109 pp.
- Rongoni A., Duchi A., Baldaccini G.N., Alessio G., 1996. Il regime alimentare di alcune specie ittiche ed eventuali effetti di amplificazione dei livelli trofici nel lago di Massaciuccoli (Toscana). *Atti 6° Congresso A.I.A.D.*, Varese Ligure: 329-341.
- Sforza G., 1894. *La malaria e le cateratte automatiche in Versilia*. Tipografia E. Medici, Massa, 13 pp.
- Siligardi M., Avolio F., Bernabei S., Bucci M.S., Baldaccini G.N., Cappelletti C., Chierici E., Ciutti F., Floris B., Franceschini A., Mancini L., Minciardi M.R., Monauni C., Negri P., Pineschi G., Rossi G.L., Sansoni G., Spaggiari R., Tamburro C., Zanetti M., 2007. *I.F.F. 2007, Indice di Funzionalità Fluviale*. APAT, MATTM, APPA Trento. Roma, 325 pp.
- Simoni F., 1977. Sulle cause della moria di pesci nel lago di Massaciuccoli negli anni 1972-1977. *Rivista Italiana d'Igiene*, vol. **37**, 5-6: 363-380.
- Simoni F., Bianucci E., 1997. Composizione e ciclo del fitoplancton. In: Cenni, M. (ed.), *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*, Universitaria Litografica Felici, Pisa: 203-273.
- Simoni F., di Paolo C., Mancino A., Simoni F., Falaschi A., 2004. Microcystin concentrations in water and ichthyofauna of Massaciuccoli Wetlands (Tuscany). *Harmful Algae News*, **25**: 4-6.
- Sommani E., 1967. Variazioni apportate all'ittiofauna italiana dall'attività dell'uomo. *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.*, **2**: 149-166.
- Spandre R., Meriggi A., 1997. Studio idrologico del bacino del Lago di Massaciuccoli. In: Cenni, M. (ed.), *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 23-91.
- Swetnam T.W., Allen C.D., Betancourt J.L., 1999. Applied historical ecology: using the past to manage for the future. *Ecological applications*, **9** (4): 1189-1206.
- Tonolli V., 1969. *Introduzione allo studio della limnologia*. Ed. Istituto Italiano Idrobiologia, Verbania Pallanza, 288 pp.
- Tomei P.E., Garbari F., 1981. Considerazioni introduttive sulla flora e sulla vegetazione delle paludi di Massaciuccoli e di Porta. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. Ser. B*, **88**: 301-310.
- Tomei P.E., Barsanti A., Guazzi E., 1994. La zona umida del Massaciuccoli: analisi e distribuzione delle comunità vegetali. In: Cenni M. (ed.), *Atti del seminario "Problemi di eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli"* Massarosa, dic. 1992. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 153-166.
- Tomei P.E., Guazzi E., Barsanti A., 1997. La carta della vegetazione delle paludi e del Lago di Massaciuccoli. In: Cenni, M. (ed.), *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Universitaria Litografica Felici, Pisa: 275-288.
- Tortonese E., 1975. *Ostheichthyes*. Fauna D'Italia. Ed. Calderini, 636 pp.
- Viciani D., Dell'Olmo L., Vicenti C., Lastrucci L., 2017. Natura 2000 protected habitats, Massaciuccoli Lake (northern Tuscany, Italy). *Journal of Maps*, vol. **13**, No. 2: 219-226. DOI 10.1080/17445647.2017.1290557
- Wetlands Horizontal Guidance, 2003. *The role of wetlands in the water framework directive. Guidance document n° 12*. WFD Common Implementation. Strategy, Bruxelles: European Commission, 61 pp. [https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20\(WG%20B\).pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/47ac25cc-3b7f-4498-a542-afd9e3dc3a4b/Guidance%20No%2012%20-%20Wetlands%20(WG%20B).pdf) (Data di accesso: 15/06/2018)
- Zuccarini P., Ciurli A., Alpi A., 2011. Implications for shallow lake manipulation: results of aquaria and enclosure experiments manipulating macrophytes, zooplankton and fish. *Applied Ecology And Environmental Research*, **9** (2): 123-140. DOI 10.15666/Aeer/0902\_123140.