

IL RISANAMENTO DEL LAGO DI MASSACIUCCOLI



ENTE-PARCO REGIONALE MIGLIONE
SAN ROSSO E MASSACIUCCOLI



ARPAT

AUTORI

Amedeo Alpi

Ordinario di Fisiologia vegetale,

Dipartimento di Biologia delle Piantе Agrarie, Università degli Studi di Pisa

Gilberto Natale Baldaccini

ARPAT, Dipartimento provinciale di Lucca, Unità operativa Tutela della risorsa idrica

Ornella Bresciani

ARPAT, Dipartimento provinciale di Lucca, Biologa in tirocinio volontario

Mario Cenni

ARPAT, Area per la tutela dell'ambiente marino, lagunare, lacustre, costiero e dell'ittiofauna

Carlo Cini

ARPAT, Dipartimento provinciale di Pisa, Unità operativa di Chimica ambientale

Adriana Ciurli

Dipartimento di Biologia delle Piantе Agrarie,

Università degli Studi di Pisa

Claudio Di Paolo

ARPAT, Dipartimento provinciale di Lucca, Sezione regionale eutrofizzazione e tossine algali

Paolo Ercolini

ARPAT, Dipartimento Provinciale di Lucca, Biologo convenzionato

Vladimiro Giaconi

ARPAT, Responsabile del Dipartimento provinciale di Pisa e f.f. del Dipartimento provinciale di Lucca

Leonardo Gianecchini

Consorzio di Bonifica Versilia - Massaciuccoli

Alessandro Lippi

Direttore generale ARPAT

Massimiliano Mattioli

ARPAT, Dipartimento provinciale di Lucca, Biologo convenzionato

Sergio Paglialunga

Direttore Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli

Amerigo Simi

Ingegnere capo, Comune di Vecchiano

Franco Simoni

ARPAT, Dipartimento provinciale di Lucca, Responsabile Sezione regionale eutrofizzazione e tossine algali

Rocco Sturchio

Gea S.p.a. Servizi per l'Ambiente

Paolo Tacconi

Ordinario di Geologia Applicata,

Direttore dell'Istituto di Ingegneria Ambientale, Università di Perugia

Arnaldo Tonelli

Specializzato in termografia,

Direttore responsabile della "Rivista Italiana di Telerilevamento"

INDICE

Presentazione	p. 9
<i>Vannino Chiti</i>	
Prefazione	11
<i>Alessandro Lippi</i>	
Premessa	14
<i>Stefano Maestrelli</i>	
PARTE INTRODUTTIVA	
1. L'eutrofizzazione come processo degenerativo	23
<i>Gilberto Natale Baldaccini, Mario Cenni</i>	
2. Il Piano di Gestione dell'Ente Parco per il Lago di Massaciuccoli e il suo padule	36
<i>Sergio Paglialunga</i>	
CONTROLLO SULLO STATO TROFICO DEL SISTEMA LACUO - PALUSTRE	
3. La distribuzione dei nutrienti nel bacino del Lago di Massaciuccoli	55
<i>Carlo Cini</i>	
4. Evoluzione del fitoplancton in aree campione e in zone sperimentali interessate da interventi di risanamento	67
<i>Franco Simoni, Massimiliano Mattioli, Claudio Di Paolo</i>	
5. Comunità zooplanctonica e macrobentonica nell'area lacustre. Struttura e dinamica delle popolazioni sotto l'effetto dei mutamenti ambientali	124
<i>Gilberto Natale Baldaccini, Paolo Ercolini, Ornella Bresciani</i>	
6. Valutazioni sulle capacità di ripresa delle macrofite acquatiche: limiti e certezze	169
<i>Adriana Ciurli, Amedeo Alpi</i>	
7. Rilievi termografici da postazioni fisse su aree costiere del lago di Massaciuccoli. Tecniche di telerilevamento applicate alla ricerca delle fonti di alimentazione del lago	185
<i>Arnaldo Tonelli</i>	

GLI INTERVENTI PER IL RISANAMENTO DEL LAGO

8. Il panorama degli interventi di risanamento periferici <i>Mario Cenni</i>	197
9. Interventi per il recapito dei reflui dei depuratori di Migliarino e Vecchiano fuori dal bacino del Massaciuccoli <i>Amerigo Simi, Rocco Sturchio</i>	211
10. La discarica "Le Carbonaie" <i>Vladimiro Giaconi, Alessandro Lippi, Paolo Tacconi</i>	217
11. Ristrutturazione del depuratore di Massarosa in funzione del riutilizzo delle acque in agricoltura <i>Vladimiro Giaconi</i>	228
12. Le opere del Consorzio di Bonifica Versilia-Massaciuccoli: loro valenza in direzione del risanamento <i>Leonardo Giannecchini</i>	233
13. Le azioni dei progetti: Life-Natura '97 "Risanamento del Massaciuccoli, sito elettivo del tarabuso" e Life-Natura '99 "Massaciuccoli 2ª fase: riduzione dei sedimenti e biomanipolazione" <i>Mario Cenni</i>	242

PRESENTAZIONE

Vannino Chiti

Presidente della Regione Toscana

Il Lago di Massaciuccoli per i suoi valori storici, per le peculiarità del suo ambiente naturale e del paesaggio, per le tradizioni locali, rappresenta nel territorio Versiliese un'emergenza culturale di centrale rilievo. La Regione Toscana ha investito nella sua protezione notevoli risorse, umane e finanziarie, a far data dal 1979, quando tutto il perimetro dell'area lacuo palustre fu incluso nel territorio del Parco Naturale di Migliarino S. Rossore Massaciuccoli. Era quello il primo segnale che fu dato sulla destinazione prospettata per questo complesso ambiente naturale, la cui delicatezza imponeva norme e piani particolari atti a ricondurlo alla qualità ambientale di cui godeva fino alla metà del secolo. Tale operazione di riqualificazione ambientale si è potuta iniziare solo quando il Consorzio del Parco MSRM (oggi Ente Parco) ha potuto mettere in campo una minima struttura tecnica in grado di organizzare un programma dei lavori, un piano, che potesse accogliere e trasformare in iniziative di risanamento tutte le indicazioni tecnico scientifiche prodotte a far data dagli anni '40 da singoli esperti, ma successivamente ampliate e migliorate dai ricercatori delle strutture di controllo del territorio (Servizi Multizonali di Prevenzione oggi ARPAT) ed universitarie. Da questi apporti di carattere scientifico è scaturito un quadro circostanziato delle cause che hanno condotto il lago alla precaria condizione ambientale odierna, svelandone le sue cause e suggerendo rimedi pratici ed attuabili.

Il primo passo per l'organizzazione e l'indirizzo delle ricerche è stato fatto nel 1990, quando con il P.I.M. 4.1 / '88 "Riassetto lacuo palustre", cofinanziato fra U.E. e Regione Toscana, è stato impostato un programma di lavoro di ricerca triennale durante il quale si sono apprezzate, e messe a confronto, le modifiche avvenute dagli anni '60 e le cause di inquinamento puntiforme e diffuso esistenti nel bacino.

Un secondo programma di lavoro, costituito da 13 diverse linee tecnico scientifiche, è stato interamente finanziato dalla Regione Toscana. Con questa fase si sono individuate anche le progettazioni periferiche, indirizzate alla riduzione dell'impatto proveniente dalle aree antropizzate circostanti, e le prove generali per l'esecuzione del risanamento del lago procedendo per parti.

Questa fase ha avuto un'appendice finale, tuttora in corso, nella quale i diversi gruppi scientifici hanno controllato, ognuno per le proprie competenze, lo svolgimento di esperimenti sul campo, resi possibili da un progetto *Life - Natura '97*. L'U.E. ha, infatti, riconosciuto la qualità dell'intervento che era in corso sul Massaciuccoli cofinanziando al 50% il progetto "Risanamento del Massaciuccoli, sito elettivo del tarabuso". Tale progetto, descritto nel presente volume, ha lo scopo di attuare le prove di risanamento su piccole superfici, facilmente controllabili. Da queste esperienze sarà possibile espandere gli interventi ad aree più vaste.

In ultimo, il Parco ha presentato nel 1998 un ulteriore progetto all'U.E. dal titolo "Massaciuccoli 2ª fase, riduzione dei sedimenti e dei nutrienti", il quale mira a fondere la strategia di riduzione di tali sostanze sia a livello di input esterno, sia come carico interno al bacino, già presente.

Lo sforzo delle Amministrazioni Locali deve oggi essere quello di mettere a norma i propri impianti di depurazione, o meglio, come di recente stabilito, deve essere indirizzato a deviarne completamente i reflui dal bacino di Massaciuccoli.

Il risanamento sarà possibile con l'identificazione delle competenze di tutti i soggetti pubblici da ARPAT al Parco, dall'Autorità di Bacino al Consorzio di Bonifica. La Regione per suo conto sosterrà tutte le iniziative tese a restituire al Massaciuccoli il suo antico prestigio.

PREFAZIONE

Alessandro Lippi

Direttore generale ARPAT

La pubblicazione di questo volume è stata fortemente voluta dall'Agenzia. Abbiamo ritenuto, infatti, necessario informare l'opinione pubblica e gli addetti ai lavori di ciò che sul Massaciuccoli è stato realizzato, con il concorso di ARPAT, negli ultimi due anni per dare continuità all'azione di risanamento ambientale dell'area. I materiali del volume vogliono contribuire a far meglio comprendere la "logica" dei lavori di risanamento che si stanno realizzando sul lago e che hanno coinvolto a più riprese gli operatori dell'Ente Parco, di ARPAT, delle Università, toscane e non, e alcuni ricercatori esperti in particolari materie.

Il "caso" ambientale del Massaciuccoli è un esempio emblematico delle conseguenze negative che la politica territoriale degli anni '50 e '60, e un poderoso sviluppo demografico ed economico, hanno avuto sugli ecosistemi più sensibili della penisola. Il bacino del lago ed il connesso sistema palustre sono stati, a suo tempo, considerati semplici invasi d'acqua, in grado di accogliere senza ripercussioni gli apporti idrici inquinati, che le attività umane circostanti stavano producendo. In quel periodo, in cui dominava l'assenza di riferimenti legislativi di protezione ambientale, agli albori della limnologia in quanto scienza e della conoscenza diffusa del fenomeno dell'eutrofizzazione, era certo ben difficile prevedere le dinamiche che lo sviluppo economico e sociale dell'area avrebbero innescato sul baricentrico lago di Massaciuccoli. I paesi rivieraschi di Vecchiano, Massaciuccoli, Bozzano, Massarosa, Torre del Lago, che avevano utilizzato il lago per le sue risorse naturali, per la caccia, la pesca, la raccolta del falasco e della canna e come via di trasporto e di accesso al mare, proprio per la loro posizione e per lo sviluppo che stavano vivendo, inconsapevolmente iniziavano a distruggerlo. Il processo lento, ma continuo, di conferimento dei nutrienti attraverso i reflui civili ed agricoli, unitamente agli apporti di sedimenti che si accumulavano nel bacino hanno causato, come questo volume documenta, una modificazione drastica dell'ecosistema.

Le acque limpide e ricche di vita si sono gradatamente trasformate, intorbidandosi e perdendo molte specie animali e vegetali tipiche di questa zona; allo stesso tempo hanno iniziato a diminuire le specie di uccelli, che tanta parte hanno avuto nel determinare il folclore e le tradizioni di questi luoghi: è quasi universalmente nota la grande passione per la "caccia" sul lago di Giacomo Puccini, che su un lembo del Lago volle fissare la sua dimora.

La coscienza ecologica sviluppatasi negli anni '80 (è del 1979 la legge regionale istitutiva del Parco Migliarino S. Rossore Massaciuccoli) si è fatta strada, se pure lentamente e con tante contraddizioni, anche nelle Amministrazioni locali, come riflesso di una puntuale politica comunitaria, che prevedeva cospicui co-finanziamenti per opere di prevenzione dell'inquinamento e di miglioramento della depurazione dei reflui. Maggiore consapevolezza e disponibilità di risorse hanno dato inizio ad un periodo di "ripensamento" delle strategie territoriali, che iniziavano ad attribuire maggiore attenzione e preminenza alle questioni della protezione ambientale. Alcune grandi opere sono state il frutto di questa rinnovata coscienza, come, ad esempio, la realizzazione della rete fognaria di Torre del Lago ed il processo di "upgrade" del depuratore di Vecchiano; altre, più recenti, realizzate interamente grazie all'intervento della Regione Toscana e dell'Autorità di Bacino del Serchio, sono descritte in questo volume ed hanno reso possibili alcune sperimentazioni, propedeutiche all'esecuzione di opere su più vasta scala. Ricordo qui la chiusura dei Canali di Centralino, Punta Grande e Fosso Morto, eseguita per verificare il comportamento del lago, qualora fosse isolato dagli apporti inquinanti esterni. Le sperimentazioni hanno contribuito in modo sostanziale alla formulazione di un vero e proprio "Piano per il bacino di Massaciuccoli", nel quale si individuano tutte le azioni da intraprendere per il miglioramento delle sue condizioni ambientali. Questo Piano, descritto nel volume, è frutto di circa dieci anni di ricerche condotte dagli esperti e costituisce la base per il risanamento, ancora possibile, del lago.

Gli impegni economici che ne derivano non sono modesti; si tratta di realizzare opere per diversi miliardi e di imprimere la giusta accelerazione affinché, all'interno del corpo idrico, sia l'ecosistema stesso a ritrovare la strada dell'autodepurazione, come leggerete negli articoli che seguono.

Il compito di ARPAT in quest'opera preliminare di controllo e ricerca e di supporto tecnico è stato ed è importante; l'Agenzia riveste, infatti, un ruolo operativo, sulla base delle scelte e degli indirizzi del Parco, fondamentale nel definire e seguire gli interventi di risanamento interni, nell'indirizzare le progettazioni impiantistiche dei Comuni rivieraschi, nel controllare l'effi-

cienza degli stessi impianti e nello stabilire i limiti di accettabilità dei reflui, rapportandoli alle esigenze ecologiche del bacino. A questo si aggiunge un attento e paziente lavoro sperimentale, connesso alla biomanipolazione, condotta in sinergia con il Parco, che riveste carattere di novità assoluta per modalità attuative e dimensioni. Lo spirito che ha mosso e muove la Direzione e gli operatori dell'Agenzia in quest'opera si è dimostrato inossidabile al tempo ed è il risultato di una lunga collaborazione fra i dipartimenti di Pisa e di Lucca ed il Servizio Locale della Versilia di ARPAT che, tramite i suoi operatori, addetti dei "vecchi" SMPA negli anni Ottanta, lavora al miglioramento del Lago Massaciuccoli da circa un ventennio.

PREMESSA

Stefano Maestrelli

Presidente Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli

In questo volume, che segue i primi due nei quali venivano illustrati i risultati delle ricerche finalizzate al recupero ambientale del lago, vengono presi in considerazione tutti gli aspetti relativi agli interventi volti ad una corretta gestione del bacino del Massaciuccoli.

I dati, le relazioni, gli indirizzi qui contenuti rappresentano un importante salto di qualità rispetto a quell'ambizioso progetto che è stato denominato "Risanamento del lago e del bacino del Massaciuccoli".

L'impegno profuso nella realizzazione delle ricerche indica il valore che questo ambiente costituisce per il Parco e trova riscontro nella originalità delle iniziative che l'Ente, insieme alla Regione Toscana e ad ARPAT, pone in essere per il suo recupero.

Nei programmi triennali del Parco Migliarino San Rossore Massaciuccoli abbiamo definito l'attuazione del risanamento del Lago e del Padule come la misura della validità della presenza del Parco nel territorio.

Sull'attuazione del risanamento del Lago vogliamo misurare l'efficienza e la capacità del Parco di attuare uno dei suoi fini principali: essere il motore di una riconversione del modello di sviluppo di un territorio vasto.

Oggi in questo impegno il Parco non è più isolato, ma svolge le proprie attività ed azioni in piena collaborazione con la Regione Toscana unitamente alle Province di Pisa e di Lucca e ai tre Comuni di Vecchiano, Viareggio e Massarosa, avvalendosi della competenza tecnico-scientifica di ARPAT e di quella specifica del nuovo Consorzio di Bonifica.

Tutto questo non rappresenta solo un dato organizzativo ma un fatto "politico" di grande significato: la consapevolezza del valore di questo ambiente naturale e la necessità di interventi di risanamento e salvaguardia costituiscono un patrimonio culturale collettivo ed unitario degli enti territoriali di questa parte della Toscana.

L'area umida del Massaciuccoli si estende a cavallo delle province di Pisa

e di Lucca con un perimetro di oltre 30 chilometri ed una estensione complessiva di circa 2.000 ettari (700 il lago e 1.300 il padule).

Quest'area testimonia un'evoluzione storica e geografica del litorale pisano-versiliese che è passato dall'essere un'estesa baia lagunare contornata dalle Alpi Apuane, dai Monti Pisani, dalle colline livornesi ai tempi dei romani, ad un insieme di stagni retrodunali colmati poi per l'arretramento del mare e per l'apporto dei sedimenti solidi del delta dell'Arno prima e, in seguito, delle foci del Serchio e dell'Arno.

Il bacino del Massaciuccoli rappresenta quindi un "relict" di questa storia della formazione di un'intera pianura, il cui avanzamento si è realizzato attraverso la formazione dei cordoni dunali a mare a cui è poi seguita la colmata delle paludi retrostanti con lo sviluppo di una vegetazione igrofila e una foresta allagata.

Ma ciò che rappresenta e caratterizza la ricchezza del bacino del Massaciuccoli, che può apparire come un'estesa e affascinante "prateria" in cui si alternano il canneto e il falasco, un paesaggio celebrato dalla tradizione pucciniana, è l'esistenza al proprio interno di almeno tre distinte tipologie ambientali che aumentano il grado di biodiversità con mondi vegetali e animali fortemente collegati tra loro, ma con specifiche caratteristiche: le acque libere alte, i chiari di acque basse e il canneto.

Ciascuno di questi ambienti è caratterizzato da un particolare rapporto tra avifauna presente e vegetazione: la zona del centro del lago è il regno dei tuffatori come lo svasso, il tuffetto e il raro falco pescatore che trovano nelle acque alte il proprio nutrimento, mentre le acque basse sono le zone privilegiate dagli anatidi, come il germano reale, ma anche dagli uccelli che amano la zona limacciosa, i limicoli, e dal pregiato cavaliere d'Italia.

Il canneto rappresenta l'area preferita di alcune specie di grande valore quali l'airone rosso, il tarabusino e il tarabuso, che ha qui la più significativa area italiana di sosta e riproduzione.

Tra queste aree estese emergono altre particolarità del bacino di Massaciuccoli, i "tesori" botanici come certi particolari muschi, gli sfagni, che rappresentano una rarità a questa latitudine e quota, e che ospitano la così detta pianta carnivora *Drosera rotundifolia*.

Oltre ai relitti dei periodi glaciali, ricordo specie floristiche relitte di periodi caldi, quali la felce florida (*Osmunda regalis*), la più grande specie di felce in Italia, e l'inconfondibile ibisco palustre, dal grande fiore rosato.

Questo stupendo e ricco equilibrio tra zone diverse tra loro è da alcuni decenni in pericolo, ed è sottoposto a fenomeni di degrado che rischiano di

far perdere a tutti noi una grande ricchezza, un patrimonio ambientale e naturale di valore internazionale. Con gli studi finanziati nel 1991 dalla Comunità Europea, a dimostrazione dell'interesse sovranazionale, si è avviata la fase di ricerca con l'obiettivo di individuarne e valutarne le cause.

La prima, e forse la più significativa, è il processo di eutrofizzazione. Questo termine, ormai più volte usato nelle cronache ambientali, se da un punto di vista etimologico segnala il buono stato di nutrimento di un organismo, indica per gli ambienti acquatici l'eccessiva presenza di sostanze nutrienti tra cui i sali di fosforo e i composti azotati, che producono in un primo tempo lo sviluppo di una florida vegetazione algale, ma successivamente conducono all'affermarsi dei popolamenti micro-algali, che rendono le acque più torbide e portano alla scomparsa della vegetazione originaria dei fondali.

Le cause di questo fenomeno sono ormai state individuate negli apporti degli scarichi civili non depurati o mal depurati e nel dilavamento dei terreni agricoli della bonifica, chimicamente trattati. Su questi aspetti bisogna concentrare le nostre azioni per superare lo stato di degrado e produrre l'ancora possibile risanamento.

Il secondo fenomeno è quello dell'interrimento, forse più collegato alla stessa storia del territorio, dovuto al particolare regime idraulico che regola l'insieme del bacino e degli apporti solidi che confluiscono nel lago dalle aree circostanti. Anche per questo fenomeno è necessario definire quali interventi operativi saranno necessari per invertire la tendenza. Tra le soluzioni ricordo in primis il progetto leader sul piano europeo per l'inerbimento della rete scolante delle bonifiche, ed eventualmente la stessa rimozione dei fondali inquinati.

Il superamento di questi due fenomeni ed il risanamento necessitano di due fasi principali non necessariamente distinte temporalmente nelle diverse aree del Parco:

- a) l'eliminazione delle cause del degrado;
- b) la rimozione degli effetti prodotti.

La prima fase comprende gli interventi tesi a ridurre e contenere le immissioni di sedimenti e di nutrienti dalle aree circostanti. Riguardo questa prima fase bisogna far rilevare un importante cambiamento di strategia: non più l'affinamento tecnologico degli impianti di depurazione, ma l'eliminazione di qualsiasi immissione proveniente da impianti di depurazione o da scarichi civili comunque trattati, adottando anche per Vecchiano e Massarosa la stessa soluzione già praticata per Torre del Lago.

La seconda comprende le modalità di eliminazione e rimozione dei fondali

melmosi inquinati o dei loro effetti negativi. Per questa seconda fase si tratta di avviare alcune sperimentazioni che inizino da quella, sicuramente necessaria, ma lunga e non semplice, fase di rimozione del "cappello melmoso" depositato sul fondo del lago, di spessore variabile tra 30 e 50 cm. sui 700 ettari di superficie lacustre, ricco di fosforo e di azoto e quindi probabilmente utilizzabile, a seguito di lavorazione, come ammendante agricolo.

La concreta attuazione di queste due fasi necessita prima di tutto di una ampia convergenza sul valore strategico dell'obiettivo del risanamento di questo ambiente. Dovranno essere definiti comuni indirizzi da perseguire, ciascuno secondo i propri ruoli, da parte dell'insieme degli Enti Pubblici che hanno competenza su questo territorio.

Mi sembra che dal 1992 abbiamo fatto passi da gigante attraverso l'attività di programmazione dell'Autorità di Bacino e che grazie al coinvolgimento diretto dei Geni Civili, dei Consorzi di Bonifica, delle Provincie, dei Comuni e di ARPAT ed A.R.S.I.A. si sia sviluppata, anche a seguito dell'iniziativa del Parco, un'elevata coscienza dei problemi ed una chiara individuazione di obiettivi comuni.

Penso però che per tutti noi sia necessario, anche a partire da oggi, un salto di qualità operativo per la realizzazione degli interventi già definiti, per la progettazione di quelli indicati, per la ricerca dei finanziamenti necessari.

In conclusione vorrei indicare alcuni punti operativi su cui concretizzare quelle fasi di risanamento prima indicate:

a) il risanamento delle due discariche delle Carbonaie e di Pioppogatto rappresenta ormai non solo un vincolo di legge, ma un prioritario intervento di risanamento anche come simbolico elemento che rappresenta una diversa valutazione di questo ambiente da parte degli Enti Locali;

b) il completamento della rete fognaria degli scarichi civili, avviando un'analisi ed una verifica per evitare qualsiasi scarico diretto, agevolando l'allaccio di ogni utenza alle reti;

c) l'allontanamento dei reflui dei depuratori di Massarosa, Vecchiano e Migliarino esternamente al bacino del Lago di Massaciuccoli, prevedendo l'utilizzo del depuratore di San Jacopo in Pisa per i reflui del Comune di Vecchiano e l'utilizzo degli affluenti del depuratore di Massarosa per l'irrigazione di attività agricole e di florovivaismo della pianura versiliese;

d) il controllo sul bilanciamento idrico del Bacino favorendo immissioni di acque pulite (captazione generale del Serchio, acque di Case Rosse) e la verifica dei consumi per usi agricoli con la realizzazione del Piano della Bonifica;

e) la limitazione del trasporto di terreno dalla bonifica verso il Lago con conseguente trasporto di nutrienti agricoli e interrimento del lago, oltre alle necessarie azioni per lo sviluppo di un'agricoltura eco-compatibile;

f) l'avvio di sperimentazioni per il risanamento di parte del padule (come il Canale centralino) in cui definire le modalità per la ripresa vegetativa e per l'asportazione del materiale depositato;

g) l'avvio di un progetto sperimentale per l'asportazione, tramite dragaggio selettivo, del "cappello" di melma depositato negli anni, iniziando da una prima area di circa 10 ha.

Questi rappresentano solo alcuni punti operativi che, come è facile vedere, coinvolgono competenze diverse ma tra loro correlate, che potranno essere attivate con più efficacia se verrà mantenuto quel tavolo di coordinamento già avviato tra gli Enti interessati su iniziativa dell'Ente Parco.

È comunque chiaro che l'opera di risanamento dovrà avvenire mentre si individuano ed attivano le iniziative per la fruizione del bacino del Massaciuccoli, ed in questo senso si inserisce l'adozione del Piano di Gestione dell'intero bacino settentrionale del Lago.

Lo stesso Piano di Gestione del bacino settentrionale del Lago di Massaciuccoli rappresenta un ulteriore intervento di risanamento ambientale. Un risanamento che, però, non interviene direttamente sugli elementi ambientali e naturali, ma cerca di avviare un'opera complessa che può compiersi solo grazie all'accordo con le molte proprietà presenti, e che trasformi quelle strutture residuali di attività artigianali o industriali non più attuali ed in alcuni casi abbandonate. Un grande progetto di ristrutturazione e di risanamento urbanistico che tende a favorire la sostituzione di attività attualmente non congrue con la natura di questa area, con strutture ed attività che vi trovino un riferimento, con strutture ricreative, sportive, culturali che comunque favoriscano la conoscenza e la fruizione del Lago e del Padule.

Due indirizzi, il risanamento ambientale e la riqualificazione urbanistica, diversi ma collegati sui quali l'Ente Parco, unitamente agli Enti Locali che insistono su questo territorio, lavorerà per un loro avanzamento coordinato.

La prossima approvazione, nel mese di ottobre 1999, del Piano di Gestione aprirà un nuovo campo di intervento per il miglioramento dell'intero bacino.

Abbinare risanamento e sviluppo della conoscenza, dell'uso sociale, rappresenta il vero obiettivo del Parco, tanto che già in questa fase e in anticipazione all'approvazione del Piano di Gestione abbiamo approvato e finanziato la realizzazione di camminamenti ed osservatori per il "bird watching" nella riserva di Punta Grande.

La stessa pubblicazione di questo volume, a cura di ARPAT, sta a dimostrare come soltanto attraverso la piena collaborazione tra tutti gli organismi si possa giungere ai risultati sperati.

E concludendo, il messaggio che oggi vogliamo lanciare è quello della necessità della convergenza delle azioni per il risanamento di un ambiente di straordinaria bellezza e qualità ambientale che è stato però messo in pericolo da un tipo di sviluppo che non ha considerato che le risorse naturali non solo sono limitate, ma anche irripetibili.

Il compito è certamente alto e gravoso, ma penso che siano in campo la volontà, le conoscenze, le capacità e le intelligenze per riuscire.

Se l'iniziativa dell'insieme degli Enti e degli operatori interessati avrà la capacità di produrre una progettualità adeguata, tale da far convergere su questa area i finanziamenti necessari per concretizzare gli interventi di risanamento proposti, sarà possibile non solo progredire nell'opera di risanamento di un ambiente irripetibile, ma anche fare di questo una risorsa che può produrre un'economia alternativa ed ecocompatibile attraverso attività ricettive, ricreative e didattiche basate sulla qualità ambientale del Massaciuccoli.

In questo modo il Parco riuscirà a realizzare il vero obiettivo della sua esistenza, cioè quello di essere il motore di avviamento di un nuovo modello di sviluppo territoriale basato sulla fruizione della qualità ambientale.

PARTE INTRODUTTIVA

1. L'EUTROFIZZAZIONE COME PROCESSO DEGENERATIVO

Gilberto Natale Baldaccini, Mario Cenni

La maggior parte dei laghi delle aree antropizzate del pianeta è stata sottoposta, nel corso degli ultimi 50 anni, al processo degenerativo noto con il termine di eutrofizzazione culturale (Odum, 1973). Tale processo ha interessato anche buona parte degli ambienti lacustri del territorio nazionale (Chiaudani *et al.*, 1978; Cordella, 1981; Marchetti, 1987), compreso il Lago di Massaciuccoli. Per questi si sono poste le stesse problematiche che hanno dato avvio allo studio del fenomeno a livello mondiale, nell'intento di ricercare le metodologie più idonee per il suo contenimento. L'eutrofizzazione infatti, a vari livelli e per diversa intensità, provoca nell'ecosistema acquatico alterazioni che si ripercuotono sulle varie attività e sugli usi a cui esso è destinato (Marchetti, 1987; Moss, 1988).

Il processo di eutrofizzazione ha inizio con un aumento della disponibilità di sostanze nutrienti (carbonio, azoto, fosforo ecc.), provenienti in genere dai prodotti di rifiuto delle attività umane, che accelera le fasi attraversate dalla vita di un lago. L'eutrofizzazione si dice naturale quando queste fasi si svolgono a seguito di cause naturali, lungo tempi che possiamo definire secolari.

Gli effetti che scaturiscono dal processo di eutrofizzazione tendono a mutare radicalmente le condizioni ambientali, alterando in special modo gli aspetti estetici e funzionali del sistema lacustre.

L'ecologia di un lago, la natura delle sue acque, la qualità della vita acquatica, dipendono in larga misura dal bacino di drenaggio dal quale il corpo idrico viene alimentato (Moss *et al.*, 1985). Il lago di Massaciuccoli è alimentato, in misura maggiore, dalle acque drenate dai terreni agricoli e, in minima parte oramai, dalle acque limpide delle sorgenti pedecollinari. Queste ultime nel tempo sono state sempre più sostituite dai reflui degli impianti per il trattamento dei liquami, se non dai liquami stessi.

Nelle acque provenienti dalle aree agricole sono disciolte migliaia di sostanze organiche e inorganiche, oltre a una grande quantità di particellato so-

lido sospeso. Quasi tutte queste sostanze influenzano l'ecologia del lago, sebbene alcune siano più importanti di altre. Tutte comunque contribuiscono ad arricchirne le acque di sali minerali, alcuni dei quali indispensabili per i processi metabolici di molti organismi acquatici (sali di calcio, ferro, magnesio ecc.), altri invece, presenti in quantità eccessive, sono in grado di alterarne definitivamente il chimismo (cloruri, nitrati ecc.).

Un notevole apporto di particolato solido produce l'arricchimento dei sedimenti lacustri, il cui aumento va in parte connesso con la progressiva meccanizzazione dell'agricoltura.

Una particolare importanza rivestono gli input di azoto e fosforo per lo stato trofico dell'ecosistema lacustre. La vegetazione del bacino di drenaggio necessita di tali sostanze, che di solito sono relativamente scarse. La vegetazione naturale ha evoluto meccanismi per trattenere questi sali che potrebbero altrimenti essere dilavati dal suolo, in modo da mantenere alta la produzione senza necessità di fertilizzazione (Moss *et al.*, 1985). Di conseguenza le acque di drenaggio provenienti da zone del bacino sufficientemente naturali o "naturalizzate" (Newbold *et al.*, 1989) non fertilizzano l'ambiente lacustre, anche se attraversano suoli abbastanza erodibili.

Per quanto riguarda invece le acque provenienti dal dilavamento dei terreni agricoli, trattati periodicamente con fertilizzanti chimici, varie e controverse sono le ipotesi relative alla possibilità di rilascio dei nutrienti, specie per quanto riguarda il fosforo (Marchetti, 1987; Moss *et al.*, 1985; Moss, 1988; Sequi *et al.*, 1991; Phillips, 1991).

Le aree pianeggianti non hanno favorito solo l'agricoltura; in esse si sono infatti sviluppati insediamenti urbani e produttivi, dai quali è sorto il problema degli scarichi. Tale problema è stato in parte affrontato con la costruzione di impianti centralizzati per il trattamento dei liquami, i cui reflui conferiscono al bacino un apporto di natura certamente diversa da quella del drenaggio agricolo.

I depuratori rimuovono in genere la materia organica, trasformandola in sali minerali e fanghi separabili dall'effluente; almeno a livello teorico non costituiscono quindi con i loro scarichi un impatto diretto sui corpi idrici con sottrazione di ossigeno e morie di pesci. Notevole risulta invece l'apporto di nutrienti in termini di azoto (N), ma soprattutto fosforo (P), che può raggiungere concentrazioni elevate, per un fattore di molte centinaia di volte maggiore rispetto a quelle rilasciate da una terra pur intensamente coltivata (Moss *et al.*, 1985). Il volume delle acque di drenaggio dei suoli è tuttavia maggiore del volume degli scarichi urbani così che, in corpi idrici interessati

da entrambe le sorgenti, l'azoto può essere attribuibile al drenaggio dei terreni agricoli e la concentrazione del fosforo agli effluenti degli impianti di depurazione.

Nei laghi che ricevono acque ricche di nutrienti la produttività può aumentare, ma in genere con una tendenza alla diminuzione della varietà delle specie. Le piante acquatiche iniziano a formare densi letti, assorbendo nutrienti sia dall'acqua che dai sedimenti, ma anche il fitoplancton (microalghe) ha la potenzialità di un elevato accrescimento e può formare dense fioriture che possono oscurare le piante acquatiche. Le conseguenze della competizione tra le microalghe, che traggono vantaggio dai nutrienti e da un assorbimento più immediato dell'energia luminosa, e le piante acquatiche, che hanno un migliore rifornimento di nutrienti, sono meno soggette ad essere esportate e hanno minore vulnerabilità al grazing, possono variare da un posto all'altro (Phillips, 1991).

L'arricchimento di nutrienti e l'eutrofizzazione possono avere effetti desiderabili e non desiderabili. Una moderata produttività può incrementare la produzione di fauna ittica, fattore positivo per la pesca, ma generalmente conduce ad un decremento della diversità a causa della deossigenazione delle acque profonde e della produzione di sedimento organico in grado di soffocare la vita macrobentonica. Alcune microalghe, se prodotte in abbondanza, possono inoltre emettere tossine letali per la fauna ittica.

1.1. Evoluzione storica nel comprensorio del Massaciuccoli.

Il lago di Massaciuccoli, affiancato da un comprensorio umido ad elevata diversità biologica e con un prezioso patrimonio di specie rare e in alcuni casi uniche per il territorio nazionale (AA.VV., 1983), è parte integrante del Parco Naturale Migliarino San Rossore Massaciuccoli. Per tali considerazioni, nel corso degli ultimi anni, è stato oggetto di ricerche (Cenni, 1997) finalizzate alla individuazione delle vie che consentano di sottrarlo agli effetti del processo eutrofico. Solo con il raggiungimento di precisi obiettivi sarà possibile infatti rendere l'ambiente lacustre nuovamente fruibile sotto i vari aspetti ricreativi, ecologici ed economici.

I primi dati che consentono di effettuare un'analisi storica dei mutamenti che hanno interessato il bacino del Massaciuccoli sono attribuibili alle ricerche di Brunelli e Cannicci (1942) e di Pedreschi (1954). Dopo questi Autori, trascorre un lungo periodo prima che Altri si interessino del comprensorio lacustre, con lo scopo di acquisire nuovi dati sullo stato dell'ambiente (La-

pucci, 1964; AA.VV., 1973; Min. Agr. For., 1975; Min. Agr. For., 1980).

Analizzando la sequenza storica dei dati disponibili si è ritenuto opportuno ricostruire l'andamento di alcuni parametri significativi, come la trasparenza al disco di Secchi e la concentrazione dei cloruri, da cui si può trarre una stima della salinità.

Il parametro trasparenza consente una stima indiretta del livello di eutrofizzazione: secondo il sistema probabilistico adottato dall'OCSE (Marchetti, 1987) già alla fine degli anni '50 il lago poteva essere considerato in condizioni di eutrofia con una probabilità del 50%, di ipertrofia con una probabilità del 60% e per circa il 10% di mesotrofia. Allo stato attuale il parametro trasparenza pone le acque del lago in ipertrofia al 95% di probabilità (Fig. 1).

L'aumento di salinità riscontrato negli anni '50 (Fig. 2) può essere in parte spiegato con una caduta di efficienza delle cateratte a bilico poste sul Burlamacca, unica via d'acqua tra il lago e il mare: in quegli anni tuttavia ebbe anche inizio l'attività di escavazione delle sabbie, che raggiunse il massimo di espansione e di progresso tecnologico negli anni '70 (Pandolfi, 1975), periodo in cui si rilevano i valori massimi di tutto l'arco di tempo considerato. E' noto come alla base degli invasi residui della escavazione sia presente un elevato gradiente di salinità sulla cui origine non è ancora stata fatta completa chiarezza (Spandre e Meriggi, 1997). D'altronde lavori precedenti (Ferrari *et al.*, 1989; Baldaccini & Bianucci, 1986) avevano dimostrato che l'acquifero presente nell'area palustre è in grado di fornire un notevole apporto salmastro alle acque superficiali.

La tendenza all'aumento della salinità potrebbe quindi essere anche attribuita alla presenza dei bacini di escavazione che rilasciano nel tempo una quota di soluti, come dimostrato per i laghi meromittici (Tonolli, 1969). Questo parametro assume un importante ruolo nei confronti delle comunità acquatiche sulle quali può esercitare una notevole pressione selettiva. Ad esempio, l'aumento di salinità può essere posto in relazione alla comparsa dell'alga tossica *Prymnesium parvum* Carter (Moss, 1988), a cui vengono attribuiti importanti fenomeni di moria nel Massaciuccoli (Simoni, 1977).

Sulla base delle ricerche svolte in passato (op. cit.) e di altre di più recente attuazione (Cenni, 1997), si è cercato di confrontare il bacino del Massaciuccoli con altri ambienti interessati da problemi di eutrofizzazione, sotto molti aspetti ad esso assimilabili, come Norfolk Broads, un comprensorio umido situato sulla costa sud-orientale della Gran Bretagna (Phillips, 1992).

Norfolk Broads è costituito da una serie di laghi poco profondi, circondati da paludi, derivanti da giacimenti di torba che risalgono ai sec. XIV-XV, sui

quali da tempo vengono effettuati studi e sperimentazioni volte al miglioramento delle condizioni ambientali (Moss *et al.*, 1985).

L'insieme delle conoscenze disponibili sulla loro storia naturale ha reso possibile la ricostruzione delle fasi principali che hanno segnato i mutamenti più importanti verificatisi in Norfolk Broads (Phillips, 1992). Si è pensato quindi di interpretare con la stessa sequenza di fasi l'evoluzione del Massaciuccoli, adattandola sulla base di considerazioni, in parte sostenute da fatti reali (Fig. 3).

E' indubbio che l'aumento di produttività delle acque abbia coinciso con un generale incremento delle attività agricole, con la modernizzazione delle tecnologie ad esse associate e con mutamenti socioeconomici e comportamentali della popolazione gravitante sul bacino, fattori che hanno causato, negli ultimi decenni, un notevole apporto di nutrienti e di solidi sospesi. A sostegno di questa ipotesi sono di notevole importanza i risultati delle analisi sedimentologiche relative al contenuto dei nutrienti e alle tanatocenosi delle comunità scomparse nella platea del fondo lacustre (Frasconi *et al.*, 1994).

Le tre fasi formulate da Phillips (op. cit.) potrebbero essere così sintetizzabili per il Massaciuccoli (Fig. 4):

1) Periodo antecedente alla metà degli anni '50.

Il lago è caratterizzato da acque molto limpide, a scarso contenuto di nutrienti, con particolare riferimento al P come fattore limitante ($< 10 \mu\text{g/l}$), ricca vegetazione sommersa, a basso fusto, costituita prevalentemente da *Chara* sp. pl. e *Najas* sp., dove abbonda una fauna macrobentonica molto diversificata, prevalentemente epifitica, e dove la comunità zooplanctonica è dominata dai Copepodi Calanoidi. Il livello di salinità delle acque risulta contenuto entro lo 0,5‰.

La comunità animale è ricca di specie tipiche quali ad esempio anatre selvatiche (*Anas* sp. pl.) e folaghe (*Fulica atra*) che popolano la superficie del lago con decine di migliaia di individui. Allo stesso tempo sono presenti specie come la lontra (*Lutra lutra*) tipiche di ambienti oligotrofi con acque lentiche.

2) Periodo precedente la fine degli anni '60.

Il lago attraversa una fase intermedia in cui le macrofite di fondo, a basso fusto (*Chara hispida*, *Najas marina*), tendono a scomparire per dare spazio a fitocenosi composte da macrofite flottanti o radicate (*Ceratophyllum* sp., *Myriophyllum* sp.), e comunque ad alto fusto, e quindi in grado di mantenere le parti fotosintetizzanti, in strati d'acqua superficiale ancora raggiungibili dalla luce solare, in condizioni di aumentata torbidità. Allo stesso tempo tali specie

sono state in grado di porre grossi ostacoli alla navigazione. Questa fase è caratterizzata da un aumento seppur lieve della salinità, dei nutrienti, e forse da un calo della trasparenza, a causa di un certo incremento della comunità fitoplanctonica. Con questa fase inizia anche una diminuzione della diversità biologica. Tale situazione si riscontra oggi solo a ridosso della cintura a elofite che circonda il lago e in alcuni biotopi protetti dell'area palustre.

3) Inizio degli anni '70.

Nel lago si registra una progressiva e totale scomparsa della vegetazione acquatica a macrofite. Nelle acque si riscontra ormai una elevata torbidità che varia in relazione ai mutamenti stagionali e all'andamento degli eventi meteorologici. Le acque aperte sono dominate dalle varie successioni di fioriture di alghe fitoplanctoniche, tra le quali spiccano le cianofite. Si rileva anche un notevole aumento della salinità che favorisce la comparsa di forme dotate di tossicità come l'alga *Prymnesium parvum*, responsabile di periodiche e ingenti morie di pesci. Le concentrazioni di nutrienti sono ormai a livelli di eutrofia; le comunità macrobentoniche che popolano il fondo del lago, ormai costituito esclusivamente da una matrice siltosa di origine agricola, presentano una netta perdita della diversità e anche la popolazione zooplanctonica è sostenuta principalmente da organismi di piccole dimensioni, forme tipiche di ambienti eutrofizzati.

Conseguenza diretta di queste trasformazioni è la riduzione della diversità biologica dovuta alla perdita di microhabitat (le macrofite) adatti a fornire riparo e protezione alla moltitudine di forme acquatiche, comprese le uova di molte specie ittiche. La perdita di diversità dell'habitat lacustre si riflette quindi anche sulla comunità ittica. La media di crescita per i giovani pesci è elevata, ma scarseggia il cibo per i pesci di taglia maggiore. I giovani ciprinidi sono infatti capaci di sfruttare l'elevata produzione primaria utilizzando l'abbondanza di forme zooplanctoniche, in particolare Rotiferi, mentre i pesci di taglia più grande e i predatori sembrano dipendere dalla presenza di vegetazione acquatica per ripararsi da altri predatori, per svolgere i cicli riproduttivi, per predare a loro volta (Moss *et al.*, 1985). L'aumento della torbidità inibisce l'attività predatoria di specie come il luccio, rivolta al contenimento di specie più piccole, planctofaghe, che tendono ad espandersi (De Bernardi, 1983). L'immissione incontrollata di specie alloctone, onnivore o erbivore come molti ciprinidi e il gambero americano (*Procambarus clarkii*), ha forse favorito questi cambiamenti nel popolamento ittico (Alessio *et al.*, 1994) e contribuito ad ostacolare lo sviluppo delle macrofite acquatiche.

La perdita di queste ha coinciso spesso con la diminuzione di avifauna

acquatica particolarmente legata a regimi alimentari con elevate componenti di flora acquatica.

Anche la scomparsa di animali ad elevata valenza naturalistica come la lontra, presente fino all'inizio degli anni '70 (Cenni, 1987) potrebbe essere in parte legata alla perdita di diversità e di trasparenza dell'habitat lacuo-palustre.

I meccanismi che hanno regolato i passaggi segnati dalle varie fasi non sono del tutto noti. Certamente l'aumento del livello di eutrofizzazione delle acque e l'apporto di limi veicolati dalle pompe di sollevamento delle idrovore sono stati fattori determinanti. L'aumento di nutrienti ha gradualmente favorito la componente fitoplanctonica fino a farle assumere dimensioni tali da sostituire nello specchio lacustre tutte le altre forme di vegetazione acquatica. Sebbene l'assorbimento della luce da parte di questa componente abbia causato l'oscuramento degli strati profondi, sembra che tale fenomeno non possa essere da solo sufficiente ad impedire la crescita delle macrofite. Un ruolo importante viene attribuito alla diminuita capacità di produrre sostanze algicide, propria delle macrofite acquatiche, in presenza di alte concentrazioni di nutrienti. Ciò provocherebbe nel tempo una sorta di soffocamento delle piante acquatiche ad opera delle alghe epifite, che potrebbero in tali condizioni crescere in maniera abnorme sul loro fusto (Harper, 1992). Altro ruolo importante potrebbero averlo avuto tutte le forme animali epifitiche o comunque in grado di esercitare una forte azione di grazing (Mason & Bryant, 1975), ripulendo i fusti delle macrofite dalla flora algale epifita, favorendone così la crescita rigogliosa. La scomparsa di questa importante componente zoologica può avere contribuito alla perdita delle macrofite acquatiche.

Di difficile identificazione sono invece altri fattori che potrebbero essere intervenuti in modo decisivo sulla perdita di consistenza della prateria di macrofite che caratterizzava il fondale dello specchio lacustre. E' ragionevole supporre che, a livelli intermedi di eutrofizzazione (fase 2), una repentina scomparsa delle macrofite possa avere irreversibilmente lasciato il posto a specie fitoplanctoniche, più avvantaggiate nell'utilizzo di nutrienti disciolti in acqua e non immobilizzati solo nei sedimenti, e quindi assorbibili con apparati radicali.

Un esempio in grado di avvalorare questa ipotesi è opportunamente rappresentato dai cambiamenti registrati in uno stagno posto nelle vicinanze del lago di Massaciuccoli, ma non comunicante con esso. L'invaso si è formato in seguito alla escavazione di sabbie silicee e, dopo vari anni dal termine dell'attività, è stato destinato alla pesca sportiva. Ha una profondità che si

aggira intorno ai 5,5 m e una superficie di circa 1,3 ha. Prima che venisse destinato all'attività alieutica, le acque erano limpide (disco di Secchi 400 cm, media dei mesi di maggio - giugno - luglio 1988) e il fondale quasi interamente tappezzato da macrofite acquatiche del genere *Myriophyllum*, a cui era associata una comunità epifitica assai diversificata. Per esigenze dettate dall'esercizio della pesca sportiva, la prateria di piante acquatiche venne totalmente sradicata con mezzi meccanici nell'ottobre 1988. Nel febbraio 1989 fu registrata una prima intensa fioritura di alghe verdi del genere *Volvox* ed una trasparenza delle acque a 250 cm. Nel mese di giugno dello stesso anno la trasparenza era scesa a 123 cm. L'anno seguente, nel mese di aprile, si registrò un ulteriore abbassamento a 117 cm.

Nel processo di trasformazione di questo ambiente sono intervenuti altri fattori, dopo l'azione di estirpazione della vegetazione di fondo, dovuti all'aumento del carico organico per l'immissione di fauna ittica, costituita da varie specie, tra cui ciprinidi con abitudini alimentari onnivore, anche se non prevalentemente erbivore, e planctofaghe, esche per la pasturazione dei pesci ecc. che non hanno più consentito il ripristino delle condizioni iniziali.

Questo esempio potrebbe fornire una chiave di lettura diversa dei fenomeni che hanno coinvolto il lago di Massaciuccoli fino a condurlo allo stato attuale. D'altronde testimonianze attendibili sostengono l'avvenuta eradicazione di estesi popolamenti di macrofite dall'area lacustre. Tali interventi avrebbero avuto la finalità di agevolare l'esercizio dello sci nautico, in voga negli anni '60, o, sempre in quel periodo, della pesca professionistica con uso di reti convenzionali. Per un certo periodo il lago è stato infatti gestito da una Società di pesca del Meridione.

Forse non sarà mai possibile giungere alla esatta ricostruzione delle fasi che hanno caratterizzato i passaggi, ma quella che potrebbe apparire come una inutile ricerca della verità su fatti ormai trascorsi e legati al passato apre invece nuovi orizzonti sulle strategie da adottare per iniziare il recupero di questo prezioso ambiente.

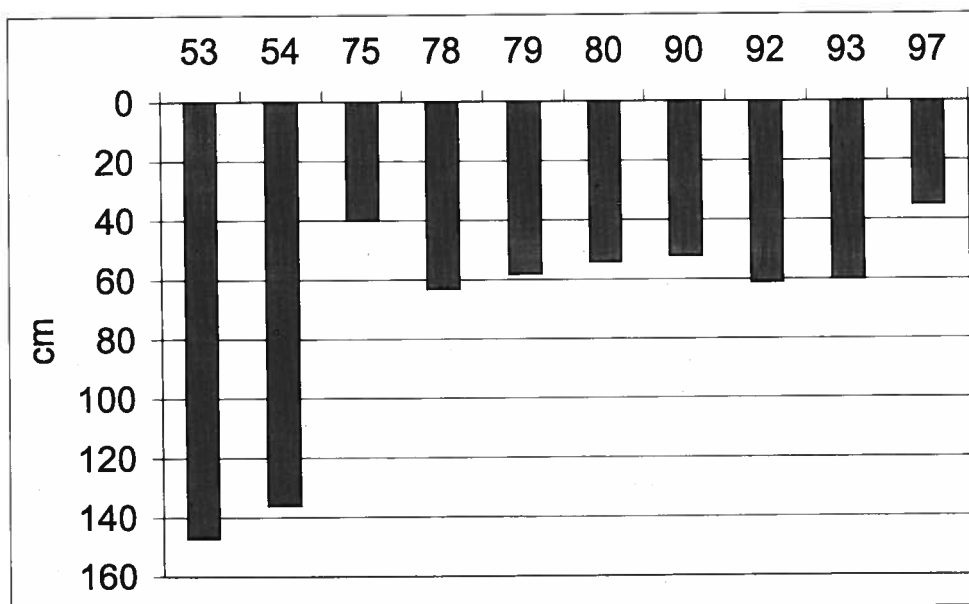


Fig.1 Valori medi della trasparenza al disco di Secchi, rilevata nelle acque del lago a partire dagli anni '50.

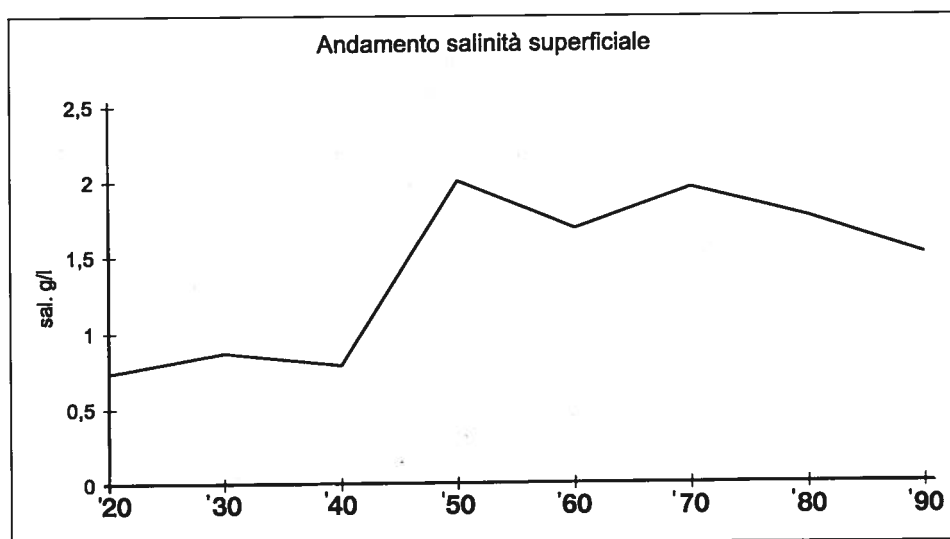


Fig. 2 Andamento della salinit  nel comprensorio umido del Massaciuccoli nel periodo compreso tra il 1921 e il 1993.

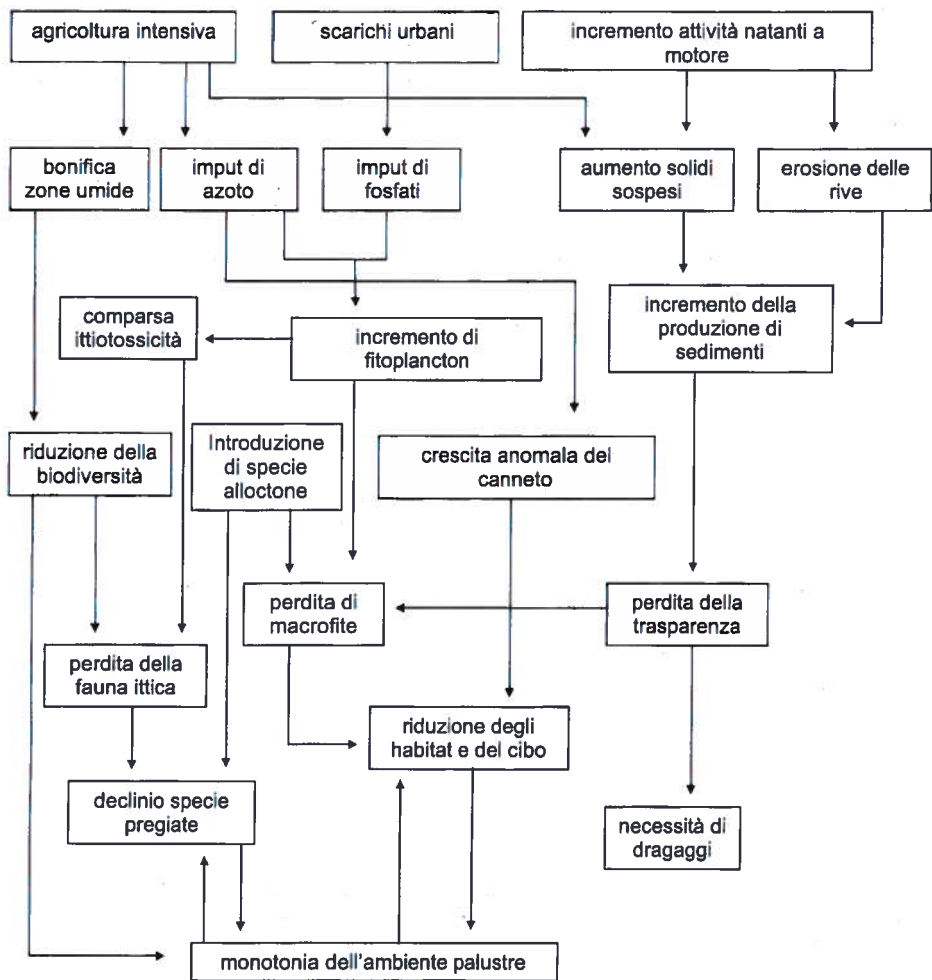
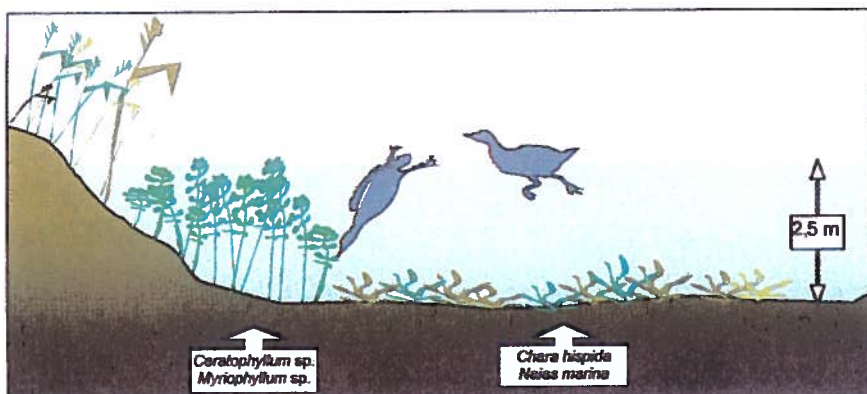
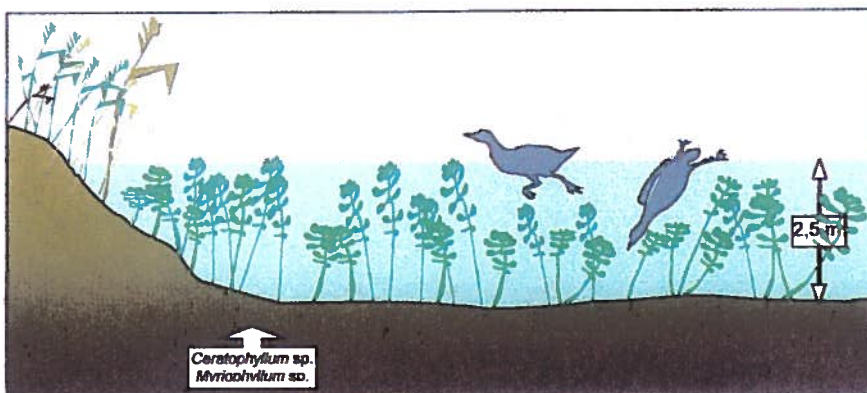


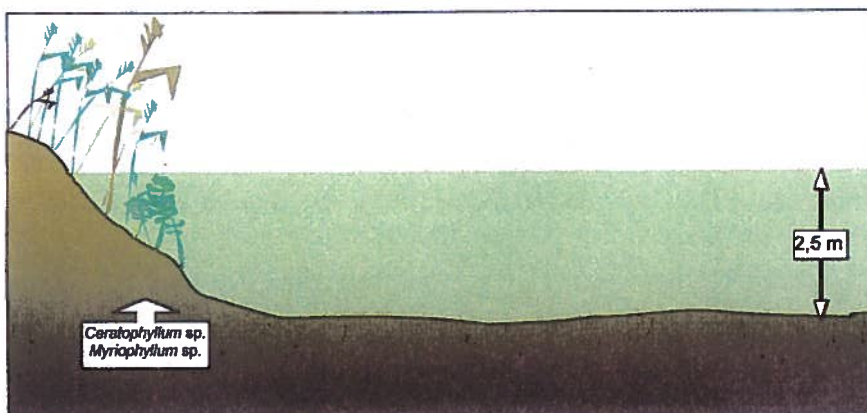
Fig. 3 *Modello delle relazioni causa effetto che hanno accelerato il processo di eutrofizzazione del Massaciuccoli.*



1) Periodo antecedente alla metà degli anni '50.



2) Periodo precedente la fine degli anni '60.



3) Inizio anni '70 - attuale.

Fig. 4

Bibliografia

- A.A.V.V. (1973) *Conferenza dei servizi del bacino del Massaciuccoli per il recupero funzionale e culturale delle risorse ambientali*. Regione Toscana
- A.A. V.V. (1983) *Dal Calambrone al Burlamacca*. Nistri Lischi Ed.
- 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.), *Eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli*, Atti del convegno, Massarosa (LU), dicembre 1992, 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.
- Brunelli G. & Cannicci G. (1942) *Il lago di Massaciuccoli*. Boll. Pesca Pisc. Idrobiol., 18, 5-63.
- Cenni M. (1987) *Risultati negativi di una indagine sulla presenza della lontra (Lutra lutra L.) nel bacino del lago di Massaciuccoli*. Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., serie B, 91, 233-239.
- Cenni M., (Ed.) (1994) *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*. Atti del convegno, Massarosa (LU), dicembre 1992, pagg. 223.
- Cenni M., (Ed.) (1997). *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Pisa. Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli.
- Chiaudani G., Gerletti M., Marchetti R., Provini A., Vighi M. (1978) *Il problema dell'eutrofizzazione in Italia*. Quad. IRSA, 42, pagg. 93.
- Cordella P. (1981) *I laghi italiani e il problema dell'eutrofizzazione*. Le Scienze, 157, 9, 24-33.
- De Bernardi R. (1983) *Verso un approccio ecologico integrato per il controllo della qualità delle acque*. Acqua & Aria, 10, 1075-1084.
- Ferrari R., Duchi G., Musetti R., Lojacono F. (1986) *Studio idrogeologico della piana versiliese*. Ass. Intercomunale Versilia, 21-46.
- Frasconi F., Bergamini M. C., Caridei F. & Miserocchi S. (1994) *Studio geochimico-sedimentologico dei fondali in funzione del ciclo delle sostanze nutrienti nel lago di Massaciuccoli*. In Cenni M. (ed.), *Eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli*. Atti del Convegno, Massarosa (LU) dicembre 1992: 87-102.
- Harper D. (1992) *Eutrophication of freshwater*. Chapman & Hall, London.

- Lapucci P. L., Del Bono G. & Pierotti P (1964) *Indagini sui caratteri fisici, chimici, biochimici delle acque del Lago di Massaciuccoli e rilievi anatomo-istopatologici sulla fauna ittica esistente*. Riv. It. Ig., 24, 349-380.
- Marchetti R. (1987) *L'eutrofizzazione. Un processo degenerativo delle acque*. Franco Angeli ed., 41-66.
- Mason C.F. & Bryant R.J. (1975) *Periphyton production and grazing by chironomids in Alderfen Broad, Norfolk*. Freshwat. Biol., vol. 5, 271-277.
- Ministero Agricoltura e Foreste (1975) *Accertamenti di indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del lago di Massaciuccoli e del suo territorio*. Fase I., Roma, 1-50.
- Ministero Agricoltura e Foreste (1980) *Accertamenti di indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del lago di Massaciuccoli e del suo territorio*. Fase II., Roma, 1-89.
- Moss B. (1988) *Ecology of fresh water, Man and medium*. Blackwell Scientific Publ., Oxford, 185-288.
- Moss B., Balls B. & Irvine K. (1985) *Isolation of Broads as a technique for restoration*. Broads Authority.
- Newbold C., Honnor J. & Burkley K. (1989) *Nature conservation and management of drainage channels*. N.C.C., Ass. of Drainage Authorities.
- Odum E. (1973) *Principi di Ecologia*. Piccin ed..
- Pandolfi P. (1975) *La sabbia silicea della bassa Versilia e i suoi impieghi*. S.E.A., Carrara.
- Pedreschi L. (1956) *Il Lago di Massaciuccoli e il suo territorio*. Mem. Soc. Geogr. Ital., 22, 1-225.
- Phillips G. (1992) *A case study in restoration: shallow eutrophic lakes in the Norfolk Broads*, in Harper D. (1992), *Eutrophication of freshwater*. Chapman & Hall, London, 251-277.
- Sequi P., Ciavatta C. & Vittori Antisari L. (1991) *Concimazione fosfatica e apporti di fosforo alle acque*. Acqua e Aria, 6, 577-583.
- Simoni F. (1977) *Sulle cause della moria dei pesci nel lago di Massaciuccoli negli anni '72-'77*. Riv. It. Ig., 37 (5-6), 263-380.
- 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*. Ente Parco Regionale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Doc. Tecnici, 13.
- Tonolli V. (1969) *Introduzione allo studio della limnologia*. Ed. Istituto Italiano Idrobiologia, Verbania Pallanza.

2. IL PIANO DI GESTIONE DELL'ENTE PARCO PER IL LAGO DI MASSACIUCCOLI E IL SUO PADULE

Sergio Paglialunga

2.1. Le finalità del Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli e gli strumenti

Il Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli è stato istituito nel 1979¹ per la tutela delle caratteristiche naturali, ambientali e storiche del litorale pisano lucchese, in funzione dell'uso sociale, e per promuovere la ricerca scientifica e la didattica naturalistica.

I principali strumenti individuati per il raggiungimento di tali finalità sono:

1. Il Piano del Parco²: è lo strumento principale e su una scala a grandi maglie regola l'uso del suolo, l'organizzazione generale del territorio, i vincoli e le tutele, i sistemi di attrezzature e servizi.
2. Il Regolamento³: disciplina l'esercizio di attività consentite entro il territorio del Parco
3. Il Piano Pluriennale Economico e Sociale⁴: è lo strumento per la promozione delle attività compatibili;
4. Il Piano di Gestione⁵: è strumento attuativo del Piano del Parco ed ha efficacia di piano particolareggiato.

2.2. Il Piano del Parco

Il Piano del Parco⁶ è lo strumento principale che la legislazione individua per il raggiungimento delle finalità del Parco. Tale strumento, nel caso specifico del Parco Migliarino San Rossore Massaciuccoli, risulta essere predisposto "a maglia larga" rinviando ai piani attuativi, i Piani di Gestione, il compito di entrare nello specifico delle indicazioni e dei problemi da affrontare.

Il Piano individua sette ambiti territoriali⁷: le tenute, fattorie o comparti, il cui perimetro è individuato sulla base della documentazione della cartografia

storica, la cui ricerca ha costituito un elemento importante di analisi nella predisposizione del Piano.

Il Piano del Parco per il territorio ricadente nel Padule Settentrionale e Lago di Massaciuccoli prevede la salvaguardia dell'ecosistema palustre da attuarsi tramite:

- la cessazione dell'attività estrattiva;
- il risanamento della qualità delle acque;
- il controllo degli scarichi civili ed industriali degli insediamenti rivieraschi;
- il controllo delle sostanze chimiche utilizzate in agricoltura, ed in generale la promozione di un'agricoltura ecocompatibile;
- la salvaguardia degli ecosistemi;
- la possibilità di ripristinare alcune zone già palustri, ed attualmente bonificate.

2.3. Il Piano di Gestione del Lago di Massaciuccoli e Padule Settentrionale

2.3.1 Aspetti generali

Il Consiglio Direttivo dell'Ente Parco Migliarino San Rossore Massaciuccoli ha adottato il 13.4.1999 il Piano di Gestione del Lago di Massaciuccoli e Padule settentrionale, dopo un lungo periodo di gestazione dello strumento⁸.

Lo strumento, che è attuativo del Piano del Parco, parte dall'importanza naturalistica dell'area documentabile dai riconoscimenti che ha avuto:

- è inserita tra le zone speciali di conservazione ai sensi della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatica (SIC: Siti d'Importanza Comunitaria);
- è zona di protezione speciale (ZPS) ai sensi della direttiva 79/409/CEE concernente la conservazione degli uccelli selvatici;
- è inserita nell'elenco di reperimento delle zone umide d'importanza internazionale soprattutto come habitat degli uccelli acquatici di cui al D.P.R. 13 marzo 1976 n.448 (Convenzione di Ramsar)⁹.

In conseguenza di ciò, il primo Piano di Gestione pone quali prioritarie le azioni mirate al risanamento ambientale, in funzione del miglioramento degli habitat naturali. Gli studi¹⁰ effettuati, che sono stati assunti quali elementi d'analisi del Piano, hanno evidenziato la grave situazione di crisi in cui versa l'area a causa dell'eutrofizzazione delle acque, del progressivo interrimento del lago, del crescente rischio idraulico, della salinizzazione delle acque, della introduzione di specie animali alloctone e del precario equilibrio idrico.

Tutti i temi affrontati dal Piano sono stati finalizzati all'attivazione di una serie di azioni coordinate che, direttamente o indirettamente, possano contribuire alla soluzione di tali problemi, o per lo meno siano mirate ad apportare un miglioramento, anche se parziale, alla situazione attuale.

Per raggiungere tali finalità sono stati individuati due ambiti di estensione delle previsioni del Piano. Il primo è relativo al bacino del Massaciuccoli, l'altro al perimetro vero e proprio del Comparto del Padule Settentrionale e Lago di Massaciuccoli individuato dal Piano del Parco, leggermente modificato dal presente Piano, come previsto dal comma 2 dell'art.2 delle N.A. che, in base ad un approfondimento storico, trasferisce la zona posta a Sud-Est del comune di Massarosa dalla Fattoria di Vecchiano al Comparto del Padule Settentrionale e Lago di Massaciuccoli.

Per l'area del bacino del Massaciuccoli¹¹ sono valide le norme finalizzate al risanamento ambientale¹², mentre per il comparto si applicano tutti gli articoli normativi.

Per i territori del bacino del Massaciuccoli non soggetti al Piano del Parco¹³ gli interventi del Piano di Gestione costituiscono linee programmatiche per accordi da stipulare con gli enti competenti.

La validità del Piano di Gestione è fissata in tre anni, tempo ritenuto necessario per valutarne l'efficacia e la congruità.

Il Piano di Gestione ha valenza di piano urbanistico particolareggiato e di strumento attuativo del piano paesistico. Inoltre per le zone di recupero edilizio ed urbanistico si riconosce la valenza di Piano di Recupero ai sensi dell'art.29 della legge 47/85. Ha valore di strumento di distribuzione e localizzazione delle funzioni¹⁴, di individuazione delle aree soggette a particolare normativa al fine di salvaguardare l'ambiente e il paesaggio agrario¹⁵ e di definizione delle acque sorgive, fluenti e sotterranee necessarie alla conservazione degli ecosistemi¹⁶.

2.3.2. Interventi prioritari

Sono individuati come prioritari gli interventi finalizzati all'eliminazione o almeno alla riduzione e alla prevenzione del degrado ambientale, alla salvaguardia e al potenziamento degli habitat naturali caratteristici del Comparto. Nel periodo di validità del primo Piano di Gestione si prevede l'attuazione dei seguenti interventi:

- a. potenziamento ed adeguato funzionamento del depuratore di Massarosa, con realizzazione di condotta che allontani i reflui esternamente al bacino del Massaciuccoli, utilizzando gli stessi nel settore florovivaistico;

- b. completamento della rete fognaria del Comune di Massarosa con allacciamento obbligatorio delle utenze in raccordo temporale di cui al precedente punto a.;
- c. completamento della rete fognaria del Comune di Viareggio;
- d. revisione della condotta di adduzione delle acque nere di Torre del Lago al depuratore di Viareggio ed eliminazione del "troppo pieno" in località Lisca;
- e. potenziamento del depuratore di S. Jacopo (Pisa) in funzione della depurazione delle acque nere provenienti da Migliarino e da Vecchiano e dalla Fontina (San Giuliano Terme);
- f. dismissione del depuratore di Migliarino e di quello di Vecchiano e realizzazione di condutture per il convogliamento delle acque nere al depuratore di S. Jacopo (Pisa);
- g. risanamento area discarica località Carbonaie;
- h. risanamento area discarica località Pioppogatto;
- i. controllo e messa a norma dei reflui derivanti dagli allevamenti che confluiscano nelle acque del lago;
- j. interventi nelle zone agricole tesi alla riduzione dell'erosione dei terreni (con apporto di materiale in sospensione nelle acque) e alla riduzione di nutrienti nelle stesse. Tali interventi vengono attuati anche mediante l'inerbimento perimetrale di fasce a fianco alla rete di scoline dei campi attraverso apposite convenzioni con i coltivatori interessati;
- k. adeguamento della fossa Bufalina quale canale di scolo delle acque con idrovora in foce da utilizzare nei momenti di crisi per l'eccessiva presenza di acqua nel bacino di Massaciuccoli;
- l. realizzazione dell'acquedotto industriale per l'irrigazione riducendo l'emungimento delle acque di falda e dei corsi d'acqua superficiali;
- m. individuazione e reperimento di acque superficiali e di falda per introdurre acque nel bacino di Massaciuccoli. Tra l'altro, adeguamento di pozzi posti in località Case Rosse;
- n. adeguamento delle Porte Vinciane o loro sostituzione così da rendere efficace l'impedimento di ingressione di acque salate attraverso il canale Burlamacca;
- o. chiusura di alcuni grandi bacini presenti a Nord del lago per limitare l'ingresso in tali canali di acque di torbida, sedimenti e nutrienti, e far filtrare l'acqua dai canneti con abbattimento dei solidi in sospensione e dei nutrienti;
- p. ricalibratura della parte terminale del Canale Barra;

- q. verifica sperimentale di dragaggio dei fondali del lago;
- r. realizzazione di chiari all'interno delle zone palustri con isolamento dalla rete idrica per rendere possibile la ricostruzione di habitat tipici di questi ecosistemi palustri;
- s. realizzazione di un sistema di centraline per il controllo e il monitoraggio della qualità delle acque;
- t. realizzazione di un osservatorio di controllo del bacino di Massaciuccoli;
- u. eliminazione delle microdiscariche;
- v. acquisizione al patrimonio del Parco di aree ed immobili attraverso donazioni liberali, donazioni convenzionate, esproprio e compravendite per raggiungere le finalità dell'Ente (Art. 27 L.R. 24/94);
- w. creazione di una torre di avvistamento antincendio ed antibracconaggio sulla riva Nord del lago;
- x. sperimentazioni di biomanipolazione della catena trofica del lago e del padule mediante la messa in opera di enclosures di varia tipologia;
- y. gestione del canneto e delle sfagnete;
- z. creazione di passerelle ed osservatori per il birdwatching;
- aa. rinaturalizzazione dell'area Samminiata;
- bb. gestione e controllo delle captazioni delle acque a Sud di via di Montramito;
- cc. gestione e controllo delle captazioni delle acque a Nord di via di Montramito.

2.3.3. I riferimenti ambientali

I riferimenti ambientali comprendono le vaste aree naturali presenti nel comparto, cioè le riserve naturali, le zone palustri, i corpi idrici, le cave da recuperare, le zone boscate e le zone agricole.

Due sono le **riserve naturali**: "Punta Grande" e "Chiarone". Per la prima il Piano di Gestione non prevede modifiche al perimetro, mentre per la seconda è introdotto un ampliamento a Sud della stessa per ricomprendervi le zone di sfagneta presenti. Lo scopo delle riserve naturali è la manutenzione, la difesa e la ricostruzione degli habitat naturali. L'uso per le altre finalità delle aree interne alle riserve è subordinato alle finalità di protezione, valorizzazione e potenziamento dell'ambiente naturale e storico paesaggistico.

Nelle riserve naturali sono ammessi i seguenti interventi:

- 1) miglioramento e tutela del patrimonio naturale esistente e ricostruzione degli habitat scomparsi;
- 2) opere e interventi necessari allo svolgimento della didattica naturalistica;

3) opere necessarie allo svolgimento delle attività scientifiche.

In particolare, si prevede il taglio della vegetazione palustre, la realizzazione di camminamenti ed osservatori e la realizzazione di un centro anatidi nella riserva del Chiarone.

Alle **zone palustri** è riconosciuta un'importanza primaria, ed in esse sono ammessi solo gli interventi prioritari finalizzati al risanamento, gli interventi previsti nelle riserve naturali, la manutenzione e il rifacimento dei capanni esistenti.

In queste aree, come del resto in gran parte del Parco, vige il divieto assoluto di edificabilità e di bruciare la vegetazione.¹⁷

L'acquisizione di zone palustri al patrimonio dell'Ente Parco è individuata come obiettivo primario.

I **corpi idrici** sono costituiti dal Lago di Massaciuccoli e dall'insieme dei canali e dei fossi. Le norme finalizzate al miglioramento della qualità delle acque sono contenute nel titolo II delle Norme e prevedono il divieto di captazione delle stesse, siano sorgive, fluenti in superficie o sotterranee, ed impongono limiti più restrittivi del 25% rispetto alle tabelle di ammissibilità in vigore quanto a parametri fisico-chimici.

Per garantire la circolazione delle acque, e per garantire la navigabilità nei modi e nelle forme consentite dal Regolamento del Parco, sono ammessi gli interventi di ricalibratura dei fossi.

Il movimento dei cestoni galleggianti ad opera delle correnti e del vento è considerato come fenomeno naturale caratterizzante il Lago, non soggetto quindi a controllo e/o a specifiche azioni da parte dell'Ente Parco, che comunque potrà intervenire per fissare, rimuovere o spostare cestoni galleggianti per specifici interessi naturalistici. Negli altri casi è ammessa la rimozione, da parte di chi ne è interessato, preventivamente autorizzata dall'Ente Parco che dovrà approvare anche l'esatta ubicazione della nuova collocazione del cestone.

Le **cave da recuperare** sono costituite dai vasti specchi d'acqua formatisi a seguito dell'attività estrattiva che ha interessato sino alla fine degli anni '80 il bacino del Massaciuccoli. Il piano non detta norme specifiche sul recupero di tali cave, dà la possibilità ad azioni sperimentali che tengano conto di tutti i fattori in gioco, del ruolo cioè che tali bacini profondi hanno nel contenimento delle acque salate all'interno del bacino del Massaciuccoli, dell'equilibrio ambientale costituitosi, che non può essere peggiorato ecc. In assenza di specifici progetti tali aree sono considerate a tutti gli effetti come corpi idrici.

In questo comparto è presente solo in piccola parte la **zona boscata**, costi-

tuita in prevalenza da pini, in località Torre del Lago. In tale area sono consentiti gli interventi di taglio e reimpianto previsti dalla normale gestione boscata, previo preventivo nulla-osta dell'Ente Parco.

Le **zone agricole** sono definite come aree soggette a particolare normativa al fine di salvaguardare l'ambiente¹⁸. Sono quindi introdotte alcune norme mirate alla diffusione di un'agricoltura ecocompatibile, facendo riferimento alle direttive comunitarie che regolano la materia, in particolare al Reg. CEE 2078/92 e successive modificazioni ed integrazioni.

Inoltre sono introdotte limitazioni nei periodi in cui è consentita l'aratura dei terreni. È prevista un'azione del Parco al fine di valorizzare l'agricoltura tipica e di qualità.

Utilizzando invasi e laghetti esistenti, è consentita l'acquacoltura non intensiva, che dovrà possedere requisiti di totale naturalità. A tal fine non sono autorizzabili infrastrutture di qualsivoglia tipo, in particolare arginature in cemento, ossigenatori o qualsiasi altra realizzazione che alteri in modo sostanziale la capacità di contenimento ittico dell'ambiente idrico naturale, e non potrà essere variata artificialmente la qualità chimico-fisica dell'acqua degli invasi, dovendo le specie allevate essere compatibili con l'ambiente circostante.

2.3.4. I riferimenti infrastrutturali

La **viabilità** viene suddivisa tra principale, percorribile con autorizzazione e viabilità minore.

La prima interessa le aree contigue del Parco. Su di essa sono consentiti gli interventi necessari al corretto funzionamento. Il nuovo sistema della viabilità attorno all'abitato di Torre del Lago e la razionalizzazione degli usi urbani e delle attività insediate richiedono l'adeguamento qualitativo dell'impianto viario esistente, congiunto ad una nuova sistemazione dell'arredo urbano.

Per la viabilità percorribile con autorizzazione sono consentiti gli interventi di manutenzione. Per particolari esigenze di servizio e di circolazione è possibile trasformare il fondo stradale con calcare frantumato a semipenetrazione.

I percorsi veicolari minori potranno essere pavimentati con impasto di argilla a basso dosaggio di cemento, tipo "glorit", su sottofondo drenante, in alcuni tratti ove il sottofondo naturale possa creare disagi rilevanti alla fruizione.

In generale, si possono attuare interventi di miglioramento delle caratteristiche stradali purchè sia basso l'impatto ambientale.

La viabilità podereale può essere sistemata anche con riporto di materiale inerte, senza impiego di leganti bituminosi, fermo restando il tracciato, la larghezza e l'utilizzo.

Lungo i riferimenti infrastrutturali saranno opportunamente inseriti cartelli di indicazione per rendere più agevole il percorso e la visita al Parco, e cartelli di divieto per rendere note le attività non consentite. In particolari ubicazioni saranno inoltre inseriti cartelli con la rappresentazione del territorio del Parco e delle sue caratteristiche.

La segnaletica e la cartellonistica costituiscono elementi di arredo urbano: tali elementi saranno dunque inseriti all'interno del territorio del Parco e nelle aree contigue a cura e spese degli Enti locali.

Segnaletica e cartellonistica sono parte integrante nella realizzazione delle previsioni di piano e si configurano come elementi di opera pubblica, ed in quanto tali non soggetti ad alcuna tassa sulla pubblicità o analoghe.

L'utilizzo delle **vie d'acqua** da parte di barche a remi, a vela, o con motore elettrico è subordinato alla prioritaria necessità di salvaguardia dell'ambiente e di miglioramento della qualità delle acque. All'interno del generale sforzo di risanamento delle acque l'Ente Parco potrà quindi individuare canali e corpi idrici all'interno dei quali è comunque vietata la navigazione di qualsiasi tipo.

2.3.5. I riferimenti strutturali e le zone di recupero

Caratteri generali

I riferimenti strutturali e le zone di recupero edilizie ed urbanistiche sono localizzate nella fascia esterna del comparto e includono alcune aree a forte degrado che denotano un utilizzo disordinato del territorio, spesso percepito come ambito del tutto "marginale".

Il Piano di Gestione vuole attivare procedure che permettano il riordino delle aree degradate, il controllo dei processi che hanno prodotto inquinamento nel bacino, e comunque l'attuazione degli interventi prioritari.

Per far ciò il Piano impone che il rilascio delle concessioni edilizie sia subordinato all'esistenza o alla contestuale realizzazione delle opere di urbanizzazione primaria. È richiesto inoltre un corretto inserimento ambientale e paesaggistico.

Gli strumenti principali individuati dal Piano per garantire il processo di riqualificazione delle aree degradate e per subordinare le trasformazioni che hanno prodotto o produrranno reddito alla contestuale realizzazione e partecipazione dei soggetti privati all'attuazione degli interventi prioritari sono due: la convenzione e la "convenzione di transizione".

Convenzioni¹⁹. Il Piano di Gestione individua ambiti territoriali nei quali la

progettazione deve prevedere la contestuale realizzazione di interventi di carattere edilizio, di carattere ambientale o di attuazione delle previsioni del Piano di Gestione. In questo caso si prevede la sottoscrizione di una convenzione tra i soggetti privati interessati, l'Ente Parco ed il Comune, che definisca gli interventi di carattere edilizio ammessi, gli interventi di attuazione del Piano di Gestione da eseguirsi contestualmente, ed i tempi per essi previsti oltre agli obblighi che i privati si devono assumere per garantire l'uso o la fruizione pubblica dei beni compresi nell'ambito territoriale unitario come definito dall'Ente Parco.

Questa procedura si rende necessaria per gli interventi che prevedono la deruralizzazione dell'edificio, il cambio di destinazione d'uso dell'edificio, la realizzazione dei seguenti riferimenti strutturali: centri ricettivi, campeggi, ristoro, zone sportive, e che ricadono in zone di recupero edilizio ed urbanistico.

Convenzioni di transizione²⁰. Limitatamente alle zone di recupero edilizio ed urbanistico vengono definite attività esistenti non compatibili con il Parco²¹ quelle non comprese tra i riferimenti strutturali come definiti dal comma 5 al comma 9 dell'art.3 del Piano del Parco²². Per tali attività il Piano di Gestione prevede una "convenzione di transizione", da stipularsi entro un anno dall'entrata in vigore delle presenti norme e svincolata, a differenza della convenzione di cui si è in precedenza parlato dalla necessità da parte delle aziende stesse di realizzare opere, e quindi di richiedere una concessione o un'autorizzazione edilizia. Ciò al fine di stabilire entro il tempo fissato un rapporto tra i soggetti che gestiscono le varie attività e l'Ente Parco che superi il livello di "indifferenza reciproca" che caratterizza spesso il rapporto tra pubblica amministrazione e soggetti privati, nel caso in cui questi ultimi non abbiano necessità di ristrutturare i propri manufatti²³, vanificando di fatto le previsioni degli strumenti del Piano. La "convenzione di transizione" dovrà prevedere i tempi e le modalità di permanenza dell'attività, gli interventi urgenti di natura ambientale e paesaggistica da attuarsi da subito, sia per un migliore inserimento dell'attività sia per attuare gli interventi prioritari²⁴. Alla scadenza del tempo previsto le attività che avranno stipulato la convenzione troveranno in essa tutti gli elementi che ne regolamentano la permanenza, mentre le attività che non avranno stipulato la "convenzione di transizione" saranno assoggettate a quanto previsto dal comma 3 dell'art. 9 delle N.T.A. del Piano del Parco. Ai manufatti e alle aree dove si svolgono tali attività saranno consentiti cioè solo interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, finchè il carico insediativo non comporti processi di inquina-

mento ambientale. Ciò vale anche nel caso di modifica successiva della normativa in essere per quanto riguarda la sicurezza nei luoghi di lavoro, le norme più restrittive in campo ambientale ed anche le maggiori restrizioni introdotte dallo stesso Piano di Gestione. In questo caso il rispetto stretto della normativa è finalizzato alla dismissione dell'attività.

Le norme definiscono i criteri per il rilascio di concessioni edilizie in sanatoria, per la definizione dei manufatti precari²⁵ e per gli interventi di edilizia rurale.

Il rilascio di **concessioni edilizie in sanatoria** è subordinato a due fattori:

- che la funzione svolta nei manufatti sia compatibile con le previsioni del Piano o che il Piano ne preveda il recupero finalizzato ad attività compatibili;
- che sia assicurato un corretto inserimento ambientale e paesaggistico, e se questo è carente sia realizzato il recupero del manufatto e/o gli interventi di risanamento con la predisposizione di idonee garanzie che ne assicurino l'attuazione.

Le norme relative all'**edilizia rurale** sono mirate a contenere la crescita dell'edilizia in tale ambito, e ad impedire il cambio di destinazione d'uso dei manufatti rurali.

Le zone di recupero edilizio ed urbanistico

Le zone di recupero edilizio e urbanistico con valenza funzionale e ambientale sono ubicate nella parte occidentale del comparto. Il Piano di Gestione specifica gli interventi ammessi individuando aree omogenee nelle zone di recupero edilizio ed urbanistico con valenza ambientale, e ambiti unitari di intervento nelle zone di recupero edilizio ed urbanistico con valenza funzionale.

Nelle **aree omogenee** sono ammessi interventi volti alla organizzazione del territorio e al riordino dell'intera area.

Negli **ambiti unitari d'intervento** si prevedono interventi volti nel breve periodo al miglioramento paesistico e ambientale, attraverso lo strumento delle "convenzioni di Transito" e nel medio-lungo periodo alla riorganizzazione complessiva dell'area. Per questo dovrà esser elaborato, da parte dei proprietari pubblici o privati interessati, uno specifico progetto unitario conforme alla previsione del presente Piano di Gestione. Ciascun progetto unitario, formato da:

- una fase di inquadramento storico-analitico;
- una fase analitico-descrittiva dello stato di fatto delle variabili ambientali e paesaggistiche significative;
- una fase progettuale estesa all'intera area di ambito unitario di intervento,

ai volumi edilizi esistenti e progettati, agli spazi liberi circostanti. In tale fase vengono evidenziati in opportune tabelle di confronto i volumi edilizi (non abusivi) esistenti, quelli previsti dal Piano di Gestione e quelli previsti dal progetto unitario;

- una fase programmatica e valutativa all'interno della quale sono indicate, sotto il profilo di impatto ambientale, economico-sociale e finanziario, le condizioni di fattibilità e fasi e tempi di attuazione;
- una fase amministrativa costituita da una convenzione, la cui definizione è necessaria prima della concessione edilizia, nella quale sono fissati i rapporti intercorrenti fra i proponenti, l'Ente Parco e il Comune, in merito alle reciproche obbligazioni riguardanti l'attuazione del progetto.

In casi particolari, il progetto unitario, tenendo conto della situazione in essere, può prevedere la sua attuazione in più stralci esecutivi.

Le previsioni specifiche nelle aree di recupero edilizio ed urbanistico sono:
San Rocchino:

Area Omogenea 1: in questa zona si prevede il completo recupero dell'area a zona palustre.

Ambito Unitario di Intervento A.U.I. 1: il Piano propone la riqualificazione dell'area tramite interventi che consentano la creazione dei seguenti riferimenti strutturali: Stazione marittima, centro canoe, centro barchini, pontile, strutture per ristoro e attività ricettive (chalets, foresteria); un piccolo campeggio.

Ambito Unitario di Intervento A.U.I. 2: il Piano propone la riqualificazione dell'area e il recupero dei volumi esistenti, con le seguenti destinazioni ammesse: porta del Parco, attività turistico-ricettive, attività terziarie attività sportive, ricreative e commerciali.

Ambito Unitario di Intervento A.U.I. 3: si prevede il riordino paesaggistico della sponda dell'ex zona di S. Rocchino, a Sud della Via di Montramito. In quest'area sarà possibile realizzare un centro barchini.

La Morina

Ambito Unitario di Intervento A.U.I. 4: si prevede il recupero dell'intera area per la realizzazione di un centro termale basato sull'uso terapeutico delle risorse locali ed in particolare della torba. Un apposito progetto unitario dovrà prevedere la sistemazione complessiva dell'area, sulla quale dopo l'attuazione dell'intervento non sarà più ammesso il deposito di materiale di qualsiasi natura, se non finalizzato all'attività termale. Nella parte occidentale dell'area si prevede la realizzazione di una piccola darsena per il ricovero di barchini e di piccoli natanti attualmente ubicati lungo le sponde dei fossi e dei canali del

Comparto con realizzazione di un Centro Servizi per tale attività, un centro di appoggio per l'attività dell'Ente Parco ed un parcheggio.

L'intervento dovrà prevedere inoltre la valorizzazione dell'esistente laghetto per la pesca sportiva.

Lisca Nord

Ambito Unitario di Intervento n. 5 (A.U.I. 5): si prevede la riqualificazione della sponda del fosso "le Quindici" con realizzazione di un percorso-confine con caratteristiche di sentiero o ciclopista liberamente accessibile; la riqualificazione della via del Comparini in modo che essa possa collegare strutturalmente la zona palustre e la zona urbanizzata verso Viareggio, la piantumazione di una quinta arborea in corrispondenza del confine occidentale dell'area verso l'autostrada "A-12", la bonifica delle discariche abusive, la realizzazione di aree a verde attrezzate, di centro ricettivo, parcheggio, ristoro, stazione mezzi pubblici, centro biciclette, zona sportiva, la sistemazione dei due maneggi esistenti, la sistemazione di un'area a parcheggio, il mantenimento delle attività di trasformazione delle sabbie e delle attività terziarie esistenti, per un periodo massimo di anni 10, al termine del quale si prevede la ristrutturazione urbanistica del lotto con destinazione turistico-ricettiva.

Fosso Trogola

Ambito Unitario di Intervento N. 6 (A.U.I. 6): sono ammessi un centro barchini, orti con annessi agricoli.

La Cava

Ambito unitario di intervento n. 7 (A.U.I. 7): si prevede il recupero dell'area per realizzare una stazione marittima. Recupero area degli insediamenti di lavorazione delle sabbie, con mantenimento delle attività esistenti per un massimo di 10 anni, al termine del quale sono previsti interventi di trasformazione dell'area che prevedono la totale ristrutturazione urbanistica del lotto con destinazione turistico-ricettiva.

Via del Comparini

Ambito unitario di intervento n. 8 (A.U.I. 8): riqualificazione a verde con impiego di specie arboree delle aree peripalustri in base a specifiche indicazioni dell'Ente.

Le Carbonaie

Area Omogenea n. 3 (A.O.3): in questo comparto è previsto il risanamento della discarica delle Carbonaie con successiva sistemazione paesaggistica di iniziativa pubblica.

Le zone non interessate alla sistemazione paesaggistica hanno destinazione agricola.

Torre del Lago

Ambito unitario d'intervento n.9 (A.U.I. 9): l'Ambito Unitario di Intervento n. 9 di Torre del Lago è costituito da aree individuate in Sub-Ambiti. Si prevede la ristrutturazione complessiva dell'area con realizzazione di un teatro-laboratorio di comunicazione teatrale, con una struttura di tipo aperto, ma chiudibile tale da consentirne l'utilizzo durante tutto l'anno. È previsto lo spostamento del campeggio in area più arretrata, così da non creare disturbo alle manifestazioni che si svolgono nel teatro. È inoltre prevista la realizzazione di strutture turistico-ricettive, e un complessivo riordino dell'area con la realizzazione di una nuova viabilità di accesso (che dovrà poi trovare continuazione in ambiti esterni al Parco, con apposita previsione nello strumento urbanistico comunale), e una nuova sistemazione dei parcheggi e degli spazi a verde. Sono inoltre previste alcune strutture del Parco (porta della tenuta, centro barchini).

Le strutture del Parco

La cava: è previsto un centro barchini.

Il Molinaccio: il fabbricato denominato "La Brilla" è destinato a centro per visitatori, attività culturali e museali finalizzate alla conoscenza e allo studio delle caratteristiche storiche ed ambientali del Lago e del Padule di Massaciuccoli.

La Piaggetta: i volumi edilizi esistenti potranno essere ristrutturati. La destinazione d'uso ammessa è residenziale per la villa e/o turistico-ricettiva per gli altri edifici, per i quali sono possibili aumenti volumetrici atti a portare le quote interne degli stessi al minimo di legge previsto per la nuova destinazione d'uso. Nei canali retrostanti è previsto un centro barchini.

Massaciuccoli: il paese di Massaciuccoli unitamente alla località Molinaccio e Piaggetta, costituisce il Centro del Parco.

In particolare da considerare in questa ottica il Casale, sede dell'Oasi LIPU, l'area del Porticciolo, che costituisce il luogo di partenza per la visita con barchini delle zone palustri e lacuali.

Sono inoltre da considerare integranti, anche se esterne al perimetro del Parco, le emergenze archeologiche del paese (terme, villa Romana, Antiquarium) unitamente al Centro Civico e alla ex-scuola elementare, da integrare maggiormente con l'attività del Parco.

L'albergo esistente può essere incrementato nel volume sino ad un massimo del 20% della volumetria attuale, con un aumento della superficie coperta massimo del 20% attuando una sistemazione complessiva dell'area di perti-

nenza sia per le finalità specifiche della struttura (con gazebo, patii all'aperto, vasca, piscina, attrezzature sportive e quanto altro) sia per la realizzazione del centro anatidi previsto nella adiacente riserva naturale del Chiarone.

Il Piano Strutturale e il Regolamento Urbanistico individueranno le altre attività commerciali e turistico-commerciali che dovranno integrare i servizi resi dal paese di Massaciuccoli perché possa svolgere a tutti gli effetti la funzione di "paese del Parco" la cui storia e la posizione assegneranno alla funzione che dà il nome al Lago e al Padule.

Monte Cocco: nella parte Nord-Ovest dell'area è prevista la realizzazione di parcheggio a uso pubblico, stazione mezzi pubblici, centro accoglienza, centro ristoro, deposito biciclette, area attrezzata per attività sportive, area attrezzata per gioco bambini, il punto cavalli, attrezzature per pesca sportiva, punto barchini, percorso attrezzato e osservatorio.

Portovecchio: è prevista la riconversione dell'area, attualmente destinata ad attività agricola, mediante la realizzazione di un campo da golf e conseguente sistemazione paesistico-ambientale. Dell'intera superficie interessata dall'intervento, non più della metà sarà effettivamente destinata a terreno da gioco; la rimanente area dovrà rimanere allo stato naturale e sarà opportunamente piantumata con essenze arboree tipiche della zona, o sarà ricostruito l'originale ambiente palustre.

Gli edifici regolarmente esistenti, situati all'interno dell'area, individuati dalla cartografia di piano come "Edilizia esistente ed area di pertinenza", o non individuati dalla cartografia di piano, potranno essere destinati a funzioni complementari al gioco del golf. Le destinazioni d'uso consentite sono: golf house, residenziale, turistico-alberghiera, edifici di servizio (magazzini, depositi, ricoveri attrezzi, abitazione del personale).

Manufatti del lago e del padule: le bilance da pesca, e i ricoveri barchini: si prevede l'attivazione di un registro dei manufatti tipici dell'area palustre, da tenersi presso l'Ente Parco e da effettuarsi in base ad iscrizione effettuata dai proprietari. Per i manufatti iscritti al registro si prevedono interventi sino alla demolizione e ricostruzione con mantenimento del volume e della superficie esistente. Il materiale ammesso è il legno. Per le coperture si prevede la possibilità di utilizzare altri materiali, purché si inseriscano nell'ambiente palustre. Nel caso di esistenza di manufatti non più agibili, se questi non sono registrati, il proprietario dovrà rimuovere ciò che resta del manufatto. Nel caso siano registrati, l'Ente Parco potrà imporre la ristrutturazione stabilendo un tempo entro il quale dovrà essere completata. In mancanza di ottemperanza l'Ente Parco potrà intervenire rimuovendo ciò che resta del manufatto.

Note

- 1 L.R. 13.12.1979 n.61 "Istituzione del parco naturale di Migliarino San Rossore Massaciuccoli".
- 2 Delibera Consiglio Regionale della Toscana n. 515 del 12.12.1989.
- 3 Delibera Giunta Regionale della Toscana n. 7375 del 6 agosto 1993.
- 4 Tale strumento non è ancora stato predisposto dall'Ente parco.
- 5 I Piani di Gestione sono stati predisposti per tutto il territorio del parco. In particolare:
 Piano di Gestione delle Tenute di Tombolo e Coltano approvato dal Commissario Straordinario dell'Ente Parco con Delibera n. 89 del 31.12.1994;
 Piano di Gestione della Tenuta Borbone e Macchia Lucchese, approvato con delibera del Consiglio Direttivo dell'Ente Parco n. 72 del 20.03.1996;
 Piano di Gestione della Tenuta di Migliarino e Fattoria di Vecchiano approvato con delibera del consiglio direttivo dell'Ente Parco n. 360 del 24.12.1997;
 Piano di Gestione della Tenuta di San Rossore adottato con delibera del Consiglio Direttivo dell'Ente Parco n. del 13.4.1999;
 Piano di Gestione del Padule Settentrionale e Lago di Massaciuccoli adottato dal Consiglio Direttivo dell'Ente Parco con delibera n. del 13.4.1999.
- 6 Il Piano del Parco è stato approvato dal Consiglio Regionale con delibera 12.12.1989 n.515. E' stato introdotto con la L.R.61/79 con la denominazione di Piano Territoriale. Successivamente la L.R. 24/94 ha confermato la validità di tale strumento, cambiandone la denominazione con quella di Piano del Parco, in conformità a quanto previsto dalla legge 6.12.1991 n.394.
- 7 I sette ambiti territoriali individuati dal piano del parco sono: la Tenuta di Tombolo, la Tenuta di Coltano e Castagnolo, la Tenuta di San Rossore, la Tenuta di Migliarino, il Padule Meridionale di Massaciuccoli (o Fattoria di Vecchiano), il Lago e Padule Settentrionale di Massaciuccoli, la Tenuta Borbone e Macchia Lucchese.
- 8 In base alle intese siglate tra il Parco, i Comuni di Pisa, San Giuliano Terme, Vecchiano, Massarosa e Viareggio e le Province di Pisa e di Lucca interessate territorialmente dall'area protetta, la predisposizione dei progetti dei piani di gestione, con esclusione di quello della Tenuta di San Rossore, doveva essere curata dalle Amministrazioni comunali territorialmente competenti, come previsto dall'art. 11 delle N.T.A. del Piano del Parco. L'affidamento dell'incarico da parte del comune di Massarosa fu particolarmente difficoltoso, e richiese alcuni anni. Il progetto trasmesso risultò essere poco soddisfacente perché conteneva numerosi elementi che costituivano variante al Piano del Parco. Per questo il Parco e i due comuni interessati, Massarosa e Viareggio decisero di procedere attraverso gli uffici interni. Il Piano adottato ha avuto come progettista l'ing. Sergio Paglialunga coadiuvato da un gruppo di lavoro formato da: Mario Cenni, Patrizia Vergari, Nadia Distefano, Luca Gorrieri, Stefano Cavalli, Giuseppe Chelotti, Paolo Fornai, Calogero Giordano.
- 9 Deliberazione del Comitato per le aree protette del 2.12.1996.
- 10 Ricordiamo tra i numerosi studi quelli coordinati dall'Ente Parco e raccolti nei due volumi: *Eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli*, Pisa 1994; e *Lago di Massaciuccoli. 13 ricerche finalizzate al risanamento*, Felici 1997.
- 11 Il bacino del Massaciuccoli è individuato nella tavola 1 del Piano di Gestione e comprende i territori interni al bacino idrografico o al bacino idrogeologico.
- 12 Tali norme sono contenute nei Titoli I e II, e vanno dall'art.1 all'art.9.
- 13 Oltre ai territori che ricadono nel Padule Settentrionale e Lago di Massaciuccoli, sono compresi nel bacino del lago anche territori ricadenti nei tre comuni che si affacciano sul lago, ma che ricadono in altre tenute/fattorie/comparti, e territori non ricadenti nel lago oltre a parte del territorio del comune di Lucca.
- 14 Vedi art.5 della L.R.23.5.1994 n.39.
- 15 Vedi comma 4 dell'art.1 della L.R. 14.4.1995 n.64.

- 16 Vedi comma 1 dell'art.25 della legge 5.1.1994 n.36.
- 17 Tale operazione è classificata come grave danno ambientale ai sensi della legge 8 luglio 1986 n.349.
- 18 Ai sensi del comma 4 dell'art. 1 della L.R. 14.04.1995 n. 64.
- 19 Art.21 delle Norme di Attuazione.
- 20 Art.25 delle Norme di Attuazione.
- 21 Definizione introdotta dal Piano del Parco (in precedenza denominato Piano Territoriale), approvato con Del. Cons. Reg. 515/89. N.T.A. art.3 comma 12: "(...) per le attività esistenti all'entrata in vigore del piano territoriale, non ammissibili e non corrispondenti all'assetto delle Tenute/Fattorie/Comparti definito dai piani di gestione, i piani stessi provvedono a regolamentarne la permanenza condizionata e la riqualificazione paesaggistica ed ambientale entro le relative aree di pertinenza."
- 22 I riferimenti strutturali contenuti nell'art.3 commi da 5 a 9 del piano del parco sono i seguenti: accessi al Parco (Porte del Parco), porte/cancello di ogni Tenuta/Fattoria/Comparto, centri del Parco, i capisaldi o piazzole del Parco, i luoghi ricettivi e organizzativi (museo, foresteria, centro visite, centro ricettivo, ristoro, parcheggio, stazione mezzi pubblici, stazione marittima, centro barchini, pontile, centro canoe, centro biciclette, centro ippico, boat houses, osservatorio, area archeologica, campeggio, campo da golf, zone sportive).
- 23 O, come spesso si è verificato in anni passati, nei casi in cui le trasformazioni vengano effettuate senza richiedere alcuna autorizzazione.
- 24 Gli interventi prioritari sono quelli elencati nell'art.7 delle Norme di Attuazione.
- 25 I manufatti precari sono quelli che permangono per un tempo limitato sul territorio. Per la loro realizzazione è sufficiente il rilascio del nulla osta del Parco di cui all'art. 20 della L.R. 24/94, unitamente alla comunicazione al Comune territorialmente competente. Il rilascio del nulla osta può avere una durata non superiore ad un anno rinnovabile per un massimo di anni 3 per insindacabile giudizio dell'Ente Parco, al termine del quale il manufatto dovrà essere rimosso. A garanzia dell'effettiva rimozione del manufatto al termine del periodo di validità del nulla osta, prima del rilascio dello stesso dovrà essere predisposta apposita garanzia fideiussoria.



CONTROLLO SULLO STATO TROFICO DEL SISTEMA LACUO - PALUSTRE



3. LA DISTRIBUZIONE DEI NUTRIENTI NEL BACINO DEL LAGO DI MASSACIUCCOLI

Carlo Cini

3.1. Introduzione

L'eutrofizzazione è un fenomeno naturale fortemente accentuato dalle attività antropiche che determinano un incremento di materiali inorganici, sia nei sedimenti che nelle acque di un corpo idrico.

In acqua la vita è organizzata in base all'interazione tra organismi detti "produttori primari" ed altri detti "consumatori". Nel fenomeno della eutrofizzazione i produttori primari sono organismi vegetali che, in presenza di luce, mediante processi fotosintetici, utilizzano i materiali inorganici per trasformarli in materia organica.

Negli ambienti "lentic", cioè nelle acque interne non correnti quali i laghi, il ruolo principale ai fini della produzione primaria di biomassa è svolto dalle piante acquatiche e dal fitoplancton, ovvero dalle alghe microscopiche (fitoplancton) che vivono in sospensione nell'acqua qualora detti corpi idrici siano eutrofici.

Le condizioni di un corpo idrico lentico rimangono complessivamente accettabili se la biomassa prodotta all'interno dell'ambiente in esame è inferiore a quella utilizzata dallo zooplancton, o persa con le acque emissarie, o decomposta all'interno dell'ambiente, purché quest'ultimo processo non comporti un elevato consumo di ossigeno disciolto con conseguenti fenomeni di anossia.

Nei laghi la produzione di biomassa, considerando le condizioni di scarso ricambio, dipenderà principalmente dalla disponibilità di composti inorganici solubili contenenti carbonio, azoto e fosforo, ormai comunemente identificati come "nutrienti".

La disponibilità di nutrienti, quando associata a condizioni ambientali ottimali (trasparenza, temperatura, corrente ecc.), può portare a uno sviluppo abnorme di biomassa vegetale fitoplanctonica e innescare una serie di fenomeni degenerativi. In questi casi insorgono fioriture algali o, per usare un termine ormai di comune accezione, "blooms algali".

Le modificazioni delle caratteristiche qualitative di un corpo idrico, associate ad uno stato eutrofico, sono talvolta di tale entità da ridurre notevolmente la possibilità d'uso. Le masse algali, oltre a ridurre notevolmente il livello di trasparenza delle acque, contribuiscono a conferire caratteristiche organolettiche sgradevoli; il fenomeno si acuisce nei mesi estivi, quando la stratificazione termica impedisce la miscelazione delle acque superficiali, più ossigenate, con quelle profonde.

Un ruolo molto importante nella distribuzione dei nutrienti, oltre che per i livelli di ossigenazione, è svolto dalla circolazione delle acque; una volta individuato il carico di nutrienti, che dipende ovviamente dalla estensione e dalle caratteristiche del bacino drenabile, è necessario valutare il tempo di ricambio delle acque che è funzione del volume del lago, degli afflussi e dei deflussi regolati dagli immissari e dagli emissari.

Nei laghi, oltre agli spostamenti orizzontali delle acque, sono di grande importanza i movimenti verticali. Da questi dipende l'equilibrio tra nutrienti accumulati nei sedimenti e la loro concentrazione nelle acque. Il principale fattore di regolazione di tali movimenti è la temperatura.

L'acqua, a diverse temperature, ha diversi valori di densità e tende a stratificarsi; quella più calda, che è anche meno densa, si dispone in superficie e quella più fredda negli strati sottostanti. Nei periodi caldi il riscaldamento degli strati superficiali favorisce la stratificazione; lo strato superficiale è detto "epilimnio", e si sovrappone alla massa d'acqua sottostante detta "ipolimnio"; la zona intermedia, caratterizzata da un accentuato gradiente di temperatura è detta "metalimnio" (Fig. 1).

Nei periodi autunnali ed invernali, il raffreddamento delle acque superficiali provoca un mescolamento delle acque e l'intera massa tende a raggiungere uno stato di isoterma.

A seconda delle condizioni di temperatura, che variano con le stagioni, il

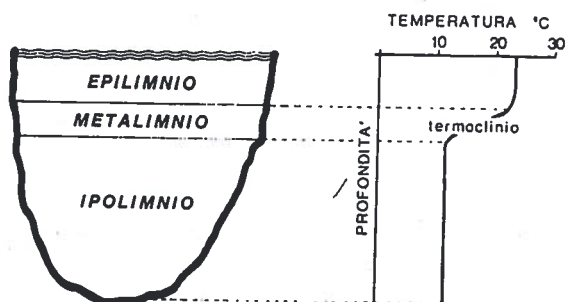


Fig. 1 Stratificazione delle acque nel periodo estivo: gli strati sono l'epilimnio (il più caldo) e l'ipolimnio, separati da un terzo strato o metalimnio, nel quale si ha una rapida variazione della temperatura (termoclinio).

Da R. Marchetti; *L'Eutrofizzazione*, ed. Franco Angeli, Milano

mutamento delle condizioni chimico-fisiche che ne consegue permette alle particelle dei fondali di scambiare sostanze con la colonna d'acqua. All'interfaccia acqua-fondale, ciò può avvenire nei due sensi tanto che il fondale può essere considerato ora una fonte ora un pozzo per il sistema lacustre.

Tutti gli spostamenti della massa d'acqua, sia orizzontali che verticali, giocano comunque un ruolo importante nel processo di eutrofizzazione.

I processi sopra descritti interessano da molti anni anche il lago di Massaciuccoli e l'intero bacino, che ormai hanno raggiunto un notevole livello di degrado. Di seguito saranno descritti tutti gli aspetti relativi allo stato del bacino, sia riguardo allo specchio lacustre che alla rete idrografica. Particolare attenzione sarà rivolta al carico di nutrienti ed al contenuto degli stessi nei sedimenti e nelle acque.

3.2. Descrizione del bacino

Il bacino del lago di Massaciuccoli ha una estensione di circa 89 Km² e ricade nei comuni di Viareggio, Massarosa e Vecchiano. Lo specchio lacustre ha un'area di circa 7 Km².

Il bacino (Duchi *et al.* 1990) è delimitato verso Nord dalla provinciale Viareggio-Lucca, verso Est dallo spartiacque della zona collinare dove il monte Ghirladona (453 m s.l.m.) rappresenta il punto più alto, verso Sud dal fiume Serchio che non influenza comunque l'idrodinamica del bacino stesso. Dalla parte Ovest, in direzione del mare, il limite del bacino, non altrettanto ben definito, viene identificato col punto di massima elevazione della falda freatica superficiale.

3.3. Rete idrografica e apporti di nutrienti

La rete idrografica che alimenta il Lago di Massaciuccoli è stata oggetto di un recente studio idrologico del bacino (Spandre e Meriggi 1997) condotto nell'ambito delle attività di ricerca finalizzate al risanamento, finanziate dall'Ente Parco. Il sistema di immissioni al bacino si identifica in una fitta rete di canali e fossi che costituisce un sistema idrografico molto complesso, con il lago di Massaciuccoli in posizione quasi centrale (Fig. 2).

L'unico emissario, che collega direttamente il lago al mare, è il canale Burlamacca la cui asta principale è di 8 Km; il canale è dotato di chiuse idrauliche che limitano l'ingresso di acque salate nel lago.

I principali immissari sono i fossi Barra e Barretta, situati nel settore centro-meridionale del bacino, il fosso Confine situato più ad Est, e il fosso La

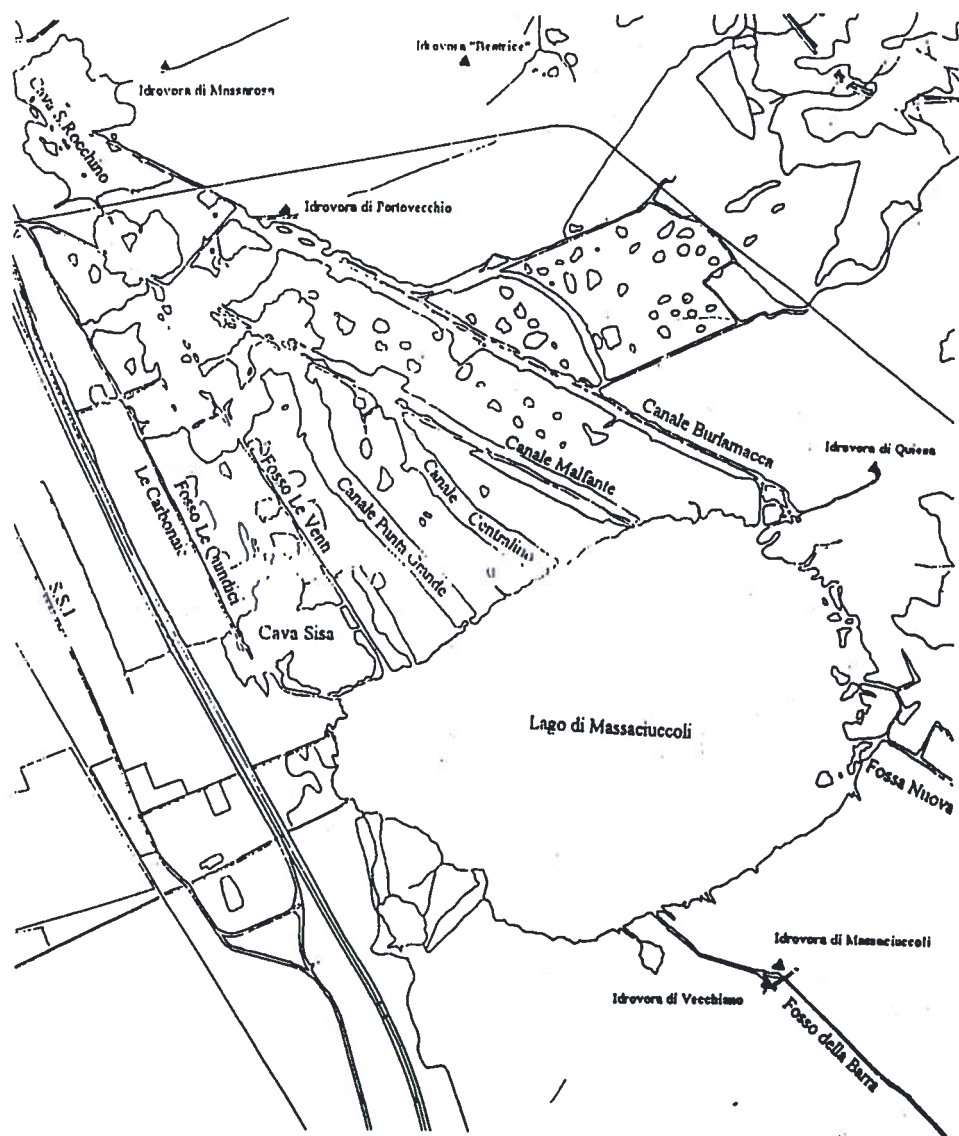


Fig.2 Rete idrografica di alimentazione del Lago di Massaciuccoli.

Da: Spandre e Meriggi, 1997, *Studio Idrologico del Lago di Massaciuccoli*, in *Lago di Massaciuccoli, 13 Ricerche finalizzate al Risanamento*, Pisa 1997.

Vite e la Fossa Nuova alimentati dalle sorgenti della linea Pedemontana.

Dal canale Barra, come risulta dall'analisi delle acque (Franchi e Molino 1994; Cini *et al.*, 1997) e dalla distribuzione del fosforo nei sedimenti (Pensabene *et al.*, 1997), provengono notevoli quantità di nutrienti e di solidi; tale carico è associato ad apporti di origine agricola, oltre che a scarichi di origine civile ed industriale.

Le aree agricole sono costituite da un comprensorio di circa 6 Km² a scolo naturale, e dalle aree bonificate di Massaciuccoli (5.2 Km²) e di Vecchiano (16,7 Km²) che recapitano nella Barra attraverso due impianti idrovori.

Gli scarichi civili sono rappresentati prevalentemente dal depuratore di Vecchiano, che scarica direttamente nel canale Barra, dal depuratore di Migliarino che scarica nel comprensorio agricolo di Vecchiano, e da un'industria alimentare che scarica nel canale Separatore.

Oltre al carico di nutrienti derivante dal canale Barra, un altro importante contributo è associato al Canale Pantaneto che raccoglie i reflui dell'impianto di depurazione di Massarosa.

Il sistema complessivo di alimentazione del Lago di Massaciuccoli attraverso la rete idrografica sopra descritta è ovviamente condizionato dall'andamento climatico stagionale legato alle precipitazioni, alle variazioni di temperatura e alla intensità e direzione del vento che influenza la sedimentazione del materiale particolato e lo scambio tra acque marine e lacustri.

3.4. Distribuzione dei nutrienti nei sedimenti

A differenza di quanto accaduto negli anni per le acque del Lago di Massaciuccoli, per i sedimenti non sono state svolte indagini specifiche e in particolare nulla è stato scritto circa il loro ruolo nell'equilibrio dell'ecosistema.

La prima indagine sedimentologica dei fondali del bacino lacustre è stata condotta recentemente (Frasconi *et al.* 1994) con l'obiettivo prioritario di contribuire a ricostruire l'intero ciclo della sostanza organica e dei nutrienti. Parallelamente sono state prese in considerazione le variazioni ambientali legate a fenomeni associati ad attività antropiche.

Nel corso dell'indagine è stata eseguita sia una campionatura estensiva per valutare la composizione del sedimento superficiale, sia una campionatura intensiva mirata a ricostruire la storia del bacino e a valutare i flussi delle sostanze nutrienti in atto all'interfaccia acqua-sedimento, per diffusione molecolare.

L'analisi della distribuzione relativa alla concentrazione dei nutrienti evidenzia concentrazioni superficiali di fosforo totale comprese tra 401 e 1248

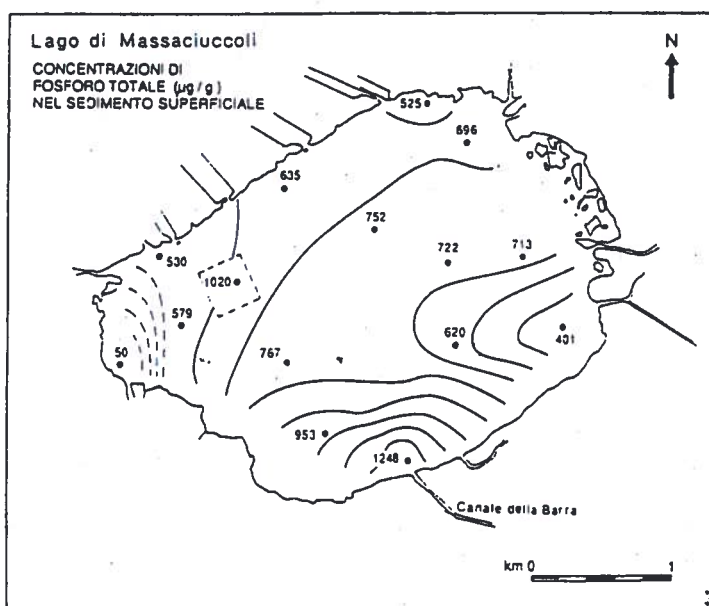


Fig.3 Distribuzione areale delle concentrazioni di Fosforo nei sedimenti.

Da: Pensabene et al., 1997. *Studio Idrologico del Lago di Massaciuccoli*, in *Lago di Massaciuccoli, 13 Ricerche finalizzate al risanamento*, Pisa 1997

ppm, con valori crescenti dal Centro Lago al canale Barra (Fig. 3).

Nelle carote i livelli di fosforo totale sono bassi nel tratto profondo ed intermedio; negli ultimi 30-40 cm si osserva un sensibile incremento, fino a raggiungere livelli di fosforo triplicati rispetto a quelli profondi. Tale andamento dimostra che il forte incremento osservato negli anni giustifica, in condizioni chimico-fisiche favorevoli, la presenza di fenomeni di rilascio di fosforo verso le acque.

3.5. Concentrazione dei nutrienti nelle acque: variazioni nel tempo

Lo studio dei fenomeni eutrofici di un corpo idrico necessita di informazioni di diversa natura consistenti in dati chimici, fisici, biologici oltre che dati climatici, idrogeologici e demografici.

I valori di riferimento per la valutazione dello stato trofico dei laghi sono stati stabiliti dai criteri EPA (EPA, 82) e dai criteri OCSE (OCSE, 82).

I criteri OCSE definiscono dei dati di base ed alcune variabili limnologiche distinte in dati fisici, chimici e biologici. I dati fisici ritenuti importanti sono: temperatura, conducibilità elettrica e trasparenza, mentre tra i dati chi-

mici fondamentali, oltre a pH ed ossigeno disciolto, sono ovviamente compresi i nutrienti ed in particolare il fosforo e l'azoto nelle varie forme ossidate.

Con il termine "fosforo totale" ci si riferisce alla totalità del fosforo presente in acqua sia come composto organico, sia in forma minerale come sali solubili, nella maggior parte dei casi ortofosfati.

L'OCSE richiede sia la determinazione degli ortofosfati che del fosforo totale, anche se prende in considerazione solo quest'ultimo per stabilire i limiti delle varie categorie trofiche:

Ultraoligotrofia < 4 µg/l

Oligotrofia < 10 µg/l

Mesotrofia 10 - 35 µg/l

Eutrofia 35 - 100 µg/l

Ipereutrofia > 100 µg/l

In letteratura esistono già molti lavori che prendono in considerazione le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche delle acque del Lago di Massaciuccoli.

Fino al 1940 i dati a nostra disposizione (Brunelli e Cannicci 1942) mostrano un lago oligotrofo, con elevata trasparenza; le attività antropiche hanno contribuito a modificare ben presto la situazione ottimale, e già a partire dagli anni '50 sono state evidenziate morie di pesci associate a fenomeni di anossia delle acque e più tardi anche a fenomeni di ittiotossicità (Simoni *et al.* 1980).

Uno studio recente sulla composizione chimica delle acque (Franchi, Molino 1994) evidenzia uno stato eutrofico delle stesse e, per alcune stazioni, confrontando la concentrazione di fosforo reperita nelle acque con i valori previsti dall'OCSE, si raggiunge un livello di ipereutrofia.

3.6. Indagini sulla concentrazione dei nutrienti nelle acque:

Aprile 1994 Agosto 1995; Aprile 1997 Ottobre 1998

Il Dipartimento ARPAT di Pisa ha svolto due indagini sullo stato trofico del Lago di Massaciuccoli, la prima dall'aprile 1994 all'agosto 1995, (Cini *et al.* 1997) e la seconda, svolta nell'ambito di una convenzione con l'Ente Parco Regionale di Migliarino, S. Rossore e Massaciuccoli, dal mese di aprile 1997 fino all'ottobre 1998.

Nel corso di quest'ultima sono state effettuate trentasei campagne di campionamento, su un totale di trentuno stazioni, distribuite sia sullo specchio lacustre sia in punti strategici della rete idrografica.

Sui campioni di acqua sono stati determinati, sul campione filtrato, azoto

ammoniacale, azoto nitroso, azoto nitrico ed ortofosfati solubili, mentre sul campione tal quale sono stati determinati azoto totale e fosforo totale.

Tutti i metodi analitici usati per la determinazione dei nutrienti sono riportati in letteratura (Nova Thalassia, 1990; IRSA-CNR, 1983; Grasshoff *et al.* 1983).

Nella Tabella 1 sono riportati i valori dei nutrienti azotati alla stazione di centro Lago, ritenuta la stazione di riferimento per lo stato trofico del Lago, ottenuti nel corso delle due indagini.

*Tab. 1 Valori medi della concentrazione dei nutrienti:
Stazione di Centro Lago*

	Campagna 1994-5	Campagna 1997-8
	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
N-ammoniacale	62.8	48.0
N-nitroso	6.3	10.5
N-nitrico	101.0	175.5
N-totale	1304.1	4488.7
P-fosfati	9.9	13.9
P-totale	36.8	81.1

Nell'ultima indagine, rispetto ai valori riscontrati nel periodo 1994-95, si registra un aumento della concentrazione dei nutrienti azotati, a eccezione dell'azoto ammoniacale, e dei nutrienti fosforati, sia sui campioni filtrati che sui campioni tal quale (Fig. 4).

Il maggior incremento è stato riportato per l'azoto totale il cui valore medio, rispetto alla precedente campagna 1994-95 è passato da 1304.1 a 4488.7 $\mu\text{g/l}$ (Fig. 5).

La Concentrazione del fosforo totale, pur presentando un incremento meno marcato, presenta valori più che raddoppiati rispetto alla precedente indagine.

Sulla base di questi valori, considerando i criteri OCSE sopra riportati, la stazione di centro Lago è da classificare come "eutrofizzata".

L'aumento concomitante dei valori medi del fosforo totale e dell'azoto totale, considerando che tali parametri vengono determinati sul campione tal quale, è probabilmente associabile ad un maggior apporto di materiale solido o ad una maggiore concentrazione di nutrienti nel particolato.

I campioni prelevati alla stazione di centro lago in prossimità del fondale (Tab.2), rispetto ai campioni prelevati in superficie presentano, per i nutrienti azotati, valori sensibilmente più elevati della concentrazione dell'azoto ammoniacale, mentre l'aumento della concentrazione dell'azoto nitrico e dell'a-

zoto totale è modesto. Per i nutrienti fosforati si registra un forte incremento della concentrazione del fosforo totale mentre per i fosfati i valori medi sono inferiori a quelli repertati sui campioni di superficie.

*Tab. 2 Valori medi della concentrazione dei nutrienti:
Stazione di Centro Lago (fondo)*

	Campagna 1997-8
	$\mu\text{g/l}$
N-ammoniacale	82.5
N-nitroso	7.7
N-nitrico	193.1
N-totale	4506.4
P-fosfati	8.3
P-totale	221.4

Sono stati inoltre considerati i valori del rapporto di concentrazione tra i sali di azoto e di fosforo (rapporti di Redfield) per la individuazione del "fattore limitante"; in pratica, considerato che in assenza di limitazioni d'altro tipo la biomassa algale si accresce in funzione della concentrazione di sali nutritivi, si comprende che o l'azoto o il fosforo, quando in difetto, possono assumere un ruolo fondamentale di regolazione della crescita algale.

Secondo l'OCSE quando il rapporto tra i sali di azoto solubili e ortofosfati solubili, espressi in unità peso/volume, è inferiore a 7, si è in condizioni limitate dall'azoto, mentre con rapporti uguali o superiori a 15 la situazione è invertita, ed è il fosforo che diventa fattore limitante. Per valori dal rapporto compresi tra 7 e 15 l'aumento dell'uno o dell'altro può favorire la crescita di alghe.

I rapporti tra i nutrienti azotati e fosforati calcolati secondo i criteri OCSE [$R = (N-NH_3 + N-NO_2 + N-NO_3) / P-PO_4$], evidenziano un andamento diverso per la campagna 1994-95 rispetto alla campagna 1997-98.

L'esame della serie dei dati ottenuti per i rapporti di Redfield non consente di individuare variazioni stagionali ben definite. Probabilmente i vari apporti inquinanti che influenzano la concentrazione dei nutrienti, ed in particolare i canali recettori dei reflui degli impianti di depurazione di Vecchiano e Massarosa e i canali delle bonifiche di Vecchiano e di Massaciuccoli, presentano caratteristiche chimiche e di portata estremamente variabili e tali da rendere impossibile ogni previsione sulla variazione di concentrazione dei nutrienti e, di conseguenza, sul fattore limitante.

La quantità di nutrienti è comunque tale da rendere ormai quasi inutile l'individuazione del fattore limitante: lo stato trofico del lago e della rete idro-

grafica che lo alimenta è talmente elevato da giustificare interventi drastici ed immediati di riduzione di tutti i nutrienti.

Le concentrazioni dei nutrienti rilevate nel corso delle indagini 1994-95 e 1997-98 in alcuni punti della rete idrografica, ritenuti strategici, sono riportati nelle tabelle seguenti (Tab. 3 e Tab. 4).

Tab. 3 Valori medi della concentrazione dei nutrienti (1994-95)

	N-nitroso µg/l	N-nitrico µg/l	N-ammon. µg/l	N-totale µg/l	P-totale µg/l	P-fosfati µg/l
Foce Barra	14.7	459.7	158.9	2257.9	194.2	48.3
Canale Barra	38.2	867.5	239.3	2797.4	285.8	212.5
Bonifica Vecchiano	38.3	665.8	628.9	5801.5	388.7	185.8
Bonifica Massaciuccoli	41.3	2102.2	602.1	4300.1	274.4	180.8
Depuratore di Vecchiano	101.9	1205.4	1719.2	6808.6	836.7	396.9
Depuratore Massarosa	66.9	446.1	793.2	8023.6	1044.7	643.3
Canale Fossa Nuova	6.1	286.3	52.0	1338.7	152.2	15.2

Tab. 4 Valori medi della concentrazione dei nutrienti: (1997-98)

	N-nitroso µg/l	N-nitrico µg/l	N-ammon. µg/l	N-totale µg/l	P-totale µg/l	P-fosfati µg/l
Foce Barra	70.6	371.6	222.9	5230.0	321.6	130.0
Canale Barra	85.8	746.6	410.3	5727.3	279.6	82.8
Bonifica Vecchiano	71.4	414.8	837.8	6469.0	404.5	203.2
Bonifica Massaciuccoli	101.3	647.8	560.0	7301.5	406.7	216.1
Depuratore di Vecchiano	152.0	453.6	2213.4	15076.7	528.1	285.1
Depuratore Massarosa	4.0	34.8	2571.2	24103.1	1020.0	576.6
Canale Fossa Nuova	4.5	15.9	30.8	3970.8	80.6	9.7

In quasi tutte le stazioni i valori medi sono notevolmente superiori a quelli registrati alla stazione di Centro Lago con eccezione della Fossa Nuova, dove i nutrienti azotati risultano in concentrazione inferiore.

Nella campagna 1997-98 si registra un notevole incremento della concentrazione di azoto totale e di fosforo totale nelle zone di bonifica di Vecchiano e Massaciuccoli e, conseguentemente, nel Canale Barra. Relativamente agli impianti di depurazione di Vecchiano e Massarosa si registra, rispetto alla indagine 1994-95, solo un aumento dei livelli di azoto totale.

Al fine di valutare il carico complessivo di nutrienti, si devono ovviamente

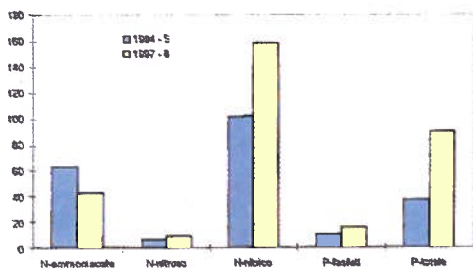


Fig. 4 Stazione di centro lago. Confronto tra la concentrazione dei nutrienti relative alle campagne 1994-95 e 1997-98

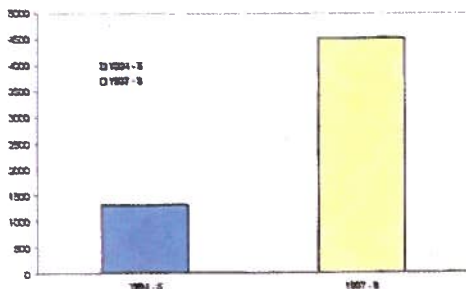


Fig. 5 Stazione di centro lago. Confronto tra la concentrazione di N-totale (µg/l) relativa alle campagne 1994-95 e 1997-98

considerare, oltre alle concentrazioni, anche le portate; una valutazione complessiva dei dati evidenzia che i maggiori apporti provengono, attraverso il canale Barra, dai territori di bonifica.

Riferendosi ai criteri OCSE per il fosforo totale, tutte le stazioni, ad eccezione della Fossa Nuova, sono in condizioni di "ipereutrofia" considerando un valore soglia di 100 µg/l.

3.7. Conclusioni

L'indagine condotta dall'aprile 1997 all'ottobre 1998 evidenzia il permanere di uno stato eutrofico del Lago di Massaciuccoli. La stazione di Centro Lago, secondo i criteri OCSE, è da classificare come "eutrofica", mentre quasi tutte le stazioni monitorate, in base agli stessi criteri, sono da considerare "ipereutrofiche".

Rispetto alla precedente campagna (1994-95) è stato registrato un aumento della concentrazione del fosforo totale e dell'azoto totale con incrementi più significativi per quest'ultimo. Probabilmente l'incremento concomitante di questi nutrienti è associabile al maggior apporto di materiale solido.

La situazione del bacino del Lago di Massaciuccoli, al fine di valutare correttamente l'apporto di nutrienti, appare molto complessa. I dati di concentrazione, integrati con i dati di portata delle singole immissioni evidenziano che, pur essendo importanti i contributi derivanti dagli impianti di Vecchiano e Massarosa, il maggior apporto di nutrienti deriva dalle idrovore di Vecchiano e Massaciuccoli.

Non sono inoltre trascurabili i fenomeni di rilascio dai fondali.

Il problema dell'eutrofizzazione delle acque del Lago di Massaciuccoli

può essere risolto solo in presenza di una pluralità di interventi che riducano drasticamente tutte le fonti di immissione di nutrienti.

Bibliografia

- Duchi G., Matraia M., Viti C., 1990. *Contributo alle conoscenze scientifiche del Lago di Massaciuccoli*, Massaciuccoli srl, Viareggio, inedito
- Spandre R., Meriggi A., 1997. *Studio Idrologico del bacino del Lago di Massaciuccoli*; in *Lago di Massaciuccoli, 13 Ricerche finalizzate al risanamento*, Pisa, p. 23-91.
- Franchi M.L., Molino C., 1994. *Composizione chimica delle acque in diverse localizzazioni del Lago di Massaciuccoli*, in *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*, Pisa.
- Cini C., Nottoli R., Calafà A., Manzione R., Giaconi V., 1997. *Valutazione della concentrazione dei nutrienti nel Lago di Massaciuccoli*, in *Lago di Massaciuccoli, 13 Ricerche finalizzate al risanamento*, Pisa, p. 115 - 130.
- 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 *Lago di Massaciuccoli, 13 Ricerche finalizzate al risanamento*, Pisa, p. 131 - 147.
- Frascari F., Bergamini M.C., Caridei F., Miserocchi S., 1994. *Studio geochimico-sedimentologico dei fondali in funzione del ciclo delle sostanze nutrienti nel Lago di Massaciuccoli*, in *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*, Pisa, p. 87 - 101.
- OCDE, 1982. *Eutrophication of Water. Monitoring, assesement and control*, Parigi.
- Brunelli G., Cannicci G., 1942. *Il Lago di Massaciuccoli*. Boll. Pesca, Piscic. Idrobiol., 18, 5-66.
- Simoni F., Bernacchi G., 1980. *Prymnesium Parvum Carter (Chrisomonadinae) quale fattore di tossicità dell'ittiofauna del Lago di Massaciuccoli*, Riv. It. Ig., XXXX, 139-154.
- Metodi nell'ecologia del plancton marino*, 1990. Nova Thalassia, vol. 11, Trieste.
- Metodi di analisi per le acque di mare*, 1983. IRSA-CNR, Roma.
- Metodi di analitici per le acque*, 1994. IRSA-CNR, Roma.
- Grasshoff K., Ehrhardt M., Kremling K., 1983. *Methods of Seawater Analysis*, Ed. Verlag Chemie, Weinheim, 2nd edition.

4. EVOLUZIONE DEL FITOPLANCTON IN AREE CAMPIONE E IN ZONE SPERIMENTALI INTERESSATE DA INTERVENTI DI RISANAMENTO

Franco Simoni, Massimiliano Mattioli, Claudio di Paolo

4.1. Premessa

Da circa 50 anni la zona umida, situata all'interno del territorio di Torre del Lago (Lu), formata dal lago e dalla palude di Massaciuccoli, ha subito rapide e profonde modificazioni determinate dalla eutrofizzazione. Le principali cause di questo processo sono:

- il cambiamento idrogeologico del territorio che da palude è stato trasformato in gran parte in terreno agricolo mediante opere di bonifica (Benzio, 1986);
- i carichi di solidi sospesi e di nutrienti prodotti dalle acque di dilavamento dei terreni agricoli concimati, immesse nel lago dalle pompe idrovore (Pensabene *et al.*, 1997);
- gli apporti di nutrienti (fosforo e azoto) provenienti dalle fonti d'inquinamento puntiforme e diffuse di origine antropica come scarichi di depuratori civili, allevamenti di bestiame, discariche RSU ecc. (Franchi *et al.*, 1994; Cini *et al.*, 1997);
- la mancanza di un vero ricambio, a causa del basso livello delle acque che spesso sono al di sotto di quelle del mare (Spandre, 1997).

Quest'ultima caratteristica è la causa dell'aumento della densità delle sostanze in sospensione, dell'incremento della torbidità delle acque e della concentrazione dei nutrienti. Nel periodo estivo, infatti, la bassa profondità e la torbidità delle acque favoriscono l'innalzamento della temperatura e una elevata evaporazione (Mattioli, 1995; Aquater, 1980). Ciò produce un aumento della concentrazione dei nutrienti che si aggiungono a quelli liberati dai sedimenti ricchi di fosforo e di azoto (Pensabene *et al.*, 1997). Infatti i fanghi del fondo che trattengono acque interstiziali anaerobiche particolarmente abbondanti nel periodo estivo, a causa della maggiore attività batterica, sono sede di solubilizzazione del fosforo e dell'azoto (Frasconi *et al.*, 1994) (Fig.2). Si os-

Stazioni di campionamento



Fig. 1

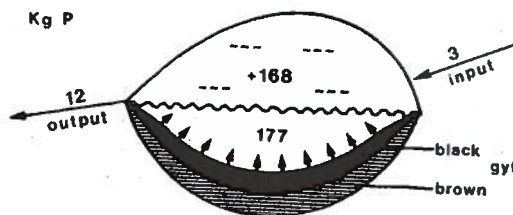


Fig. 2

serva quindi, anche in assenza di inputs esterni (come durante lunghi periodi di siccità) che l'eutrofizzazione non diminuisce, ma anzi può raggiungere i valori più alti (Simoni *et al.*, 1998; Cini *et al.*, 1998).

L'elevata temperatura dell'acqua nel periodo compreso dalla primavera all'autunno favorisce lo sviluppo di microalghe Cianoficee che entrano in competizione con gli altri taxa algali e diventano quindi la popolazione predominante.

Le Cianoficee sono rappresentate da specie coccoidi, *Microcystis incerta*, *M. aeruginosa*, *Merismopedia tenuissima* ecc., e filamentose appartenenti ai generi *Lyngbya spp.*, *Aphanizomenon spp.*, *Oscillatoria spp.*, *Anabaena spp.*, che rappresentano un cibo di cattiva qualità per lo zooplancton (Hietala *et al.* 1997; Repka 1997). Questo subisce un rallentamento nelle proprie capacità riproduttive, che si aggiunge alle conseguenze dovute alla predazione esercitata dai pesci zooplanctivori, predominanti nell'ecosistema eutrofizzato.

La torbidità dell'acqua, prodotta dall'alta densità fitoplanctonica e dai solidi sospesi facilmente risollevari dai sedimenti per azione eolica, non è quindi controllata dall'attività di *grazing* dello zooplancton (Hamza *et al.*, 1991). Anche il loop dei protozoi ciliati è insufficiente a controllare lo sviluppo batterico e dell'Ultraplancton, rendendo inefficace il trasferimento della produttività batterica nella catena alimentare (Mattioli, 1995).

La conseguente torbidità delle acque ostacola il passaggio dell'energia luminosa necessaria allo sviluppo delle macrofite sommerse, con una ulteriore alterazione della catena trofica.

Questo processo ha portato in pochi anni alla scomparsa delle praterie formate dall'alga alcalofila *Chara* e da diverse fanerogame *Myriophyllum*, *Ceratophyllum* ecc..

Nel periodo invernale, quando la profondità eufotica è maggiore, la bassa

temperatura e la scarsa energia luminosa impediscono a loro volta lo sviluppo di queste piante sommerse.

Anche le tossine microalgali giocano un ruolo importante sull'equilibrio della catena alimentare:

- in estate alcune alghe Cianoficee possono produrre tossine (microcistine) dannose per il pesce e per lo zooplancton (Hietala *et al.*, 1997);
- in tardo autunno, in inverno e all'inizio della primavera si possono verificare fioriture della microalga tossica *Prymnesium parvum*, con conseguenti morie di pesci e delle specie zooplanctoniche di maggiori dimensioni (crostacei Cladoceri), che controllano con maggiore efficacia lo sviluppo del fitoplancton.

La stratificazione termica, durante il periodo estivo-autunnale, e la stratificazionealina determinata dall'ingressione di acqua di mare creano ampie zone di acque anossiche spesso alla profondità di poco superiore a due metri (Baldaccini *et al.*, 1986; Simoni *et al.*, 1992).

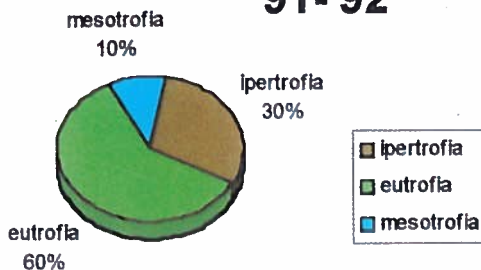
Gli studi sull'eutrofizzazione del lago e della palude, effettuati nel 1975 (Geotecneco, 1975) e nel 1980 (Aquater, 1980), hanno evidenziato un rapido peggioramento del livello trofico (Fig. 3) rispetto alla situazione precedente.

Infatti dalla categoria oligotrofa (Fase 1) delle acque (Brunelli e Cannicci, 1942), si passa ad un lungo pe-

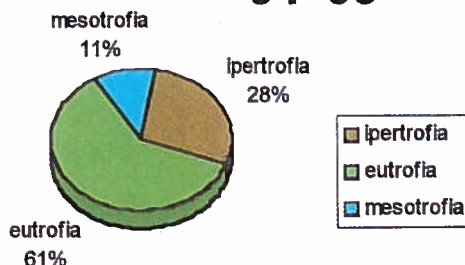
Distribuzione delle classi di trofia
nei recenti periodi di studio: Centro Lago



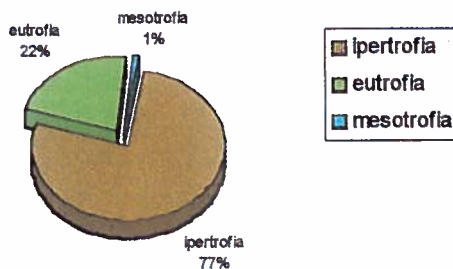
91-'92



94-'95



mag '97- lug'98



in base al parametro clorofilla "a"
(media annuale) OECD

Fig. 3

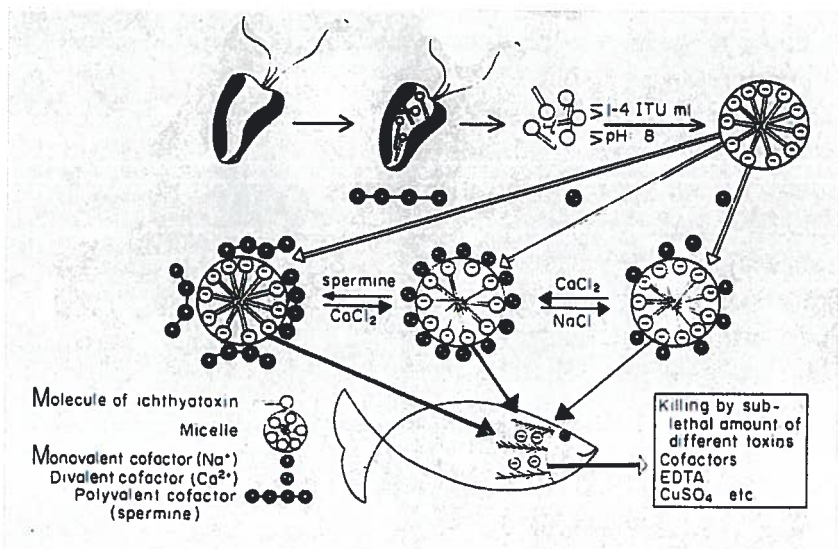


Fig. 4 Meccanismo di azione della tossina del *Prymnesium* sul pesce

riodo di mesotrofia (Fase 2) caratterizzato da uno sviluppo massiccio di macrofite sommerse (*Chara*, *Ceratophyllum*, *Myriophyllum*, *Ninphaea*), dove dominava un'ampia diversità di specie nei diversi anelli della catena alimentare.

In questa fase evolutiva, anche l'avifauna aveva raggiunto la maggiore ricchezza, sia come specie che come quantità. (AA. VV., 1983; Pedreschi, 1956).

Successivamente questo equilibrio omeostatico si rompe bruscamente, passando da una produzione primaria prevalentemente a macrofite sommerse ad una prevalentemente a fitoplancton (Fase 3) (Simoni *et al.*, 1992).

Il corso dell'eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli non differisce quindi da quello osservato nei laghi poco profondi in molte parti del mondo (Moss, 1989; Phillips, 1991; Giussani, 1995; Moss *et al.*, 1996).

I meccanismi a cascata innescati da questo cambiamento hanno determinato un rapido peggioramento dell'ecosistema, sia lacustre che palustre, che si è manifestato con diffuse morie di pesci prodotte dalle fioriture della microalga tossica *Prymnesium parvum* (Simoni, 1975) (Fig. 4), con un aumento della torbidità delle acque e con la riduzione o scomparsa di numerose specie ittiche e ornitiche (Fig. 5).

Tuttavia il lago e il padule di Massaciuccoli rappresentano tuttora un ambiente

di grande valore naturalistico per la conservazione di specie botaniche rare (*Ibiscus palustris*, *Drosera rotundifolia* ecc.) ed ornitiche come il tarabuso (*Botaurus stellaris*); è inoltre un forte richiamo turistico per il valore estetico e storico.

L'impegno delle amministrazioni locali, regionali ed europee per il ricupero di questo ambiente umido e per la salvaguardia delle specie rare è quindi di grande importanza.

Questo lavoro, parte integrante di una ricerca multidisciplinare, si propone di conoscere le interazioni tra le variabili fisiche, chimiche e biologiche e di individuarne le variazioni determinate dalla manipolazione dell'ecosistema, e ha lo scopo di evidenziare ed ottimizzare gli interventi mirati alla gestione e al ricupero dell'ambiente dai danni prodotti dal processo di eutrofizzazione.

4.2. Periodo ed area di studio

La ricerca si articola in due fasi:

la prima da maggio 1997 a luglio 1998, su 10 stazioni di monitoraggio (Fig. 1):

- Stazione 1B a Sud della foce di Fossa Nuova
- Stazione 2B a Sud della foce di Fosso Massaciuccoli
- Stazione 3B Centro lago
- Stazione 4B presso la foce del Canale Barra
- Stazione 5B Fosso morto (appendice dello specchio lacustre lato Nord Ovest)
- Stazione 6B Canale Punta Grande prima dell'isolotto
- Stazione 7B Canale Centralino
- Stazione 8B Canale Centralino fuori dall'*enclosure*
- Stazione 9B area a macrofite sul lato Nord del lago, compresa tra i canali Burlamacca e Malfante
- Stazione 10B Gusciona (appendice lacustre a Sud del lago in prossimità del Canale Barra).

La seconda da settembre 1998 a gennaio 1999 nelle seguenti stazioni:

- Stazione 3B Centro lago
- Stazione 5B Fosso morto (appendice dello specchio lacustre lato Nord Ovest I)
- Stazione 6B Canale Punta grande prima dell'isolotto
- Stazione 7B Canale Centralino
- Stazione 7E *enclosure* rotonda inserita nel canale Centralino
- Stazione 7E1 *enclosure* a perimetro quadrato nel canale Centralino.

A) La prima fase aveva lo scopo di rilevare i cambiamenti che s'erano instaurati nel lago dopo la ricerca del periodo 1991/1992 e 1994/1995;

B) la seconda di evidenziare le modifiche biologiche, chimiche e fisiche conseguenti agli interventi di manipolazione idrodinamica dei canali Fosso Morto e Centralino. In queste stazioni nel luglio 1998 era stato posto un setto parziale, che separava le acque dei canali dallo specchio lacustre; successivamente, nel settembre 1998, tali setti sono stati chiusi con porte metalliche necessarie all'ingresso delle imbarcazioni dell'equipe di studio.

Il canale Centralino è stato chiuso a Sud dalla comunicazione con il lago e a Nord dal restante padule, formando una *enclosure* lunga circa 1000 m e larga 250 m.

Il Fosso morto è stato isolato con un solo setto sul lato Sud, dato che il canale è naturalmente chiuso sul lato Nord (*enclosure* lunga circa 500 m, larga circa 250 m).

Queste due *enclosures* sono state effettuate partendo dal presupposto che nel periodo di morbida le acque del lago scorrono da Sud (dove sbocca il Canale Barra) a Nord nel Canale Burlamacca, che è l'unico effluente naturale, mentre nel periodo di magra è possibile un richiamo di acqua da Nord a Sud.

L'isolamento dei due canali dagli inputs esterni dovrebbe evidenziare la capacità di recupero di questo ambiente, nota come resilienza tipica degli ecosistemi (Odum, 1988; Jeppesen, 1991), una volta isolato dalle fonti d'inquinamento esterne ed eventualmente interne.

4.3. Significato dei parametri adottati

4.3.1. Materiali e metodi

I criteri per valutare l'eutrofizzazione delle acque sono stati stabiliti dall'OECD (Organization for Economic Cooperation and Development, Paris 1982). Questa organizzazione ha scelto opportunamente alcuni parametri fisici, chimici e biologici semplici, che avevano avuto un'ampia applicazione in ambienti diversi, a livello mondiale. Tali parametri sono stati adottati per definire le categorie trofiche delle acque lacustri e per rilevare i criteri generali necessari per un confronto tra ambienti diversi alterati dall'aumento dei nutrienti (P e N) di origine prevalentemente antropica, responsabili della eutrofizzazione.

In particolare sono stati esaminati:

- la trasparenza al Disco di Secchi, che indica la differenza tra l'irradianza ascendente di un disco bianco immerso nell'acqua e quella proveniente dalla zona circostante al disco, situata allo stesso livello. Il parametro viene de-



Fig. 5

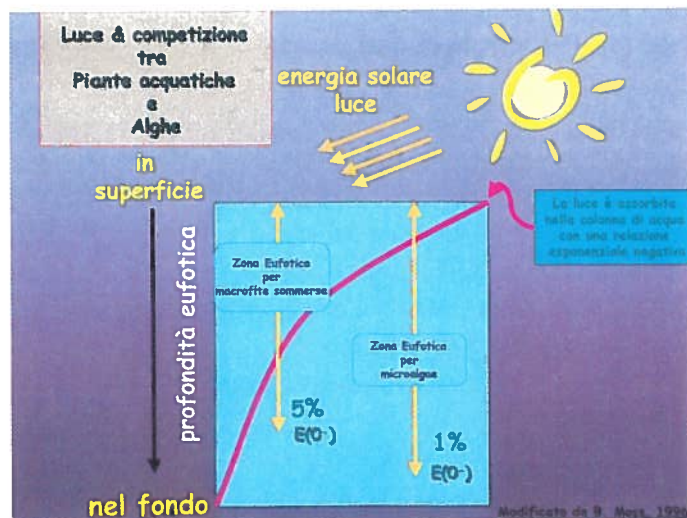


Fig. 6

terminato al limite di percezione dell'occhio dell'operatore, immergendo il disco fino alla sua scomparsa e sollevandolo fino a che non si rende di nuovo visibile. La media fra queste due misure rappresenta la trasparenza al disco di Secchi. Quanto più materiale (seston) è in sospensione, tanta più luce viene assorbita dallo spessore acquoso e quindi più bassa è la trasparenza.

Fra i caratteri biologici è stata scelta:

- la clorofilla *a*, pigmento necessario per la fotosintesi clorofilliana, presente nella maggior parte delle cellule fitoplanctoniche.

Il parametro chimico prescelto dall'OECD, per valutare la categoria trofica è:

- il fosforo totale. Questo elemento si può trovare sia in forma minerale (ortofosfato), direttamente assorbibile dalle cellule vegetali, sia in forma organica come componente cellulare. Anche quest'ultimo entra nel bilancio del fosforo perché, una volta che le cellule muoiono, questo elemento viene mineralizzato dalla flora batterica ed è di nuovo utilizzabile dagli organismi vegetali.

La determinazione del fosforo è stata effettuata dal Dipartimento provinciale ARPAT di Pisa (Cini *et al.*, 1997-'98).

Altri caratteri studiati sono:

- il pH che aumenta con le fioriture algali, a causa dell'assorbimento dell'acido carbonico in equilibrio con la CO₂ utilizzata per la produzione degli idrati di carbonio (zuccheri);
- i solidi sospesi che sono i principali responsabili dell'assorbimento dell'energia luminosa. Possono essere di origine organica (cellulare o amorfa) e di origine minerale (limo);
- la clorofilla *a* che rappresenta il pigmento fotosintetico più importante del fitoplancton. La determinazione di questo parametro permette di ottenere una misura indiretta della biomassa algale;
- la feofitina, che è invece un indice di morte delle cellule microalgali. Valori elevati della clorofilla *a* e bassi della feofitina indicano quindi la fase logaritmica della crescita microalgale, mentre la riduzione di questo rapporto è indice della fase stazionaria o di morte;
- la densità delle cellule microalgali e il biovolume, responsabile dell'assorbimento dell'energia luminosa;
- il coefficiente medio di estinzione *K* che esprime il valore medio della costante dell'assorbimento della energia luminosa PAR (energia luminosa disponibile per la fotosintesi clorofilliana compresa tra 400-700 nm) (Vollenweider, 1974; Innamorati, 1990);

- la profondità eufotica che è la profondità massima alla quale è ancora possibile la fotosintesi clorofilliana. Questa viene normalmente distinta in:
 - 1) profondità eufotica per il fitoplancton pari a circa 1% dell'irradianza superficiale E (0-) misurata sotto il pelo dell'acqua (Vollenweider, 1974; Innamorati, 1990),
 - 2) profondità eufotica per le macrofite sommerse, pari a circa 5% dell'irradianza superficiale E (0-) (Moss *et al.*, 1996) (Fig.6);
- il numero di cellule di *Prymnesium parvum*, microalga che produce durante le fioriture ittietossine responsabili di morie di pesci. Tale fitoflagellato, trovato nelle acque del lago di Massaciuccoli e dei canali durante un'imponente moria di pesci nel 1972, è stata la prima microalga tossica identificata in Italia (Simoni, 1977).

In base alle curve di probabilità definite dell'OECD, è stata valutata la percentuale di appartenenza di ciascuna stazione ad ogni categoria trofica, utilizzando come parametro di riferimento la clorofilla *a*.

I valori medi, massimi e minimi dei parametri sopra descritti sono stati adottati per definire le caratteristiche biologiche fisiche e chimiche di ogni stazione e per valutare nel tempo l'evoluzione dello stato trofico e di salute dell'ecosistema.

Tab. 1 Lato destro della foce del canale Fossa Nuova (Stazione 1B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-30/07/98				
Profondità m.		1,0		
Temp.acqua °C	8,0	19,6	31,0	8
pH	7,9	8,68	9,6	0,43
Trasparenza D.S. m.	0,28	0,45	0,85	0,14
Clorofilla a mg/mc	15,02	39,77	88,11	18,89
Feofitina mg/mc	3,60	10,86	33,14	8,07
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	18,62	50,63	121,25	
Densità fitoplancton cell./cc	2,50E+05	2,09E+06	5,24E+06	1,53E+06
Biovolume m ³ /cc	7,41E+09	4,35E+10	1,75E+11	4,07E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0015	0,0223	0,5023	0,09
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,86	3,26	5,46	0,86
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	0,84	1,51	2,47	0,41
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,55	0,97	1,61	0,27
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	1468	13500	3194
Categoria trofica	0% meso.	27% eutr.	73% ipert.	

Benché questa stazione sia influenzata dall'acqua sorgiva della fossa Nuova, il livello trofico è molto elevato (73% di ipertrofia). Ciò è attribuibile alle acque inquinate che si immettono nella fossa lungo il percorso e ai sedimenti sollevati dal moto ondoso delle acque del lago in corrispondenza della zona di prelievo, a causa dell'esigua profondità del fondale. L'elevata produttività è particolarmente evidenziata dalla concentrazione, media e massima, della Chl *a* e dal biovolume algale. La profondità eufotica relativa alle macrofite sommerse è in media inferiore a quella del livello dell'acqua. Pertanto non vi sono condizioni favorevoli per lo sviluppo di queste piante (Fig. 7).

Tab. 2 Lato destro della foce del Canale Massaciuccoli (Stazione 2B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-30/07/98				
Profondità m.		0,9		
Temperatura acqua °C	8,0	17,9	31,0	7,572467
pH	7,7	8,60	9,5	0,46
Trasparenza D.S. m.	0,25	0,45	0,9	0,17
Clorofilla a mg/mc	7,01	35,04	79,10	21,68
Feofitina mg/mc	1,40	10,66	38,05	8,25
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	8,41	45,70	117,15	
Densità fitoplancton cell./cc	3,77E+05	2,03E+06	4,53E+06	1,36E+06
Biovolume m ³ /cc	7,00E+09	4,06E+10	1,46E+11	3,38E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0012	0,0263	0,5022	0,09
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,98	3,34	6,72	1,17
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	0,68	1,52	2,32	0,44
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,45	0,97	1,51	0,29
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	1242	15000	3170
Categoria trofica	5% meso.	30% eutr.	65% ipert.	

Questa stazione è poco influenzata dagli apporti della fossa Massaciuccoli, le cui acque sono generalmente ferme. Il livello trofico valutato è quindi quello tipico lacustre (63% di ipertrofia), anche se il biovolume è simile a quello della Stazione 1B. La profondità eufotica media per lo sviluppo delle macrofite è superiore allo spessore acqueo. Tuttavia anche qui non è stata osservata la presenza di macrofite sommerse descritta negli studi antecedenti. Questa apparente assenza di correlazione tra energia luminosa e sviluppo delle macrofite sommerse dipende dalla maggiore torbidità delle acque che si verifica durante il periodo vegetativo (minimo Zeu 0,45 m). È possibile inoltre che la scarsa vegetazione a macrofite sommerse sia distrutta dall'attività grazing

(Carpenter, 1988) del *Procambarus clarkii*, crostaceo onnivoro introdotto recentemente nel padule di Massaciuccoli.

Tab. 3 Centro lago (Stazione 3B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-05/01/99				
Profondità m.		2,0		
Temperatura acqua °C	7,0	17,0	30,0	7,44
pH	8,1	8,72	9,6	0,37
Trasparenza D.S. m.	0,3	0,47	1	0,16
Clorofilla a mg/mc	6,51	36,59	85,31	21,48
Feofitina mg/mc	2,50	9,19	27,88	6,39
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	9,01	45,78	113,19	
Densità fitoplancton cell./cc	3,81E+05	1,99E+06	5,23E+06	1,38E+06
Biovolume m ³ /cc	5,24E+09	3,94E+10	7,42E+10	3,32E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0006	0,0200	0,5014	0,08
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,57	2,96	4,93	0,80
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	0,93	1,67	2,93	0,47
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,71	1,14	1,91	0,30
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	2194	16000	3444
Categoria trofica	5% meso.	30% eutr.	65% ipert.	

Questa stazione è fondamentale per il monitoraggio dell'eutrofizzazione nell'ambiente lacustre. Trovandosi nel centro del lago, essa rappresenta, per la sua posizione, la risultante dei fenomeni che avvengono nel perimetro del lago (apporti di nutrienti dai canali, assorbimento degli stessi dalle macrofite e dal fitoplancton, riciclo delle acque interstiziali per il moto ondoso ecc.).

Il livello trofico di questa stazione (65% di ipertrofia) è inferiore a quello della St. 1 B, ma risulta nettamente superiore a quello determinato nella antecedente ricerca, nel periodo 1991/92 (Simoni *et al.*, 1997), dove era stato rilevato il 28% di ipertrofia (Simoni *et al.*, 1997). La Chl *a* (46,85 mg/l) è circa tre volte quella determinata nel periodo antecedente 1991/92 (16,97 mg/l), mentre il biovolume algale (3,94*10¹⁰) è circa quattro logaritmi superiore (4,6*10⁶). Anche la fioritura del *Prymnesium parvum* evidenziata il 05/01/99 è maggiore (16000 cell./cc) di quella del febbraio 1995 (10000 cell./cc).

La profondità eufotica media sia per le macrofite 5% E(0-), sia per il fitoplancton 1% E(0-), è inferiore alla profondità della zona centrale del lago compresa tra 1 m e 2,50 m (Marchisio *et al.* 1997).

Le piogge abbondanti e la bassa temperatura nei mesi di gennaio e feb-

braio 1999 hanno determinato una netta diminuzione del livello trofico (Chl *a* 31,04 mg/l il 05/01/99 e 17,52 mg/l il 11/02/99).

Queste ampie variazioni della produttività in dipendenza delle condizioni meteorologiche sono tipiche dei laghi poco profondi. La profondità delle acque superiore alla profondità eufotica rende impossibile lo sviluppo delle macrofite sommerse, che nel passato costituivano una densa prateria (Fig. 7).

Tab. 4 Presso la foce del Canale Barra (Stazione 4B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-30/07/98				
Profondità m.		1,2		
Temperatura acqua °C	7,0	17,3	31,0	7,60
pH	6,9	8,45	9,4	0,56
Trasparenza D.S. m.	0,1	0,42	0,7	0,13
Clorofilla <i>a</i> mg/mc	5,01	42,53	113,64	28,52
Feofitina mg/mc	3,70	16,26	72,94	18,43
Clorofilla <i>a</i> + Feofitina mg/mc	8,71	58,79	186,58	
Densità fitoplancton cell./cc	3,74E+05	2,70E+06	1,32E+07	3,19E+06
Biovolume m ³ /cc	7,81E+09	5,60E+10	2,41E+11	5,60E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0019	0,0235	0,5022	0,09
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,57	2,96	4,93	1,257022
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	0,63	1,33	2,29	0,42
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,41	0,86	1,49	0,27
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	532	4500	1095
Categoria trofica	25% eutr.		75% ipert.	

In questa stazione abbiamo trovato i valori massimi di eutrofizzazione rilevati nello specchio lacustre (75% di ipertrofia).

Il canale Barra è l'effluente naturale delle acque di dilavamento provenienti dalla bonifica di Vecchiano e dal depuratore comunale. Il canale rappresenta quindi per il lago il maggior apporto di nutrienti e di solidi sospesi (limo) (Pensabene *et al.* 1997). Rispetto alla situazione precedente, troviamo un netto incremento dell'eutrofizzazione rilevabile dal confronto tra i valori medi della Chl *a* (16,76 mg/l) nel 1991/92 e quelli attuali (42,53 mg/l) e del biovolume, rispettivamente $15 \cdot 10^6$ m³/cc e $5,6 \cdot 10^{10}$ m³/cc. Questo peggior-

ramento ha determinato una riduzione della profondità eufotica e la conseguente scomparsa delle macrofite sommerse, che nel 1991/92 e 1994/95 colonizzavano abbondantemente i cordoni di sedimentazione formati presso la foce del canale Barra.

Tab. 5 Fosso Morto (Stazione 5B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-05/01/99				
Profondità m.		10		
Temperatura acqua °C	6,5	16,3	30,0	7
pH	7,8	8,47	9,3	0,41
Trasparenza D.S. m.	0,3	0,56	1,2	0,22
Clorofilla a mg/mc	12,02	33,85	95,12	19,42
Feofitina mg/mc	2,75	10,14	31,04	5,92
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	14,77	43,99	126,16	
Densità fitoplancton cell./cc	2,66E+05	1,75E+06	3,60E+06	1,22E+06
Biovolume m ³ /cc	3,34E+09	3,82E+10	4,86E+10	4,59E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0003	0,0188	0,5017	0,09
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,44	2,51	3,97	0,65
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	1,16	1,96	3,20	0,53
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,75	1,31	2,08	0,34
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	1542	12500	3221
Categoria trofica	7% meso.	30% eutr.	63% ipert.	

La stazione è caratterizzata da un livello trofico (63% ipertrofia) di poco inferiore a quello del centro lago. Ciò è confermato anche dalla Chl *a*, dal biovolume e della trasparenza. Il fosso infatti non permette una normale circolazione delle acque da Sud a Nord, essendo una appendice del lago naturalmente chiusa. Inoltre la comunicazione con lo specchio lacustre è stata gradualmente interrotta mediante un setto nell'ambito del "progetto *enclosures*". Anche in questa stazione, tuttavia, si registra un netto aumento della eutrofizzazione rispetto alla situazione precedente, che era caratterizzata dal 9% di ipertrofia. L'elevata profondità delle acque non può permettere lo sviluppo delle macrofite, ad eccezione della riva dove l'acqua è bassa (Fig.7).

Tab. 6 Punta Grande 50 m a Sud dell'isolotto (Stazione 6B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-05/01/99				
Profondità m.		1,5		
Temperatura acqua °C	6,50	16,24	30,00	7,70
pH	7,9	8,59	9,4	0,39
Trasparenza D.S. m.	0,3	0,50	0,95	0,16
Clorofilla a mg/mc	8,51	35,51	79,60	20,33
Feofitina mg/mc	1,05	10,40	37,20	7,05
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	9,56	45,91	116,80	
Densità fitoplancton cell./cc	4,65E+05	1,98E+06	4,92E+06	1,29E+06
Biovolume m ³ /cc	7,52E+09	3,63E+10	6,11E+10	3,38E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0011	0,0204	0,4995	0,09
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,74	2,78	4,29	0,68
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	1,07	1,75	2,64	0,44
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,70	1,15	1,72	0,29
n° Pymnesium parvum/cc	0	1667	12500	3346
Categoria trofica	3% meso.	30% eutr.	65% ipert.	

Nella stazione troviamo un livello trofico identico a quello del centro lago (65% di ipertrofia). Tuttavia confrontando i parametri delle due stazioni correlati alla produttività (Chl a, biovolume, trasparenza, solidi sospesi, profondità eufotica ecc.), risulta che sono complessivamente migliori di quelli del centro lago. Ciò conferma la presenza di un gradiente decrescente della trofia da Sud a Nord. Tuttavia la profondità eufotica media rimane minore dello spessore acqueo (Fig. 7). Anche in questo canale, infatti, non è stata rilevata la presenza di macrofite sommerse.

Tab. 7 Canale Centralino all'interno dell'enclosure (Stazione 7B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-05/01/99				
Profondità m.		2,2		
Temperatura acqua °C	7,00	16,88	30,00	7,42
pH	7,9	8,56	9,4	0,42
Trasparenza D.S. m.	0,32	0,51	1,28	0,18
Clorofilla a mg/mc	6,51	33,69	84,51	21,17
Feofitina mg/mc	0,85	9,39	22,73	5,73
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	7,36	43,09	107,23	
Densità fitoplancton cell./cc	4,98E+05	1,79E+06	4,13E+06	1,08E+06
Biovolume m ³ /cc	8,49E+09	3,88E+10	5,73E+10	3,91E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0007	0,0178	0,5014	0,08
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,59	2,82	4,05	0,62
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	1,14	1,72	2,89	0,42
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,74	1,18	2,83	0,42
n° Pymnesium parvum/cc	0	1583	9500	2799
Categoria trofica	7 %meso.	30% eutr.	63% iper.	

Questo tratto del canale è stato separato parzialmente dal lago nell'agosto del 1998 e totalmente, anche sul lato Nord, nel novembre dello stesso anno. L'isolamento dal lago e dal padule ha determinato una riduzione del livello trofico (63% di ipertrofia) rispetto al canale Punta Grande rimasto aperto. Questa evoluzione è evidenziata dall'andamento temporale della Chl *a*, dal numero di alghe e dalla profondità eufotica (Figg. 8, 9, 10). Nell'ultimo prelievo del 28/01/99, la trasparenza al Disco di Secchi ha raggiunto 1,40 m, e la clorofilla è scesa a 16,02 mg/l. Se questa situazione si manterrà anche nel periodo primaverile ed estivo si dovrebbe verificare una rinascita delle macrofite sommerse, che rappresentano la chiave principale per il recupero dell'ambiente.

Tab. 7E Enclosure circolare nel Canale Centralino (Stazione 7E)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 18/08/98-05/01/99				
Profondità m.		2,0		
Temperatura acqua °C	7,00	16,84	30,00	8,55
pH	7,7	8,45	8,8	0,35
Trasparenza D.S. m.	0,45	0,63	1,2	0,28
Clorofilla a mg/mc	6,51	21,38	39,05	11,01
Feofitina mg/mc	2,50	8,44	20,88	5,57
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	9,01	29,82	59,92	
Densità fitoplancton cell./cc	4,20E+05	7,54E+05	1,38E+06	3,92E+05
Biovolume m ³ /cc	8,56E+09	2,01E+10	4,61E+10	1,31E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0018	0,0026	0,0033	0,0006
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,54	2,39	3,52	0,71
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	1,31	2,08	2,98	0,62
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,85	1,35	1,94	0,40
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	3000	12500	4018
Categoria trofica	5% meso.	54% eutr.	36% iper.	

Lo studio delle modificazioni indotte dalla recinzione del cilindro d'acqua (diametro 2,5 m, profondità circa 2 m) isolato dalle acque del C. Centralino mediante *enclosure* in PVC è iniziato il 18/08/98. L'intervento ha determinato un ulteriore abbassamento del livello trofico che è sceso a 21,38% di ipertrofia. La nuova situazione trofica non si è tuttavia stabilizzata. Infatti, in un primo periodo, si è registrato un miglioramento delle proprietà ottiche dell'acqua (D.S. 120 cm) per la riduzione del numero di alghe e dei solidi sospesi (Fig. 11). Successivamente (28/1/99) è avvenuto un peggioramento: DS 70 cm, Chl *a*. 23,03 mg/l, feofitina 11,31 mg/l. (Fig.12).

Nella prima fase ha prevalso la riduzione degli apporti esterni dei nutrienti, nella seconda fase tale azione è venuta meno, sia per la riduzione o scomparsa dei Cladoceri autoctoni a causa della predazione di pesci zooplanctofagi pe-

netrati nel recinto, sia per l'effetto letale delle tossine prodotte dal *Prymnesium parvum*, la cui fioritura si è verificata nel gennaio 1999.

Nella stazione il numero di cellule dell'alga tossica ha raggiunto infatti livelli simili a quelli del centro lago, dove sono state rilevate 2 DL100 (dosi letali). È stata più volte osservata la presenza di uccelli acquatici posati sul galleggiante perimetrale dell'*enclosure*, le cui feci hanno incrementato l'inquinamento e l'eutrofizzazione. Ciò è stato confermato dalla densità di batteri fecali rilevati il 26/01/99 nell'*enclosure* (*Escherichia coli* 10 e streptococchi fecali 15) in 100 cc. superiore a quella presente all'esterno (*Escherichia coli* 2 e streptococchi fecali 1) e il 19/03/99 rispettivamente *E.coli* 400 streptococchi fecali 69 e *E. coli* 8, streptococchi fecali 32.

Tab. 7E1 Enclosure a sezione quadrata nel Canale Centralino (Stazione 7E1)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 04/09/98-05/01/99				
Profondità m.		2,0		
Temperatura acqua °C	7,00	14,22	24,70	7,25
pH	7,5	8,27	8,7	0,44
Trasparenza D.S. m.	0,45	0,65	0,95	0,16
Clorofilla a mg/mc	16,02	23,64	29,04	4,92
Feofitina mg/mc	2,20	8,85	20,13	6,15
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	18,22	32,49	49,16	
Densità fitoplancton cell./cc	3,23E+05	7,17E+05	7,17E+05	4,59E+08
Biovolume m ³ /cc	5,35E+09	1,42E+10	1,50E+10	5,58E+09
Solidi Sospesi mg/l	0,0020	0,0026	0,0037	0,0006
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,90	2,66	3,51	0,64
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	1,31	1,81	2,42	0,62
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,85	1,18	1,58	0,43
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	2000	2900	4500	1084
Categoria trofica	4% meso.	53% eutr.	43% ipert.	

Questa *enclosure* ha una sezione quadrata di lato 2 m. È stata oggetto di studio dal 04/09/98 al 05/01/99. Il livello trofico medio è risultato leggermente più alto (43% di ipertrofia) rispetto a quello osservato nel canale (Stazione 7B). Questa situazione paradossa è attribuibile alla mancanza di movimento nella colonna d'acqua, a causa della rigidità delle pareti in PVC, tese su quattro sostegni.

Nel periodo estivo infatti, la colonna d'acqua ha subito una stratificazione termica con conseguente anossia delle acque profonde (O₂ 1,5 mg/l). Ciò ha

favorito la solubilizzazione dei nutrienti e ha creato difficoltà di adattamento alla *Daphnia magna*, introdotta per incrementare la predazione (grazing) sul fitoplancton (Hamza, 1991).

La concentrazione dei pigmenti clorofilliani è infatti salita (Chl *a*. 23,03 mg/l, feofitina 20,13 mg/l) il 05/01/99, con un andamento inverso a quello delle acque esterne (Stazione 7B) (Fig. 8).

Tab. 8 Canale Centralino al di fuori dell'eventuale enclosure (Stazione 8B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-30/07/98				
Profondità m.		2, 1		
Temperatura acqua °C	7,00	17,14	30,00	7,17
pH	8	8,62	9,4	0,41
Trasparenza D.S. m.	0,3	0,52	0,9	0,18
Clorofilla a mg/mc	8,51	36,30	92,92	23,06
Feofitina mg/mc	3,20	10,12	23,33	6,08
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	11,71	46,41	116,25	
Densità fitoplancton cell./cc	3,41E+05	2,25E+06	7,17E+06	1,68E+06
Biovolume m ³ /cc	6,33E+09	4,47E+10	2,16E+11	5,01E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0003	0,0234	0,5010	0,09
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,59	2,72	4,07	0,62
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	1,13	1,79	2,89	0,46
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,66	1,14	1,88	0,30
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	1210	12500	3278
Categoria trofica	5% meso.	30% eutr.	65% ipert.	

Le caratteristiche trofiche di questa stazione sono simili a quelle del centro lago. Il livello trofico (65% di ipertrofia) è maggiore di quello riscontrato nel tratto del canale trasformato progressivamente in *enclosure* Stazione 7B.

Questo conferma l'importanza degli apporti di nutrienti tramite le acque provenienti dal lago.

Tab. 9 Ex-area del lago (lato Nord) a macrofite sommerse tra il Canale Malfante e la Burlamacca (Stazione 9B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-30/07/98				
Profondità m.		1,3		
Temperatura acqua °C	7,00	17,22	31,00	7,65
pH	8	8,66	9,6	0,41
Trasparenza D.S. m.	0,3	0,51	0,9	0,16
Clorofilla a mg/mc	5,51	35,93	81,10	21,53
Feofitina mg/mc	1,95	9,78	29,99	6,47
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	7,46	45,71	111,09	
Densità fitoplancton cell./cc	3,01E+05	2,11E+06	6,25E+06	1,47E+06
Biovolume m ³ /cc	5,62E+09	4,45E+10	2,07E+11	4,66E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0011	0,0251	0,5017	0,0956
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,72	2,93	5,54	0,88
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	0,83	1,70	2,68	0,48
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,54	1,09	1,74	0,31
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	887	10500	2120
Categoria trofica	5% meso.	30% eutr.	65% ipertr.	

È una zona della riva del lago caratterizzata da acque basse che nel 1991/1992 era colonizzata da *Ceratophyllum* (Tomei *et al.*, 1994), mentre attualmente ha caratteristiche trofiche simili a quelle del centro lago Stazione 3B (65% di ipertrofia). La scomparsa delle macrofite sommerse, anche in prossimità della riva, dove la profondità eufotica è superiore a quella dello spessore acqueo, non è stata chiarita (Fig. 7). Comunque, si ritiene che la colonizzazione del padule e del lago da parte dell'astacide *Procambarus clarkii* possa aver contribuito alla scomparsa delle ultime macrofite sommerse (Carpenter, 1988).

Tab. 10 Gusciana, piccola appendice del lago, sul lato Ovest del Canale Barra (Stazione 10B)

Valori	min	media	max	Dev. St.
Periodo 07/05/97-30/07/98				
Profondità m.		2,5		
Temperatura acqua °C	7,00	16,76	31,00	7,56
pH	7,3	8,37	9,5	0,54
Trasparenza D.S. m.	0,23	0,50	0,9	0,17
Clorofilla a mg/mc	10,51	43,06	154,19	43,40
Feofitina mg/mc	1,95	10,21	29,99	6,72
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	12,47	53,27	184,18	
Densità fitoplancton cell./cc	0,00E+00	1,14E+06	5,40E+06	1,20E+06
Biovolume m ³ /cc	0,00E+00	3,68E+10	2,70E+11	5,26E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0007	0,0268	0,5023	0,10
Coefficiente medio di estinzione K m ⁻¹	1,85	3,53	7,55	1,74
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	0,61	1,54	2,48	0,53
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,40	0,98	1,62	0,35
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	484	5000	1061
Categoria trofica	3% meso.	19% eutr.	78% ipertr.	

Si tratta di uno specchio d'acqua di diametro circa 50 m, separato dal lago da due stretti canali di lunghezza circa 200 m. La zona è stata scelta perché, essendo isolata dal restante padule da una densa vegetazione, aveva caratteristiche simili a quelle dei "chiari" dove le acque sono limpide (Mattioli, 1995; Simoni *et al.*, 1997). Durante il periodo delle campagne di prelievo si è verificato un netto peggioramento del livello trofico, che ha raggiunto valori superiori a tutte le altre stazioni esaminate (il 78% di ipertrofia). Questa rapida modifica dell'eutrofizzazione è attribuibile al passaggio delle imbarcazioni a motore, che sollevando i sedimenti e le acque interstiziali hanno determinato la liberazione dei nutrienti responsabili dell'aumento del livello trofico (Thorstern *et al.*, 1998; Gons *et al.*, 1991). La mancanza di macrofite sommerse è da attribuire alla bassa profondità eufotica.

4.4. Andamento temporale dei principali parametri chimici fisici e biologici

Il confronto statistico tra le medie (T student) e le varianze (rapporto F) dei parametri più importanti relativi alle diverse stazioni di campionamento ha evidenziato tre ambienti significativamente diversi:

1. un ecosistema (A) lacustre che comprende le stazioni situate nel lago e nei canali in studio: Stazioni 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, $F = 5,06$ $p < 1\%$ $T <$ del valore di significatività quindi $p = 99\%$;
2. un ecosistema (B) che ha subito modificazioni idrodinamiche (zona isolata dei canali 5B e 7B);
3. un ecosistema (C) all'interno delle enclosures in PVC (7E e 7E1) dove la catena trofica è stata manipolata con l'introduzione di consistenti popolazioni (circa 40 ind./l) di *Daphnia magna*.

4.4.1. Andamento temporale del pH

Le variazioni del pH sono di modesta entità, con oscillazioni comprese tra pH 7,9-9,5 (Fig. 13). I valori più alti si osservano nel periodo estivo, in corrispondenza delle fioriture delle Cianofitee, e in primavera, per l'incremento della fotosintesi clorofilliana prodotto dalla maggiore irradianza; in autunno invece, benché le fioriture delle Cianofitee siano ancora attive, i valori del pH tendono a rimanere più bassi (circa pH 8,5) a causa delle piogge. Il valore minimo (pH 7,9) cade nel febbraio 1998, dopo la fioritura del *Prymnesium*. All'interno delle *enclosures* il pH segue l'andamento delle altre stazioni.

4.4.2. Variazione temporale della temperatura dell'acqua.

La temperatura dell'acqua subisce ampie fluttuazioni simili alle variazioni della temperatura dell'aria, data la scarsa capacità termica delle acque poco profonde (Fig. 14). Le maggiori temperature (circa 30° C) si osservano tra agosto e settembre 1997 e tra luglio e agosto dell'anno successivo; i valori minimi (7°C) nei mesi di gennaio-febbraio.

I valori della temperatura dell'acqua nei due anni di studio sono simili, anche se il periodo estivo autunnale del 1997 risulta complessivamente più caldo e più asciutto di quello del 1998 (Fig. 15). Le variazioni della temperatura e i valori minimi e massimi sono sovrapponibili a quelli rilevati nelle acque lacustri durante la campagna 1991/1992.

4.4.3. Andamento temporale della trasparenza al Disco di Secchi.

La trasparenza è un parametro inversamente correlato al coefficiente di estinzione (Fig. 17), quindi ai solidi sospesi e ai pigmenti clorofilliani (Fig. 18). Nell'ecosistema (A) (Fig. 16) osserviamo due periodi di maggiore trasparenza, da dicembre '97 a aprile '98 e da novembre '98 a gennaio '99 e due di minor trasparenza, estate-inizio autunno '97 e '98. La correlazione inversa significativa tra la clorofilla e la trasparenza ($r = -0,87$ $p < 1\%$) esprime l'importanza del fitoplancton nel limitare la penetrazione della luce nelle acque. Negli ecosistemi (B) e (C) (Fig. 12) i valori della trasparenza sono maggiori, tuttavia nell'ecosistema (C), nei mesi di gennaio e febbraio 1999, si verifica una riduzione dei valori di questo parametro che scende nella Stazione 7E a 90 cm e nella Stazione 7E1 a 40 cm.

L'andamento di questo parametro è simile a quello osservato nel 1991/92, ma presenta valori corrispondenti più bassi.

4.4.4. Andamento temporale del coefficiente di estinzione K medio.

L'irradianza PAR, necessaria a fornire l'energia per la fotosintesi clorofilliana, si riduce esponenzialmente attraversando lo spessore acquoso (Fig. 19).

Il coefficiente di estinzione K è quindi la misura media dell'assorbimento della luce. Il valore di K è tanto maggiore quanto più elevata è la concentrazione dei solidi sospesi (Fig. 20). Troviamo infatti che l'andamento di questo parametro è correlato significativamente a quello della clorofilla ($r = 0,78$ $p < 1\%$) e del biovolume ($r = 0,64$ $p < 1\%$) algale. Tuttavia, in corrispondenza delle stazioni 7E e 7E1 emerge un K più elevato rispetto a quello deducibile dalla concentrazione dei solidi sospesi. Ciò è dovuto all'assorbi-

mento dell'irradianza da parte delle pareti in PVC incrostate da uno strato di microalghe.

Nell'ecosistema (A) la tendenza di questo parametro è decrescente dal 1997 al 1998, (Fig. 21). In entrambi, tuttavia, l'andamento temporale presenta valori più alti nel periodo estivo-autunnale, durante le fioriture delle Cianoficee, e più bassi nell'inverno quando la composizione fitoplanctonica è più varia, ma numericamente inferiore. Nell'ecosistema (B) la tendenza e l'andamento sono simili a l'ecosistema (A), tuttavia i valori di questo parametro scendono maggiormente (Fig. 22).

Nell'ecosistema (C) troviamo nella Stazione 7E una regolare riduzione dei valori di questo parametro dall'agosto 1998 al gennaio 1999, mentre nella Stazione 7E, già nel novembre 1998, si osserva un'inversione di tendenza attribuita ad un aumento dei nutrienti prodotto dall'anossia dello strato acqueo profondo e alla morte delle *Daphnia*.

4.4.5. Andamento temporale della profondità eufotica (Zeu).

La profondità eufotica è una grandezza derivata, inversamente correlata al K medio.

In un ecosistema eutrofizzato dipende prevalentemente dalla concentrazione del fitoplancton, quindi l'andamento di questo parametro è inverso alla densità fitoplanctonica e alla concentrazione dei pigmenti clorofilliani (Fig.23). Negli ecosistemi (A) e (B) osserviamo infatti una comune tendenza all'aumento di questo parametro da giugno a marzo sia nel 1997 che nel 1998 (Fig.24 e Fig.10).

Nel periodo di maggior attività vegetativa delle macrofite (primavera, estate, inizio autunno), i valori della profondità eufotica sono più bassi a causa del massiccio sviluppo delle microalghe Cianoficee.

Nell'ecosistema (C) (Fig.10), formato dalle due *enclosures* osserviamo un aumento rapido della profondità eufotica che però nella Stazione 7E si arresta nel mese di novembre 1998, mentre nella Stazione 7E1 nel mese di ottobre dello stesso anno segue una riduzione che riporta la Z (Eu) a valori iniziali. Ad eccezione della stazione 2B, la profondità eufotica sia al 1% che al 5% è inferiore alla profondità dell'area studiata. (Fig.7). Questa situazione è la causa principale della scomparsa delle macrofite sommerse.

4.4.6. Variazione temporale dei solidi sospesi.

L'andamento temporale dei solidi sospesi nelle stazioni dell'ecosistema (A) (Fig. 25), non mostra diversità significative da quello della clorofilla.

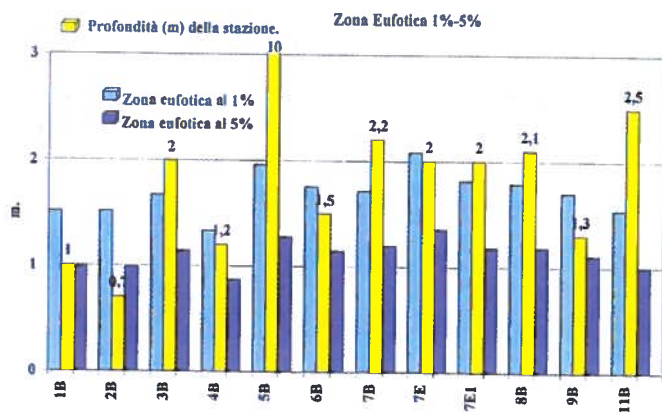


Fig. 7

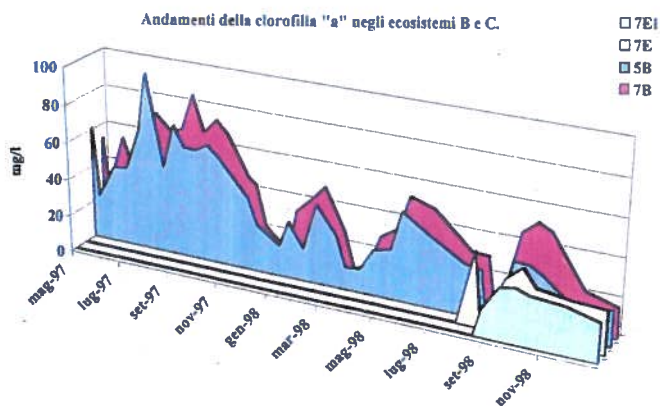


Fig. 8

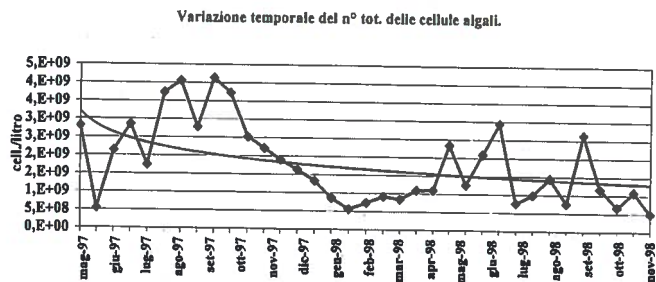


Fig. 9

Andamenti della profondità eufotica nell'ecosistema B e C.

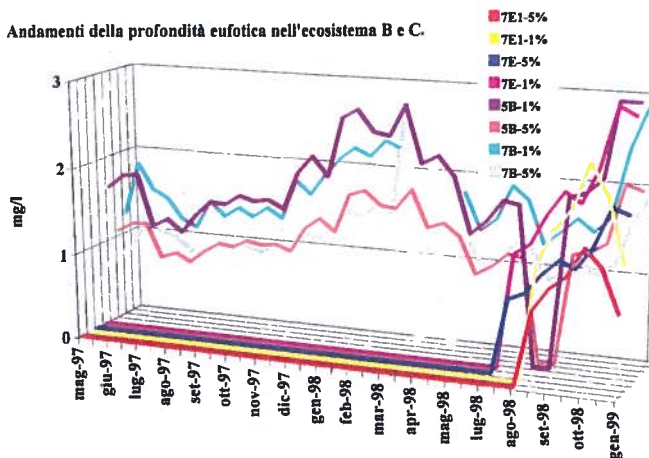


Fig. 10

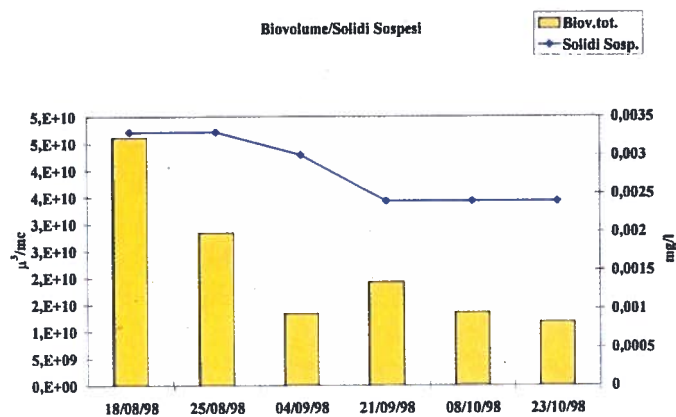


Fig. 11

Variazione della trasparenza al DS, negli ecosistemi B e C.

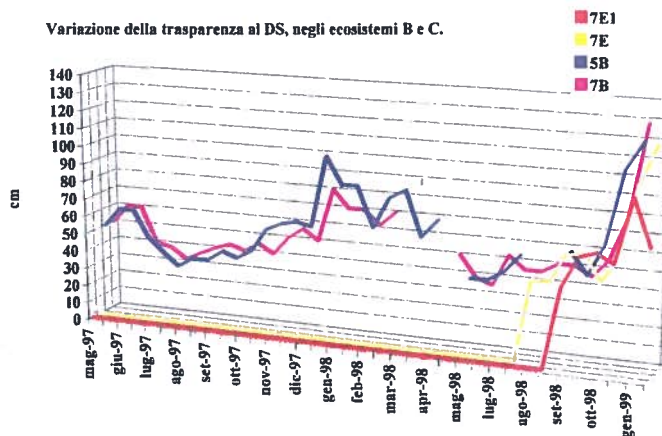


Fig. 12

A parte i picchi determinati dalle piogge e dal vento nel giugno e nell'agosto 1997, gli andamenti esprimono una costante presenza di seston responsabile della scarsa trasparenza. In tutte le stazioni si rileva infatti una tendenza debolmente decrescente da maggio '97 a ottobre '98.

Nell'ecosistema (C) (Fig. 26), si raggiungono i valori più bassi mg/l 0,0025 riferibili alla minore turbolenza, mentre in quello (B) i valori si mantengono elevati mg/l 0,017. L'assenza di una correlazione significativa tra i solidi sospesi e le piogge è dovuta al fatto che le piogge influiscono sulla torbidità solo quando aumentano notevolmente la portata dei principali canali a Sud del lago, mentre i solidi sospesi sono in parte prodotti dall'azione del vento sul moto ondoso responsabile del risollevarsi dei sedimenti.

Infatti, le misure dell'irradianza effettuate dopo un giorno di vento forte nel centro Lago hanno evidenziato irradianza zero in uno spessore acqueo di circa 1 m dal fondo.

4.4.7. Variazione temporale della clorofilla *a* e della feofitina.

Gli andamenti della clorofilla (Chl *a*) e della feofitina (Pheo) nell'ecosistema (A) sono molto simili. Si osserva in generale una tendenza alla riduzione dei valori di questi parametri dal 1997 al 1998, (Fig. 27).

La particolare siccità (Fig. 15) dell'estate e inizio autunno '97 ha reso la produttività maggiore per i fenomeni di concentrazione e solubilizzazione dei nutrienti presenti nei sedimenti già descritti nella premessa. Si riscontrano infatti quattro periodi evidenziati da un incremento della clorofilla:

1) caratterizzato dalle fioriture delle microalghe Cianoficee comprende l'estate-autunno 1997;

2) invernale (gennaio febbraio '98), esprime le fioriture del *Prymnesium*;

3) primaverile, dove la clorofilla ha un andamento fortemente ascendente ed è caratterizzato dall'evoluzione del fitoplancton prevalentemente a microalghe Cloroficee e Diatomee a quello a Cianoficee tipico del periodo estivo-autunnale;

4) estate-autunno 1998, ha un andamento simile allo stesso periodo '97, ma presenta valori più bassi. La grande quantità di piogge del settembre-ottobre 1998 (Fig. 15) ha prodotto un ricambio delle acque con conseguenze favorevoli alla riduzione dell'eutrofizzazione. I valori minimi della clorofilla cadono nel dicembre '97 e nel marzo '98 (Fig. 27). In quest'ultimo periodo la crescita numerica dello zooplancton gioca un ruolo importante nel limitare lo sviluppo microalgale.

L'andamento della feofitina segue quello della clorofilla *a*, con un ritardo rispetto ai massimi della clorofilla dovuto all'alternarsi tra la fase logaritmica e quella stazionaria o decrescente della curva di crescita.

Di particolare interesse è l'andamento dei pigmenti clorofilliani nell'ecosistema (B) (Fig.8). Qui la tendenza decrescente della clorofilla è ancora più evidente per il graduale isolamento dei canali dalla corrente che proviene da Sud, in periodo di morbida, e da Nord, in periodo di magra, quando il livello del lago è basso e le acque sono utilizzate per irrigazione.

Nell'ecosistema (C) si osserva uno schiacciamento delle curve che tendono a assestarsi su valori di produttività più bassi. Tuttavia nel mese di gennaio e febbraio si registra una inversione di tendenza. In questo periodo infatti le due *enclosures* hanno un incremento di produttività che rende la trasparenza inferiore a quella della stazione 7B (Fig. 12). Due modificazioni sono intervenute alterando il naturale decorso della biomanipolazione: le feci degli uccelli acquatici che stazionano sui bordi dei recinti, soprattutto su quello a sezione circolare (Stazione 7E), e la fioritura del *Prymnesium parvum*, che ha ucciso i crostacei fitoplanctofagi (*Daphnia*), bloccando così il controllo della produttività microalgale.

Il fitoplancton

Sono state individuate, a livello di specie, 27 taxa e 18 a livello di genere, per un totale di 45 unità sistematiche (Fig. 29).

Nel periodo di studio la composizione percentuale in taxa della densità numerica del fitoplancton è stata rappresentata dal 91% di microalghe appartenenti alle Cianoficee, dal 6% di Ultraplancton, dal 2% da Cloroficee, dal 1% di Diatomee e il rimanente 1% da microalghe dei taxa Crisoficee, Peridinee, Euglenoficee e Criptoficee (Fig. 28).

Il peso di questi taxa in termini di ingombro spaziale dato dal loro biovolume è meglio spiegato dalla ripartizione percentuale dei biovolumi (Fig. 30), che evidenzia quale sia la responsabilità di ciascun gruppo sistematico nella produzione primaria e quindi anche utilizzazione dei nutrienti (N e P).

La composizione del fitoplancton in biovolumi è ripartita per il 43% dalle Cianoficee, per il 34% dalle Diatomee, per 13% dall'Ultraplancton, per il 7% dalle Cloroficee; il rimanente 3% del biovolume è rappresentato da Peridinee, Euglenoficee, Crisoficee, e Criptoficee.

L'andamento generale della struttura del fitoplancton, nei due anni di osservazioni, rispetta un classico andamento stagionale ciclico, con una tendenza complessiva alla diminuzione del numero di microalghe nel 1998 (Fig. 31).

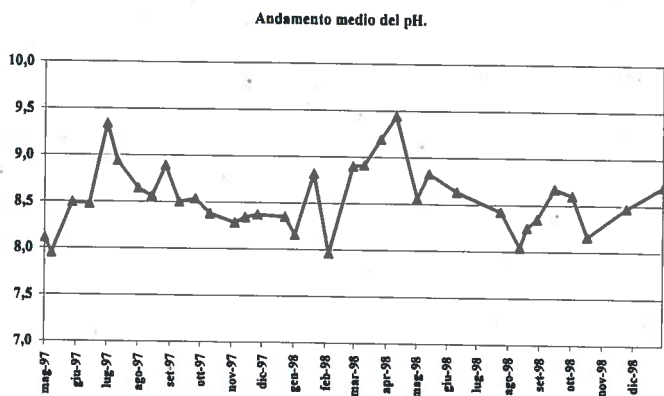


Fig. 13

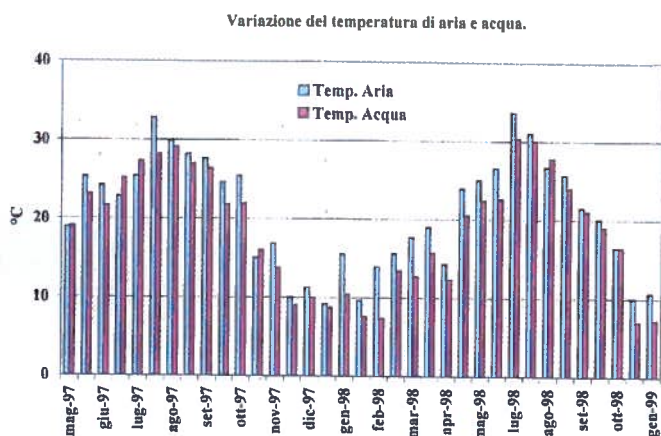


Fig. 14

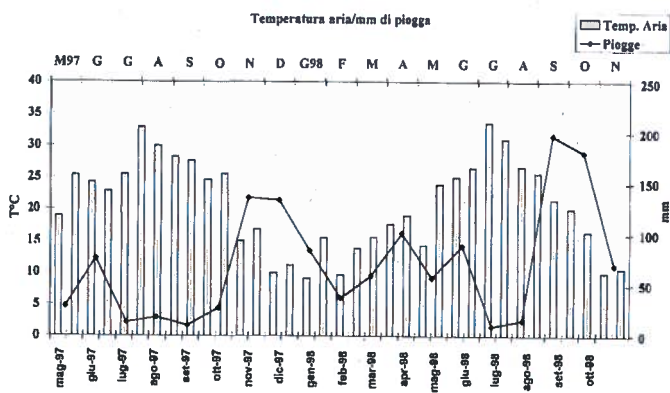


Fig. 15

Andamento medio della trasparenza (DS).

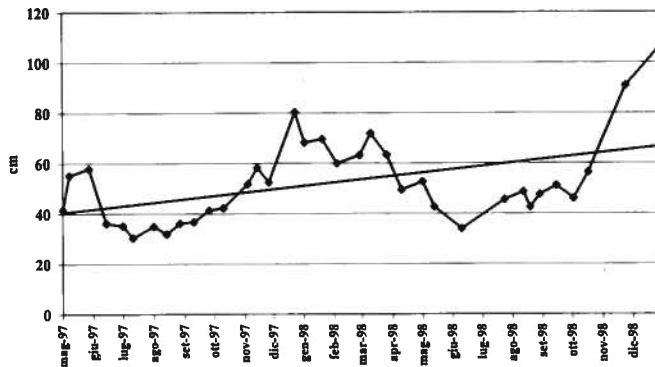


Fig. 16

Trasparenza media (Disco di Secchi) / Coefficiente di estinzione K medio

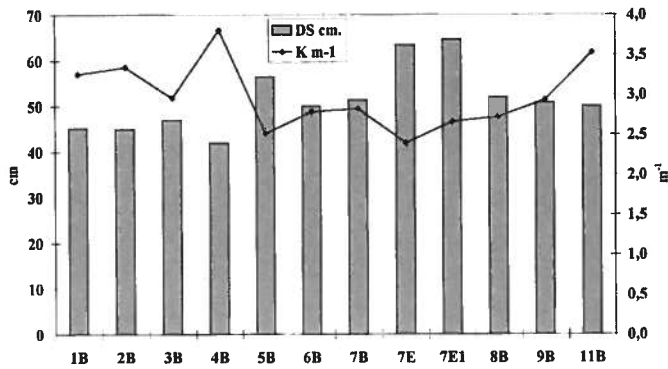


Fig. 17

Trasparenza media (Disco di Secchi) / Clorofilla "a" media

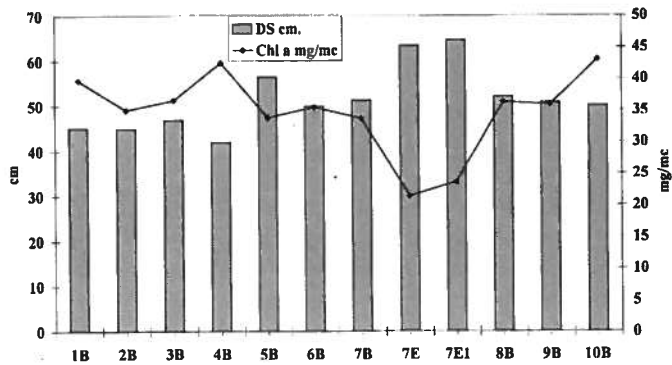


Fig. 18

Si hanno due aumenti di densità numerica durante i periodi estivo-autunnale, sia nel 1997 che nel 1998, in cui sono disponibili in abbondanza l'energia luminosa e i nutrienti.

In questo periodo gli ecosistemi B e A hanno massimi di densità numerica di circa 5×10^9 cell./l (Figg. 32A e 32B).

Nel periodo invernale invece (Fig. 32A e B) si verificano sia in A che in B diminuzioni di densità numerica (1×10^9 cell./l). Complessivamente si nota una tendenza di riduzione del numero di cellule dal 1997 al 1999, imputabile alle diverse condizioni meteorologiche di ciascuno dei due anni di studio (Fig. 31).

Infatti nel 1997, anno particolarmente mite, la fioritura estivo-autunnale è stata maggiore, sia in densità numerica che come durata, in quanto si è prolungata fino in tardo autunno-inizio inverno.

Nel 1998, anno con condizioni meteo molto variabili, la fioritura iniziata nel maggio si è interrotta a settembre (Fig. 32A), per poi calare bruscamente intorno ai valori minimi invernali (1×10^9 cell./l.).

Il ritmo riproduttivo complessivo del fitoplancton è sovrapponibile a quello della clorofilla *a* che ne rappresenta indirettamente la misura della biomassa (Fig. 27).

Ecosistema A Fig. 32A, Fig.33A (Stazioni 1,2,3,4,6,8,9,10)

Si distinguono 4 periodi principali della produttività fitoplanctonica:

- 1) comprende l'estate e l'autunno 1997, corrisponde alla maggiore produzione;
- 2) tra dicembre 1997 e gennaio-febbraio 1998, esprime le fioriture del *Prymnesium*;
- 3) primaverile, è caratterizzato dalla massima diversità microalgale;
- 4) estivo 1998, ha andamento simile a quello dello stesso periodo 1997, ma una produttività minore. Questo andamento risulta simile a quello già osservato negli anni 1991/92 e 1994/95 (Simoni 1995; Simoni *et al.* 1997). Ciò conferma la regolarità della dinamica della popolazione fitoplanctonica, nel sistema eu-ipertrofo del lago di Massaciuccoli e del padule.

STAZIONE 1B

La stazione (Fig. 32A) presenta una dinamica in cui emergono picchi di densità numerica che rappresentano le fioriture estive del 1997, le cui specie responsabili sono rappresentate da *Lyngbya contorta* e *Microcystis spp.*; il "bloom" del Dicembre 1997 è da imputare a *Microcystis incerta*, così come i picchi di aprile e giugno-luglio del 1998, che sono costituiti principalmente

da questa specie. Durante il periodo invernale la densità numerica del fitoplancton rimane inferiore a 1×10^9 cell./l. con un modesto picco nel febbraio 1998, rappresentato dal *Primnesium parvum*. La composizione percentuale del fitoplancton in base ai biovolumi (Fig. 33A) evidenzia che durante il periodo estivo del 1997 le Cianoficee predominano con una presenza in biovolume di circa il 70%; il rimanente biovolume è rappresentato dalle Diatomee con 20% circa e 10% da Ultraplancton e Cloroficee, mentre solo nell'agosto e settembre 1997 le Diatomee costituiscono il 40 % del biovolume totale. Nel gennaio 1998 il biovolume è rappresentato per il 40% circa da Cloroficee; da marzo 1998 all'inizio dell'estate si ha circa un 60-70% del biovolume costituito dall'Ultraplancton, 10% da Diatomee, circa 10% da Crisoficee e 10% da Cianoficee. Nel giugno-luglio 1998 le Cianoficee costituiscono il 50% del biovolume totale; il 25% è costituito dall'Ultraplancton e il rimanente 25% da Diatomee e Cloroficee.

STAZIONE 2B

La stazione (Fig. 32A) ha una dinamica simile alla precedente. I picchi di densità numerica che rappresentano le fioriture sono costituiti dagli stessi taxa microalgali della Stazione 1B, ma nell'aprile 1998 il picco, dato dalla *Microcystis incerta*, ha una densità numerica inferiore. La composizione percentuale del fitoplancton in base ai biovolumi (Fig 33A) presenta una differenza nel periodo invernale, in cui la presenza delle Diatomee, circa 30%, è maggiore rispetto alla Stazione 1B. Ciò è attribuibile agli apporti di acque interne ricche di silice, elemento indispensabile per la costruzione delle strutture (frustuli) di queste microalghe.

Le Cianoficee predominano durante i periodi estivo autunnali con una presenza in biovolume di circa il 70%. Nel giugno-luglio 1998 le Cianoficee costituiscono il 40% del biovolume totale; il 25% è rappresentato dall'Ultraplancton, il 20% dalle Criptoficee, il 10% da Diatomee e il rimanente 5% circa da Cloroficee.

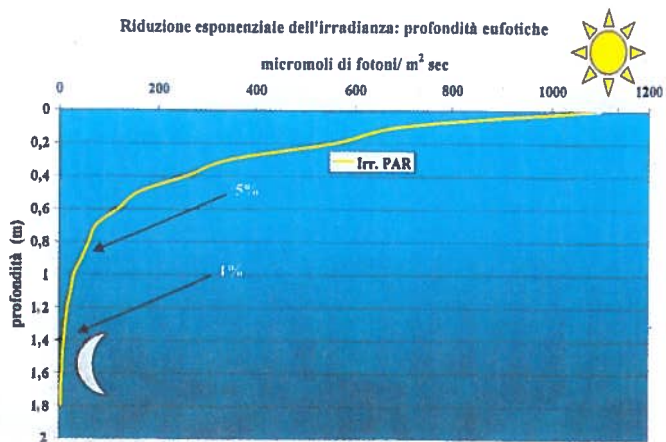


Fig. 19

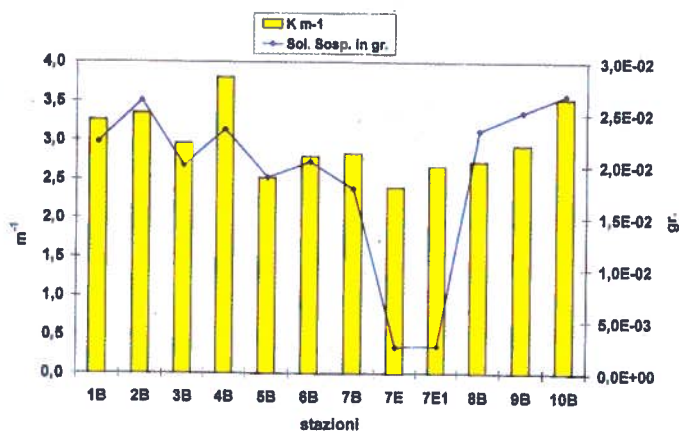


Fig. 20

Andamenti del coefficiente medio di estinzione K degli ecosistemi B e C.

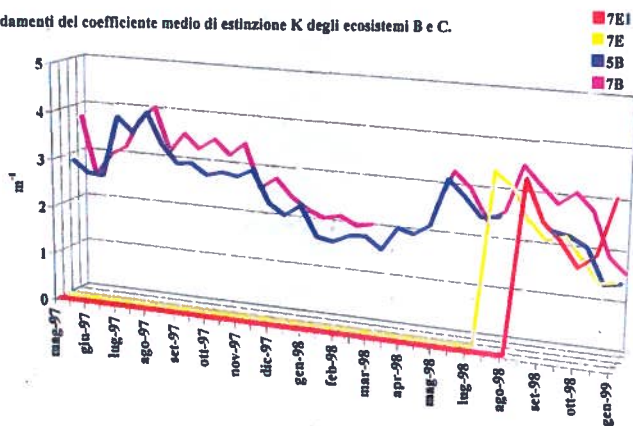


Fig. 22

Variazione del coefficiente medio di estinzione K dell'ecosistema A.

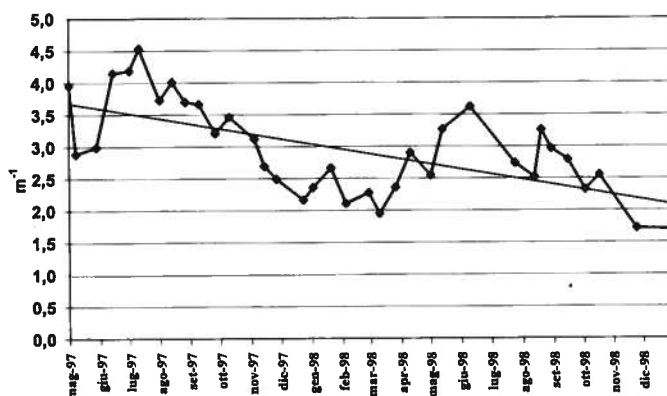


Fig. 21

STAZIONE 3B

Il Centro lago (Fig. 32A) ha una dinamica che ripete i “blooms” delle altre stazioni campionate. Infatti nel maggio 1997 e 1998 abbiamo una fioritura di *Microcystis incerta*, rispettivamente circa 3×10^9 cell./l. e 2×10^9 cell./l..

Il picco di luglio-agosto 1997 è rappresentato da *Lyngbya contorta*, *Aphanizomenon sp.* e *Microcystis spp.*, e la fioritura autunnale del 1997 è rappresentata principalmente da *Lyngbya contorta*. Nel dicembre dello stesso anno abbiamo un bloom dato da *Oscillatoria spp.* e *Lyngbya contorta*. In luglio-agosto 1998 la fioritura estiva è principalmente causata da *Microcystis incerta*.

La composizione percentuale del fitoplancton in base ai biovolumi (Fig. 33A) mostra che a maggio-giugno 1997 circa il 90% del biovolume è dato dalle Diatomee, mentre a luglio, agosto e settembre dello stesso anno, l'80% del biovolume è dato dalle Cianoficee. Nel gennaio-febbraio 1998 si ha il 60% circa dalle Cloroficee. Da marzo all'inizio dell'estate dello stesso anno si ha circa un 60-70% del biovolume costituito dall'Ultraplancton che quindi, anche se dimensionalmente piccolo, costituisce una componente biotica importante nell'ecosistema studiato. Nel marzo 1998 inoltre si ha un 20% del biovolume dato dalle Crisoficee. C'è una differenza nel periodo invernale, in cui la presenza delle Diatomee, circa 30%, è maggiore rispetto alla Stazione 1B. Nel giugno-luglio 1998 le Cianoficee costituiscono il 50% del biovolume totale, l'Ultraplancton il 25%, le Diatomee il 20% e il 10% le Cloroficee.

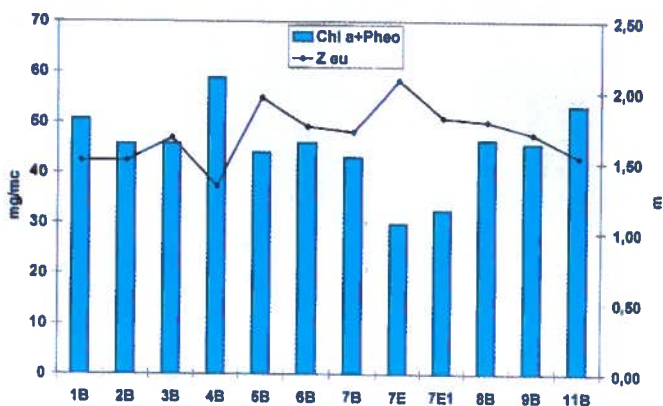


Fig. 23

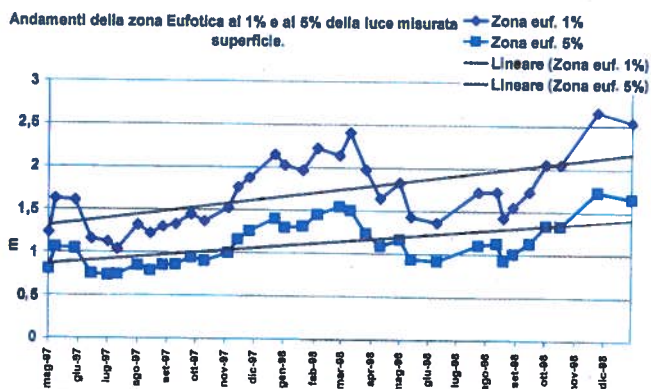


Fig. 24

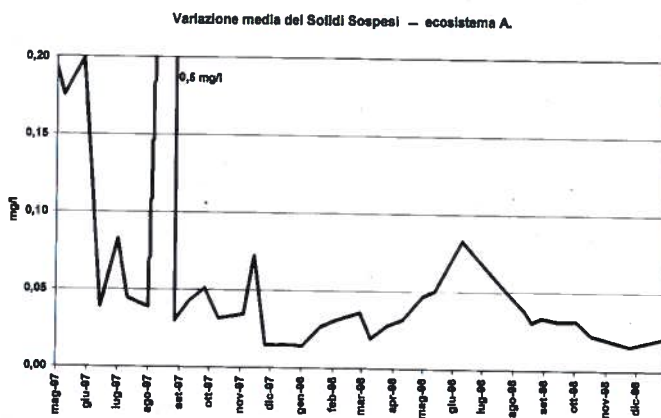


Fig. 25

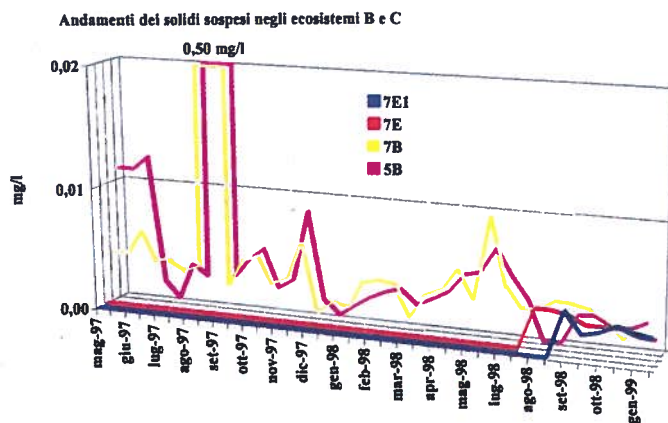


Fig. 26

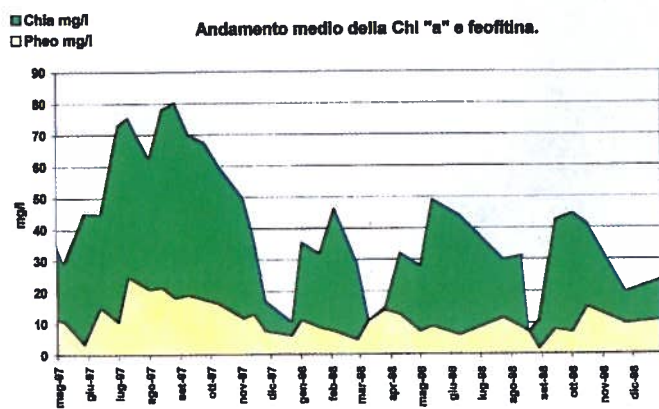


Fig. 27

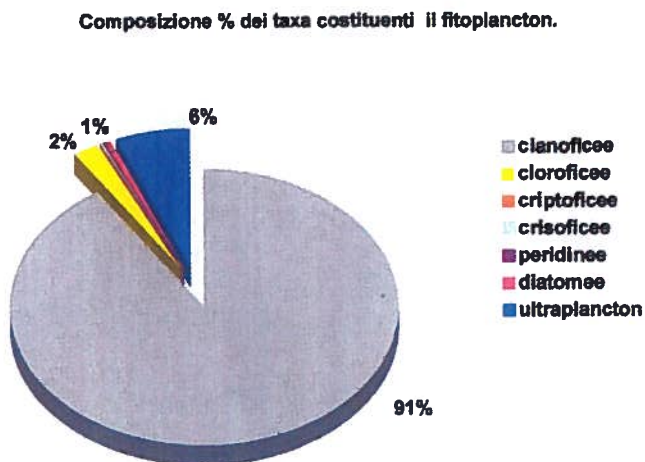


Fig. 28

Stazione N° 1B 07/05/97					
n°= A/a°V/m°x	330012,4378				
A= superficie della camera in mm	530,66				
a= superficie del campo microscopico in mm	0,0804				
V= 1000ml sedimentati	600				
n° numero di campi	10				
X= totale delle cellule					
TIPO	1	Totali	Nr.Alghe/100	Biovolumi	Biov.tot.
Oscillatoria sp.		0	0		
Microcystis incerta (Microcystis cluster *)		0	0	1,47	0
Microcystis aeruginosa (Synechococcus cluster*)		0	0	102,23	0
Chroococcus dispersus (Gloeocapsa group*)		0	0	18,43	0
Gomphosphaeria aponina		0	0	4,192	0
Merismopedia tenuissima (Synechocystis group*)		0	0	1,7	0
Pseudoanabaena catenata (Genus Pseudoanabaena*)		0	0	17,67	0
Anabaena sp. (Genus Anabaena*)		0	0	55,35	0
Lyngbya sp. (Genus Lyngbya*)		0	0	6,216	0
Lyngbya contorta (Genus Lyngbya*)		0	0	8,83	0
Aphanizomenon.sp. (Genus Aphanizomenon*)		0	0	26,5	0
TOTALE CIANOFIGEE		0	0		0
Cyclotella comensis		0	0	316	0
Cyclotella compta		0	0	885	0
Cyclotella meneghiniana		0	0	2778	0
Chaetocerus sp.		0	0	136	0
Synedra acus		0	0	162	0
Synedra sp>100		0	0	2428	0
Synedra sp<100		0	0	949	0
Asterionella sp.		0	0	1074	0
TOTALE DIATOMEAE		0	0		0
Monoraphidium sp.>50		0	0	160	0
Monoraphidium sp<50		0	0	23,3	0
Monoraphidium contortum>50		0	0	160	0
Monoraphidium contortum<50		0	0	25,42	0
Scenedesmus armatus >10		0	0	124	0
Scenedesmus armatus<10		0	0	24,5	0
Scenedesmus bijugatus		0	0	24,5	0
Closterium acutum		0	0	100	0
Oocystis pusilla		0	0	82,7	0
Clamydomonas sp.		0	0	383	0
Selenastrum gracile		0	0	58,6	0
TOTALE CLOROFICEE		0	0		0
Peridinium borgei		0	0	3050	0
Glenodinium pulvisculum		0	0	2123	0
TOTALE PERIDINEE		0	0		0
Cryptomonas aerea		0	0	2646	0
TOTALE CRIFTOFICEE		0	0		0
Prymnesium parvum		0	0	474	0
TOTALE CRISOFICEE		0	0		0
Ultraplanton		0	0	36,9	0
Altri generi		0	0	3394	0
TOTALI			0		0

* Classificazione taxa Cyanobacteria secondo Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, vol.3, 1992

Fig. 29

Composizione % del biovolume dei taxa costituenti il fitoplancton.

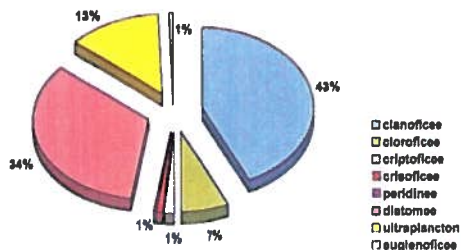


Fig. 30

Variazione del n° tot. delle cellule algali nel Centro Lago.

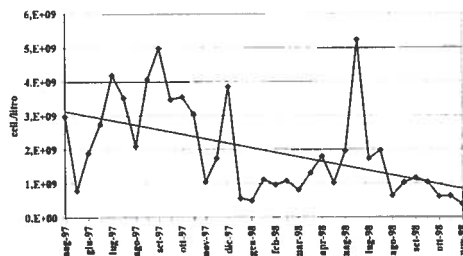


Fig. 31

STAZIONE 4B

Davanti al fosso Barra (Fig. 32A) si ha una fioritura nel maggio 1997, data da *Microcystis incerta* e nel luglio dello stesso anno un'esplosione numerica rappresentata da *Lyngbya contorta* e *Aphanizomenon sp.*, che si ripete in agosto-settembre con la presenza di *L. contorta* e *M. incerta*; per tutto il periodo autunnale la densità di microalghe rimane all'incirca costante, ed è rappresentata sempre dagli stessi taxa fino a dicembre, quando si verifica una diminuzione che dura per tutto il periodo invernale per ricomparire nel maggio 1998 con fioriture di *Microcystis incerta*. Nel luglio dello stesso anno si ha poi un "bloom" dato da *Microcystis aeruginosa* e *Lyngbya sp.*

La composizione percentuale del fitoplancton in base ai biovolumi (Fig. 33A), è simile a quella del centro Lago Stazione 3B, e si differenzia da essa solo per la presenza in settembre e fine novembre 1997 di Diatomee che rappresentano rispettivamente il 50% e 40% del biovolume totale; inoltre si ha una modesta percentuale di biovolume, circa il 5%, in dicembre 1997 e marzo-aprile 1998 data da Peridinee.

STAZIONE 6B

La stazione situata nel canale Punta Grande risente dell'influenza delle acque dell'area lacustre, con la quale è in diretta connessione. Ciò è dimostrato sia dalla similarità della dinamica di sviluppo del fitoplancton (Fig. 32A) che dalla composizione percentuale dei biovolumi (Fig. 33A).

In maggio 1997 e 1998 abbiamo una fioritura di *Microcystis incerta*, rispettivamente circa 3×10^9 cell./l. e 2×10^9 cell./l., sovrapponibile a quella del-

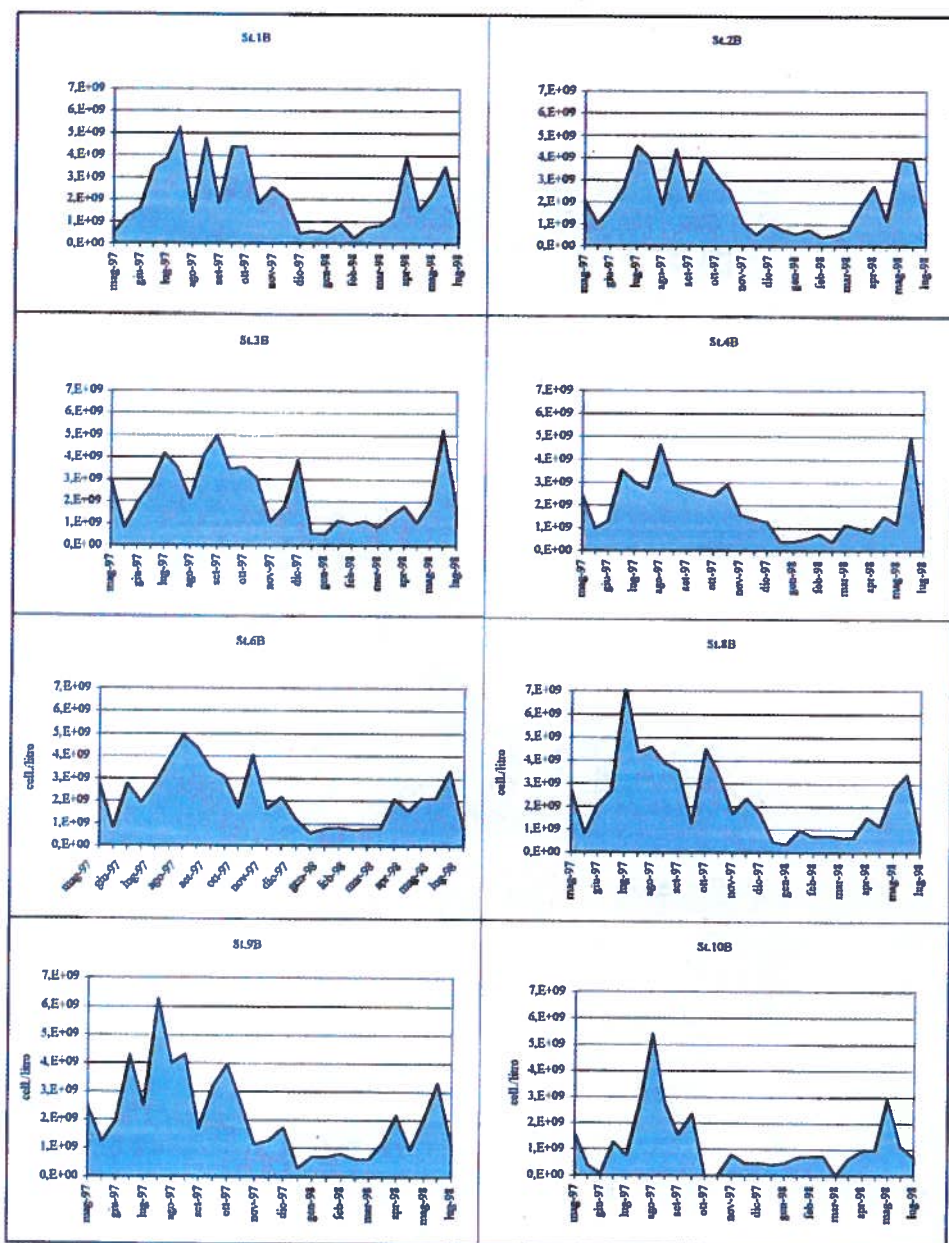


Fig. 32A

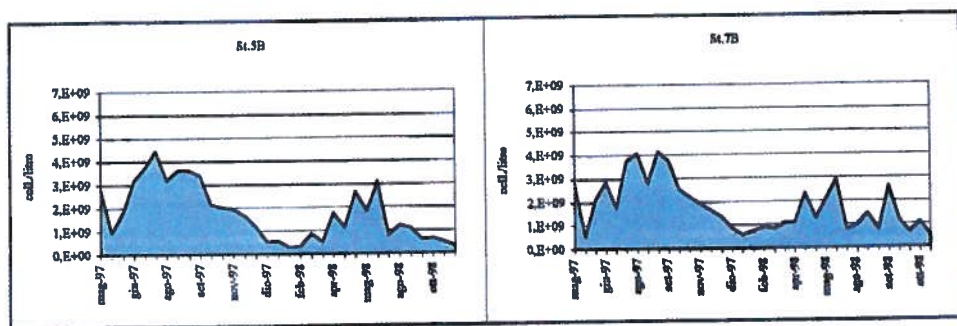


Fig. 32B

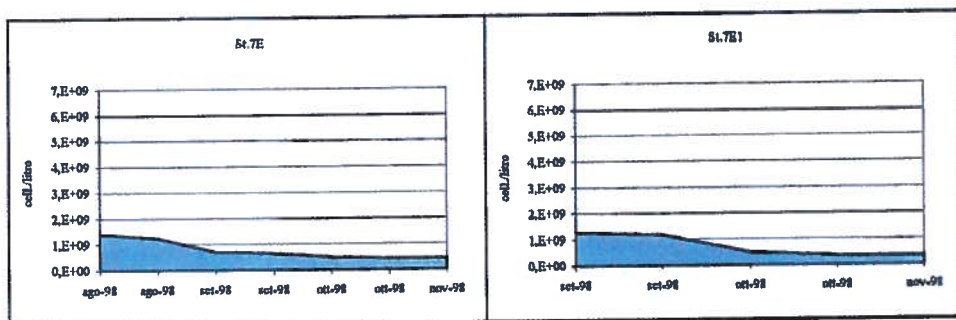


Fig. 32C

la Stazione 3B. Il picco di luglio-agosto 1997 è rappresentato però solo da *Lyngbya contorta*, che si ripresenta con una improvvisa fioritura a novembre dello stesso anno; *Microcystis spp.* è invece la maggiore responsabile dei “blooms” estivi del 1998.

Le differenze da evidenziare nella composizione percentuale dei biovolumi si trovano nel mese di dicembre 1997, quando le Peridinee compaiono a costituire il 5% circa del biovolume totale; a gennaio-febbraio 1998 le Criptofitee rappresentano il 20% del biovolume, mentre a marzo dello stesso anno il 50% del biovolume complessivo è dato dalle Crisofitee.

STAZIONE 8B

La stazione situata nel canale del Centralino presenta le stesse caratteristiche chimico fisiche della stazione 6B, che si riflettono in una medesima di-

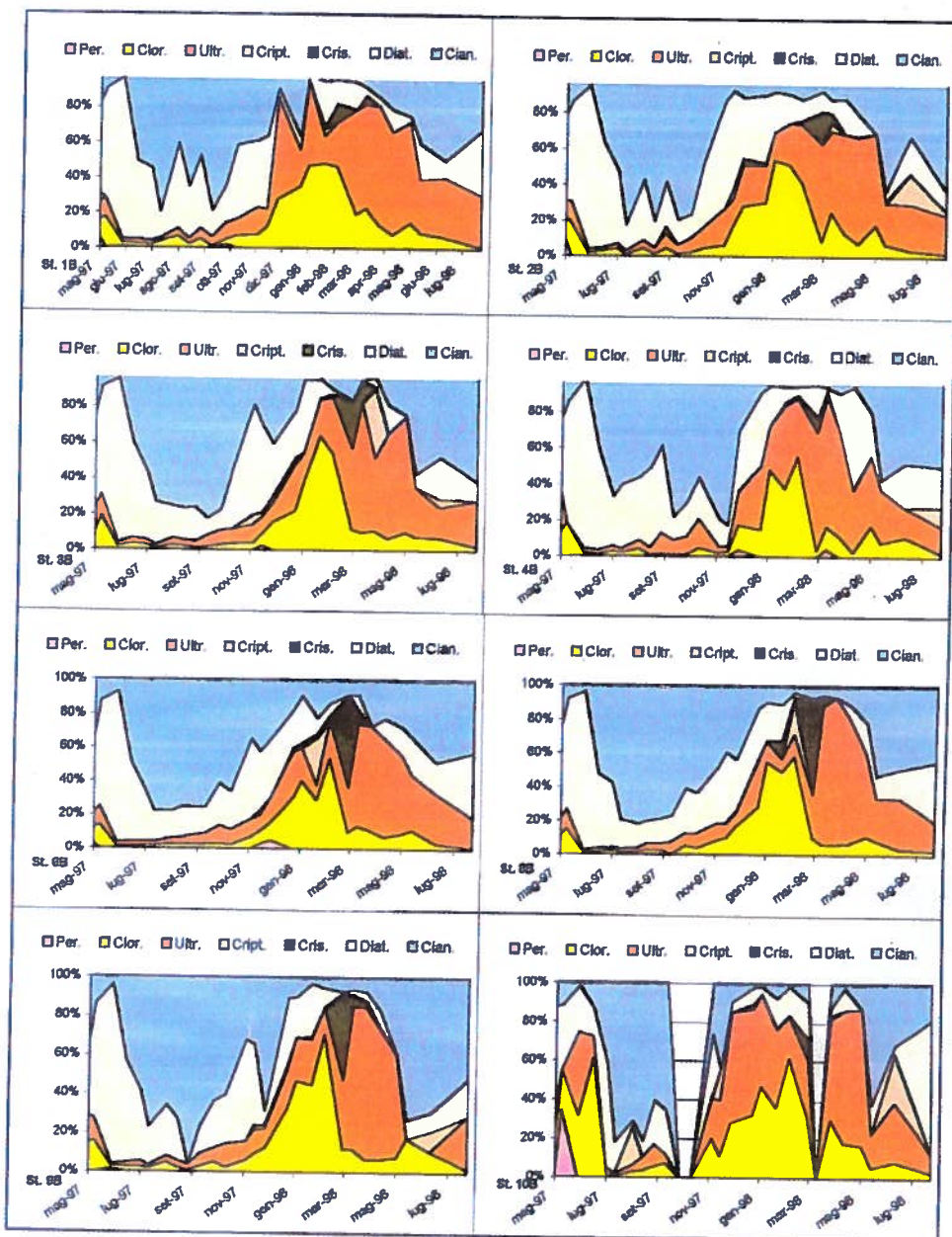


Fig. 33A

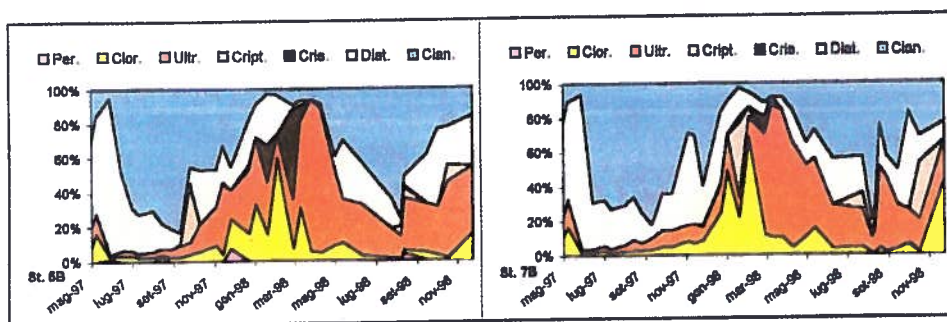


Fig. 33B

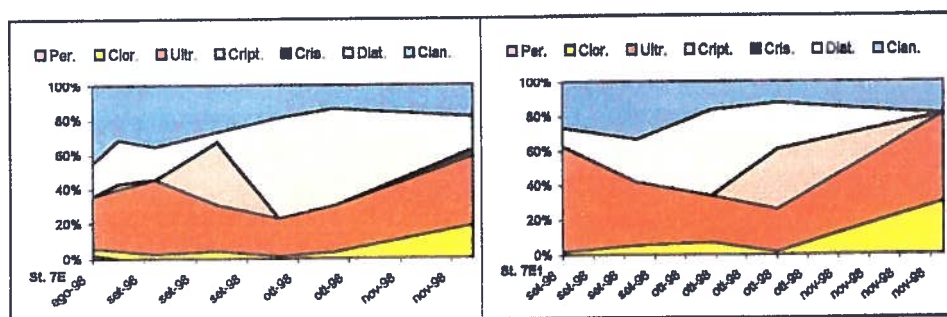


Fig. 33C

namica degli andamenti della densità numerica e della composizione percentuale dei biovolumi. La differenza più evidente (Fig. 32A) è nella maggiore densità di cellule di *Lyngbya contorta* presenti nella fioritura del luglio 1997 (7×10^9 cell./l). Per quanto riguarda i biovolumi l'andamento è pressoché identico a quello della stazione situata alla stessa altezza nel Canale Punta Grande Stazione 6B (Fig.33A).

STAZIONE 9B

Questa stazione è situata vicino alla sponda Nord del lago, ma come si può osservare dai grafici (Fig. 32A e Fig. 33A) degli andamenti non ci sono differenze significative con la Stazione 3B posta nel centro Lago. Nel maggio del 1997 e del 1998, abbiamo una fioritura di *Microcystis incerta*, di circa 2×10^9 cell./l.. Il picco di luglio 1997 è dato da una fioritura di *Aphanizomenon sp.* e *Microcystis spp.*; in agosto 1997 si ha il picco più elevato,



Fig. 34

Variazione temporale di *Prymnesium parvum* nelle stazioni di campionamento

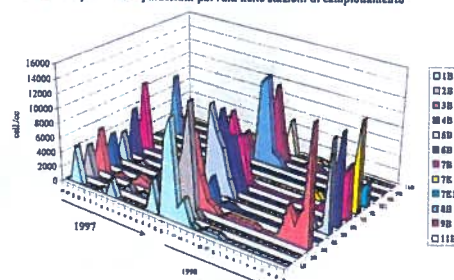


Fig. 35

$6,5 \times 10^9$ cell./l., rappresentato da *Lyngbya contorta* e *Microcystis spp.*, mentre la fioritura autunnale è rappresentata principalmente da *Lyngbya contorta* (4×10^9 cell./l.). Nel dicembre-gennaio 1997-'98 abbiamo un modesto picco di $1,9 \times 10^9$ cell./l., dato da *M. incerta* e Ultraplankton. In luglio-agosto 1998 la fioritura estiva è principalmente causata da *Lyngbya sp.* e *Microcystis incerta* con circa 3×10^9 cell./l. (Fig.32A).

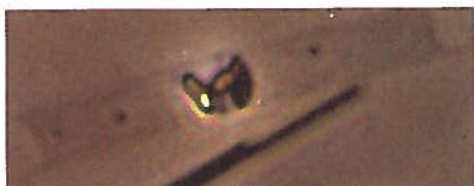
In base ai biovolumi (Fig.33A) si nota, nel settembre 1997, che le Cianoficee rappresentano il 95% circa del biovolume totale. Nel novembre dello stesso anno le Diatomee rappresentano il 50% del volume fitoplanctonico complessivo.

Valori	minimo	media	massimo	Dev.St.
Periodo 07/05/97-30/07/98				
Profondità m.		1,0		
Temperatura acqua °C	8,0	19,6	31,0	8
pH	7,9	8,68	9,6	0,43
Trasparenza D.S. m.	0,28	0,45	0,85	0,14
Clorofilla a mg/mc	15,02	39,77	88,11	18,89
Feofitina mg/mc	3,60	10,86	33,14	8,07
Clorofilla a + Feofitina mg/mc	18,62	50,63	121,25	
Densità fitoplancton cell./cc	2,50E+05	2,09E+06	5,24E+08	1,53E+08
Biovolume μ^3 /cc	7,41E+09	4,35E+10	1,75E+11	4,07E+10
Solidi Sospesi mg/l	0,0015	0,0223	0,5023	0,09
Coefficiente medio di estinzione $K \text{ m}^{-1}$	1,86	3,26	5,46	0,86
Profondità eufotica m. 1% fitopl.	0,84	1,51	2,47	0,41
Profondità eufotica m. 5% macrof.	0,55	0,97	1,61	0,27
n° <i>Prymnesium parvum</i> /cc	0	1468	13500	3194
Categoria trofica	0% meso.	27% eutr.	73% ipert.	

Tab. 1-10



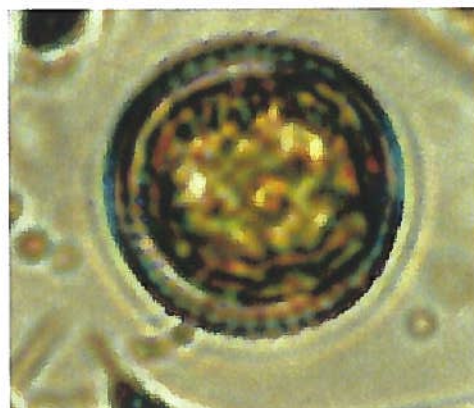
Anabaena sp.



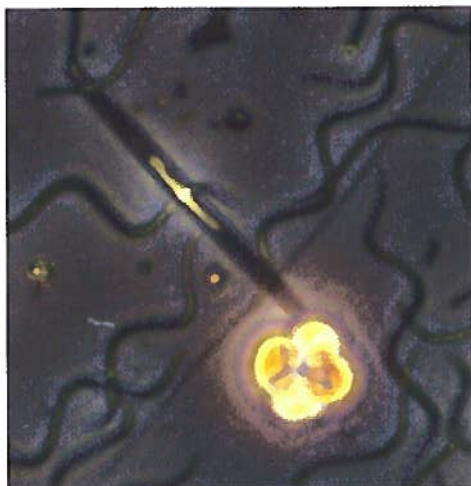
Atteya zaccariasi



Chetocerus sp.



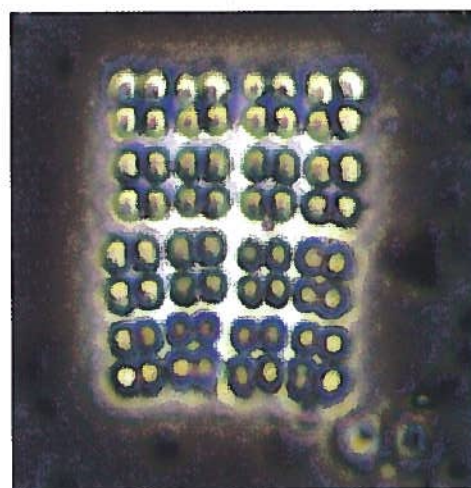
Ciclotella sp.



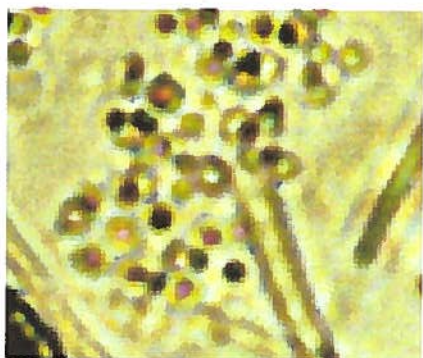
Synedra sp.



Dictyspherium sp.



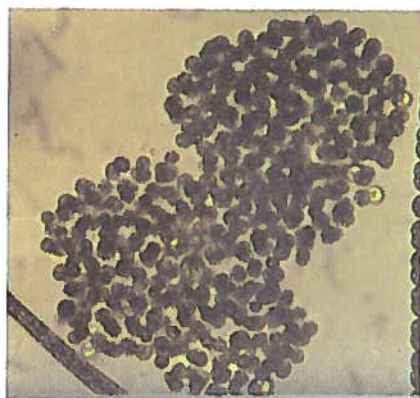
Merismopedia tenuissima



Microcystis incerta



Oscillatoria sp.



Microcystis sp.



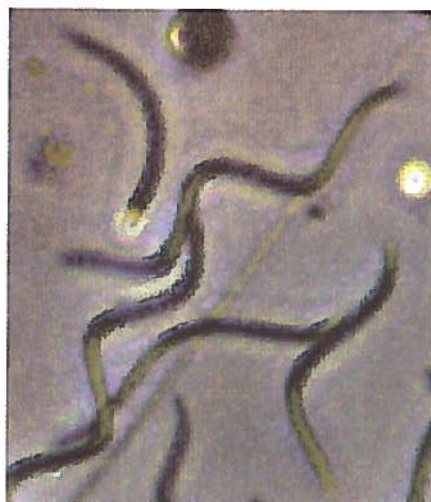
Scenedesmus sp.



Monoraphidium sp.



Oocystis sp.



Lyngbya contorta

STAZIONE 10B

La Gusciona presenta una situazione particolare rispetto a le stazioni esaminate: abbiamo gli stessi andamenti, ma le specie responsabili delle fioriture sono diverse (Fig. 32A e Fig. 33A). Nel maggio del 1997 *Microcystis incerta*, con $1,3 \times 10^9$ cell./l., costituisce una prima fioritura. Nell'estate dello stesso anno si ha un "bloom" che in luglio inizia con $1,2 \times 10^9$ cell./l. e culmina in agosto con $5,5 \times 10^9$ cell./l., dato da *Aphanizomenon sp.*, per poi diminuire a fine settembre con $1,8 \times 10^9$ cell./l. In ottobre la fioritura è rappresentata da *Lyngbya sp.* e *Oscillatoria sp.* con $2,2 \times 10^9$ cell./l. Durante il periodo invernale la densità fitoplanctonica rimane al disotto di 1×10^9 cell./l, con una composizione in taxa più equilibrata tra i diversi gruppi sistematici (Fig. 33A). Nel giugno del 1998 si ha nuovamente una fioritura con 3×10^9 cell./l data principalmente da *Microcystis spp.*.

Nella composizione percentuale dei biovolumi, durante l'intero periodo di campionamento, si nota che tutti i gruppi sistematici individuati sono, in modo piuttosto equo, ripartiti per rappresentare il biovolume complessivo. Solo nel periodo estivo del 1997 si ha una prevalenza di biovolume rappresentata dalle Cianoficee con l'80% (Fig. 33A).

Tuttavia, in questa stazione l'andamento delle Cloroficee è simile a quello delle altre stazioni, ma presenta valori numerici più elevati. La composizione delle Cloroficee risulta differenziata per la presenza di specie aventi un biovolume maggiore, come *Closterium spp.*, *Oocystis spp.*, *Tetraedron spp.*, *Monoraphidium spp.*. Alcune di queste specie sono successivamente scomparse con l'incremento dell'eutrofizzazione.

Queste specie rappresentavano il residuo di una facies microalgale predominante nel recente passato, che è stata sostituita da quella a Cianoficee tipica del lago.

Ecosistema B Fig. 32B e Fig. 33B (Stazioni 5,7)

Nell'ecosistema (B) si rileva una maggiore differenza di produttività tra estate-autunno 1997 ed estate-autunno dell'anno successivo (Fig. 32B), a causa dell'isolamento dei canali avvenuto in quest'ultimo periodo. Inoltre, questo ecosistema è stato campionato fino a Dicembre 1998, ed è tuttora in corso il campionamento periodico di queste stazioni.

STAZIONE 5B

Il Fosso Morto (Fig. 32B) ha una dinamica microalgale che presenta nel maggio 1997 una fioritura di *Lyngbya spp.*, mentre nel maggio dell'anno suc-

cessivo si ha una fioritura di *Microcystis incerta*, rispettivamente circa 3×10^9 cell./l. e 2×10^9 cell./l. Il picco di luglio-agosto 1997 è rappresentato da *Lyngbya contorta*, *Aphanizomenon sp.* e *Microcystis spp.*; la fioritura autunnale dello stesso anno è rappresentata principalmente da *Lyngbya contorta*.

Il "bloom" estivo del 1998 è principalmente causato da *Microcystis incerta* e *M. aeruginosa*, che vengono sostituite da *Lyngbya spp.* nel periodo autunnale. Nel 1998 si ha sempre una densità minore del numero di cellule per litro, una media di 2×10^9 cell./l contro le $3-4 \times 10^9$ cellule per litro degli stessi periodi del 1997.

La composizione percentuale del fitoplancton in base ai biovolumi (Fig. 33B), mostra che a maggio-giugno 1997 circa il 75% del biovolume totale è costituito dalle Diatomee, un 10% da Ultraplancton e un 15% circa da Cloroficee. A luglio, agosto e settembre dello stesso anno, l'80% del biovolume complessivo è dato dalle Cianoficee e il 20% da Diatomee. A ottobre compare un 30% di biovolume rappresentato dalle Criptoficee. Nei mesi seguenti, fino all'estate 1998, la composizione totale del biovolume è rappresentata da tutti i gruppi sistematici classificati, che si succedono alternandosi per tutto il periodo invernale: solo nel mese di agosto le Cianoficee riprendono il predominio sugli altri taxa microalgali con l'80% circa del biovolume complessivo. Da marzo 1998 all'inizio dell'estate si ha circa un 60-70% del biovolume costituito dall'Ultraplancton.

STAZIONE 7B

Il Centralino (Fig. 32B) ha una dinamica che presenta, nel maggio 1997, una fioritura costituita prevalentemente dalle Cianoficee *Lyngbya spp.* e *Microcystis incerta*. Nel maggio dell'anno successivo si registra invece una fioritura data solo da *Microcystis incerta*, con circa 2×10^9 cell./l.

L'estate 1997 presenta un susseguirsi di "blooms" ($3-4 \times 10^9$ cell./l), rappresentati da *Lyngbya contorta*, *Aphanizomenon sp.* e *Microcystis spp.*, che vanno progressivamente diminuendo nel periodo autunnale fino a raggiungere i minimi dell'inverno con $0,5 \times 10^9$ cell./l..

Il "bloom" estivo del 1998 è principalmente causato da *Microcystis incerta* e *M. aeruginosa* che vengono sostituite, anche in questa stazione, da *Lyngbya spp.* nel periodo autunnale. Nel 1998 si ha sempre una densità minore del numero di cellule per litro, una media di 2×10^9 cell./l contro le $3-4 \times 10^9$ cellule per litro degli stessi periodi del 1997.

La composizione percentuale del fitoplancton in base ai biovolumi (Fig. 33B), mostra una situazione simile a quella della stazione 5B, con la differen-

za che le Criptoficee compaiono a gennaio febbraio 1998 a costituire il 40% circa del biovolume totale. Nel dicembre/gennaio 1998/99, inoltre, la percentuale (40%) del biovolume rappresentato dalle Cloroficee è superiore a quello (15%) dell'analogo periodo della stazione 5B.

Ecosistema C, Fig.32C e Fig. 33C (Stazioni 7E,7E1)

In esso si trovano i valori di produttività più bassi. Infatti nella Stazione 7E1 l'abbattimento maggiore del numero delle cellule algali si verifica dal 21/09 al 8/10/98, passando rispettivamente da circa $1,1 \times 10^9$ cellule per litro rappresentate da *Microcystis incerta*, *Lyngbya sp.* e soprattutto da *Lyngbya contorta*, a $0,5 \times 10^9$ in corrispondenza all'introduzione della *Daphnia magna* nell'enclosure (Irvine, 1991). Nella Stazione 7E questo abbattimento del numero di cellule avviene progressivamente a partire dall'agosto 1998 fino ad arrivare ad oggi con circa $0,5 \times 10^9$. La composizione del biovolume totale dimostra che in entrambe queste piccole enclosures il volume totale è ripartito piuttosto equilibratamente tra i taxa classificati.

Le Cianoficee costituiscono circa il 20%, le Diatomee il 20-30%, l'Ultraplankton il 25-30%, le Cloroficee il 10-15% e le Criptoficee, che compaiono in settembre 1998 nella 7E e in ottobre nella 7E1, circa il 20%.

4.5 Le specie e i generi delle diverse componenti fitoplanctoniche.

Nell'ecosistema (A) (Fig. 32A) si evidenzia, in tutte le stazioni di campionamento, la presenza preponderante delle alghe Cianoficee durante tutto l'anno. Il maggior numero di cellule si rilevano in estate autunno, quando la temperatura dell'acqua è più alta. Le specie presenti sono relativamente scarse. Prevalgono la *Microcystis incerta* (foto) e la *Lyngbya sp.* (foto), a cui si unisce sostituendola in parte, la *Lyngbya contorta* (foto) nel periodo estivo-autunnale. Durante i mesi luglio - settembre dominano la *Lyngbya contorta*, l'*Aphanizomenon*, l'*Anabaena* (foto) e *Microcystis aeruginosa* (foto). Nella primavera e inverno anche le Cianoficee si differenziano in un maggior numero di specie: *Microcystis incerta*, *Merismopedia tenuissima* (foto), *Synechococcus sp.*, *Gomphosphaeria sp.*, *Oscillatoria sp.* (foto), *Pseudo-Anabaena sp.* ecc.

La seconda componente dominante è rappresentata dal gruppo Ultraplankton, formato da cellule di piccole dimensioni. ($< 5 \mu$). Questo gruppo è formato da piccoli flagellati e da Cianoficee coccoidi (*Synechococcus sp.*), pertanto la maggior parte del numero di cellule e del biovolume dell'Ultraplankton è da attribuire alle Cianoficee.

Nella primavera e nell'inverno sono presenti in numero consistente altri taxa: le Cloroficee, con le specie predominanti *Scenedesmus armatus* (foto) e *S. bijugatus*, *Monoraphidium contortum* (foto), *Monoraphidium* sp., *Oocystis* sp. (foto), *Closterium* sp., *Dictyosphaerium* sp. (foto);

le Diatomee, con *Cyclotella meneghiniana* (foto) *C. compta*, *Synedra acus* (foto), *Attheya zachariasii* (foto), *Chetocerus* sp. (foto) ecc;

le Criptoficee, con *Cryptomonas aerea*;

le Peridinee, con *Glenodinium pulvisculum* e *Peridinium* sp., sono rare e in numero esiguo, possono essere presenti alla fine della primavera e all'inizio dell'autunno.

Un paragrafo a parte è dedicato alla microalga tossica *Prymnesium parvum*.

Nell'ecosistema (B) (Fig. 27) non si evidenzia una differenza significativa nella dinamica del fitoplancton dall'ecosistema (A).

Nell'ecosistema (C), monitorato da agosto a novembre 1998, gli andamenti delle principali componenti fitoplanctoniche sono piatti. Si osserva tuttavia una maggiore percentuale di Ultraplancton e un minor numero di Diatomee particolarmente evidente nell'*enclosure* 7E. La riduzione o l'assenza di correnti favorisce la sedimentazione delle Diatomee a vantaggio dell'Ultraplancton e delle piccole Cianoficee. La dinamica della popolazione microalgale dell'ecosistema (A) non differisce sostanzialmente da quella osservata nel 1991/92 e nel 1994/95.

4.5.1. Andamento dei biovolumi microalgali

Mentre il numero delle alghe Cianoficee prevale durante tutto l'anno sugli altri taxa, con variazioni comprese dal 98% al 50%, i biovolumi delle diverse classi algali si alternano, per le differenti dimensioni delle componenti microalgali. Nell'ecosistema (A) (Fig. 29) il biovolume delle Cianoficee prevale nell'estate, mentre nella primavera 1997 domina il biovolume delle Diatomee seguito da quello dell'Ultraplancton e delle Cloroficee. All'inizio dell'autunno prevale ancora il biovolume delle Diatomee a cui segue, nell'inverno, il biovolume delle Cloroficee, delle Crisoficee e dell'Ultraplancton. Quest'ultimo si mantiene elevato anche nella primavera e nell'autunno 1998. Le Peridinee e le Criptoficee, pur essendo di grandi dimensioni, non rappresentano biovolumi significativi. Le prime sono riscontrabili a novembre-dicembre 1997, le seconde a giugno-luglio 1998.

L'ecosistema (B) (Fig. 28) non differisce sostanzialmente dall'ecosistema (A), mentre nell'ecosistema (C) l'*enclosure* 7E, studiata da agosto a novembre 1998, mostra una riduzione del biovolume delle Cianoficee a vantaggio di

quello delle Diatomee, dell'Ultraplacton e delle Cloroficee; nell'enclosure 7E1 prevale invece il biovolume del Ultraplancton. I grafici della percentuale del numero delle microalghe (Fig.31) e quello dei biovolumi (Fig. 32) esprimono la caratteristica struttura di un lago eu-ipertrofo.

4.5.2 Microalga ittiotossica *Prymnesium parvum*.

Abbiamo posto un punto interrogativo in corrispondenza della specie, perché in base alle nuove acquisizioni ottenute con il microscopio elettronico (UNESCO, 1995) sulla struttura delle placche organiche che ricoprono la parete del *Prymnesium*, è ora possibile distinguere specie diverse da quella che era stata descritta da Carter nel 1936, come *Prymnesium parvum*, in base alle osservazioni con il microscopio ottico.

La naturale elevata densità di *Prymnesium sp.* durante la fioritura del gennaio 1999 è stata utilizzata per verificare la specie, mediante fotografie a trasmissione col microscopio elettronico, seguendo le indicazioni della recente bibliografia. Le fotografie sono state effettuate presso il Dipartimento di Biologia Vegetale di Firenze dal gruppo diretto dal prof. G. Sartoni.

I primi risultati depongono per le specie *parvum* o *patelliferum*, entrambe ittiotossiche (Fig. 34). Ulteriori verifiche sono in corso, mediante accertamenti su colture pure della microalga.

4.5.3 Fioriture e tossicità del *Prymnesium*.

Il grafico relativo agli andamenti temporali della densità di *Prymnesium sp.* (Fig. 35) dimostra un perfetto sincronismo della moltiplicazione di questa microalga nelle diverse stazioni. La fioritura maggiore avviene nel periodo gennaio-marzo 1998 con livelli massimi di 10000 cell/cc nel centro lago. Fioriture inferiori si rilevano in primavera e in tardo autunno. L'“algal bloom” più intenso è stato evidenziato nei campioni prelevati il 05/01/99: questa fioritura ha raggiunto 18000 cell./cc ed è ancora attiva alla metà di febbraio dello stesso anno.

Lo studio dell'ittiotossicità ha messo in evidenza una elevata quantità di ittiotossine (oltre due dosi letali 100% sul pesce *Carassius auratus*), che uccidevano il pesce immerso nelle vasche sperimentali entro dodici ore nell'acqua tale e quale e nell'acqua diluita 1/20 più l'attivatore specifico della primnesina (Simoni, 1993). Tuttavia non si sono verificate morie di pesci nell'ambiente naturale, per la lenta produzione di ittiotossine dovuta alla bassa temperatura dell'acqua che rallenta la moltiplicazione del *Prymnesium* (D'Errico *et al.*, 1994).

Gli studi (Shilo, 1971) sulla tossicità delle primnesine avevano dimostrato

che l'effetto letale si manifesta sui pesci, sugli anfibi allo stato larvale e sui molluschi bivalvi.

Lo studio sperimentale ha dimostrato che la primnesina ha un effetto letale al 100%, in 3-4 giorni, anche sulla *Daphnia magna*, mentre non è emersa una analoga azione tossica sui crostacei Copepodi autoctoni. I crostacei Cladoceri, a cui appartiene la *Daphnia magna*, rappresentano la principale componente del secondo anello della catena alimentare, che ha una rilevante attività di "grazing" sul fitoplancton. Occorre quindi che siano previsti interventi atti a ridurre le fioriture del *Prymnesium*, sia per impedire le morie dei pesci, sia per rendere possibile lo sviluppo dei Cladoceri.

Numerosi saggi effettuati in laboratorio sullo stipite di *Prymnesium* isolato dall'ultima fioritura, hanno dimostrato che l'abbassamento dei cloruri al livello $Cl^- < 500 \text{ mg/l}$, inibisce lo sviluppo di questa microalga alofila di un DL50. Per tanto, tutti gli interventi mirati ad abbassare il tasso dei cloruri, oltre ad essere utili all'irrigazione a scopo agricolo e al ricupero e conservazione della biodiversità, avranno come effetto di rallentare o inibire lo sviluppo del *Prymnesium* eliminando quindi le morie dei pesci e dello zooplancton (Moss *et al.*, 1991).

4.5.4 Evoluzione del livello trofico

Il lago di Massaciuccoli e il padule, caratterizzati da acque prevalentemente poco profonde (fanno eccezione le ex cave della sabbia situate a Nord del lago), sono soggetti a cambiamenti della produttività in funzione delle variazioni meteorologiche annuali. Questa variabilità è stata evidenziata nelle precedenti ricerche 1991/92 (Simoni, 1994) e 1994/95 (Simoni, 1997), nelle quali sono stati riscontrati andamenti stagionali simili, ma quantitativamente diversificati. Anche questo studio ha confermato una forte variabilità annuale della produttività (estate-autunno 1997, estate-autunno 1998), da cui emerge la necessità di valutare le modifiche dell'eutrofizzazione del Massaciuccoli in tempi sufficientemente lunghi.

La Tabella 11 riporta i dati disponibili relativi ai parametri più adottati dai diversi ricercatori nello studio di questo ambiente:

1975 Geotecneco; 1979/80 Aquater; 1989/90 (Simoni *et al.* 1994); 1991/92 (Simoni *et al.*, 1994); 1994/95 (Simoni *et al.*, 1997).

Tab. 11

1975	1979/'80	1991/'92	1994/'95	1997/'98
DS	DS	DS	DS	DS
40	55	57	55	47
K	K	K	K	K
	3,7		3,46	2,97
n°alghe/cc*10 ³	n°alghe/cc*10 ³	n°alghe/cc*10 ³	n°alghe/cc*10 ³	n°alghe/cc*10 ³
2106	1521	357	831	1990
Chl <i>a</i>	Chl <i>a</i>	Chl <i>a</i>	Chl <i>a</i>	Chl <i>a</i>
81,7	23,8	27,2	13,93	36,6

Prendendo come primo riferimento la trasparenza al disco di Secchi misurata nel Centro Lago nel luglio 1954 (cm 120) (Pedreschi, 1956), si rileva che nel 1975 la trasparenza media scende a 40 cm e l'eutrofizzazione stimata in base alla trasparenza, alla concentrazione della clorofilla *a* e al numero di alghe, raggiunge il massimo livello (circa il 92% di ipertrofia). Dal 1979 al 1995 la produttività si stabilizza su livelli di eu-ipertrofia con un K medio e un DS pressoché costante, mentre la clorofilla e il numero di alghe subiscono una leggera flessione. Nel 1997/98 si rileva un nuovo peggioramento, che si attenua nel periodo inverno 1998/99.

4.6 Considerazioni e Conclusioni

Il recente studio sul lago di Massaciuccoli e su alcune zone del padule, utilizzate come prototipi di interventi finalizzati al recupero dell'ambiente dal processo di eutrofizzazione, ha evidenziato alcuni aspetti già conosciuti (o in parte deducibili dai dati di analoghe situazioni presenti in molte parti del mondo) ed altri nuovi, che necessitano ancora di un approfondimento per poter disporre delle conoscenze necessarie a raggiungere gli obiettivi preposti.

È emerso che non sussistono differenze sostanziali di produttività tra il centro lago e le altre stazioni perimetrali, o tra quest'ultime e le zone situate all'interno dei canali in prossimità dello specchio lacustre. Queste valutazioni hanno permesso di suddividere l'ambiente studiato in tre ecosistemi: (A) stazioni lacustri e canali, prima degli interventi di isolamento, (B) canali Fosso Morto e Centralino isolati dalla palude con lo scopo di conoscere la possibilità di autorecupero dell'ecosistema, (C) due *enclosures* in PVC poste nel tratto isolato del canale Centralino.

L'ecosistema (A) ha mostrato una categoria trofica nettamente superiore

(Centro Lago 65% di ipertrofia) a quella precedentemente valutata nel 1992/93, il 28% di ipertrofia (Simoni *et al.*, 1997).

Nel periodo da giugno a ottobre 1997, eccezionalmente asciutto, si è osservato un aumento dell'eutrofizzazione mai raggiunto dopo quello del 1975, mentre dopo le piogge autunnali, e ancor più invernali, il livello trofico è sceso ai valori preesistenti. Questo comportamento dimostra che i sedimenti hanno accumulato nutrienti solubilizzabili in quantità tale da mantenere l'eutrofizzazione ad alti livelli anche in assenza di inputs esterni.

Infatti, mentre in un ambiente oligo-mesotrofo, come le acque litorali versiliesi (Simoni *et al.* 1997/98), gli apporti idrici esterni provenienti da zone fortemente antropizzate determinano un rapido incremento della produttività, in un lago ipertrofico come il Massaciuccoli l'assenza di apporti idrici esterni non sempre è sufficiente a risanare l'ambiente, ma anzi lo può peggiorare (Bjork, 1978; Moss *et al.*, 1996).

Nel periodo estate-autunno 1998, caratterizzato da piogge consistenti soprattutto nei mesi di settembre ottobre, è stato osservato un andamento della produttività microalgale e della clorofilla *a* analogo a quello del 1997, ma di entità nettamente inferiore. Questo comportamento del lago di Massaciuccoli, già descritto nel 1991/92, 1994/95 (Simoni, 1997), può essere considerato un modello tipico di lago poco profondo ipertrofico, quando rimane isolato dagli apporti esterni nel periodo di magra.

Lo studio della Gusciona ha dimostrato l'elevata instabilità dell'ecosistema lacustre. Questa piccola lente di acqua comunicante con il lago attraverso stretti canali ha subito infatti un rapido aumento della produzione fitoplanctonica durante il periodo dei prelievi. L'aumento del livello trofico, che è salito al 75% di ipertrofia, è stato attribuito alla risospensione dei fanghi prodotta dalle eliche delle imbarcazioni. L'alterazione dell'equilibrio è stata evidenziata non solo dalla crescita del numero di cellule microalgali e della clorofilla, ma anche dal cambiamento nella struttura della popolazione fitoplanctonica, che è passata da una fase iniziale, con una consistente presenza di Cloroficee, ad una prevalentemente a Cianoficee. Questo evento può spiegare l'elevata eutrofizzazione riscontrata nel 1975 (Chl *a* 85 mg/l), dopo che le acque del lago erano state utilizzate a scopo ricreazionale per lo sci acquatico (Geotecneco, 1975; Mosisch, 1998).

L'aumento dell'eutrofizzazione e della salinità delle acque favorisce le fioriture della microalga tossica *Prymnesium*, le cui tossine esercitano una pressione selettiva sull'ittiofauna, non sempre favorevole al recupero ambientale.

È stato inoltre dimostrato, con saggi in vitro e osservazioni sul campo, che

il crostaceo planctonico *Daphnia magna* viene ucciso dalle tossine del *Prymnesium* in circa 4 giorni, mentre quest'effetto non si manifesta apparentemente sui crostacei Copepodi autoctoni. Questi ultimi, a causa delle piccole dimensioni, hanno una scarsa efficienza di *grazing*. Ciò fa comprendere uno dei motivi fondamentali che hanno determinato l'alterazione della catena alimentare ed i conseguenti effetti a cascata su tutto l'ecosistema.

Gli interventi per il recupero ambientale dovranno essere quindi mirati anche ad ottenere un incremento degli apporti idrici d'acqua dolce ed una riduzione di quelli di acqua marina, per abbassare il tasso dei cloruri. La riduzione della salinità è stata considerata un intervento prioritario anche in alcune zone umide del UK (Moss *et al.*, 1991).

Prove in vitro eseguite presso questo laboratorio hanno dimostrato che la riduzione dei cloruri a $\text{Cl}^- < 500 \text{ mg/l}$ inibisce lo sviluppo del *Prymnesium* (DL 50%).

Gli interventi mirati ad impedire l'ingressione delle acque marine attraverso il canale Burlamacca avranno quindi un triplice scopo:

- evitare le morie di pesci prodotte dalle tossine del *Prymnesium*,
- ripristinare il secondo anello della catena alimentare promuovendo lo sviluppo di *Daphnia magna* e di altri crostacei Cladoceri dotati di elevata efficienza di *grazing*,
- disporre di acque più adatte all'agricoltura e all'ittiofauna, favorendo la biodiversità.

Lo studio della produttività primaria fitoplanctonica nell'*enclosures* ha messo in evidenza la riduzione della clorofilla *a* e del numero di cellule algali a vantaggio della trasparenza e della profondità eufotica.

Nei mesi di gennaio e febbraio 1999 nella stazione 7B (Centralino) la trasparenza ha raggiunto m 1,40, circa tre volte superiore a quella media (m 0,51). Se durante la primavera e l'estate la trasparenza rimarrà uguale o anche leggermente inferiore, la profondità eufotica sarà superiore a quella dello spessore acqueo. Vi sarà quindi l'energia luminosa sufficiente per lo sviluppo delle macrofite sommerse necessarie per il recupero ambientale. Se invece i fenomeni di riciclo dei nutrienti dovessero riportare l'eutrofizzazione a livelli simili a quelli del lago, sarà necessario intervenire con uno dei seguenti metodi:

- 1) l'asportazione dei fanghi contenenti fosforo solubilizzabile (Bjork, 1978; Cumer 1985),
- 2) la fissazione dei fosfati dei sedimenti con FeCl_3 (Bjork, 1978) o con Ca(OH)_2 (Ghadouani, 1998).

L'ecosistema (C), nel periodo di studio ha mostrato due andamenti diversi:

l'*enclosure* circolare 7E ha avuto un graduale incremento della trasparenza, malgrado la presenza di piccoli pesci zooplantivori. Successivamente i nutrienti introdotti con le feci dei gabbiani, che si posavano sul galleggiante perimetrale, hanno incrementato la flora fitoplanctonica e ridotto la trasparenza a valori inferiori a quella delle acque esterne (Stazione 7B).

Nella Stazione 7E1 si è verificato un netto incremento della trasparenza dopo l'introduzione della *Daphnia magna* (circa 40 individui /l), a cui ha fatto seguito una nuova riduzione di questo parametro, che ha portato la trasparenza e la clorofilla a livello del centro lago. Questi cambiamenti possono essere attribuiti alla anossia (O_2 1,5 mg/l) riscontrata sul fondo dell'*enclosure* durante la stratificazione termica estiva autunnale. Nel periodo gennaio febbraio 1999 le fioriture del *Prymnesium* hanno ucciso le *Daphnia* con il conseguente arresto dell'attività di *grazing*.

La sperimentazione dovrebbe essere ripresa a primavera, quando le acque hanno la temperatura ottimale per lo sviluppo dei crostacei Cladoceri e sono improbabili ulteriori fioriture del *Prymnesium* sp..

La fioritura del *Prymnesium* sp. nel gennaio-febbraio 1999, caratterizzata da un elevato numero di cellule, ha fornito il materiale per approfondire la struttura ultramicroscopica delle placche organiche che ricoprono la membrana esterna di questa microalga tossica.

Lo studio è stato effettuato al microscopio elettronico presso il Dipartimento di Biologia vegetale dell'Università di Firenze dal gruppo diretto dal prof. Sartoni, che ringraziamo per la generosa collaborazione.

È necessario tuttavia effettuare ulteriori fotografie al microscopio elettronico del *Prymnesium*, su cellule isolate in coltura pura per ottenere gli elementi necessari alla identificazione esatta della specie (*parvum* o *patelliferum*).

Nel periodo estivo si verificano continue ed intense fioriture di microalghe Cianoficee potenzialmente tossiche. Prevalgono *Lyngbya* sp., *Mycrocystis aeruginosa*, *M. incerta*, *Anabaena flos aquae*, *Lyngbya contorta*, *Aphanizomenon* sp., in estate ed autunno. La ricerca della Saxitossina responsabile di patologie neurotossiche (Paralytic Shellfish Poisoning) ha avuto esito negativo, mentre quella della Microcistina (tossina epatotossica e promotore tumorale) è risultata positiva con concentrazioni intorno al valore limite per le acque potabili MAC (concentrazione massima ammissibile) 1 mg/l.

L'evoluzione del livello trofico del lago di Massaciuccoli e della palude ha subito un netto incremento rispetto il periodo di studio 1991/92 e 1994/95.

In passato tuttavia si sono verificate situazioni peggiori delle attuali. Nel 1975, dopo un periodo di utilizzazione delle acque del lago per lo sci acqua-

tico, la concentrazione della Chl *a* media era salita a mg/l 81,7 e la trasparenza al disco di Secchi era scesa 40 cm., mentre i valori medi relativi al 1997/98 delle stesse variabili sono rispettivamente: Chl *a* mg/l 36,6 e DS 47 cm.

È quindi corretto ipotizzare il ricupero dell'ambiente dalle modifiche indotte dal processo di eutrofizzazione antropica e dai cambiamenti idrodinamici mediante i seguenti interventi in ordine di priorità:

- 1) riduzione degli apporti esterni di nutrienti;
- 2) incremento degli apporti idrici al lago sfruttando le acque piovane raccolte nei bacini idrografici e il condotto tra il fiume Serchio e il Canale Barra;
- 3) ripristino della catena alimentare eventualmente con interventi di pesca totale o di biomanipolazione (De Bernardi, 1995; Kasprzak, 1995; Gulatti, 1995; Stephen *et al.*, 1998), mediante introduzione dei pesci predatori (luccio, lucioperca, persico trota);
- 4) inserimento delle macrofite sommerse a partire dalle *enclosures*, dove è stata ristabilita la profondità eufotica a livelli compatibili con la fotosintesi clorofilliana;
- 5) eliminazione del *Procambarus clarkii*;
- 6) trattamento sperimentale dei fanghi con composti chimici o eventuale eliminazione degli stessi mediante asportazione;
- 7) navigazione in percorsi obbligati delle imbarcazioni a motore per il trasporto dei turisti.

Si ringrazia l'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa (Presidenza del Consiglio dei Ministri) per averci fornito i dati delle piogge.

Bibliografia

- A.A. V.V., 1983. *Dal Calambrone al Burlamacca*. Nistri Lischi Ed., 1-141.
- Aquater (1980). *Accertamenti ed indagini per la salvaguardia del lago di Massaciuccoli e del suo territorio*. Fase II. Min. Agr. e For. Roma.
- Baldaccini G.N., Bianucci P., 1986. *Il padule del lago di Massaciuccoli: Indagine idrobiologica in relazione all'attività di escavazione*. Att. Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., s.B, XCIII: 257-284.
- Benzio C., 1986. *Storia di un territorio. Le macine lucchesi tra il XV e il XIX secolo*. Ed. Pacini Pisa.
- Brunelli G., Cannicci G., 1942. *Il lago di Massaciuccoli*. Boll. Pesca Pisc. Idrobiol., 18, 5-63.
- Carpenter, 1988. *Complex interactions in lake communities*. Springer-Verlag: 1-283 New York Berlin Heidelberg-Paris-Tokyo.
- Cini C., Nottoli R., Gherardi G., Manzione R., Pensabene G. e Giaconi V., 1998. *Valutazione della concentrazione dei nutrienti nel lago di Massaciuccoli: aprile 1997-luglio 1998. Il Lago di Massaciuccoli si può risanare? Un anno di indagini ARPAT*. Seminario 24 luglio 1998 Relazioni, stesura provvisoria. ARPAT-Ente Parco Regionale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli: 1-12.
- Cini C., Nottoli R., Cafala A., Manzione R., Giaconi V., 1997. *Valutazione della concentrazione dei nutrienti nel lago di Massaciuccoli*. In *Il Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento* 2° contributo: 115-130
- Cumer A., 1985 *Utilizzazione del Mud Cat USA per la rimozione dei sedimenti*. Comunicazione personale Ufficio Laboratorio Biologico Laives Bolzano. Provincia Autonoma di Bolzano Alto Adige.
- De Bernardi R., Giussani G., 1995. *Bio-manipulation bases for a top-down control. Guideline of lake management*, Ed. Internat. Lake Environment. Committee (UNEP). Vol 7: 1-14.
- D'Errico M., Simoni F., *Volterra L., *Gucci P. e *Bruno M., 1994. *Crescita in vitro di *Prymnesium parvum* (Carter) proveniente dal lago di Massaciuccoli*. Acqua-Aria N°9 ottobre 1994. *(Ist. Sup. San.).
- Franchi M., Molino C., 1994. *Composizione chimica delle acque in diverse localizzazioni del lago di Massaciuccoli. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*. Atti del Convegno "Problemi di eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli". Massarosa Dicembre 1992; 25- 40.
- Frasconi F., Bergamini M. C., Caridei F. e Miserocchi S., 1994. *Studio geochimico*

- sedimentologico dei fondali in funzione del ciclo delle sostanze nutrienti nel lago di Massaciuccoli. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno "Problemi di eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli. Massarosa Dicembre 1992: 87-101*
- Geotecneco, 1975. *Accertamenti ed indagini per la salvaguardia dell'inquinamento del lago di Massaciuccoli e del suo territorio. Fase I. Min. Agr. e For. Roma.*
- Ghadouani A., Alloul B. P., Zhang Y. and Prepas E.E., 1998. *Relationships between zooplankton communities structure and pH phytoplankton in two lime-treated eutrophic hard water lakes. Freshwater Biology, 39: 775-790.*
- Giussani G. and Galanti G.. *Case study: Lake Candia (Northern Italy). Guideline of lake management, Ed. Internat. Lake Environment. Committee (UNEP). Vol 7:135-144.*
- Gons H.J., Otten G.H., Rijkeboer M., 1991. *The significance of wind resuspension for the predominance of filamentous Cyanobacteria in a shallow, eutrophic lake. Mem dell'Ist. Ital. di Idrobiol. Dott. Marco de Marchi, vol 48. 233-249.*
- Gulati R.D., 1995. *Manipulation of fish population of lake recovery from eutrophication of temperate region. Guideline of lake management, Ed. Internat. Lake Environment. Committee (UNEP). Vol 7: 53-80.*
- Hamza W., Giussani G., Ruggio D., 1991. *Osservations on zooplankton grazing in a small biomanipulated lake (Lago di Candia N. Italy) with the use of a simple in situ technique. Mem. Ist. Italiano di Idrobiol. Dott. Marco de Marchi. vol. 48, 149-161.*
- Hietala J., Maatta C. L. and Walls M., 1997. *Sensitivity of Daphnia to toxic cyanobacteria: effects of genotype and temperature. Freshwater biology, 37: 299-306.*
- Innamorati M., 1990. *Misurazione dell'irradianza. Nova Thalassia 1990. Vol.11, 11-67.*
- Irvine K., Stanfield G., Moss B., 1991. *The use of enclosures to demonstrate the enhancement of Daphnia populations when isolated from fish predation in a shallow eutrophic lake. Mem. Ist. Italiano di Idrobiol. Dott. Marco de Marchi. vol. 48: 325-344.*
- Jeppsen E., Kristensen P., Jensen J.P., Sondergaard M., Mortensen E. and Lauridsen T., 1991. *Recovery resilience following a reduction in external phosphorus loading of shallow, eutrophic Danish lakes: duration, regulating, factors and methods for overcoming resilience. Mem. Ist. Italiano di Idrobiol. Dott. Marco de Marchi. vol. 48: 127-148.*
- Kasprzak P., 1995. *Objectives of biomanipulation. Guideline of lake management, Ed. Internat. Lake Environment. Committee (UNEP). Vol 7: 15-32.*
- Marchisio M., D'Onofrio L., 1997. *Indagini geofisiche nel Lago di Massaciuccoli e*

- nella fascia costiera tra Migliarino e Torre del Lago. Volume Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento del Parco Naturale M.S.R.M., 5-21.
- Mosisch D. T. and Arthington A. H., 1998. *The impacts of power boating and water skiing on lakes and reservoirs*. Lakes & Reservoirs: Research and Management 3: 1-17.
- Mattioli M., 1995. *Indagine sui Protozoi Ciliati del Lago di Massaciuccoli: studio delle comunità e loro interazioni con l'ambiente, mediante tecniche di analisi multivariata*. Tesi di Laurea, Univ. Studi di Pisa. 1-173.
- Moss B., Madgwick J., Phillips G., 1996. *A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes*. Environment Agency Broads Authority, Ed. W. Hawes, UK. 1-179.
- Moss B., 1989. *Water pollution and the management of ecosystems: a case study of science and scientist*. In: Grubb, P. J. & J. B. Whitaker (Eds.), *Toward a more exact ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 401-422.
- Moss B., 1995. *Manipulation of aquatic plants*. In *Lake management*. International lake environment committee: 97-111.
- Moss B., Bales M. and Irvine K., 1991. *Food web and water qualities relationship in the saline broads of the river Thurne Norfolk*. In Mem. dell'Istituto Ital. di Idrob. Dott. Marco de Marchi, vol.98: 345-362.
- Odum E., 1988. *Principi di Ecologia*. Piccin ed., 1-584.
- OECD, 1982. *Eutrophication of water. Monitoring, assessment and control*.
- Pedreschi L., 1956. *Il lago di Massaciuccoli e il suo territorio*. Mem. Soc. Geol. It., 23.
- Pensabene G., Frascari F., Cini C., 1997. *Valutazione quantitativa del carico dei nutrienti e dei solidi sospesi immessi nel lago di Massaciuccoli dai comprensori della bonifica di Vecchiano e di Massaciuccoli*. 131-147.
- Phillips G., 1991. *A case study in restoration shallow eutrophic lakes in the Norfolk Broads*, in Harper D. (1992) *Eutrophication of freshwater*. Capman & Hall, London, 251-257.
- Repka S., 1997. *Effects of food type on the life history of Daphnia clones from lakes differing in trophic state. I. Daphnia galeata feeding on Scenedesmus and Oscillatoria*. Freshwater Biology 37:675-683.
- Shilo M., 1971. *Toxins of Chrysophyceae*. In microbial Toxin. Volume 7. Ed. Academic Press Eds. S. Kadis A. Cieglar: 67-103.
- Simoni F., Nardini G., Biancalana E., Baldaccini G.N. e Bianucci P., 1992. *Il lago di Massaciuccoli: studio preliminare sull'impatto ambientale di recenti attività antropiche*. Acqua -Aria

- Simoni F., Mattioli M., Di Paolo C. e Cavallini M., 1998. *Il Lago di Massaciuccoli si può risanare? Un anno di indagini ARPAT*. Seminario 24 luglio 1998 Relazioni, stesura provvisoria. ARPAT-Ente Parco Regionale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli: 1-25.
- Simoni F., 1993. *Fish bioassay using Carassius*. In *Premazzi G. e **Volterra L., 1993. *Microphyte Toxins*. Commission of the european communities.*Joint Research Centre, **Ist.Sup.San.
- Simoni F. e Bernacchi G., 1980. *Prymnesium parvum (Chrysomonadina) quale fattore di tossicità per l'ittiofauna del Lago di Massaciuccoli*. Riv. Ital: Ig.XXXVII 5/6: 363-380.
- Simoni F., 1992. *Linea di ricerca: Analisi ecologiche, tossicologiche e batteriologiche*. Parco Naturale Migliarino Massarosa Massaciuccoli. In: Eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli. Massarosa, Dicembre 1992. Parco Naturale di Migliarino, S.Rossore, Massaciuccoli 1994:103-123.
- Simoni F., Baldaccini G.N., Bianucci P. e Bernacchi G., 1985. *Ultime acquisizioni sulla presenza di Prymnesium parvum Carter (Chrysomonadinae) nel lago di Massaciuccoli*. Atti sulla Soc.Tosc.Sc.Nat.Vol.XCI: 191-199.
- Simoni F., 1977. *Sulle cause delle morie dei pesci nel lago di Massaciuccoli negli anni 1972-1977*. Rivista Italiana d'Igiene, Vol. XXXVII N.5-6.
- Simoni F. e Bianucci E., 1997. *Composizione e ciclo annuale del fitoplankton. Interazione tra alcuni caratteri chimico-fisici, biologici e batteriologici. (2° fase di studio)*. Volume Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento Parco Naturale M.S.R.M.
- Spandre R. e Meriggi A., 1997. *Studio idrologico del bacino di Massaciuccoli*. :23-91.
- Stephen D., Moss B. and Phillips G., 1998. *The relative importance of top-down and bottom-up control of fitoplankton in a shallow macrophyte dominated lake*. Freshwater Biology, 39: 699-713.
- Thorstern D. Mosisch, Arthington AH., 1998. *The impacts of power boating and water skiing on lakes and reservoirs*. Lake and Reservoirs and Management 1998, 3: 1-17.
- Tomei P.E., Barsanti A., Guazzi E., 1994. *La zona umida di Massaciuccoli: analisi e distribuzione delle comunità vegetali*. Volume Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento Parco Naturale M.S.R.M. 153-167.
- Vollenweider R.A., 1974. *Primary production in aquatic environments*. Publ. Blackwell Scientific Publications Oxford-London-Edinburg 1974. 1-225.

5. COMUNITÀ ZOOPLANCTONICA E MACROBENTONICA NELL'AREA LACUSTRE. STRUTTURA E DINAMICA DELLE POPOLAZIONI SOTTO L'EFFETTO DEI MUTAMENTI AMBIENTALI.

Gilberto Natale Baldaccini, Paolo Ercolini, Ornella Bresciani

"... la speranza e il futuro per me non sono nei prati e nei campi coltivati, non sono nei villaggi e nelle città, ma nelle paludi mobili ed impervie ..."
H. D. Thoreau, (1817 - 1862)

5.1. Introduzione

Lo studio delle comunità zooplanctonica e macrobentonica assume un interesse particolare sia per approfondire le conoscenze relative all'ecologia di un lago, sia per valutare la qualità delle sue acque.

Nella rete alimentare di un lago, lo zooplancton ha una relazione diretta con la componente della produttività primaria rappresentata dal fitoplancton. Gli organismi zooplanctonici, infatti, sono prevalentemente fitofagi in quanto filtrano e raccolgono fini particelle sospese in acqua, tra cui, appunto, le alghe unicellulari che compongono il fitoplancton. Essi svolgono, nei confronti delle alghe, un'azione di contenimento che è stata interpretata con il modello dinamico a cascata trofica, noto come *top down control* (Moss, 1988; Harper, 1992; Eilseltová, 1994). Il processo che ne deriva inizia dal livello più alto della catena alimentare del lago, quello dei predatori, e comprende anche l'attività di predazione esercitata sullo zooplancton da alcune specie di pesci con abitudini planctivore. La serie di relazioni, considerata da molti autori essenziale per il controllo delle alghe fitoplanctoniche, ha suggerito le numerose esperienze di biomanipolazione effettuate sui laghi eutrofici (Hansen e Jeppessen, 1992; Lyche *et al.*, 1990; Hanazato *et al.*, 1990).

Lo sviluppo della comunità zooplanctonica dipende, a sua volta, dalla presenza di fitoplancton e, indirettamente, dal contenuto dei nutrienti presenti nell'ambiente acquatico. Sotto tale aspetto, prende quindi forma un altro modello, basato sulla limitazione delle risorse, noto come *bottom up control* (cfr. Harper, 1992; Eilseltová, 1994), che ha origine nei livelli più bassi della rete trofica. Esso può influenzare lo sviluppo di tutta la comunità acquatica.

Le variazioni che si riscontrano nella struttura della comunità zooplanctonica forniscono informazioni utilizzabili come indici dello stato trofico dell'ecosistema lacustre e dei mutamenti ambientali che in esso avvengono. Tali

mutamenti possono attribuirsi all'apporto di sostanze provenienti dal bacino di drenaggio, in grado di modificare il chimismo delle acque e accelerare i naturali processi di eutrofizzazione. A questi si sommano gli eventi che sono coinvolti nel bilancio idrico del lago. Nella zona umida del Massaciuccoli, tutto ciò avviene in uno scenario dove il peso maggiore va attribuito agli effetti delle attività antropiche che gravitano sul bacino stesso e al fatto che esso si colloca in una zona di transizione, influenzata dalla mescolanza delle acque dolci con quelle salate.

In un habitat dulciacquicolo, la comunità zooplanctonica è costituita da tre principali gruppi: Protozoi, Rotiferi e Crostacei. L'equilibrio interno di questa comunità è tanto più stabile, quanto maggiore risulta il grado di diversità biologica. Tra gli organismi zooplanctonici, rivestono il ruolo di filtratori per eccellenza i Cladoceri. Ulteriori suddivisioni possono essere effettuate nell'ambito di questo gruppo, in relazione alla taglia delle specie che vi appartengono (*Daphnia* spp., *Bosmina* spp., *Diaphanosoma* spp. etc.) e rispetto al limite volumetrico di filtrazione verso cui è dimostrata la massima efficienza (Harper, 1992). Questa caratteristica determina la successione temporale delle varie specie di Cladoceri, in funzione della variazione e della disponibilità di cibo, misurato come biovolume di alghe edibili (Balseiro *et al.*, 1992).

I Cladoceri che riescono a filtrare elevati quantitativi di fitoplancton sono quelli che raggiungono dimensioni fino a circa 1500 μm (ad esempio le varie specie di *Daphnia*), tanto da essere considerati macrofiltratori. A questi si affiancano microfiltratori, rappresentati da Cladoceri di dimensioni inferiori a 700 μm (*Bosmina* sp., *Diaphanosoma* sp.) (Eilseltová, 1994).

L'attività di filtrazione dei Cladoceri fornisce un notevole contributo al mantenimento della trasparenza delle acque, quando questa è ridotta da un eccesso di produzione primaria. La trasparenza delle acque costituisce il presupposto principale per lo sviluppo naturale della vegetazione acquatica sommersa (macrofite). Studi sperimentali di biomanipolazione (Hansen & Jeppesen, 1992) hanno dimostrato che, intervenendo sulla rete alimentare per favorire lo sviluppo di organismi filtratori, si è raggiunta una trasparenza tale da consentire la crescita delle macrofite acquatiche.

Le macrofite costituiscono un elemento di fondamentale importanza per l'ecosistema lacustre, in quanto esse si inseriscono in un anello della catena alimentare indispensabile alla vita della fauna acquatica (vedi 5.7).

Nello zooplancton troviamo anche forme di maggiori dimensioni (fino a 14 mm), rappresentate dai Misidacei, Crostacei prevalentemente marini, che annoverano anche specie di ambienti acquatici salmastri e dolci. Essi si

cibano principalmente di organismi zooplanctonici e, sebbene in misura minore, di zoobenthos (Moss, 1988).

L'importanza dei Misidacei per l'ecologia dei laghi salmastri è già stata evidenziata in aree con caratteristiche simili a quelle della zona umida del Massaciuccoli (Moss *et al.*, 1991; Irvine *et al.*, 1993; Bales *et al.*, 1993). La specie studiata in quelle ricerche (*Neomysis integer*), sembra esercitare una rilevante pressione selettiva sui Cladoceri, ma anche un'importante funzione regolatrice della comunità perifitica, che può svilupparsi sui fusti delle macrofite acquatiche, limitandone lo sviluppo.

La comunità macrobentonica è costituita da organismi invertebrati che colonizzano i vari substrati presenti in un ambiente lacustre. Questi generalmente appartengono a due zone: la prima, identificabile con la colonna d'acqua compresa tra la superficie e la profondità alla quale penetra la quantità di luce necessaria alla crescita delle macrofite (zona eufotica); la seconda, che va oltre questa profondità e giunge fin dove la penetrazione della luce è ormai scarsa, le macrofite sono assenti ed il substrato è rappresentato da un tessuto a sottile granulometria (zona afotica).

Nei laghi profondi, l'ambiente eufotico è generalmente limitato alla zona litorale, anche se può estendersi ad una maggiore distanza dalle rive nei laghi caratterizzati da una modesta profondità, come il Lago di Massaciuccoli (1-2 m).

In questa zona, la presenza di substrati costituiti da idrofite ed elofite palustri favorisce la formazione di comunità macrobentoniche ben diversificate, che a loro volta esercitano un'azione di pascolo benefica per lo sviluppo delle piante acquatiche, eliminando dai fusti le alghe infestanti.

Le comunità zooplanctonica e macrobentonica, nel Massaciuccoli, sono state studiate per la prima volta negli anni '40 (Brunelli & Cannicci, 1942), quando il lago era caratterizzato da oligotrofia delle acque e da una platea di fondo, tappezzata da una fitta prateria di caracee.

Dopo quelle indagini, ulteriori studi sulla comunità macrobentonica furono effettuati negli anni '70, quando era già in atto il processo di eutrofizzazione delle acque (Min. Agr. For., 1975; 1980), e dopo la metà degli anni '80, nell'intento di valutare l'impatto esercitato sugli ambienti palustri dall'attività di escavazione (Baldaccini & Bianucci, 1986). Sempre dopo la metà degli anni '80 furono intraprese alcune indagini sulla comunità zooplanctonica, mentre ulteriori studi su entrambe le componenti furono ripresi negli anni '90 (Baldaccini *et al.*, 1997), in seguito alle iniziative promosse dall'Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli, finalizzate al recupero ambientale del lago e ad una sua corretta gestione.

I risultati di tali indagini misero in evidenza che nel lago, dove predominavano substrati fluidi ed era assente la vegetazione acquatica, le comunità si presentavano molto semplificate, mentre nella zona palustre, dove le macrofite crescevano ancora rigogliose, si poteva notare un alto grado di diversità biologica.

In questo capitolo sono riportati i risultati delle recenti indagini effettuate sulla zona umida del Massaciuccoli ed analizzati i cambiamenti ambientali verificatisi nel tempo, anche alla luce delle precedenti ricerche.

5.2. Le stazioni di campionamento

Attraverso adeguati sistemi di campionamento (Fig. 1), a partire dal mese di aprile 1997, è stata intrapresa, con cadenza bisettimanale, una campagna di studio sulle comunità zooplanctonica e macrobentonica. Oltre alle indagini di carattere biologico, è stato effettuato il periodico rilevamento dei livelli di salinità, della trasparenza, della profondità e della temperatura delle acque. Le stazioni prese in esame (Tab. I), individuate nell'area di studio, possono essere raggruppate nelle due tipologie ambientali di seguito descritte.

Sulla stazione n. 10 i sopralluoghi non sempre sono stati possibili a causa del basso livello delle acque nei canali di accesso. In nessuna delle stazioni esaminate si è rilevata la presenza di macrofite acquatiche, a differenza di quanto si era osservato nelle precedenti indagini, almeno per quanto riguarda le aree litorali.

Tab. I Stazioni di campionamento

N.	Stazione	Tipologia
1	Fossa Nuova	Ambienti direttamente influenzati dalle acque provenienti dalle bonifiche e sottoposti ad un idrodinamismo particolarmente elevato, dovuto ai venti dominanti, che provoca la risospensione del sedimento costituito prevalentemente da una componente siltosa (Frascati, 1994). Queste stazioni, in genere, presentano profondità che non vanno oltre i due metri perciò sono sottoposte al costante rimescolamento delle acque, dalla superficie al fondo.
2	Porto di Massaciuccoli	
3	Centro lago	
4	Barra	
9	Area a macrofite	
5	Fosso Morto	Ambienti inseriti nell'area palustre e quindi più protetti dagli effetti del vento e dall'apporto diretto delle bonifiche per la presenza di una fitta cintura di vegetazione. Ad eccezione della n. 10, le stazioni si sono originate in seguito all'estrazione sia della torba che della sabbia silicea. La profondità supera di poco i due metri, salvo in alcuni punti della stazione n. 5 in cui è possibile raggiungere i quindici metri.
6	Punta Grande	
7	Centralino A	
8	Centralino B	
10	Gusciona	

5.3. La salinità delle acque

L'area del Lago di Massaciuccoli, per la sua posizione geografica, s'inserisce in una zona di transizione, influenzata dalle acque dolci interne e da quelle marine, da cui dipendono le variazioni del tenore di salinità delle acque.

In seguito agli eventi geologici che hanno interessato l'area, ma soprattutto per gli interventi realizzati nel XVIII° secolo per la difesa delle acque dall'intrusione marina (Pedreschi, 1956), la salinità della zona umida aveva raggiunto valori talmente bassi (acque oligoaline) da consentire l'instaurarsi di una flora e di una fauna tipiche di ambienti dulcicoli, in cui si riscontravano alcune entità con caratteristiche eurialine. La serie storica dei dati relativi all'andamento della salinità ha ormai chiaramente dimostrato che nel corso degli anni questo parametro subisce ampie oscillazioni, con tendenza verso valori sempre più elevati (Fig. 10).

La salinità delle acque assume un importante ruolo nei confronti delle comunità acquatiche, sia animali che vegetali, sulle quali può esercitare una notevole pressione selettiva a favore delle specie più tolleranti (eurialine).

L'andamento dei valori di salinità delle acque del lago, rilevati durante l'ultima campagna di studio, ha fatto registrare un trend in aumento che ha raggiunto il picco massimo nel mese di novembre 1997. In questo arco di tempo i valori della salinità sono saliti dall'1,5‰ circa, rilevato all'inizio della campagna di studio, fino al 3,8‰. Dopo questo periodo si è osservata un'inversione di tendenza caratterizzata da una diminuzione, imputabile anche alla piovosità, che non è scesa tuttavia di sotto al 2,5‰, non raggiungendo quindi i livelli di salinità dell'anno precedente (Fig. 2).

Questa situazione desta non poche preoccupazioni, riproponendo ancora una volta la problematica relativa ad un eccessivo aumento della salinità nell'area lacustre, peraltro già riscontrato in passato. Il fenomeno tende ad accentuare, per il comprensorio del Massaciuccoli, le caratteristiche di un ambiente di transizione, in condizioni di instabilità sempre più marcate. Le oscillazioni rilevate in questo parametro, provocano turbative ambientali che alterano le già instabili comunità acquatiche dello zooplancton e dello zoobenthos, contrastando i processi in grado di favorire il ripristino di una *facies* lacustre tipica di ambienti meno eutrofizzati.

5.4. Trasparenza delle acque

L'andamento della trasparenza consente di stimare indirettamente il grado di eutrofizzazione delle acque, secondo il sistema probabilistico adottato dall'O.C.S.E. (Organizzazione Cooperazione Sviluppo Economico) (Marchetti, 1987). Già alla fine degli anni '50 il Lago di Massaciuccoli poteva essere considerato in condizioni di eutrofia con una probabilità del 50%, di ipertrofia con una probabilità del 60% e per circa il 10% di mesotrofia. Allo stato attuale il parametro trasparenza pone le acque del lago in ipertrofia al 95% di probabilità.

La penetrazione della luce attraverso gli strati d'acqua è un fattore essenziale per garantire la crescita delle macrofite e può condizionare la vita delle comunità acquatiche. L'aumento della torbidità delle acque inibisce le attività predatorie di specie ittiche, quali ad esempio il luccio (*Esox lucius*) (Alessio *et al.*, 1997), ed è quindi in grado di condizionare il *top-down control* provocando sensibili effetti sulla catena trofica.

L'andamento della trasparenza presenta variazioni stagionali (Figg. 3 e 4), che trovano riscontro in tutte le stazioni monitorate, nelle quali si rilevano valori simili.

Da un confronto effettuato tra i valori medi di trasparenza, ottenuti nel corso di questa campagna di studio, e quelli rilevati nell'indagine condotta nel 1992 (Baldaccini *et al.*, 1997), risulta come, rispetto al passato, questo parametro abbia subito una ulteriore diminuzione media di circa 25 cm. L'andamento evidenzia l'accentuarsi dei fenomeni eutrofici a carico dell'area lacustre (Fig. 10).

Una considerazione a parte deve essere fatta per quelle aree (Stazioni n. 5 e 7) che, a partire dal mese di dicembre 1998, sono state sottoposte a sperimentazione, attraverso l'installazione di strutture che le hanno isolate dal lago e dall'apporto diretto delle sue acque. In questi siti il valore della trasparenza, rispetto a quelli registrati nelle altre stazioni del comprensorio, ha raggiunto in poco tempo valori significativamente più elevati (Figg. 3 e 4). Questi risultati, seppur preliminari, risultano incoraggianti per il buon esito degli interventi di risanamento e sono a conferma del fatto che la diminuzione della trasparenza è attribuibile solo in parte alle variazioni della produttività primaria rappresentata dal fitoplancton. E ormai noto, infatti, come nel comprensorio lacustre le cause della torbidità siano da ricercare in gran misura nella risospensione dei sedimenti di fondo e nell'apporto di quelli veicolati dai canali immissari.

5.5. La comunità zooplanctonica

Nell'ambito dello zooplancton, i Rotiferi comprendono le specie di più piccole dimensioni, fino a 80 μm , e rappresentano gli organismi che maggiormente determinano la consistenza, in termini numerici, della comunità. Nel corso della campagna di studio, riguardo a questo gruppo, si sono potuti rilevare i massimi picchi nelle stazioni lacustri (n. 3 - 4 - 9) (Fig. 5), dove tuttavia i Rotiferi non raggiungono livelli paragonabili a quelli rilevati nella precedente indagine. Il numero tende a diminuire ulteriormente nelle stazioni situate all'interno dell'area palustre.

Durante il primo anno di studio (1997) i Rotiferi raggiungono i massimi livelli nei mesi primaverili, sostenuti quasi esclusivamente dalla specie *Anuraeopsis fissa*, forma di dimensioni molto contenute (80 - 100 μm), già comparsa nel corso delle precedenti indagini, ma in quantità poco significative.

Più ridotte sono le pulsazioni di densità riscontrate nei mesi estivo-autunnali, dove domina il genere *Polyarthra*. Nell'anno successivo, si riscontrano le massime densità nei mesi invernali a carico di *Brachionus calyciflorus* e si assiste ad un decremento, nei mesi tardo invernali e primaverili, che segna la totale scomparsa del gruppo. Un nuovo aumento si registra nei mesi di giugno e luglio con un picco massimo supportato da *Brachionus urceolaris*.

Osservando la composizione della comunità, uno dei fattori che risalta maggiormente è dato dalla notevole riduzione della componente costituita dai Cladoceri, specialmente se questa viene confrontata con i dati acquisiti nella precedente campagna di studio (Baldaccini *et al.*, 1997). I Cladoceri sono quantificabili solo nel periodo estivo del primo anno di indagine, momento in cui sono stati peraltro rilevati con densità molto contenute e sostenute quasi interamente da *Diaphanosoma* sp., che peraltro di solito non raggiungeva picchi elevati neppure in passato.

Il picco massimo riscontrato nel mese di luglio 1997 (Fig. 5), oscilla mediamente intorno ai 10 Ind/l quando, nelle passate indagini, si raggiungevano punte anche di alcune centinaia di Ind/l, seppur sostenute da specie diverse e durante periodi diversi. La presenza dei Cladoceri abbracciava, infatti, un periodo assai più lungo (primavera-estate). Fa eccezione la stazione n. 10, dove i Cladoceri hanno raggiunto quantitativi elevati (Fig. 5) sostenuti da *Bosmina longirostris*, manifestando un fenomeno difficilmente interpretabile, se non per le particolari situazioni ambientali (basso idrodinamismo, limitata risospensione dei sedimenti, contenuta attività predatoria della fauna ittica, etc.), che potrebbero essersi verificate in seguito all'isolamento del sito.

Durante la campagna di studio non è mai stata rinvenuta, nelle stazioni esaminate, *Daphnia longispina*, la specie di maggiori dimensioni (circa 1500 µm), ritrovata invece nel corso della precedente indagine. Tale specie è stata occasionalmente rinvenuta in aree periferiche rispetto al lago, in ambienti tuttora isolati dalle sue acque.

Sono rari e in numero ridotto i reperimenti di specie associate alla vegetazione acquatica sommersa, come *Alona* e *Moina* sp. La riduzione di queste specie potrebbe essere imputabile alla scomparsa dei letti di macrofite sommerse.

Se rispetto alla precedente indagine, nell'anno 1997 si riscontra una diminuzione sia nel numero degli individui che nella diversità di specie (Tab. II), la popolazione dei Cladoceri nel 1998 non sembra neppure comparire.

Tabella II Elenco delle unità sistematiche rilevate tra i Cladoceri della comunità zooplanctonica nel Bacino del Massaciuccoli tra gli anni '60 e '90.

Unità sistematiche	1962	1992		1998
	lago	lago	palude	lago
Cladocera				
<i>Alona rectangula</i> (Sars)	#	#	#	#
<i>Biapertura affinis</i> (Leydig)	#	#		
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Muller)		#	#	#
<i>Camptocercus australis</i> Sars			#	
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Muller)	#		#	
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Muller)	#		#	
<i>Daphnia curvirostris</i> Eylmann			G	
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Muller)		#	#	
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin)	#			#
<i>Diaphanosoma lacustris</i> Korinek		#	#	
<i>Leydigia acanthocercoides</i> (Fisher)		#	G	#
<i>Moina micrura</i> Kurz		#	#	#

presente

G rinvenuto nel contenuto gastrico dei pesci

La comunità zooplanctonica appare quindi dominata prevalentemente dal gruppo dei Copepodi all'interno del quale, tuttavia, si registrano notevoli variazioni nell'arco del biennio di studio. Nel 1997 i Copepodi sono nettamente rappresentati dai Ciclopoidi, che raggiungono le massime densità durante i mesi estivi (luglio-agosto), con valori che oscillano mediamente da 60 a 90 Ind/l (Fig. 6). La popolazione appare verosimilmente composta da due specie che si alternano con diversa intensità. La prima, *Acanthocyclops robustus*, con un picco primaverile piuttosto contenuto; la seconda, più consistente, rappresentata dalla specie termofila *Apocyclops panamensis*.

Il calo della popolazione dei Ciclopoidi è netto durante il mese di novembre, quando si registra il *trend* in aumento che prosegue per tutto l'anno successivo a favore dell'altro ordine di Copepodi, i Calanoidi, rappresentati esclusivamente dalla specie *Calanipeda aquaedulcis*.

La presenza di questi organismi, che nelle precedenti indagini si manifestava con percentuali molto contenute, si mantiene elevata anche nei periodi più favorevoli allo sviluppo dei Cladoceri (aprile-maggio).

Altro gruppo che fa la sua comparsa nella comunità è quello dei Misidacei, rappresentati esclusivamente dalla specie eurialina *Mesopodopsis slabberi*, campionati sistematicamente a partire dal mese di settembre 1997 sulle stazioni n. 3, 4 e 6. La scelta delle tre stazioni è stata dettata dal fatto che esse tracciano idealmente un transetto lungo il quale si è inteso valutare l'andamento di questa popolazione. È ragionevole pensare che tali organismi effettuino i propri spostamenti trofici da ambienti spiccatamente salmastri, tipici delle aree portuali, verso l'ambiente oligoalino del Massaciuccoli (Baldaccini, 1995).

Va rilevato, tuttavia, che la presenza dei Misidacei è stata evidenziata anche nelle altre stazioni campionate attraverso le normali metodologie utilizzate per la cattura dello zooplancton. Nelle tre stazioni del transetto è stato possibile rilevare come i Misidacei non presentino particolari variazioni rispetto alle tipologie ambientali esaminate, se non per quanto riguarda un sensibile incremento numerico in quelle più vicine alle zone riparie.

Dall'andamento delle curve di densità e da un esame della struttura della popolazione, che risulta costituita prevalentemente da individui di piccola taglia (0,7 - 5 mm), si è potuto constatare come il picco massimo (Fig. 7), nei periodi di aprile, maggio e giugno 1997, coincida con il periodo riproduttivo.

5.6. La comunità macrobentonica

La comunità macrobentonica, nelle aree saggiate del Massaciuccoli, appare estremamente semplificata e costituita da quei gruppi che in genere dominano le zone più profonde e prive di vegetazione. Essa è fortemente dominata da unità sistematiche (Chironomidi e Oligocheti), tipici di ambienti piuttosto instabili e soggetti a crisi distrofiche. Nell'ambito di questi, si rileva una scarsa variabilità di specie accentrata soprattutto in alcuni raggruppamenti che, per la loro elevata adattabilità, sono riusciti non solo ad essere presenti per la maggior parte dell'anno, ma anche a raggiungere un'abbondanza piuttosto considerevole nel periodo tra i mesi di febbraio e giugno 1998. I Chironomidi, in particolare, si manifestano rispetto agli altri gruppi con una netta dominanza (14 unità sistematiche). I Crostacei, rappresentati dal gruppo dei Gammaridi, in passato venivano rilevati frequentemente in alcune stazioni più vicine alla cintura di vegetazione palustre. Nel corso dell'indagine sono stati rinvenuti in quantità estremamente ridotte (Fig. 8).

Le varie stazioni esaminate sono state raggruppate secondo un criterio di similarità che tiene conto della struttura della comunità e delle caratteristiche ambientali (Fig. 9). Sembra chiaro, ad esempio, come sulla composizione della comunità di un punto di campionamento possa influire la sua vicinanza alla zona litorale. Zona che si presenta caratterizzata da una fitta vegetazione palustre in grado di modificare la qualità del substrato con gli apporti del detrito vegetale. L'allontanamento progressivo dalle rive e quindi il passaggio dalle stazioni n. 1, 4 e 9 (Fossa Nuova, Barra ed Area a macrofite) alla stazione n. 3 (Centro lago), consente di osservare un netto cambiamento del substrato. La ricchezza del detrito organico composto da elementi vegetali misti a torba, presente nelle stazioni litoranee, cede rapidamente il passo al substrato costituito da sedimento a finissima granulometria e molto fluido che si ritrova nel lago.

Anche le stazioni n. 6 e 7 (Punta Grande e Centralino), individuate all'interno dell'area palustre, risultano simili all'uno e all'altro gruppo quanto più sono ad essi sovrapponibili per gli aspetti ambientali.

L'assenza di macrofite riscontrata in tutte le aree campionate determina un notevole impoverimento della comunità bentonica rendendola in ogni caso sempre più simile a quella tipica dei substrati profondi della zona afotica.

Come già dimostrato in altre indagini (Baldaccini e Bianucci, 1986), la comunità macrobentonica non è presente sui fondali che si trovano oltre la batimetrica dei tre metri, nelle aree caratterizzate da elevata profondità, come è stato possibile verificare in certi siti della stazione Fosso Morto.

Tab. III Unità sistematiche componenti la comunità macrobentonica dei siti campionati

OLIGOCHETI	
	Lumbricidae
	Lumbriculidae
	Tubificidae
	Naididae
DITTERI	
	<i>Chironomus gr.plumosus</i>
	<i>Microchironomus</i>
	<i>Cladopelma</i> sp.
	Tanytarsus
	Tanypodinae
	Ceratopogonidae
TRICOTTERI	
	<i>Ecnomus tenellus</i>
CROSTACEI	
	Gammaridae

5.7. Conclusioni

L'insieme delle conoscenze acquisite con le campagne di studio condotte negli ultimi anni consente di trarre importanti considerazioni sulla dinamica delle comunità studiate e del suo evolversi in relazione ai mutamenti a cui è sottoposta la zona umida del Massaciuccoli.

Uno dei più importanti elementi di valutazione si ritrova nelle variazioni significative riscontrate all'interno della comunità zooplanctonica, dove la diminuzione della diversità (Fig. 11) e la graduale scomparsa di gruppi determinanti come i Cladoceri pongono non pochi interrogativi. I meccanismi che regolano queste dinamiche sono molteplici e condizionati dalle relazioni che si instaurano tra i fattori chimico-fisici che caratterizzano l'ecosistema e la complessa rete alimentare sottoposta a continui mutamenti ambientali.

Uno dei primi effetti correlabili con le trasformazioni riscontrate nella comunità si ritrova nell'ulteriore diminuzione della trasparenza delle acque rispetto ai valori registrati nel corso delle campagne di studio precedenti (Fig. 10).

È provato ormai come l'aumento di torbidità delle acque sia associabile ad una diminuzione dei Cladoceri e come questa sia spesso causata dalla pesante pressione selettiva attribuibile ai pesci zooplanctivori (Hanazato *et al.*, 1990; Lyche *et al.*, 1990; Miura, 1990). Ciò potrebbe far supporre che questa componente zooplanctivora della fauna ittica, nel Lago di Massaciuccoli, abbia subito nel corso di questi ultimi anni un incremento peraltro non provato da dati sperimentali. E da ritenere, tuttavia, che tale ipotesi non possa da sola essere sufficiente a giustificare la scomparsa progressiva dei Cladoceri, tra l'altro associata ad una generale diminuzione della diversità (Fig. 11).

Le mutazioni nella composizione della comunità trovano forse una maggiore correlazione con l'aumento dei livelli di salinità riscontrati durante la ricerca. È già stato infatti evidenziato in precedenti studi (Giacometti Cannicci, 1962) come, in altri ambienti spiccatamente salmastri, la comunità zooplanctonica fosse costituita prevalentemente dalle specie alofile identificabili nei Crostacei Calanoidi (*Calanipeda aquaedulcis*) e nei Misidacei (*Mesopodopsis slabberi*) che ritroviamo oggi dominanti nel Massaciuccoli.

In altri ambienti europei come le Hickling Broad (U.K.), con caratteristiche analoghe a quelle del Lago di Massaciuccoli, si è pure riscontrata, sotto gli effetti della salinità, una contrazione delle specie presenti nella comunità zooplanctonica che è quindi limitata a Calanoidi (*Eurytemora affinis*) e Misidacei (*Neomysis integer*), coinvolti in un esclusivo rapporto tra preda e predatore (Irvine *et al.*, 1995). In questi ambienti, quando viene a mancare l'effetto delle piogge, s'instaurano alti valori di salinità, che limitano la sopravvivenza dei Cladoceri (*Daphnia* spp.) e favoriscono lo sviluppo del fitoplancton e dei Misidacei (Moss *et al.*, 1996).

La diminuzione dei Cladoceri è in concomitanza con la totale scomparsa dei letti di macrofite acquatiche presenti, anche nel lago, fino a pochi anni fa (Tomei *et al.*, 1997). Le macrofite acquatiche costituiscono, infatti, importanti zone di rifugio per i Cladoceri, oltre che per una vasta gamma di altri invertebrati. Le macrofite sono in grado di far ridurre la pressione predatoria esercitata dai pesci sui Cladoceri e di favorire l'attività di pascolo di questi ultimi nelle circostanti acque libere, durante le ore notturne, quando i pesci non sono in condizioni idonee di visibilità (Moss *et al.*, 1996). L'assenza di macrofite riduce anche la diversità della comunità macrobentonica, che nelle aree studiate ha mostrato un ulteriore abbassamento rispetto al passato. Il ripristino dei letti di piante acquatiche costituirà, quindi, un elemento molto favorevole all'economia di quest'ambiente.

Non è da escludere che l'aumento della salinità influenzi negativamente

anche la germinazione di macrofite acquatiche meno tolleranti, che troverebbero così un ulteriore ostacolo al loro sviluppo, oltre a quelli sicuramente più influenti come la scarsa penetrazione della radiazione luminosa e gli effetti del pascolo esercitato dal crostaceo decapode *Procambarus clarkii* la cui introduzione e acclimatazione è stata recentemente segnalata in quest'area (Baldaccini, 1995; Ercolini *et al.*, 1999).

L'aumento dei livelli di salinità riscontrato nel lago si ripercuote evidentemente sulle comunità acquatiche rendendo sempre più frequente la comparsa di specie spiccatamente eurialine, come i Crostacei Peneidi (*Penaeus kerathurus*), recentemente rinvenuti nello specchio lacustre.

L'abbassamento dei livelli di salinità costituisce quindi, insieme alla riduzione dei nutrienti e all'abbattimento del trasporto di materiale solido sospeso, uno degli obiettivi da perseguire per il risanamento dell'area. Sono ormai note le cause dalle quali si origina la salinità, legate principalmente all'ingressione delle acque di mare verso il lago, che andranno contrastate con validi sistemi di contenimento; in tal senso non è da sottovalutare il ruolo che i bacini originatisi in seguito alle attività di estrazione della sabbia silicea svolgono come serbatoi di raccolta di acqua salata (Fig. 13). Un altro importante fattore è dato dalla progressiva diminuzione delle fonti di acqua dolce che alimentano il lago. Nel corso degli anni si è infatti assistito ad un peggioramento della qualità di queste fonti e alla tendenza ad eliminarle più che a bonificarle. Ciò può essere controindicato per il bilancio idrico del bacino.

L'obiettivo da perseguire dovrà tendere alla riduzione delle fluttuazioni di salinità e ad invertire il *trend* in aumento fino a farlo stabilizzare intorno a valori che non oltrepassino l'uno per mille, in modo da non favorire alterazioni a carico delle comunità lacuo-palustri, che potrebbero evolvere verso condizioni completamente diverse da quelle attuali.

Foto

A e B

I Rotiferi e i Crostacei sono i principali gruppi che compongono lo zooplancton delle acque dolci, oltre ai Protozoi. Tra i Crostacei assumono un importante ruolo di filtratori i Cladoceri e per questo giocano un ruolo chiave per il mantenimento della limpidezza delle acque nei laghi poco profondi.

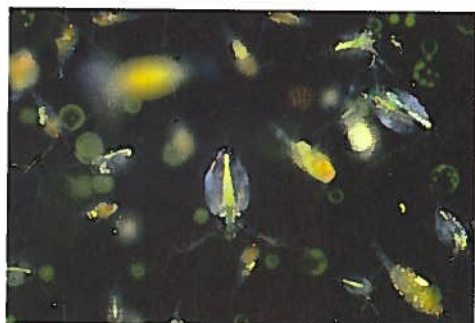
Potenzialmente il Lago di Massaciuccoli può ospitare una popolazione di Cladoceri ben diversificata, con taglie che variano dai 300 μm di *Bosmina longirostris* ai 1500 μm di *Daphnia longispina* (Foto B, rispettivamente a destra e a sinistra). Se consideriamo che l'efficacia di un pascolatore è proporzionale al quadrato delle sue dimensioni, è facile comprendere l'importanza che assume la presenza di *Daphnia longispina* nella comunità zooplanctonica. Secondo Moss *et al.* (1996) è sufficiente una popolazione moderata di *Daphnia* (poche decine di Ind/litro) per filtrare l'intero volume di un lago più di una volta il giorno. In condizioni ottimali le varie specie di Cladoceri si avvicendano nel corso della stagione primaverile - estiva, seguendo lo sviluppo di specie algali più adatte alla loro dieta. L'eutrofizzazione limita lo sviluppo dei Cladoceri di grosse dimensioni che sono anche soggette alla pressione selettiva da parte dei pesci plantofagi. Condizioni avverse, come eccessivo tenore di salinità, possono limitare l'intero gruppo.

C

La comunità macrobentonica del Lago di Massaciuccoli è composta prevalentemente da larve di *Chironomus plumosus* (nella foto). Molti studi relativi ad ambienti di acqua dolce hanno mostrato un'alta correlazione tra l'apporto di ossigeno al sedimento e la biomassa o il numero di larve di chironomidi. Nel sedimento organico il tasso di denitrificazione mostra una chiara relazione con la biomassa dei chironomidi. Esperimenti eseguiti in laboratorio con *Polipedium* sp. mostrano che le larve consumano tutto l'ossigeno che si diffonde o che è trasportato nel sedimento togliendolo alla denitrificazione batterica.

D

Le principali finalità delle azioni di recupero del comprensorio lacustre vanno ricercate nella conservazione e nella ricostituzione del patrimonio vegetativo acquatico rappresentato dai tappeti di macrofite, che un tempo si estendevano sui fondali dell'intero lago e degli specchi d'acqua circondati



A (foto Baldaccini)



B (foto Baldaccini)



C (foto Baldaccini)



D (foto Baldaccini)



E (foto Baldaccini)



F (foto Baldaccini)



G (foto Baldaccini)



H (foto Baldaccini)

dalla cintura di vegetazione palustre (nella foto). La presenza di piante acquatiche risulta vitale per l'ecosistema lacustre in quanto esse assolvono una serie di importanti compiti: costituiscono un indispensabile rifugio per piccoli invertebrati e per i cladoceri, smorzano gli effetti del moto ondoso provocato dai venti contenendo gli effetti della torbidità dovuta alla sospensione di sedimenti, assicurano una fonte di cibo indispensabile per la vita di molti uccelli acquatici, rappresentano un habitat ideale per la fauna ittica, possono infine creare nel sedimento le condizioni favorevoli per la rimozione dell'azoto attraverso processi di denitrificazione.

E, F e G

I banchi di macrofite ospitando una complessa ed abbondante comunità di macroinvertebrati bentonici che contribuisce ad arricchire la biodiversità degli ambienti lacustri. Macroinvertebrati e vegetazione acquatica costituiscono, inoltre, una preziosa fonte di cibo per una grande varietà di animali acquatici.

Le foto E ed F rappresentano rispettivamente la larva di libellula (*Libellula depressa*) e il gambero del limo (*Athyaephyra desmaresti*) su erba vescica (*Utricularia vulgaris*); la foto G un gasteropode tipico dell'area (*Theodoxus fluviatilis*) su ceratofillo (*Ceratophyllum demersum*).

H

Molto simili a piccoli gamberi, i Misidacei sono Crostacei che frequentano le acque salmastre e marine di tutto il mondo. La specie ritrovata nel Lago di Massaciuccoli (*Mesopodopsis slabberi*) è caratterizzata dal compiere migrazioni trofiche e forse anche riproduttive tra il mare e le acque più interne. In zone umide della Gran Bretagna molto simili a quella del Massaciuccoli è stata studiata la biologia di una specie analoga (*Neomysis integer*), in relazione alla rete alimentare e in relazione all'effetto a cascata sulla rete trofica dei laghi poco profondi. In presenza di stabili letti di piante acquatiche non sembra costituire un problema per l'equilibrio dell'ecosistema. In condizioni simili a quelle in cui si trova oggi il Massaciuccoli può esercitare una forte pressione predatoria nei confronti dei Cladoceri, favorendo in questo modo la torbidità delle acque ad opera del fitoplancton.

Didascalie figure

Fig. 1. Il prelievo dello zooplancton di piccola taglia, costituito da Rotiferi, Cladoceri e Copepodi, è stato effettuato, sull'intera colonna d'acqua di ciascuna stazione di campionamento, con una rete da plancton con maglie di $50\ \mu\text{m}$ e diametro di 19 cm, ripetendo più volte l'operazione fino a filtrare un quantitativo sufficiente e comunque sempre superiore ai 200 litri. Il campione, concentrato, era fissato in formalina al 4% e trasportato in laboratorio per la successiva analisi al microscopio per l'identificazione dei gruppi sistematici e per il conteggio.

Le forme di maggiori dimensioni, rappresentate prevalentemente da Misidacei, sono state raccolte sulle stazioni n. 3, 4 e 6 (Centro lago, Barra e Punta Grande) filtrando l'intera colonna d'acqua con una rete da plancton, con maglie da $250\ \mu\text{m}$ e diametro di 44 cm, effettuando ogni volta due repliche in modo da vagliare un quantitativo di acqua sufficientemente elevato per il conteggio degli organismi. La rete, per ciascuna calata, era fatta sostare sul fondo per un periodo pari ad un minuto, necessario perché si ristabilissero le condizioni di calma idonee per la loro cattura. Il conteggio e l'identificazione al microscopio erano effettuati sull'intero campione e il valore riportato a ind/m^3 .

I campioni della macrofauna bentonica sono stati prelevati mediante benna Ekman, dall'area di presa di $225\ \text{cm}^2$. Ogni campione è stato setacciato sul posto con maglie di $600\ \mu\text{m}$ e il residuo trasportato in laboratorio, per il *sorting* preliminare e la successiva classificazione con strumenti ottici. La determinazione è avvenuta, ove possibile, fino a livello di genere.

La trasparenza delle acque è stata rilevata con il disco di Secchi (20 cm di diametro), mentre il valore della salinità è stato calcolato mediante la determinazione dei cloruri. Oltre al rilievo di questi parametri, in ciascuna stazione, era sempre misurata la profondità delle acque, dato necessario per effettuare le determinazioni quantitative sulla comunità zooplanctonica e stimare gli effetti della trasparenza.

Fig. 2. Mettendo a confronto gli andamenti annuali della salinità con i mm di pioggia caduti nel corso del periodo di indagine è possibile osservare il livello di correlazione esistente tra questi due parametri. Gli eventi piovosi, in effetti, regolano il bilancio della salinità del lago, modulandone l'andamento dei livelli. Le precipitazioni appaiono l'unico evento in grado contrastare la salinità delle acque.

Figg. 3 - 4. Prendendo in esame due stazioni tipo si riportano, nei relativi grafici, gli andamenti annuali della trasparenza misurata al disco di Secchi. L'andamento riscontrato in queste stazioni è sovrapponibile a quello delle altre. Un sostanziale mutamento si rileva nelle stazioni sottoposte a sperimentazione, tra cui la stazione n. 7 (Centralino presa come esempio), dove il parametro aumenta significativamente a seguito dell'isolamento dalle acque del lago avvenuto nel mese di dicembre 1998.

Per una migliore interpretazione del significato della trasparenza, i valori registrati nelle stazioni di campionamento sono stati messi in rapporto con le relative profondità. Se consideriamo che la misura della trasparenza è quasi equivalente alla massima profondità in cui è consentita la crescita delle macrofite, allora risulta chiaro che la probabilità di attecchimento e di sviluppo di tali forme vegetali sarà maggiore, quanto più il rapporto si avvicina ad uno.

Fig. 5. I grafici riportano l'andamento delle curve relative alla densità di Rotiferi e Cladoceri, ottenute dalle medie dei valori rilevati in due gruppi di stazioni, che presentano valori similari di densità, e dai valori della stazione n. 10 (Gusciona), che presenta un andamento del tutto particolare. Gli effetti della salinità sono bene evidenti sulla comunità dei Cladoceri. Nel periodo primaverile - estivo del 1997 si registra, per questo gruppo, una minima presenza, fino alla quasi totale scomparsa per tutto l'anno seguente

Fig. 6. In analogia a quanto detto per i Rotiferi e i Cladoceri, nei grafici sono rappresentati gli andamenti dei Copepodi in due gruppi di stazioni similari e rappresentativi delle tipologie analizzate. Anche in questo caso si ipotizza una netta correlazione tra andamento della salinità e successione annuale dei vari gruppi appartenenti ai Copepodi. Il primo è costituito dai Ciclopoidi, presenti nel corso del 1997, che successivamente lasciano il posto a specie più eurialine come i Crostacei Calanoidi, che si ritrovano per tutto il 1998, evidentemente in grado di adattarsi meglio a valori di salinità prossimi al 3‰.

Fig. 7. A partire dal settembre 1997, i Misidacei sono stati raccolti nelle stazioni n. 3, 4 e 6, geograficamente disposte sul lago a transetto. L'andamento relativo alla media dei valori ottenuti nelle stazioni è riportato nel grafico: si osservi come la presenza di questi Crostacei, durante l'anno, subisca notevoli flessioni, non tanto influenzate dalla salinità quanto, probabilmente, dal comportamento del gruppo in relazione alle migrazioni trofiche e al periodo riproduttivo.

Fig. 8. Sono posti a confronto le strutture delle comunità e le relative densità in percentuale rilevate nelle varie stazioni di campionamento. I gruppi più rappresentati sono quelli appartenenti ai Chironomidi e agli Oligocheti.

Fig. 9. Nel "*dendrogramma*", è rappresentata la similarità rilevata tra le varie stazioni. I raggruppamenti, evidenziati da medesimi colori, sono stati calcolati secondo l'indice di Bray-Curtis applicato alla diversità della comunità macrobentonica.

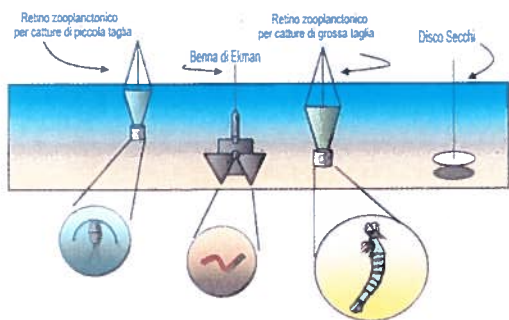
Fig. 10. I risultati ottenuti con la campagna di studio evidenziano variazioni significative all'interno della comunità zooplanctonica nella densità di Rotiferi, Cladoceri e Copepodi, rispetto a quanto rilevato in precedenti indagini (1989-1992).

I cambiamenti trovano riscontro nella trasparenza che risulta diminuita ulteriormente rispetto agli anni precedenti. Le mutazioni riscontrate nella composizione della comunità zooplanctonica, nel corso degli anni, trovano forse una maggiore correlazione con le oscillazioni del livello di salinità. Dai grafici si osserva come la salinità media delle acque lacustri sia correlabile con il tasso di precipitazione annuale e contemporaneamente con la dominanza di alcune componenti zooplanctoniche. Ne risulta che a tassi elevati di salinità dominano Copepodi Calanoidi, a netto scapito di Rotiferi e Cladoceri e a tutto vantaggio delle comunità fitoplanctoniche.

L'aumento della salinità sembra favorire anche lo sviluppo della popolazione di Misidacei, che esercitano una pesante azione predatoria sui Cladoceri, specialmente quando nell'ambiente sono assenti i letti di macrofite acquatiche come nel caso del Lago di Massaciuccoli.

Fig. 11. Sono poste a confronto le curve relative agli indici di diversità biologica calcolati mensilmente sulla comunità zooplanctonica. Le curve sono riferite a due periodi di indagine (1992 e 1998) e mettono in evidenza l'abbassamento della diversità biologica secondo Shannon (Ghetti e Bonazzi, 1981) rilevato nell'ultimo anno.

Fig. 13. L'eccessiva profondità, l'elevato livello di salinità degli strati profondi e il loro perenne stato anossico rendono i corpi idrici, originatisi dall'attività di estrazione delle sabbie silicee, ambienti inospitali a forme di vita acquatiche che non appartengano alla flora microbica anaerobia. Ad esempio, la densità degli organismi zooplanctonici rilevata in queste aree è sempre risul-



Metodi di campionamento lacustre

Fig. 1

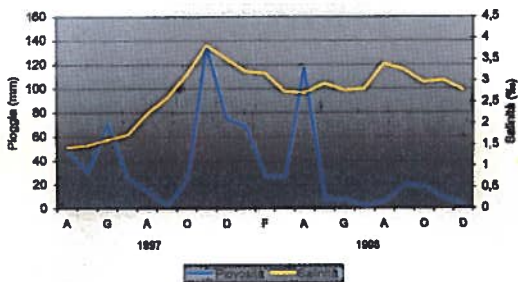


Fig. 2



Fig. 3

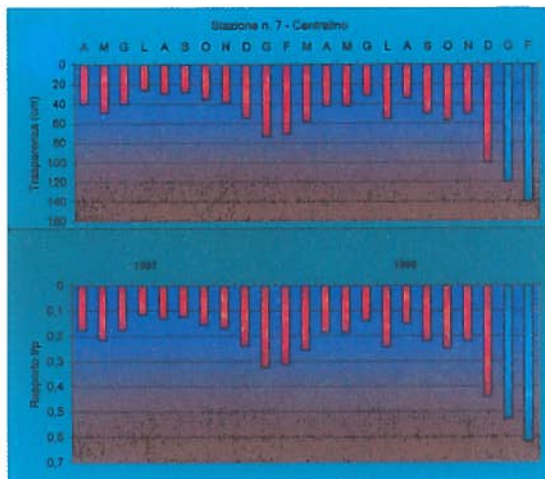


Fig. 4

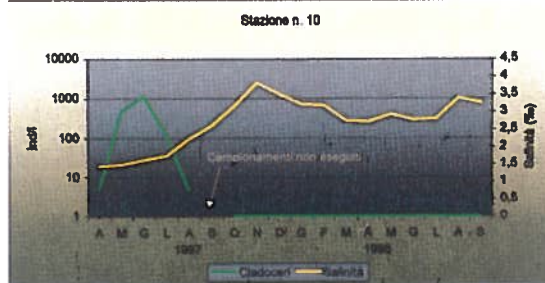
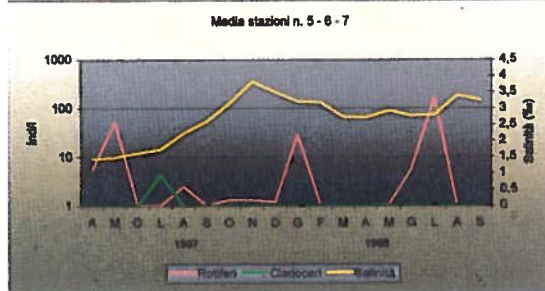
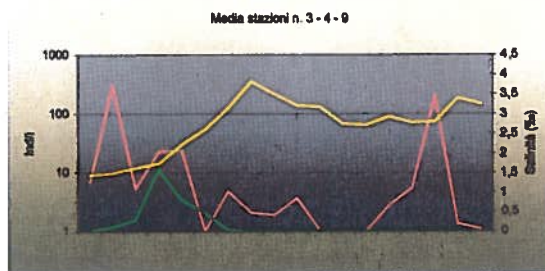


Fig. 5

tata più ridotta rispetto a quella dei siti poco profondi. È dimostrato (Baldaccini *et al.*, 1997) come la stratificazione più o meno evidente della massa d'acqua possa influenzare in ogni caso la distribuzione degli zooplanctonti. In alcune di queste cave, dove si verifica una separazione netta tra lo strato superficiale e quello profondo che non viene mai a contatto con l'atmosfera (stratificazione meromittica), l'80% della comunità zooplanctonica risulta concentrata nei primi tre metri della colonna d'acqua. Le percentuali si abbassano notevolmente man mano che si scende negli strati più profondi. È ragionevole pensare che, date le condizioni d'anossia e di salinità, le quote catturate in questi strati siano in gran parte dovute alla sedimentazione degli organismi.

Il popolamento zooplanctonico è quindi in grado di utilizzare appieno solo gli strati più superficiali, dove le acque contengono basse concentrazioni saline e, rimescolandosi, risultano sempre ossigenate.

Questi ambienti non apportano, quindi, alcun effetto benefico all'ecosistema palustre. Sono aree poste all'interno del padule che non potranno mai essere utilizzabili se non attraverso un'azione di recupero ambientale che neutralizzi l'effetto trappola che oggi hanno nei confronti dell'ingressione salina e le riconduca ad una morfologia tale renderle colonizzabili da flora e fauna tipiche dell'ambiente lacustre.

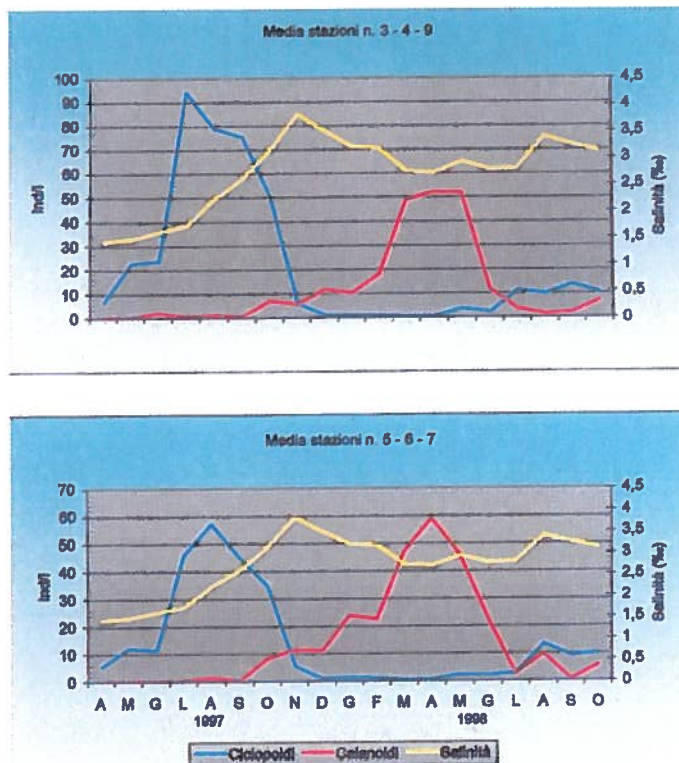


Fig. 6

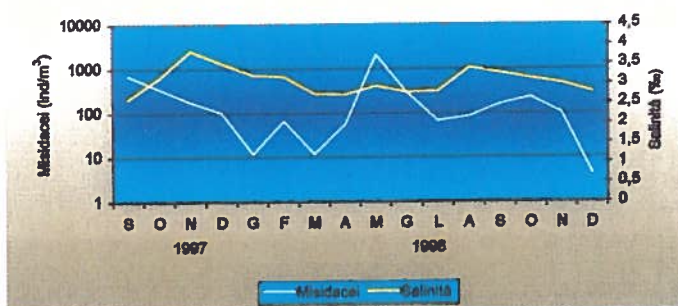


Fig. 7

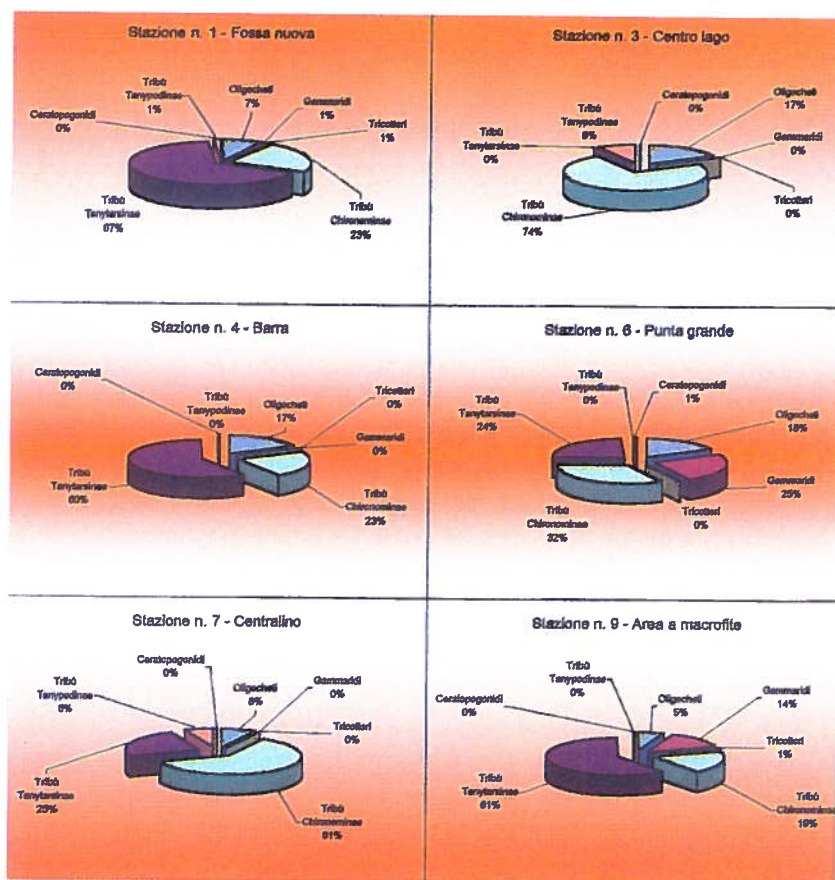


Fig. 8

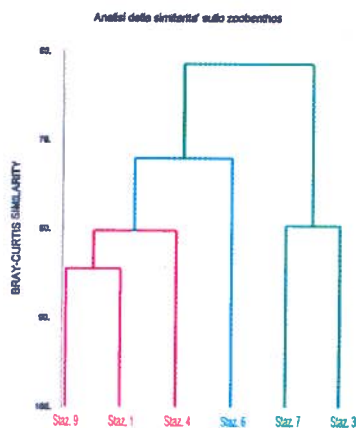


Fig. 9

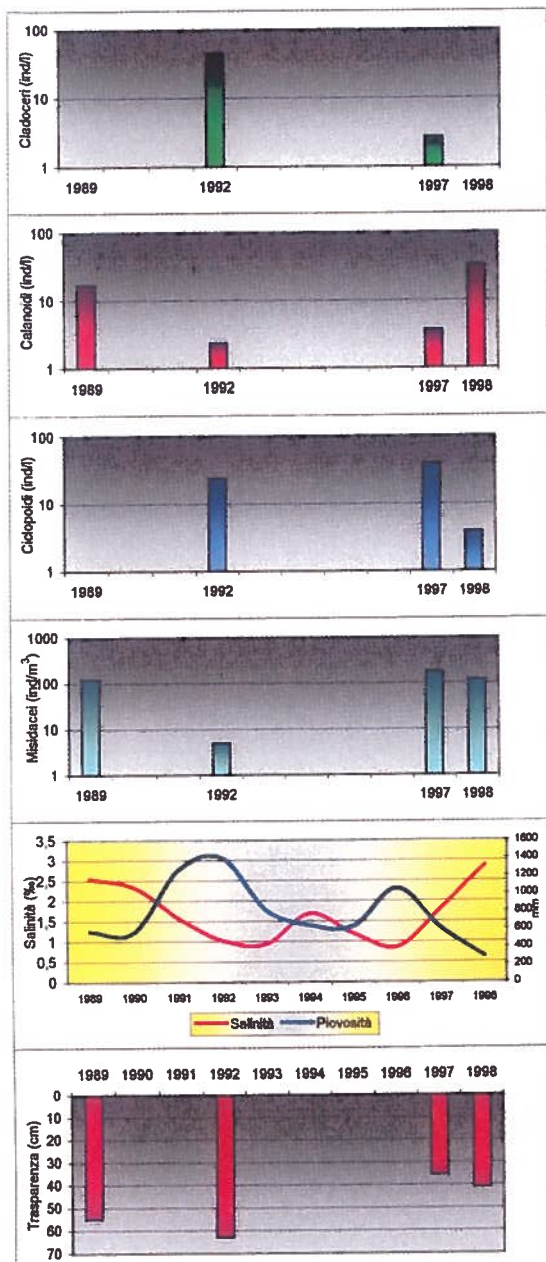


Fig. 10

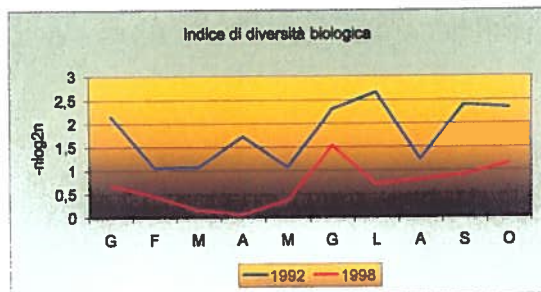
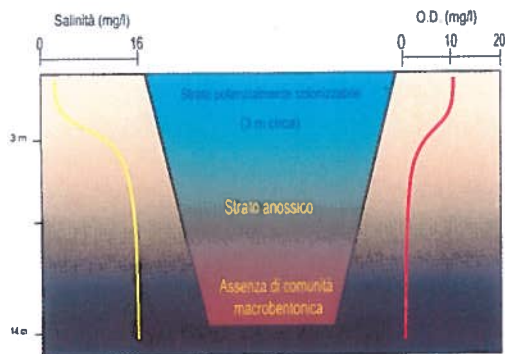


Fig. 11



Sezione schematica delle ex cave di sabbia.

Fig. 13

Procambarus clarkii è un Crostaceo Decapode, originario dell'America del Nord, ed è ormai presente in tutto il comprensorio del Massaciuccoli in cui fu incautamente introdotto verso la fine degli anni '80. In questi ultimi tempi, esso si è progressivamente diffuso in quasi tutte le acque stagnanti della Toscana Nord Occidentale (Gherardi *et al.*, 1998). Questa specie è in netto contrasto con i profili biogeografici dell'area e quindi, già per tale motivo, rappresenta un fattore di disturbo da rimuovere. Essa inoltre provoca effetti che sono in netta contrapposizione con le principali finalità previste dal risanamento del lago e rappresentate dalla ricostituzione dei letti di macrofite. Sembra ormai accertato come la riduzione delle piante acquatiche, evidenziata in questi ultimi anni, possa essere correlata con la presenza di questo decapode. In seguito ad osservazioni condotte in un canale della zona palustre si è potuto, infatti, rilevare il progressivo deterioramento dei laminetti di *Nymphaea alba* e la radicale scomparsa di *Utricularia australis*, presenti in periodi antecedenti all'introduzione di *Procambarus clarkii*. I danni sulla componente vegetazionale del comprensorio lacustre erano del resto prevedibili, vista la notevole voracità riscontrata nell'animale quando era mantenuto negli spazi ristretti di un acquario o di una nassa da pesca, ma anche in ambienti più ampi destinati alla coltivazione di flora acquatica ornamentale dove l'introduzione del gambero ha provocato ingenti danni, recidendo sistematicamente gli steli delle piante. Le ipotesi sul ruolo di *Procambarus clarkii* come pascolatore di macrofite sono in parte confermate da studi specifici, sebbene riferiti ad altre specie di astacidi (Nyström *et al.*, 1996, Nyström & Strand, 1996).



L (foto Baldaccini)



I (foto Ercolini)

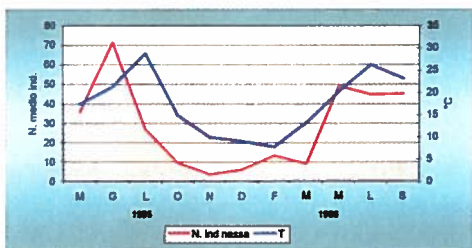


Fig. 12



M (foto Ercolini)

Foto

I. La notevole commestibilità e la semplicità delle tecniche con cui viene pescato, hanno fatto del gambero americano (*Procambarus clarkii*) una risorsa di interesse economico, tanto da indurre gli operatori del settore ad intraprendere forme di cooperazione per la pesca e la sua commercializzazione. Questo aspetto può far nascere ulteriori interrogativi sulle strategie di gestione della nuova specie nell'area del Massaciuccoli.

L. Uno degli aspetti comportamentali che maggiormente favoriscono la sopravvivenza di questa specie ed il suo facile adattamento al nuovo ambiente, è dato dalle cure parentali esercitate dalla femmina sulla prole, dopo la schiusa delle uova, fino ad uno stadio di sviluppo larvale più avanzato. Durante questo periodo le femmine si ritraggono nelle profonde tane costruite lungo gli argini dei canali e sulle rive, riuscendo così a scampare ogni forma di predazione.

M. Gli adulti sono ben distinguibili sessualmente per la presenza dei parapodi modificati nel maschio (a sinistra nella foto), assenti nella femmina.

Fig. 12. La diminuzione degli individui riscontrata nelle nasse durante indagini condotte sulla biologia di *Procambarus clarkii* appare direttamente correlata con l'andamento stagionale della temperatura. In effetti, ciò è verosimilmente dovuto al comportamento che assumono i gamberi durante i periodi post - riproduttivi e invernali, quando gli animali si rifugiano nelle tane costruite sulle rive e dove sostano fino alla successiva stagione.

Bibliografia

- Alessio G., Duchi A., Bercelli M., Baldaccini G.N., Bianucci P., 1997. *Interrelazione tra ittiofauna ed eutrofizzazione nel Lago di Massaciuccoli (Toscana)*. In *Lago di Massaciuccoli - 2° contributo* pp. 347-378. Ente Parco Regionale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa.
- Baldaccini G.N. e 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., 1995. *Considerazioni su alcuni macroinvertebrati dell'area umida del Massaciuccoli (Toscana)*. Consorzio idraulico di II categoria. Collana di indagini tecniche e scientifiche per una migliore conoscenza del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio. Vol. IV°: 91-103.
- Baldaccini G.N., Ercolini P., Mattioli M., 1997. *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Composizione ed evoluzione temporale delle comunità zooplanctonica e macrobentonica*. In *Lago di Massaciuccoli - 2° contributo* pp. 289-346. Ente Parco Regionale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa.
- Bales M., Moss B., Phillips G., Irvine K. & Stanfield J., 1993. *The changing ecosystem of a shallow, brackish lake, Hickling Broad, Norfolk. II Long term changes in water chemistry and ecology and their implications for restoration of the lake*. Freshwater Biology, 22: 71-87.
- Balseiro E.G., Modenutti B.E. e Queimaliños C.P., 1992. *The coexistence of Bosmina and Ceriodaphnia in a south Andes lake: an analysis of demographic responses*. Freshwater Biology, 28: 93-101.
- Brunelli G. e Cannicci G., 1942. *Il Lago di Massaciuccoli*. Boll. Pesca, Piscic. Idrobiol. 16: 5-66.
- Ercolini P., Baldaccini G.N. e Mattioli M., 1999. *Procambarus clarkii (Girard) (Crustacea, Decapoda) nella zona umida del Massaciuccoli: una specie esotica infestante o una risorsa da sfruttare?* In Baldaccini G.N. e Sansoni G. (Ed.s), 1999. Atti del Convegno "I Biologi e l'ambiente oltre il duemila", C.I.S.B.A., In Stampa.
- Eilseltová M., 1994. *Restoration of Lake Ecosystem, a Holistic Approach*. International Waterfowl and Wetlands Research Bureau, Slimbridge (Ed.).
- Frascari F., Bergamini M.C., Caridei F. & Miserocchi S., 1994. *Studio geochimico-sedimentologico dei fondali in funzione del ciclo delle sostanze nutrienti nel Lago di Massaciuccoli*. In *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*. Ente Parco Regionale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa: 87-101.
- Gherardi F., Baldaccini G.N., Barbaresi S., Ercolini P., De Luise G., Mazzoni D. &

- Mori M., 1998. *Alien crayfish in Europe: the situation of Italy*. Crustacean Issues. In stampa.
- Ghetti P.F., Bonazzi G., 1981. *I macroinvertebrati nella sorveglianza ecologica dei corsi d'acqua*. Consiglio Nazionale delle Ricerche AQ/1/127
- Giacometti Cannicci G., 1962. *Instabilità delle associazioni planctoniche in alcuni stagni salmastri della penisola italiana e della Sardegna in rapporto alle caratteristiche dell'habitat*. Pubbl. Staz. Zool. Napoli, 32 suppl.: 349-367.
- Hanazato T., Iwakuma T. & Hayashi H., 1990. *Impact of whitefish on an enclosure ecosystem in a shallow eutrophic lake: selective feeding of fish and predation effects on the zooplankton communities*. Hydrobiologia, 200/201: 129-140.
- Hansen A.M. & Jeppesen E., 1992. *Changes in the abundance and composition of cyclopoid copepods following fish manipulation in eutrophic Lake Væng, Denmark*. Freshwater Biology, 28: 183-193.
- Harper D., 1992. *Eutrophication of freshwater*. Chapman & Hall, London.
- Irvine K., Moss B., Bales M. & Snook D., 1993. *The changing ecosystem of a shallow, brackish lake, Hickling Broad, Norfolk, U.K.I. Trophic relationships with special reference to the role of Neomysis integer*. Freshwater Biology, 29: 119-139.
- Irvine K., Snook D. & Moss B., 1995. *Life histories of Neomysis integer, and its copepod prey, Eurytemora affinis, in a eutrophic and brackish shallow lake*. Hydrobiologia, 304: 59-76.
- Lyche A., Bjørn A. & Brabrand Å., 1990. *Predictability and possible mechanisms of plankton response to reduction of planktivorous fish*. Hydrobiologia, 200/201: 251-261.
- Marchetti R., 1987. *L'eutrofizzazione. Un processo degenerativo delle acque*. Franco Angeli (Ed.): 41-66.
- Ministero Agricoltura e Foreste, 1975. *Accertamenti di indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio Fase I*. Min. Agr. E For., Roma.
- Ministero Agricoltura e Foreste, 1980. *Accertamenti di indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio Fase II*. Min. Agr. E For., Roma.
- Miura T., 1990. *The effects of planktivorous fishes of the plankton community in a eutrophic lake*. Hydrobiologia, 200/201: 567-579.
- Moss B., 1988. *Ecology of fresh water, Man and medium*. Blackwell Scientific Publ., Oxford: 185-288.

- Moss B., Bales M. and Irvine K., 1991. *Food web and water quality relationships in the saline broads of the River hurne, Norfolk*. In *Ecosystem research in freshwater environment recovery*, Giussani G., Van Liere L., Moss B. (Eds). Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 48: 345-362.
- Moss B., Madgwick J., Phillips G., 1996. *A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes* Broads Authority, Norfolk NR3 1BQ.
- Nyström P., Brönmark C. & Granéli W., 1996. *Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish?* Freshwater Biology, 36: 631-646.
- Nyström P., Strand J.A., 1996. *Grazing by a native and an exotic crayfish on aquatic macrophytes*. Freshwater Biology, 36: 673-682.
- Pedreschi L., 1956. *Il Lago di Massaciuccoli e il suo territorio*. Mem. Soc. Geogr. Ital., 22: 1-225.
- Simoni F., Nardini G., Biancalana E., Baldaccini G.N. e Bianucci P., 1992. *Il lago di Massaciuccoli: studio preliminare sull'impatto ambientale di recenti attività antropiche*. Acqua e Aria, 7: 641-648.
- Tomei P.E., Guazzi E., Barsanti A., 1997. *La carta della vegetazione delle paludi e del Lago di Massaciuccoli*. In *Lago di Massaciuccoli - 2° contributo* pp. 275-288. Ente Parco Regionale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa.

Bibliografia specifica

a cura di Ornella Bresciani

La presente raccolta bibliografica inerente lavori, ricerche, osservazioni o note su argomenti che interessano il territorio del Lago di Massaciuccoli, con particolare riferimento agli aspetti idrobiologici, vuol costituire uno strumento integrativo per chi intenda approfondire studi e ricerche sugli aspetti naturalistici e ambientali di questo comprensorio.

I riferimenti bibliografici, disposti in ordine cronologico, sono stati estratti principalmente da un precedente lavoro commissionato dal Parco di Migliarino San Rossore Massaciuccoli e in parte aggiornati sulla base delle ultime ricerche effettuate sull'argomento.

Nella consapevolezza che la raccolta può essere suscettibile di integrazioni e ulteriori aggiornamenti, ogni suggerimento o eventuale segnalazione sarà quanto mai apprezzata.

Bibliografia cronologica

AA. VV., ? *Ligniti e torbe dell'Italia continentale: la torba di Massaciuccoli*. Gemina Geomineraria Roma.

Savi P., 1827. *Ornitologia Toscana, ossia descrizione e storia degli uccelli che trovansi nella Toscana*. Nistri, Pisa, 3 voll..

Repetti E., 1833-1835. *Dizionario geografico, fisico, storico della Toscana ecc.* Firenze, Voll. I-VI.

Bicchi C., 1860. *Aggiunta alla flora lucchese del Prof. Benedetto Puccinelli*. Lucca.

Caruel T., 1860-1864. *Prodromo della flora toscana*. Firenze.

Issel A., 1866. *Dei molluschi raccolti della provincia di Pisa*. Mem. Soc. It. Sc. Nat., serie 1, vol.2.

Gentiluomo C., 1868. *Catalogo dei molluschi terrestri e fluviatili della Toscana*. Boll. Malac. Ital., vol. 1, 67-100.

Del Prete R., 1875. *Nota di alcune conchiglie raccolte nei comuni di Viareggio, Massarosa e Camaiore*. Boll. Soc. Malacologica, Pisa, vol.1, 25-31.

Paoli C., 1878. *Il bonificazione del padule di Massaciuccoli*. Lucca, 13 pp. (in Tomei e Garbari, 1981).

Bertacchi A., 1879. *Intorno alle bonifiche dei terreni palustri e particolarmente del padule di Massaciuccoli*. L'agricoltore, 25(6), 1-28.

Giglioli E. H., 1886. *Elenco delle specie di uccelli stazionarie o di passaggio in Italia*. Avifauna italica. Le Monnier, Firenze.

- Giglioli E. H., 1889. *Primo resoconto dei risultati dell'inchiesta ornitologica in Italia. Parte prima. Avifauna italiana.* Le Monnier, Firenze.
- Giglioli E. H., 1890. *Primo resoconto dei risultati dell'inchiesta ornitologica in Italia. Parte seconda. Avifauna locale.* Le Monnier, Firenze.
- Tassi F., 1897. *Piante raccolte nel padule di Massaciuccoli nell'ottobre 1896.* Boll. Lab. Bot. Univers. Siena, 1, pp. 61-62.
- Magrini G.P., 1907. *Limnologia.* Ed. Hoepli, Milano.
- Alippi N., 1920. *Gli Uccelli di comparsa accidentale in Italia ed il loro valore per lo studio delle migrazioni.* Riv. It. Ornit., s. 1,5: 31-65.
- Blanc A. C., 1934. *Formazioni pleistoceniche nel sottosuolo della Versilia.* Proc. Tosc. Sc. Nat., XLIII, 5, 129-143.
- Dini G., 1934. *Cattura di un'aquila anatraia maggiore.* Riv. Ital. Ornit., s. 2, 4, 47.
- Marchetti M., 1934. *Una torba glaciale del lago di Massaciuccoli.* Proc. Verb. Soc. Tosc. Sc. Nat., 43, 143-150.
- Brunelli G., Cannicci G., 1935. *Note preliminari sulle caratteristiche chimiche e biologiche del lago di Massaciuccoli.* Rend. R. Acc. Naz. Lincei, XXII, 598-604.
- Blanc A. C., 1936. *Sulla stratigrafia quaternaria dell'Agro Pontino e della bassa Versilia.* Boll. Soc. Geol. Ital. LV, 2, 382-396.
- Genovè L., 1936. *Il bacino di Massaciuccoli e la sua bonifica.* Universo, 17(2), 20-46.
- Marchetti M., Tongiorgi E., 1936. *Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria marittima. VII. Una torba glaciale del lago di Massaciuccoli (Versilia).* Nuovo Giorn. Bot. It., n.s., 43: 872-884.
- Moltoni E., 1936. *Le Garzaie in Italia.* Riv. It. Ornit., s. 2, 109-148, 211-269.
- Ragionieri R., 1936. *Osservazioni sul passo primaverile a Torre del Lago.* Riv. It. Ornit., s. 2,6, 184-186.
- Tongiorgi E., 1936. *Ricerche sulla vegetazione quaternaria della Toscana e del Lazio.* Nuovo Giorn. Bot. It.
- Tongiorgi E., 1936. *Le variazioni climatiche testimoniate dallo studio paleobotanico della serie fiandriana nella pianura della bassa Versilia presso il lago di Massaciuccoli.* Nuovo Giorn. Bot. It. n.s. XLIII.
- Blanc A. C., 1937. *Nuovi giacimenti paleolitici del Lazio e della Toscana.* Studi Etruschi, XI, 276-281.
- Blanc A. C., 1937. *La stratigraphie de la basse Versilia (Italie) et la transgression fiandrienne en Mediterranee.* Revue de Geogr. Phys. Et de Geol. dyn.

- Marchetti M., Tongiorgi E., 1937. *Una torba glaciale del lago di Massaciuccoli*. Nuovo Giorn. Bot. It.
- Bacci G., 1938. *Ricerche idrobiologiche sul padule di Fucecchio. IV. Molluschi*. Boll. Pesca Pisc. Idrobiol., 310-315.
- Caterini F., 1938. *Catture rare e interessanti*. Riv. It. Ornit., s. 2, 8, 87-94, 138-145.
- Dini G., 1939. *Cattura di un Phalacrocorax pygmaeus (Marangone minore)*. Riv. It. Ornit., s. 2, 9, 116-117.
- Dini G., 1940. *Cattura di una strolaga mezzana (Colymbus arcticus) di dimensioni non comuni*. Riv. It. Ornit., s. 2, 10, 136-137.
- Caterini F., 1941. *Gli uccelli del pisano*. Riv. It. Ornit., s. 2, 11, 12-27, 58-72, 137-149.
- Brunelli G., Cannicci G., 1942. *Il lago di Massaciuccoli*. Boll. Pesca Pisc. Idrobiol., 18: 5-63.
- Caterini F., 1942. *Gli uccelli del pisano*. Riv. It. Ornit., s. 2, 17-24.
- Caterini F., 1943. *Gli uccelli del pisano*. Riv. It. Ornit., s. 2, 13, 84-95.
- Caterini F., 1944. *Osservazioni e notizie ornitologiche*. Riv. It. Ornit., s. 2, 14, 26-27.
- Scotti P., 1947. *La distribuzione geografica del Circus pygargus L. in Italia*. Riv. It. Ornit., s. 2, 17, 151-157.
- Caterini F., 1950. *Alcune notizie di ornitologia Toscana*. Riv. It. Ornit., s. 2, 20, 79-83.
- Ghelardoni R., 1950. *Resti fossili di pesci nel livello a Purpura delle sabbie di Torre del Lago*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. Ser. A, 63: 91-105.
- Moltoni E., 1951. *La frequenza dei Falaropi (Phalaropus) in Italia*. Riv. It. Ornit., s. 2, 21, 24-28.
- Somigli G., Catelani, 1951. *Le sabbie silicee di Torre del Lago e le loro applicazioni in fonderia*. La metallurgia italiana 7, 1-15.
- Caterini F., 1952. *Alcune brevi notizie*. Riv. It. Ornit., s. 2, 22, 157-159.
- Blanc A. C., Settepassi F., Tongiorgi E., 1953. *Excursion au lac de Massaciuccoli*. Guide IV Congr. INQUA, Roma- Pisa, 29 pp., 4 ff., 2 tt..
- Dini G., 1956. *Notizie ornitologiche dalla Toscana*. Riv. It. Ornit., s. 2, 26, 35.
- Ghelardoni R., 1956. *Resti fossili di pesci nel livello a Purpura delle sabbie di Torre del Lago*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. (A), 63: 33-40.
- Lopes Pegna M., 1956. *Pesche e cacce antiche e moderne nel lago di Massaciuccoli*. Editoriale Toscana, Firenze, 3, 22.
- Pedreschi L., 1956. *Il lago di Massaciuccoli e il suo territorio*. Mem. Soc. Geogr.

Ital., 22.

Tongiorgi E., 1956. *Le variazioni climatiche della serie Fiandriana nella pianura della Bassa Versilia presso il Lago di Massaciuccoli*. N. Giorn. Bot. It., 43, 762- 764.

D'Amato F., 1957. *Osservazioni preliminari sulla flora e vegetazione delle risaie e delle paludi a nord del lago di Massaciuccoli (Versilia)*. Nuovo Giorn. Bot. It., n. s. 64: 153- 184.

Ferrara G., Reinherz M., Tongiorgi E., 1959. *Carbon 14 dating in Pisa I*. Am. Journ. Sc. Radiocarbon, suppl. 1.

Martorelli G., 1960. *Gli uccelli d'Italia*. Rizzoli, Milano.

Ferrara G., Fornaca Rinaldi G., Tongiorgi E., 1961. *Carbon 14 dating in Pisa II*. Am. Journ. Sc. Radiocarbon, suppl. 3.

Giacometti Cannicci G., 1962. *Instabilità delle associazioni planctoniche in alcuni stagni salmastri della penisola italiana e della Sardegna in rapporto alle caratteristiche dell'habitat*. Pubbl. Staz. Zool. Napoli, 32 suppl., 349-367.

Fornaciari G., 1964. *Le industrie preistoriche di San Rocchino*. La Provincia di Lucca, anno 5, n.1, 77-80.

Lapucci P. L., Del Bono C., Pierotti P., 1964. *Indagini sui caratteri fisici, chimici, biochimici delle acque del lago di Massaciuccoli*. Riv. It. Ig., 3, 349-380.

Montelucci G., 1964. *Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria. XII. Materiale per la flora e la vegetazione di Viareggio*. Webbia, 19, 73-347.

Musetti C., Nesi P. L., 1965. *San Rocchino*. La Provincia di Lucca, V, 1-87.

Moltoni E., 1966. *Altre notizie su uccelli inanellati all'estero e ripresi in Italia e Libia*. Riv. It. Ornit., s. 2, 43, 1-183.

Montelucci G., 1969. *Le paludi e il lago di Massaciuccoli*. Inform. Bot. Ital., vol. I, 3, 136-137.

Toschi A., 1969. *Avifauna italiana*. Olimpia, Firenze, pp. 10-32.

Vallini G., 1969. *Derivazione di antico uso ed utilizzazione delle acque del Lago di Massaciuccoli per l'irrigazione del Comprensorio Consorzio di Bonifica di Massaciuccoli*.

Fornaciari G., Mencarini G., 1970. *Insedimento palafitticolo in località S. Rocchino di Massarosa*. Notizie degli scavi di antichità in Atti Acc. Naz. Linc., s. VIII, vol. 24, 149-162.

Grifoni Creminesi R., 1971. *Revisione e studio dei materiali preistorici della Toscana*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., s. A, 78.

- Lapucci L., 1971. *Alcuni aspetti della contaminazione chimica delle acque superficiali in provincia di Lucca*. Atti del convegno sulla difesa igienica delle acque fluviali e marine in provincia di Lucca. 18 ottobre 1969, Lucca.
- Sorci G., Massa B., Cangialosi G., 1971. *Il genere Stercorarius Brisson è regolare nel Mediterraneo*. Riv. It. Ornit., s. 2, 41, 161-198.
- Ferrarini E., 1972. *Carta della vegetazione delle Alpi Apuane e zone limitrofe. Note illustrative*. Webbia, 27, 551-582.
- Tomei P. E., 1972. *Aspetti naturalistici della Macchia Lucchese*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., serie B, 79: 8-51.
- AA. VV., 1973. *Caratteri geologici, geomorfologico fisici, climatologici e idrogeologici del bacino di Massaciuccoli*. Pubbl. a cura del Dip. Agricoltura e Assetto del Territorio della Giunta Reg. Toscana.
- AA. VV., 1973. *Conferenza dei servizi del bacino del Massaciuccoli per il recupero funzionale e culturale delle risorse ambientali*. Regione Toscana. Amministrazione Provinciale di Lucca e Pisa. Comuni di Massarosa, Vecchiano, e Viareggio.
- LL. PP. I. P. Lucca, Pisa, Firenze, 1973. *Relazione chimica. Conferenza dei servizi sul bacino di Massaciuccoli per il recupero funzionale e culturale delle risorse ambientali*. Massarosa.
- Moltoni E., 1973. *Elenco di parecchie centinaia di uccelli inanellati all'estero e ripresi in Italia e Libia*. Sup. Riv. It. Ornit., s. 2, 43, 1-183.
- Caterini F., 1974. *Stercorario maggiore - Stercorarius skua (Brunnich)- presso il lago di Massaciuccoli (LU)*. Riv. It. Ornit., s. 2, 44, 215.
- AA. VV., 1975. *Accertamenti ed indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio*. Min. Agr. Foreste.
- Bertoli M., Piselli R., 1975. *La ceramica delle cave di sabbia*. La Provincia di Lucca, 3.
- Brichetti P. A., 1975. *Interessante avvistamento di alcuni mignattini piombati - Chlidonias hybrida Pallas - sul lago di Massaciuccoli (LU)*. Riv. It. Ornit., s. 2, 45, 77-79.
- Caselli S., Musetti G., 1975. *Reperti ossei rinvenuti in Versilia*. La Provincia di Lucca, 2.
- Ministero Agricoltura e Foreste, 1975. *Accertamenti di indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio. Fase I*. Min. Agri. E For., Roma 1-50.
- Pandolfi D., 1975. *La sabbia silicea della bassa Versilia e i suoi impieghi*. Ed. S. E. A., Carrara.

- Roncioni G., 1975. *Accertamenti e indagini per la salvaguardia del lago di Massaciuccoli e del suo territorio*. M. A. F. Direzione generale della bonifica: 7-46.
- Spandre R., 1975. *Studio e bilancio idrogeologico del Bacino del Lago di Massaciuccoli*. Tesi di Laurea.
- Brichetti P. A., 1976. *Il Falaroppo beccosottile - Phalaropus lobatus (L.) in Italia*. Gli uccelli d'Italia. 1 (3-4), 129-131.
- Caselli R., 1976. *Dalle cave di sabbia di Torre del Lago*. Riv. Arch. St. Econ. Cost., IV, 2, 39-43, Lucca.
- Di Carlo E. A., Heinze J., 1976. *Notizie ornitologiche del Lazio e della Toscana*. Riv. It. Ornit., s. 2, 46, 40-50.
- Giampaoli G. F., Matteoni U., 1976. *Contributo alle ricerche sull'inquinamento del Lago di Massaciuccoli*. Prov. di Lucca, 2.
- Raffaelli M., 1976. *Gli sfagni tosco-emiliani*. Webbia, 30(1), 159-175.
- Roncioni M., 1976. *Rivelazioni della piovosità nel bacino di Massaciuccoli*.
- Tomei P. E., 1976. *Un prezioso documento sull'avifauna della bassa Versilia. La collezione Gragnani-Rontani*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., serie B, 83: 93-137.
- Valli S., 1976. *Il giacimento malacologico di Migliarino Pisano (cava SESS). Nota preliminare*. Bollettino di informazione del gruppo ricerche preistoriche ed archeologiche A. C. Blanc. Viareggio, 14, 12-15.
- Di Carlo E. A., Heinze J., 1977. *Notizie ornitologiche dell'Italia centro-meridionale: Lazio e Toscana*. Gli uccelli d'Italia, 2(3), 125-132.
- Fantin G., 1977. *La strolaga maggiore*. Gli uccelli d'Italia, 4(5), 259-263.
- Simoni F., 1977. *Le morie dei pesci nel lago di Massaciuccoli negli anni 1972-1977*. Riv. It. Ig., 37: 363-380.
- Bella G. B., 1978. *Prosciugamento del lago e paludi di Massaciuccoli*. Torino, 11 pp. (in Tomei & Garbari, 1981)
- Caselli R., 1978. *Dalle cave di sabbia di Massaciuccoli al Museo C. A. Blanc*. Riv. Arch. St. Cost., VI, 4, 39-44.
- Quaglierini L., Romè A., 1978. *Il Cavaliere d'Italia nel padule del lago di Massaciuccoli*. Migratori acquatici, 1(4), 11-12.
- Romè A., 1978. *Il Cavaliere d'Italia - Himantopus himantopus - in Toscana*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., serie B, 85: 131-137.
- Tomei P. E., Giordani A., 1978. *Il genere Drosera in Toscana*. Giorn. Bot. Ital., 112(4), 324.

- Quaglierini L., Quaglierini A., Romè A., 1979. *Osservazioni ornitologiche sul lago di Massaciuccoli e suo padule negli anni 1977, 1978, 1979*. Gli uccelli d'Italia, 4(6), 291-310.
- Romè A., 1979a. *Osservazioni ornitologiche nell'area del Parco regionale toscano Migliarino, San Rossore, Tombolo, Lago di Massaciuccoli. Nota 1: Gavidi e Podicipedidi*. Avifauna, 2(3), 137-141.
- Romè A., 1979b. *Osservazioni ornitologiche nell'area del Parco regionale toscano Migliarino, San Rossore, Tombolo, Lago di Massaciuccoli. Nota 2: Procellaridi, Idrobatidi, Pelecanidi, Sulidi, Treschiornitidi, Ciconidi e Fenicotteridi*. Avifauna, 2(4), 192-196.
- Romè A., 1979c. *Osservazioni ornitologiche nell'area del Parco regionale toscano Migliarino, San Rossore, Tombolo, Lago di Massaciuccoli. Nota 3: Anatidi*. Avifauna, 2(5), 248-252.
- Romè A., 1979d. *Osservazioni ornitologiche nell'area del Parco regionale toscano Migliarino, San Rossore, Tombolo, Lago di Massaciuccoli. Nota 4: Pandionidi, Accipitridi, Falconidi, Fasianidi, Gruidi, Otididi*. Avifauna, 2(6), 308-312.
- Romè A., 1979e. *I. S. Z. U. D. T. VI. Avifauna del Massaciuccoli (Lucca, Pisa)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., serie B, 86: 1-37.
- Romè A., Baldeschi P., 1979. *Considerazioni sulla presenza del Pollo sultano nel padule del lago di Massaciuccoli*. Riv. It. Ornit., s. 2, 49, 232-234.
- Romè A., Quaglierini L., 1979. *Osservazioni e considerazioni sulla possibilità di nidificazione del Falco cuculo (Falco vespertinus L.) nella zona del lago di Massaciuccoli*. Gli uccelli d'Italia, 4(5), 240-243.
- Tomei P. E., Mariotti L., Pistoressi G., 1979. *Specie rare od estinte delle paludi toscane*. Giorn. Bot. Ital., 113 (5-6), 462.
- AA. VV., 1980. *Accertamenti ed indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio*. Min. Agr. Foreste.
- Salmoiraghi G., Carusi D., 1981. *Il Lago di Massaciuccoli: evoluzione del livello trofico*. Natura e montagna, 37-44.
- AA. VV., 1980, 1982. *Il bacino di Massaciuccoli I e II Consorzio idraulico di II categoria, canali navigabili Burlamacca, Malfante, Venti, Quindici*.
- Aquarter, 1980. *Accertamenti ed indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio. Fase II*. Min. Agr. e For., Roma.
- Baccetti N., 1980. *L'avifauna del Lago di Massaciuccoli (Lucca)*. Riv. It. Ornit., 50: 65-117.
- Del Prete C., Tomei P.E., 1980. *I.S.Z.U.D.T. VII. Il contingente orchidologico relitto*

- di Massaciuccoli (*Contributi alla conoscenza delle Orchidaceae d'Italia VIII*). Atto Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 87: 39-50.
- Ministero Agricoltura e Foreste, 1980. *Accertamenti di indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio. Fase II*. Min. Agri. E For., Roma.
- Romè A., 1980. *I.S.Z.U.D.T. VI. Avifauna del Massaciuccoli (Lucca, Pisa)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 87: 1-38.
- Simoni F., Bernacchi G., 1980. *Prymnesium parvum (Chrysomonadina) quale fattore di tossicità dell'ittiofauna del lago di Massaciuccoli*. Riv. It. Ig., 40 (1-2), 139-154.
- Valli S., 1980. *Indagini sulle zone umide della Toscana. VIII. Il giacimento malacologico del Padule di Massaciuccoli*. In *Il bacino del Massaciuccoli*, 1, ed. Pacini, Pisa.
- Baccetti N., 1981. *L'avifauna del Lago di Massaciuccoli (Lucca)*. Riv. It. Ornit., 51: 7-78.
- Caporali F., Palmerini M., 1981. *I.S.Z.U.D.T. XV. Il contributo dell'agricoltura al Processo di eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli*. In *Il bacino del Massaciuccoli*, 2, 1-11. Cons. Idr. Sec. Cat., Viareggio.
- Caselli R., 1981. *I.S.Z.U.D.T. XVII. Le industrie neolitiche ed eneolitiche del lago di Massaciuccoli*. In *Il bacino del Massaciuccoli*, 2, 33-38. Cons. Idr. Sec. Cat., Viareggio.
- Romè A., 1981. *La Garzetta - Egretta G. garzetta - in Toscana*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 88: 163-173.
- Salmoiraghi G., Carusi D., 1981. *Il lago di Massaciuccoli: evoluzione del livello trofico*. Natura e montagna, 37-44.
- Tomei P. E., Garbari F., 1981a. *Considerazioni introduttive sulla flora e sulla vegetazione delle paludi di Massaciuccoli e di Porta. Convegno sulle zone umide della Toscana*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 88: 301-310.
- Tomei P. E., Garbari F., 1981b. *Il significato biogeografico delle entità vegetali relitte negli ecosistemi Palustri. Atti del Seminario "Problemi scientifici e tecnici della conservazione del patrimonio vegetale"*. Collana C.N.R. AC/1/96-110, 59-62, Pavia (1979).
- Tomei P. E., Gaspari G., 1981c. *Indagini sulle zone umide della Toscana. XVI. Le piante officinali dei bacini palustri della Toscana settentrionale*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 88: 175-194.
- Garbari F., Tomei P. E., 1982. *Stato dell'ambiente e prospettive di tutela nei bacini*

- palustri di Porta, Massaciuccoli, Bientina e Fucecchio*. Mem. Soc. Geogr. Ital., 33: 265-276.
- Siccardi F., Ubertini L., 1982. *Il lago e il padule di Massaciuccoli. Ripristino delle condizioni ecologiche. Programma di attività e ricerca*.
- Tomei P. E., 1982. *Le zone umide della Toscana: stato attuale delle conoscenze geobotaniche e prospettive di salvaguardia*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 89: 345-361.
- AA. VV., 1983. *Guida alla natura del Parco di Migliarino- S. Rossore - Massaciuccoli*, 1- 141, Pisa.
- AA. VV., 1983. *Dal Calambrone al Burlamacca*. Nistri - Lischi, Pisa.
- Federici P. R., 1983. *Lineamenti geografici e geomorfologici*. In *Guida al Parco Migliarino- S. Rossore- Massaciuccoli*. Nistri e Lischi ed., 3- 17.
- La Provincia Pisana, n.s., anno IX, n.4 Luglio 1983.
- Maffei Cardellini G., 1983. *Il Parco Naturale Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli*. Comune di Viareggio, Assessorato alla cultura.
- Mazzanti R., 1983. *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago di Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., 102.
- Pezzini E., 1983. *Il lago di Massaciuccoli e il suo territorio*. Tesi di laurea. Università di Pisa, Facoltà Sc. Pol..
- Cenni M., 1984. *Risultati negativi di un'indagine sulla presenza della lontra (Lutra lutra L.) nel bacino del lago di Massaciuccoli. (Parco Naturale Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli, Toscana) ed osservazioni sull'ambiente*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 91: 233-240.
- Cocchi Genick D., 1984. *Testimonianze relative al tardo Neolitico dalle cave di sabbia di Massaciuccoli*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 91: 331-338.
- Parco Naturale Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli, 1984. *Itinerari didattici*. Pisa.
- Raggi G., 1984. *Studio idrogeologico delle cave di sabbia silicea della zona di Torre del Lago*. Consorzio per il Parco Naturale Migliarino- S. Rossore- Massaciuccoli.
- Simoni F., Baldaccini G. N., Bianucci P., Bernacchi G., 1984. *Ultime acquisizioni sulla presenza di Prymnesium parvum Carter (Chrysomonadina) nel lago di Massaciuccoli*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie B, 91.
- Sartori F., Levi - Minzi R., 1985. *I terreni torbosi del Bacino del Lago di Massaciuccoli: I. Fertilità chimica, caratteri geochimici e classificazione*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 92: 269-295.

- Sartori F., Levi - Minzi R., 1985. *I terreni torbosi del Bacino del Lago di Massaciuccoli: II. Aspetti mineralogici*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 92: 297-320.
- Alessio G., Baldaccini G.N., Bianucci P., Duchi A., 1986. *Ricerche sulla rimonta del novellame di spigola, Dicentrarchus labrax (L.), nell'area viareggina*. Nova Thalassia, 8: 81-89.
- 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., Serie B, 93: 257-286.
- Baldaccini G.N., Bianucci P., 1986 bis. *Il padule del Lago di Massaciuccoli: indagine idrobiologica in relazione all'attività di escavazione. Fase supplementare*. Consorzio Parco Migliarino- San Rossore- Massaciuccoli, 1-11.
- Focardi P., 1986. *L'escavazione delle sabbie silicee nel bacino di Massaciuccoli in riferimento allo schema di piano regionale delle cave: aspetti ambientali e paesaggistici; aspetti tecnologici; il rapporto con i piani urbanistici; il piano del parco e i vincoli idrogeologici e paesaggistici*. Regione Toscana.
- Rapetti F., Tomei P. E., Vittorini S., 1986. *Aspetti climatici del Lago di Massaciuccoli in rapporto alla presenza di entità vegetali di rilevanza fitogeografica*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A, 93: 221- 223.
- Federici P. R., 1987. *Stato attuale delle conoscenze geomorfologiche del bacino del Massaciuccoli in Versilia (Toscana)*. Il bacino del Massaciuccoli, 3, 27-49. Cons. Idraul. II Cat. Can. Nav. Burlamacca, Malfante, Venti e Quindici. Pacini Ed., Pisa.
- Focardi P., 1987. *Problemi ambientali del Lago di Massaciuccoli*. Atti VI Congr. Naz. Ord. Geologi, Venezia 25-27 Settembre 1987, 101- 112.
- Tomei P. E., Marracci P., 1987. *Sulla Presenza di Rhynchospora alba (L.). Vahl nelle paludi di Massaciuccoli (Toscana settentrionale)*. In *Il bacino del Massaciuccoli*, 3, 53-57. Cons. Idraul. II Cat. Can. Nav. Burlamacca, Malfante, Venti e Quindici. Pacini Ed., Pisa.
- Alessio G., Baldaccini G. N., Bianucci P., Duchi A., Baldaccini N. E., 1988. *Dati preliminari sulla rimonta in Burlamacca (Viareggio, LU) di novellame per allevamento*. Atti Conv. UU. OO., Pesca e Acquacolt., MMM-CNR, Vol. II, Roma: 787- 807.
- Cervellati P. L., Maffei Cardellini G., 1988. *Il Parco di Migliarino, S. Rossore, Massaciuccoli: "la storia e il progetto"*. Marsilio Ed., Venezia.
- Alessio G., Baldaccini N. E., Baldaccini G. N., Bianucci P., Duchi A., 1989. *Rimonta del pesce novello e possibilità di utilizzazione ai fini dell'allevamento nell'area viareggina*. Oebalia, 15: 547-557.

- Arcamone E., 1989. *Lo svernamento di Anatidi e Folaga in Toscana. 1984-1988*. Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno 10 (1989) Suppl. n.1.
- Franceschi P., 1989. *Analisi della sabbia del bacino di Massaciuccoli ed i relativi usi industriali dei minerali costituenti*.
- AA. VV., 1990. *Specie vegetali ed ornitiche comuni del bacino del lago del Massaciuccoli*. Provincia di Lucca - Assessorato ambiente.
- Alessio G., Baldaccini G. N., Bernori E., Duchi A., 1990. *Ricerche biologiche sul latterino Atherina boyeri Risso, nell'area viareggina*. Riv. Idrobiol., 29: 19-34.
- Cenni M., Focardi P., Macchi L., Molino C., Regattieri M., 1990. *Sperimentazione idraulica mediante approfondimento del fondale del Lago di Massaciuccoli*. Regione Toscana.
- Duchi G., Matraia M., Viti C., 1990. *Contributo alle conoscenze scientifiche sul bacino del Lago di Massaciuccoli*, Massaciuccoli S.r.l., Viareggio, inedito.
- Santoprete G., Di Giacomo F., Cenni M., 1990. *Parco Naturale di Migliarino- San Rossore- Massaciuccoli: metalli pesanti nelle specie ittiche del Lago di Massaciuccoli*. Rassegna Chimica 3: 139-146.
- Duchi G., Ferrari R., Matraia M., Viti C., 1991. *Contributo alle conoscenze idrogeologiche sul Bacino del Lago di Massaciuccoli*.
- Tomei P. E., 1991. *La flora del Lago di Massaciuccoli. Estratto dal Bollettino 1991 della Società italiana dell'Iris*, 37- 51.
- Alessio G., Baldaccini G. N., Bianucci P., Duchi A., Esteban Alonso J., 1992. *Fauna Ittica e livello trofico del Lago di Massaciuccoli: dati preliminari*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno "Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 167-180.
- Baldaccini G.N., Bianucci P., 1992. *Prime considerazioni sull'ecologia e sulla struttura delle componenti zooplanctonica e macrobentonica nel bacino del Massaciuccoli*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno "Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 125-151.
- Cenni M., 1992. *Linee guida per la formazione dei progetti di risanamento del Lago di Massaciuccoli*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno "Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 181-198.
- Focardi A., Focardi P., Franchi M., Molino C., 1992. *Risultati di uno studio annuale*

di monitoraggio sul Lago di Massaciuccoli; 76° riunione estiva, Convegno sui "Piani di Bacino". Firenze N° 26. Studi di geologia applicata e geologia dell'ambiente.

- Franchi M. L., Molino C., 1992. *Composizione chimica delle acque in diverse localizzazioni del Lago di Massaciuccoli*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno " Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 25-40.
- Franceschi R., 1992. *Ricerche preliminari sull'acquifero superficiale e profondo del Lago di Massaciuccoli. Aree bonificate: ubicazione e dati di "pompaggio"*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno " Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 41-62.
- Frascati F., Bergamini M. C., Caridei F. & Miserocchi S., 1992. *Studio geochimico-sedimentologico dei fondali in funzione del ciclo delle sostanze nutrienti nel Lago di Massaciuccoli*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno " Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 87-101.
- Pensabene G., 1992. *Relazione preliminare sulle caratteristiche chimico- fisiche delle acque del Lago di Massaciuccoli*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno " Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 41-85
- Simoni F., 1992. *Composizione e ciclo annuale del fitoplancton, analisi ecologiche, analisi tossicologiche e batteriologiche nel Lago di Massaciuccoli*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno " Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 103-123.
- Simoni F., Nardini G., Biancalana E., Baldaccini G. N., Bianucci P., 1992. *Il Lago di Massaciuccoli: studio preliminare sull'impatto ambientale di recenti attività antropiche*. Acqua e Aria, 7: 641- 648.
- Tomei P. E., Barsanti A., Guazzi E., 1992. *La zona umida del Massaciuccoli: analisi e distribuzione delle comunità vegetali*. Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Atti del Convegno " Problemi di Eutrofizzazione e prospettive di risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, 1992. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 153-166.

- Zia R., Bianchi P. L., 1992. *Progetto esecutivo dei lavori per l'esecuzione di indagini idrogeologiche a Massaciuccoli, loc. Le Case Rosse, Comune di Massarosa.*
- AA. VV., 1993. *Lo studio dell'agricoltura all'interno del Parco.* Ed. Pacini, Pisa.
- AA. VV., 1993. *Il Lago di Massaciuccoli. Variazioni storiche del Lago di Massaciuccoli. Il Bacino imbrifero del Lago di Massaciuccoli. Stime idrologiche quantitative del Lago di Massaciuccoli.* In *Inquadramento geologico ed idrogeologico Provincia di Lucca e Bacino del Fiume Serchio.* Provincia di Lucca, Ecologia: elementi di conoscenza, analisi e interpretazione n.3.
- AA. VV., ? . *Corpi idrici superficiali individuazione e codifica.* Provincia di Lucca, Ecologia: elementi di conoscenza, analisi e interpretazione n.4.
- Bonari E., Silvestri N., 1993. *Sistemi colturali e rischi ambientali: alcuni elementi di riflessione agronomica.* In: *Lo studio dell'agricoltura all'interno del Parco.* Consorzio del Parco Naturale di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli, Ed. Pacini.
- Cenni M., 1993. *Risanamento del Lago di Massaciuccoli.* Parchi 9: 69-81.
- AA. VV., 1994. *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli: Atti del Convegno: "Problemi di eutrofizzazione e prospettive per il risanamento del Lago di Massaciuccoli" Massarosa, Dicembre, 1992.* Ed. Univ. Felici, 223 pp.
- AA. VV., 1994. *Studio dell'agricoltura all'interno del Parco Naturale di San Rossore, Migliarino, Massaciuccoli: elementi progettuali per i piani di gestione agronomico e zootecnico.* Manoscritto.
- D'Errico M., Simoni F., Volterra L., Gucci P. M. B., Bruno M., 1994. *Crescita in vitro di *Prymnesium parvum* Carter proveniente dal Lago di Massaciuccoli.* Acqua Aria, 9 ottobre 1994.
- Simoni F., 1994 - *Composizione e ciclo annuale del fitoplancton, analisi ecologiche, analisi tossicologiche e batteriologiche nel lago di Massaciuccoli.* In Cenni M. (ed.) *Eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli, Atti del convegno, Massarosa (LU), dicembre 1992, 103-123.*
- Ufficio del Genio Civile per il Servizio Idrografico di Pisa. *Totali annui delle quantità di precipitazioni relativi al pluviografo di Viareggio nel periodo 1968-1987* in Franceschi R., 1994. *Ricerche preliminari sull'acquifero superficiale e profondo del Lago di Massaciuccoli. Aree bonificate: ubicazione e dati di pompaggio.* Atti del convegno "Problemi di eutrofizzazione e prospettive per il risanamento del Lago di Massaciuccoli".
- Dati di pompaggio delle idrovore di "Vecchiano" e "Massaciuccoli" nel periodo aprile 1986- gennaio 1994. Consorzio di bonifica di Massaciuccoli.
- Dati di pompaggio delle idrovore di "Massarosa", "Beatrice", "Portovecchio",

- “Quiesa”, nel periodo agosto 1990- gennaio1994. Consorzio di bonifica della Versilia.
- Ufficio del Genio Civile per il Servizio Idrografico di Pisa, 1994 e 1995. *Dati inediti sulle precipitazioni misurate al pluviografo di Viareggio nel periodo: aprile 1994- maggio 1995.*
- Alessio G. Bianucci P., Duchi A., 1995. *I popolamenti ittici del lago di Massaciuccoli (Toscana) e prospettive di biomanipolazione.* Il bacino del Massaciuccoli, 4, 79-90. Cons. Idr. Sec. Cat., Pacini, Pisa.
- Baldaccini G. N., 1995. *Considerazioni su alcuni macroinvertebrati dell'area umida del Massaciuccoli (Toscana).* Il bacino del Massaciuccoli. Collana di Indagini Tecniche e Scientifiche. Cons. Idraul. II Cat. Can. Nav. Burlamacca, Malfante, Venti e Quindici. Pacini Ed., Pisa, 4,91-103.
- Cenni M., 1995. *Il Bacino del Lago di Massaciuccoli.* ‘Il Serchio e le sue acque’ Quad. n.4. Autorità Bacino Serchio.
- Duchi G., Ferrari R., Matraia M., Viti C.,1995. *Contributo alle conoscenze idrogeologiche sul bacino del Lago di Massaciuccoli.* Il bacino del Massaciuccoli, 4, 11-42. Cons. Idraul. II Cat. Can. Nav. Burlamacca, Malfante, Venti e Quindici. Pacini Ed., Pisa.
- Mattioli M., 1995. *Indagine sui Protozoi Ciliati del Lago di Massaciuccoli: studio delle comunità e loro interazioni con l'ambiente, mediante tecniche di analisi multivariata.* Univ. Studi di Pisa, tesi di Laurea, 1-173.
- Spagnoli M., De Leo G., 1995. *Villa Ginori a Massaciuccoli.* Il bacino del Massaciuccoli, 4, 105-108. Cons. Idraul. II Cat. Can. Nav. Burlamacca, Malfante, Venti e Quindici. Pacini Ed., Pisa.
- Tomei P. E., Guazzi E., Barsanti A., 1995. *Contributo alla conoscenza floristica delle paludi del Lago di Massaciuccoli.* Il bacino del Massaciuccoli, 4, 43-78. Cons. Idraul. II Cat. Can. Nav. Burlamacca, Malfante, Venti e Quindici. Pacini Ed., Pisa.
- Alessio G., Baldaccini G. N., Bercelli M., Duchi A., Rongoni A.,1996. *Accrescimento lineare e ponderale di alcune specie ittiche in un ecosistema eutrofizzato (Lago di Massaciuccoli. Toscana).* Atti 6° Congresso A.I.A.D., Varese Ligure (in stampa).
- Ercolini P., Baldaccini G. N., Mattioli M., 1996. *Procambarus clarkii nel Lago di Massaciuccoli: una specie esotica infestante o una risorsa da sfruttare?* Atti del Convegno ‘I Biologi e l'ambiente oltre il duemila’ CISBA, Venezia, 22-23 nov. 1996 (in stampa).
- Frasconi F., Bergamini M. C., Caridei F. & Miserocchi S.,1996. *Ruolo dei Sedimenti*

- nel processo di eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*. Documenti Tecnici, Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa.
- Mori G., Mattioli M., Madoni P., Ferri G., Baldaccini G. N., Bianucci P., Ricci N., 1996. *Ciliated protozoa from lake Massacciuccoli (Western Tuscany)*. Atti Soc. Tosc. Sci. nat., Mem., Serie B, 103: 89-97.
- Raigas 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 del VI Convegno Nazionale A.I.A.D., Varese Ligure, 6-7 Giugno, 1996 (in stampa).
- Rongoni A., Duchi A., Baldaccini G. N., Alessio G., 1996. *Il regime alimentare di alcune specie ittiche e gli eventuali effetti di amplificazione dei livelli trofici in lago di Massaciuccoli (Toscana)*. Atti 6° Congresso A.I.A.D., Varese Ligure (in stampa).
- Alessio G., Duchi A., Bercelli M., Baldaccini G. N., Bianucci P., 1997. *Interrelazione tra ittiofauna ed eutrofizzazione nel Lago di Massaciuccoli (Toscana)*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 347-378.
- Baldaccini G. N., Ercolini P., Giannecchini M., 1997. *Qualità biologica delle acque superficiali della Versilia. II - Il reticolo idrografico dei fossi di Bonifica*. Arpat, Dipartimento Provinciale di Lucca, Sede locale della Versilia.
- Baldaccini G. N., Ercolini P., Mattioli M., 1997. *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli. Composizione ed evoluzione temporale delle comunità zooplanctonica e macrobentonica*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 289-346.
- Bonari E., Pampana S., Silvestri N., Gorreri L., 1997. *Agricoltura e qualità delle acque superficiali: alcune riflessioni agronomiche*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 159-179.
- Ceccarelli N., Piaggese A., Ciurli A., Alpi A., 1997. *Residui di diserbanti nelle acque del Lago di Massaciuccoli: effetti tossici sulle macrofite acquatiche e analisi delle concentrazioni*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 181-202.
- Cenni M., 1997. *Gli interventi per il risanamento del Lago di Massaciuccoli e del suo padule*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 389-410.
- Cenni M., Baldaccini G. N., Cini C., Frascari F., Giaconi V., Grazzini A., Pensabene G., Simoni F., Spandre R., 1997. *Lake Massaciuccoli: A strategic approach for the restoration of a nutrient enriched shallow lake*. Fresenius Bulletin (in stampa)
- Cini C., Nottoli R., Calafà A., Manzione R., Giaconi V., 1997. *Valutazione della concentrazione dei nutrienti nel Lago di Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino

- S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 115-130.
- Franceschi R., 1997. *Aree bonificate nel bacino del Lago di Massaciuccoli: ubicazione e dati di "pompaggio"*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 93-114.
- Marchisio M., D'Onofrio L., 1997. *Indagini geofisiche nel Lago di Massaciuccoli e nella fascia costiera tra Migliarino e Torre del Lago*. In *Lago di Massaciuccoli, 13 Ricerche finalizzate al risanamento*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 7-21.
- Mason C. F., 1997. *Massaciuccoli Lake - Trophic status and review of possible solutions*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 379-388.
- Pensabene G., Frascari F., Cini C., 1997. *Valutazione quantitativa del carico di nutrienti e di solidi sospesi immesso nel Lago di Massaciuccoli dai comprensori di bonifica di Vecchiano e Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 131-147.
- Scagnozzi A., Levi - Minzi R., 1997. *Il fosforo di alcuni terreni del Parco Naturale di Migliarino- San Rossore- Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 149-158.
- Simoni F., Bianucci E., 1997. *Composizione e ciclo annuale del fitoplancton. Interazione di alcuni caratteri chimico fisici, biologici e batteriologici delle acque del bacino del Massaciuccoli. Seconda fase di studio*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 203-273.
- Spandre S., Meriggi A., 1997. *Studio idrologico del bacino del Lago di Massaciuccoli*. In *Lago di Massaciuccoli, 13 Ricerche finalizzate al risanamento*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 23-91.
- Tomei P. E., Guazzi E., Barsanti A., 1997. *La carta della vegetazione delle paludi e del Lago di Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino S. Rossore Massaciuccoli, Pisa, 275-288.
- Mori G., Mattioli M., Madoni P. & Ricci N., 1998. *The ciliate communities of different habitats of Lake Massaciuccoli (Tuscany): species composition and distribution*. Ital. J. Zool., 65: 191-202.
- Cortopassi P., 1998. *Acque salate nella falda superiore della pianura meridionale della Versilia. Cause e diffusione dei fenomeni d'ingressione marina nelle acque di falda*. Comune di Massarosa (Lu).
- Gherardi F., Baldaccini G.N., Barbaresi S., Ercolini P., De Luise G., Mazzoni D. & Mori M. 1998. *Alien crayfish in Europe: the situation of Italy*. Crustacean Issues (in stampa).
- Baldaccini G. N., 1999. *Il Lago di Massaciuccoli: si può risanare?* Net N.10.

6. VALUTAZIONI SULLE CAPACITÀ DI RIPRESA DELLE MACROFITE ACQUATICHE: LIMITI E CERTEZZE

Adriana Ciurli, Amedeo Alpi

6.1. Introduzione

La compagine di specie macroalgali tipiche dell'area umida di Massaciucoli ha iniziato, già dagli anni '50, a semplificarsi, così che alcune specie possono classificarsi come rare. In questi ultimi anni si è osservata un'ulteriore riduzione della vegetazione acquatica (alghe pluricellulari e macrofite) e, nell'ultimo anno, si è verificata un'apparente scomparsa di vegetazione all'interno del lago. Le motivazioni di questo fenomeno sono molteplici e coinvolgono problematiche di non immediata risoluzione, conseguenti tutte all'intensa antropizzazione delle aree circostanti il lago. Di seguito cercheremo di chiarire le cause del degrado ambientale che hanno determinato l'attuale scomparsa della vegetazione sommersa.

Uno dei principali fattori limitanti per la vita delle macrofite acquatiche è rappresentato dalla quantità di luce che riesce a filtrare attraverso la colonna d'acqua, risultando così disponibile per l'attività fotosintetica della pianta. Purtroppo la torbidità dell'acqua del lago raggiunge valori ragguardevoli: il disco Secchi scompare, infatti, mediamente fra 0.5 e 0.8 m. La torbidità che ritroviamo nel lago deriva in gran parte dal finissimo materiale eroso dai circostanti comparti agricoli che, una volta trasportato nel lago dall'azione dilavante dell'acqua, viene facilmente rimosso dal moto ondoso sotto l'azione delle forze eoliche, determinando seri problemi di torbidità. La torbidità dell'acqua deriva anche, in maniera ragguardevole, dall'abnorme sviluppo di fitoplancton dovuto all'eccesso di nutrienti (forme azotate e fosfate) confluenti nel lago dalle zone bonificate circostanti (dove si attua un'agricoltura intensiva), per l'azione dilavante della pioggia e delle acque di drenaggio provenienti dalle due idrovore esistenti (Cuppen *et al.*, 1997). La concentrazione dei nutrienti nel lago è tale che esso viene classificato mesotrofo con tendenza all'eutrofia (Relazione su *Valutazione della concentrazione dei nu-*

trienti nel lago di Massaciuccoli, ARPAT Dipartimento Provinciale di Pisa, 1998).

La crescita e lo sviluppo delle macrofite sono minacciati anche dalla presenza delle varie sostanze inquinanti che confluiscono nel lago. Tali sostanze, sia di origine urbana che agricola, sono rappresentate da residui di scarichi civili, industriali e dal *run-off* agricolo, il quale contiene, oltre ai nutrienti, residui di fitofarmaci, diserbanti e terreno agrario eroso (Vaithiyathan and Richardson, 1997; Ceccarelli *et al.*, 1997). L'apporto di sedimenti nel lago, derivati dai fenomeni di erosione del terreno agrario e dalla naturale deposizione di materiale organico, ne determinano un lento ma progressivo interrimento ed una consistenza di fondale che ostacola la radicazione delle macrofite. Un'ulteriore minaccia per la vegetazione lacustre è rappresentata dalla salinità dell'acqua che in certi periodi dell'anno è superiore alle concentrazioni tollerate da queste specie. La salinizzazione delle acque è un fenomeno prevalentemente estivo, dovuto ad un abbassamento del livello delle acque per evaporazione naturale e per utilizzo irriguo in agricoltura, a cui consegue, considerato che il lago si estende in una vasta area depressa, un'immissione di acque salmastre, non essendo assicurato un normale flusso delle acque del lago stesso. Infatti, i suoi canali emissari risultano tali solo quando il livello dell'acqua si eleva sopra quello marino. Infine, l'ultimo fattore, in senso cronologico e non di importanza, che ha ostacolato la presenza delle macrofite è rappresentato dalla presenza di una specie esotica. Si tratta dell'introduzione nel lago del crostaceo *Procambarus clarkii* Girard, avvenuta per cause accidentali da un allevamento situato in prossimità del lago. Nel nuovo ambiente il *Procambarus*, senza competitori, si è riprodotto a dismisura, contribuendo alla scomparsa della vegetazione sommersa della quale si nutre.

L'insieme di queste problematiche è stato preso in considerazione dall'Ente Parco già dal 1991 con il P.I.M. 4.1/88 "Restoration of lake marshes", e sono in atto diverse linee di ricerca sulle profonde alterazioni dell'ecosistema lago (Cenni, 1997).

Dai precedenti studi emerge la centralità delle macrofite per la vita del lago, intesa nella sua accezione più ampia, ivi inclusi non solo gli elementi biotici, ma anche abiotici. Infatti, le macrofite costituiscono, allo stesso tempo, un ambiente ideale per lo sviluppo di zooplancton, un ottimo indicatore della salute dell'ambiente, e servono egregiamente come stabilizzatori fisici (Petriani *et al.*, 1996). Ovviamente esse, oltre ad influenzare in maniera decisa l'ambiente, ne sono, a loro volta, fortemente influenzate; basterà citare, a titolo di

esempio, la necessità del macrobentos che "ripulisce" le macrofite dalle epifite e consente una loro migliore vegetazione.

6.2. Obiettivo della ricerca

In questo capitolo saranno esposti i risultati della nostra ricerca, il cui obiettivo era lo studio degli effetti negativi del "run-off" agricolo sulla crescita e sviluppo delle macrofite acquatiche. Questa problematica nasce con il fenomeno dell'erosione del terreno agrario (Fig. 1) per concludersi con un alto livello di torbidità nel lago. Nella nostra ricerca abbiamo verificato se l'avvenuta diminuzione della quantità di luce disponibile in ambiente subacqueo, causata dal progressivo aumento della torbidità dell'acqua e indotta da alte concentrazioni di fitoplancton e risospensione di sedimenti finissimi, rappresenti una delle cause responsabili della scomparsa delle macrofite nel lago di Massaciuccoli. I risultati di questo studio sono necessari per migliorare la gestione agronomica delle zone limitrofe al lago (sistemazioni idrauliche agrarie più idonee, inerbimenti, vasche di decantazione delle acque di *run-off*, realizzazione di *enclosures*, dove attuare le "tecniche di biomanipolazione") (Tuzun and Mason, 1996).

Lo specifico aspetto della torbidità comporta lo studio della capacità di crescita delle macrofite acquatiche nelle alterate condizioni di trasparenza dell'ambiente subacqueo, nella prospettiva di un loro nuovo inserimento nel lago al fine di ricreare un ecosistema in equilibrio nelle sue varie componenti: piante, fitoplancton, zooplancton e pesci (Phillips, 1991).

6.3. Sperimentazione svolta

Reperimento materiale vegetale

Le macrofite acquatiche usate nelle prove di torbidità sono state *Myriophyllum verticillatum* L. (prelevato da un piccolo corso d'acqua ruscellante, che sbocca nel lago in località "Piaggetta") e *Ceratophyllum demersum* L. (prelevato da un canale di bonifica, nell'azienda di Coltano).

Queste rizofite sono state raccolte prelevando talee dalla parte apicale delle piante. Prima di essere introdotte negli acquari di propagazione, le talee sono state accuratamente lavate in apposite vasche al fine di eliminare il più possibile i fanghi e le alghe dalle quali sono colonizzate.

Myriophyllum verticillatum L. e *Ceratophyllum demersum* L. non subiscono shock da trapianto e le talee collocate negli acquari di propagazione si

accrescono molto velocemente, tanto da rendere necessaria una periodica cimatura. Il materiale ottenuto da queste cimature, costituito da talee di 12 cm, è stato di volta in volta utilizzato per il saggio biologico della torbidità.

Allestimento acquari

Sono stati allestiti due diversi sistemi di acquari: il primo utilizzato per la propagazione delle macrofite ed il secondo per il saggio di torbidità (Figg. 2 e 3).

Il primo sistema di acquari è costituito da cinque vasche in vetro di 200 l ciascuna. Il substrato di radicazione delle macrofite è costituito da uno strato di aqualite, substrato di argilla espansa ricco di oligoelementi, (Aqualine) ed uno soprastante di ghiaia fine. Questa miscela favorisce in maniera ragguardevole una ossigenazione del fondo grazie al flusso di acqua freatica che si viene a formare durante il filtraggio, favorendo in tal modo la radicazione. L'impianto di filtrazione dell'acqua è costituito da una pompa a motore sincrono con filtro immergibile, portata oraria 400 l, necessaria al mantenimento della qualità e della trasparenza dell'acqua. Il sistema di illuminazione consiste per ogni vasca di due lampade fluorescenti fitostimolanti Dennerle tipo Trocal 3085, 30 W con parabola riflettente, collegate ad un alimentatore temporizzato regolato in modo da garantire 10 ore di luce continua. La misura dell'intensità luminosa a 15 cm di profondità, negli acquari di propagazione, è compresa fra 48-54 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$. Per le misure dell'intensità luminosa si è utilizzato un Quantum Sensor, un lettore display digitale mod LI 250 (LI-COR), munito di un sensore di PAR subacqueo mod LI 192 SA (LI-COR). Nei mesi freddi, la temperatura dell'acqua veniva mantenuta da un riscaldatore ad immersione da 150 W a 18-20 °C.

Un secondo sistema di acquari, utilizzato per la verifica della capacità di crescita delle macrofite a diversi valori di torbidità dell'acqua, era costituito da otto acquari da 30 l. Questi sono completamente foderati di cartoncino nero e ricoperti all'estremità superiore da un panno nero, per evitare la presenza e quindi l'influenza della luce esterna sulle piante.

Ogni acquario veniva allestito utilizzando fango ed acqua del lago con 10 talee prelevate per ogni prova dagli acquari di propagazione. L'impianto di illuminazione era costituito da una lampada fluorescente fitostimolante Dennerle tipo Trocal 3085, 30 W con parabola riflettente, collegata anche questa ad un alimentatore temporizzato regolato in modo da garantire 10 ore di luce continua, alle intensità luminose descritte in Tabella 1 e 2.

Settimanalmente, nelle vasche dei due diversi sistemi, venivano reintegrati

i livelli di CO_2 necessari alla fotosintesi mediante la somministrazione di compresse a lenta cessione di CO_2 . Inoltre, ogni 10 giorni, si somministrava un fertilizzante liquido a base di cloruro di ferro ed altri elementi necessari a soddisfare le esigenze nutritive delle talee.

Scelta dei punti di prelievo del fango ed acqua

I campioni di fango ed acqua da utilizzare nelle prove di torbidità sono stati prelevati in tre zone distinte ritenute le più significative perché rappresentative dell'intera zona lacustre: la prima zona denominata Centro Lago, la seconda Foce Barra ed infine il Centro del Chiaro "Anolo". Il prelievo del fango è stato effettuato con un'adeguata apparecchiatura (appositamente fatta costruire dall'Ente Parco). Per quanto riguarda l'approvvigionamento dell'acqua sono state utilizzate taniche in plastica da 25 l.

Valori di torbidità analizzati

È stato preventivamente eseguito con il Quantum Sensor un campionamento sul lago per raccogliere le misure dell'intensità luminosa filtrante nella colonna d'acqua sottostante a diverse profondità (in superficie, a 15, 30, 50, 100, 150, 200 cm di profondità e sul fondale) (Fig. 4). Nonostante una certa variabilità giornaliera e stagionale riscontrata, sono stati individuati dei valori che abbiamo ritenuto significativo verificare nelle prove di torbidità in acquario. Mediamente troviamo che valori di $2\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ corrispondono a quelli che riscontriamo nel lago ad una profondità di 1 m, $20\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ a circa 50-60 cm, $30\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ a 30 cm, 54 a 15 cm e 120 alla superficie dell'acqua in una giornata con cielo non coperto ed alle 12 del mattino (Fig. 5).

Prove di torbidità

Sono stati eseguiti tre tipi di prove di torbidità:

- *prove preliminari di intensità luminosa*
- *prove di torbidità in acquari*
- *prove di torbidità nel lago all'interno di gabbie metalliche.*

Le prime due sono state condotte utilizzando il sistema di piccole vasche da 30 l, precedentemente descritto. Gli effetti causati dalla torbidità sono stati determinati collocando 10 talee, prelevate dalle piante allevate negli acquari di propagazione, in ogni vasca e coltivate per tre settimane. Le misure di altezza, peso fresco e secco, sono state eseguite sia all'inizio che al termine della prova. Poiché un aumento di torbidità nell'acqua non è altro che una diminuzione della quantità di luce disponibile per l'attività fotosintetica delle

piante, abbiamo allestito una serie di esperimenti (preliminari a quelli in cui abbiamo usato fango ed acqua del lago) utilizzando cinque acquari, secondo lo schema di Tabella 1, che differivano appunto per la quantità di luce filtrante dalla colonna d'acqua sovrastante e che contenevano come substrato argilla espansa, ghiaia fine ed acqua del rubinetto.

Tab. 1: Disposizione degli acquari nelle prove preliminari di intensità luminosa

Descrizione acquario	Intensità luminosa $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$
1) acquario completamente al buio	0.0
2) acquario con un neon situato ad 80 cm dalla superficie dell'acqua	2
3) acquario con un neon situato a 40 cm dalla superficie	30
4) acquario con un neon immediatamente sopra la superficie dell'acqua	54
5) acquario con due neon in superficie	124

Le prove di torbidità vera e propria sono state condotte utilizzando quattro acquari contenenti acqua e fango provenienti di volta in volta dalle tre stazioni di prelievo prescelte. In questi acquari sono stati creati quattro livelli di torbidità diversi variando il numero delle pompe da filtro e regolando in maniera opportuna l'intensità di filtraggio negli acquari secondo lo schema di Tabella 2.

Tab. 2: Disposizione degli acquari nelle prove di torbidità

Descrizione acquario	Intensità luminosa $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$
1) Torbidità Massima	20
2) Torbidità Media	30
3) Torbidità Minima	36
4) Controllo (nessuna pompa a creare torbidità)	54

I valori dell'intensità luminosa di Tabella 1 e 2 sono stati eseguiti alla profondità di 15 cm, con il Quantum Sensor.

Le Figure 6 e 7 evidenziano le differenze fra talee di *Myriophyllum* cresciute in un acquario Controllo (senza torbidità) e quelle cresciute nell'acquario con Torbidità Massima.

Nelle prove di torbidità di laboratorio abbiamo utilizzato acqua del lago



Fig. 1 Erosione delle scoline nelle aree agricole intorno al lago

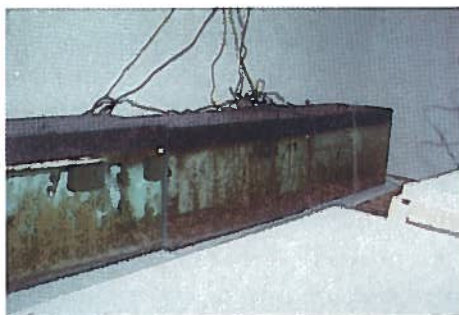


Fig. 2 Sistema di acquari utilizzato per la propagazione delle macrofite

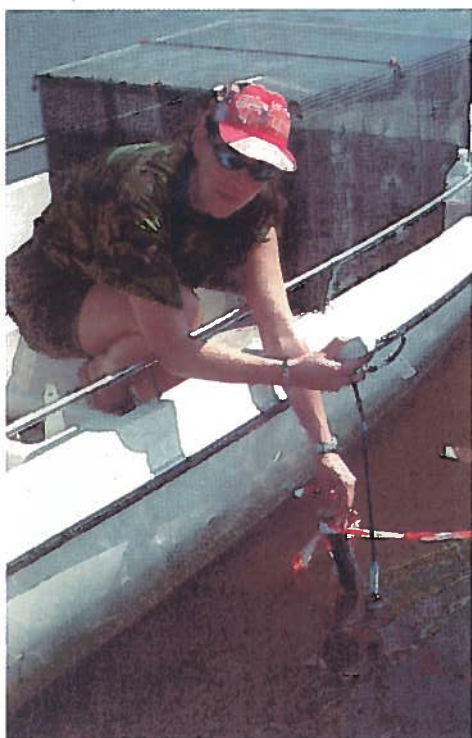


Fig. 4 Misurazioni dell'intensità luminosa a diversa profondità eseguite con il Quantum Sensor. In secondo piano sulla barca è possibile vedere una gabbia metallica prima di essere collocata nel chiaro



Fig. 3 Sistema di acquari utilizzato per i saggi di torbidità

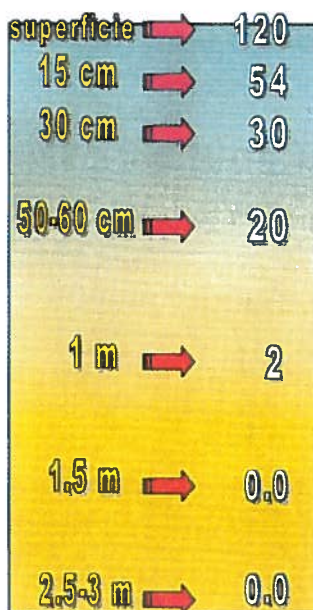


Fig. 5 Valori dell'intensità luminosa (espressi in $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) corrispondenti mediamente a diverse profondità dell'acqua.

filtrata e fango tal quale come lo abbiamo trovato, senza trattamenti preventivi, perché in esperimenti preliminari abbiamo verificato che questa è la condizione ottimale, come riportato in Fig. 8. Le talee di *Myriophyllum verticillatum* crescono meglio sia in altezza che in peso fresco e secco nell'acquario con fango non trattato, piuttosto che in quello con fango disidratato in stufa a 60°C o sterilizzato in autoclave a 120°C per 30 minuti.

Le prove di torbidità nel lago sono state condotte utilizzando due gabbie metalliche, munite di coperchio, a sezione quadrata (1m x 1m) ed alte 60 cm, completamente foderate con rete metallica a maglia fine (1 cm x 1 cm) ed ulteriormente ricoperte con rete "tipo zanzariera" (Fig. 4). All'interno delle gabbie sono state deposte talee di *Myriophyllum* di 20 cm di altezza, con l'ausilio di un filo da lenza di 1 m, al quale veniva fissato ad una estremità un piombo metallico (uso pesca, che serviva da ancoraggio) ed all'altra un tappo di sughero, come galleggiante. Le talee sono state legate al filo da lenza a tre diverse altezze (10 erano legate vicino al piombo, per cui rimanevano ancorate sul fondo della gabbia, 10 erano legate a 30 cm di profondità a partire dal tappo di sughero, ed altre 10 erano legate vicino al sughero in modo da rimanere in superficie) (Figg. 9 e 10). La gabbia veniva chiusa dall'apposito coperchio, ancorata al fondo da due pali di legno e lasciata nel chiaro per le solite tre settimane, come le prove di laboratorio in acquario (Fig. 15 sez. A e B).

6.4 Risultati

Gli esperimenti preliminari di intensità luminosa sono stati condotti con 10 talee di *Ceratophyllum demersum*, seguendo lo schema di Tabella 1. Come possiamo verificare nella Figura 11, un'intensità luminosa pari a $30 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ determina dopo tre settimane di coltivazione un aumento significativo dell'altezza, del peso fresco e secco delle talee. Con valori di 54 e $124 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ l'accrescimento delle piante è più evidente, risultando a $54 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ un peso fresco finale massimo (1.71g.) ed a $124 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ un'altezza finale massima (18.18 cm.); se osserviamo però il grafico B fra 54 e $124 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ non risultano differenze marcate di peso secco, per cui per le successive prove di torbidità abbiamo considerato $54 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ quale intensità luminosa ottimale, e quindi la massima intensità luminosa da utilizzare. Inoltre, poiché a $2 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ non sono stati evidenziati segni di crescita, questo valore minimo non è stato più adottato bensì sostituito da $20 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$. Inoltre, poiché a $2 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ non ci sono stati segni di crescita, questo va-

lore non è stato più introdotto bensì sostituito da $20 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$; tale valore è risultato da successivi esperimenti sul valore soglia per la crescita di queste piante, in quanto al di sotto di esso non si verificano incrementi di crescita.

Alla luce di questi esperimenti siamo passati alle prove di torbidità vera e propria, utilizzando fango ed acqua del Centro Lago. Si sono creati quattro livelli di torbidità secondo lo schema di Tabella 2, utilizzando sempre 10 talee di *Ceratophyllum demersum* (Fig. 12). Come si può osservare, il livello di intensità luminosa di $36 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ risulta ottimale, determinando il valore più alto del peso fresco e secco delle talee. Si osserva inoltre che, a bassi valori come $20\text{-}30 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, la risposta fisiologica delle talee è la "filatura", cioè un allungamento degli internodi più che un vero e proprio accrescimento determinato invece da un aumento di peso secco (Fig. 13). Le talee, che misuravano inizialmente tutte 12 cm e presentavano degli internodi ravvicinati, per raggiungere la sorgente luminosa si allungano, ed una volta raggiunta la superficie assumono di nuovo l'aspetto ad internodi ravvicinati, tipico della specie in condizioni ottimali. Inoltre risulta che le talee coltivate con acqua e fango del Centro Lago crescono di più rispetto a quelle allevate in substrati artificiali (basta osservare i valori del peso secco: per esempio, a $30 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ di intensità luminosa è circa 0.08 g in Figura 11, contro 0.15 g in Figura 12). Questo è spiegabile in funzione della elevata presenza di azoto e fosforo contenuto nei fondali e nelle acque del lago (Tabella 3).

Tab. 3 A: Stato trofico delle acque di tre diverse località del lago di Massaciuccoli

Stazione di prelievo	N-nitroso $\mu\text{g/l}$	N-nitrico $\mu\text{g/l}$	N-ammoniacale $\mu\text{g/l}$	N-totale $\mu\text{g/l}$	P-totale $\mu\text{g/l}$	P-fosfati $\mu\text{g/l}$
Centro Lago	10.36	26.18	129.92	3647.00	52.39	<6.2
Foce Barra	11.48	37.24	173.46	2262.26	81.84	<6.2
Centro Chiaro	2.94	21.42	37.80	696.08	41.85	<6.2

(le analisi sono state effettuate nei laboratori di Chimica agraria - Università di Pisa)



Fig. 6 Talee di *Myriophyllum* cresciute in un acquario di Controllo



Fig. 7 Talee di *Myriophyllum* cresciute in un acquario con torbidità Massima

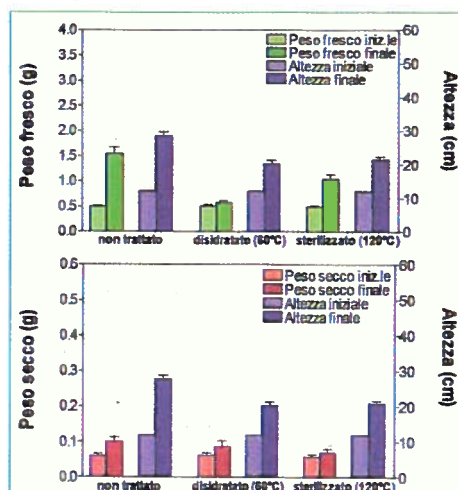


Fig. 8 Effetto di un differenziato trattamento termico del fondale del Centro Lago sulla crescita delle piante di *Myriophyllum verticillatum*. In ogni pannello sono riportati i valori medi e gli errori standard relativi a prove effettuate su 10 talee



Fig. 9 Gabbia metallica utilizzata per la verifica della possibilità di crescita delle macrofite nel lago



Fig. 10 Particolare della gabbia metallica dove è possibile notare le talee di *Myriophyllum*, legate vicino al galleggiante

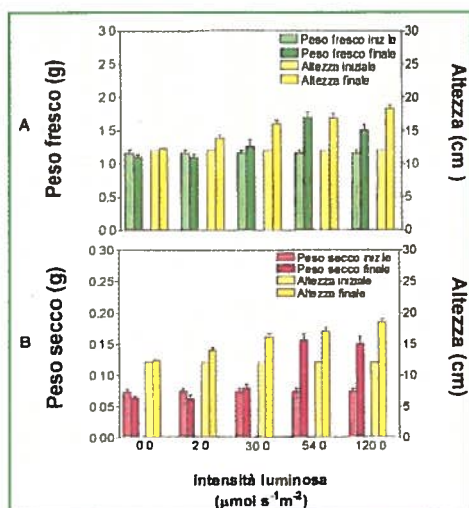


Fig. 11 Prove preliminari di intensità luminosa. Effetto dell'intensità luminosa su peso fresco, secco ed altezza di *Ceratophyllum demersum* allevato su substrato artificiale. In ogni pannello sono riportati i valori medi e gli errori standard relativi a prove effettuate su 10 talee



Fig. 13 Filatura in talee di *Ceratophyllum demersum* cresciute in condizioni di carenza di luce

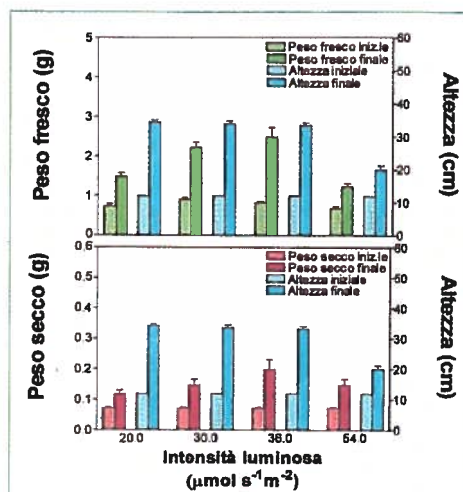


Fig. 12 Prove di torbidità. Effetto della torbidità dell'acqua su peso fresco, secco ed altezza di *Ceratophyllum demersum* allevato su fondale ed acqua del Centro Lago. In ogni pannello sono riportati i valori medi e gli errori standard relativi a prove effettuate su 10 talee

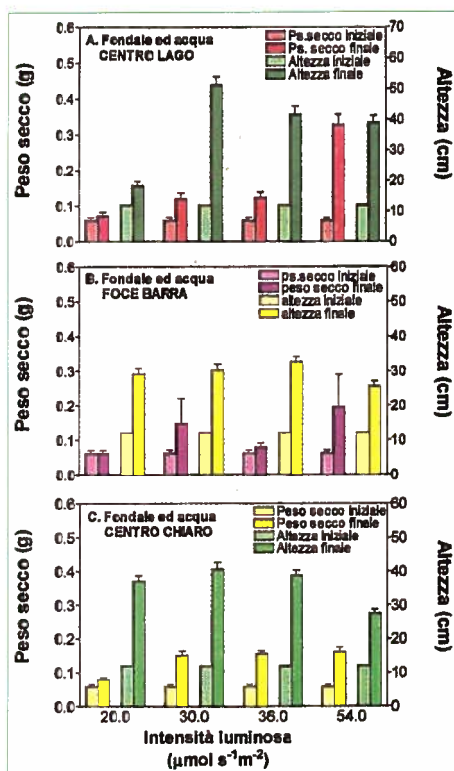


Fig. 14 Effetto della torbidità dell'acqua su peso secco ed altezza di *Myriophyllum verticillatum* allevato su fondali ed acqua di tre diverse località. In ogni pannello sono riportati i valori medi e gli errori standard relativi a prove effettuate su 10 talee

Tab. 3 B: Stato trofico dei fondali delle stesse località

Stazione di prelievo	N-nitroso µg/l	N-nitrico µg/l	N-ammoniacale µg/l	N-totale µg/l	P-totale µg/l	P-fosfati µg/l
Centro Lago	5	30	119	7.68	780	52
Foce Barra	7	72	75	7.93	820	48.6
Centro Chiaro	5	40	120	20.39	1160	142

(le analisi sono state effettuate nei laboratori di Chimica agraria - Università di Pisa)

Gli esperimenti di torbidità con il *Ceratophyllum demersum* si sono limitati allo studio di fondale ed acqua del Centro Lago a causa della mancata reperibilità di tale pianta in tutto il comprensorio.

Gli effetti delle prove di torbidità su *Myriophyllum verticillatum* allevato su fondali ed acqua delle tre diverse località del lago sono invece riportati in Fig. 14. Dall'osservazione della figura appare chiaramente come il *Myriophyllum* cresciuto su fondale ed acqua del Centro Chiaro (Fig. 15 sez. C) raggiunga delle altezze finali elevate anche a livelli ridotti di intensità luminosa ($20 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) rispetto ai risultati delle sez. A e B, ma se consideriamo il peso secco finale il valore più consistente si ottiene coltivando *Myriophyllum* su fondale ed acqua del Centro Lago alla massima intensità luminosa più alta. Dall'osservazione della Tabella 3, ci si rende subito conto come la situazione dal punto di vista trofico sia ben diversa nell'acqua rispetto al fondale nelle tre diverse località del lago. Infatti le acque del chiaro risultano le meno ricche di nutrienti rispetto a quelle del Centro Lago e del Foce Barra, fenomeno che concorda pienamente con l'idea dell'azione fitodepuratrice esercitata dalle porzioni ipogee delle associazioni vegetali più diffuse nei substrati torbosi, quali *Phragmites australis* (Cav.) Trin., *Cladium mariscus* L., *Typha angustifolia* L. Il fondale del Centro Chiaro risulta invece più ricco di nutrienti degli altri fondali perché, ovviamente, arricchito dalla sostanza organica proveniente dalla degradazione dei residui vegetali, porzioni aeree e radicali della vegetazione che ricadono spontaneamente nel chiaro, oltre naturalmente dalla sostanza organica derivata dalla vegetazione sommersa che fino a qualche anno fa era presente nello stesso chiaro. Quindi, a parità di torbidità, questo diverso stato trofico determina delle differenti risposte fisiologiche di accrescimento della pianta. Ne risulta un maggior peso secco dove l'acqua è più ricca di nutrimento (Fig. 14 sez. A), sottolineando in questo caso un preferenziale assorbimento fogliare della pianta rispetto a quello radicale ed un maggior allungamento dello stelo, filatura, delle piante cresciute in acque più pulite e fanghi più ricchi di nutrienti (Fig. 14 sez. C). Le piante cresciute

con fondale ed acqua del Foce Barra rappresentano invece una situazione intermedia.

Questi esperimenti suggeriscono anche che, nonostante l'elevata compromissione del lago per l'assenza di vegetazione sommersa, le macrofite possono crescere in queste condizioni, ma a patto che ci sia una adeguata intensità luminosa. Praticamente queste piante svernanti e poliannuali una volta raggiunta la superficie, in tempi in cui la trasparenza dell'acqua era migliore, riuscivano a vegetare all'incirca nel primo mezzo metro di acqua anche se i loro steli raggiungevano privi di foglie l'ancoraggio sul fondo. Probabilmente in questi ultimi anni qualche evento ha impedito il perpetuarsi di quella condizione. A nostro avviso è stata la presenza del crostaceo *Prokambarus clarkii*, che in questi ultimi anni ha invaso il lago di Massaciuccoli, a compromettere la precaria presenza delle macrofite nel lago. Per verificare la nostra ipotesi abbiamo effettuato l'esperimento della crescita delle macrofite all'interno delle gabbie metalliche per evitare l'ingresso anche degli individui più giovani del *Prokambarus* o di piccoli pesci (Figg. 4, 9 e 10).

Abbiamo posto la gabbia all'interno del chiaro Anolo (il cui fondale ed acqua era già stato utilizzato nelle prove di torbidità in acquario) ad una profondità tale da ottenere delle misure di intensità luminosa che garantiscano la crescita delle talee di *Myriophyllum* (Fig. 15). Osservando la figura in sez. C rileviamo che il 50% delle talee legate al fondo è sopravvissuto alle tre settimane di prova raggiungendo l'altezza maggiore rispetto alle talee legate alla profondità intermedia ed alla superficie. Le talee al fondo hanno sopperito alla scarsità di luce con l'effetto filatura (Fig. 16). Le talee in superficie sono quelle con altezza più bassa, in quanto non avevano bisogno di allungarsi per raggiungere livelli soddisfacenti di luce. Le talee a 30 cm di profondità che sono cresciute all'incirca con un'intensità luminosa pari a $30\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ hanno il peso secco maggiore. Confrontando i valori finali del peso secco delle talee a 30 cm di profondità nella gabbia con quello delle talee cresciute con lo stesso fondale ed acqua ma in acquario (Fig. 5 sez. C) osserviamo che i valori concordano perfettamente.

6.5. Conclusioni

I risultati della nostra ricerca sollevano la complessità della situazione del lago di Massaciuccoli, in tutte le sue varie problematiche ambientali, per quel che riguarda lo sviluppo delle macrofite. Allo stesso tempo, lascia intravedere la possibilità di un riassetto dell'equilibrio di questo particolare ecosistema, a

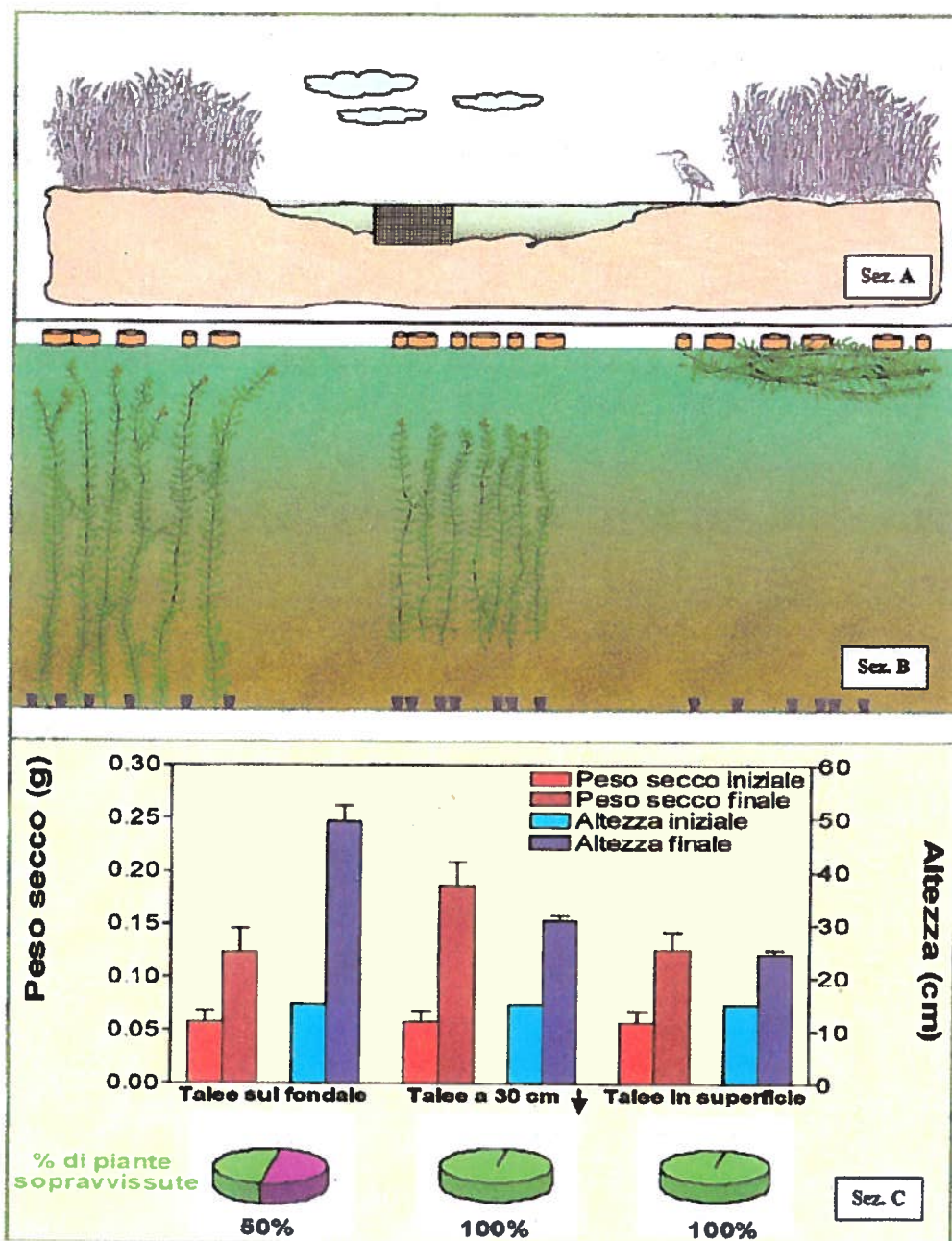


Fig. 15 sez. A, collocazione della gabbia metallica all'interno del chiaro "Anolo"; sez. B, disposizione delle talee di *Myriophyllum verticillatum* all'interno della gabbia; sez. C, crescita delle talee alle diverse profondità. In ogni pannello sono riportati i valori medi e gli errori standard relativi a prove effettuate su 10 talee



Fig. 16 Effetto filatura molto accentuato nelle talee di *Myriophyllum*, cresciute sul fondo della gabbia



Fig. 17 Giovane germoglio di *Chara hyspida*, a destra di una pianta di *Myriophyllum*

patto che si attuino provvedimenti immediati per risolvere i gravi problemi di inquinamento, eutrofizzazione da un lato ed erosione dall'altro, a cui abbiamo già accennato all'inizio di questo capitolo.

Con i nostri esperimenti in acquario e nel lago dimostriamo sia il limite oggettivo - rappresentato dalla mancanza di luce sul fondale del lago, con la conseguente assenza di attività fotosintetica delle piante sommerse e quindi della loro vita - che la possibilità di ripopolamento dell'interno dei chiari del palude di Massaciuccoli, dove invece la luce che riesce a filtrare è sufficiente allo sviluppo della vegetazione sommersa. Con le nostre prove di torbidità abbiamo praticamente "sollevato" il fondale del lago, fino a livelli di trasparenza adeguati allo sviluppo delle macrofite. Le così dette "tecniche di biomani-polazione" prevedono infatti la chiusura di particolari zone lacustri (*enclosures*) dove reimpiantare la vegetazione lacustre, dopo aver naturalmente migliorato la trasparenza dell'acqua: questo processo si sta già attuando, grazie a nuove disposizioni dell'Ente Parco, con la chiusura del "Canale Centralino" e "Punta Grande" dove sono in atto altre sperimentazioni con le macrofite acquatiche (Holzer *et al.*, 1997). Inoltre, in laboratorio abbiamo verificato che se prolunghiamo la durata degli esperimenti oltre le tre settimane, dal fondale del

chiaro emergono altre piante, come si può osservare nella Figura 17. Possiamo concludere così che i fondali del lago contengono semi e/o porzioni vegetali che sono in grado di ricacciare nuovi germogli.

Riferimenti bibliografici

- Brock T.C.M., 1997. *Sensitivity of Macrophyte-Dominated Freshwater Microcosm to Chronic Levels of the Herbicide Linuron*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **38**, 25-35.
- Ceccarelli N., Piaggese A., Ciurli A., Alpi A., 1997. *Residui di diserbanti nelle acque del lago di Massaciuccoli: effetti tossici sulle macrofite acquatiche e analisi delle concentrazioni*, in *Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento* 181-202.
- Cenni M., 1997. *Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento* Editrice Universitaria Felici.
- Cuppen J.G.M., Van den Brink P.J., Van der Woude H., Zwaardemaker N. and Brock T.C.M., 1997. *Sensitivity of Macrophyte-Dominated Freshwater Microcosm to Chronic Levels of the Herbicide Linuron*, *Ecotoxicology and Environmental Safety* **38**, 25-35.
- Holzer T.J., Perrow M.R., Madgwick F.J. & Dunsford D.S., 1997. *Practical Aspects of Broad Restoration*. Environment Agency R&D Technical Report P-91.
- Petrini C., Bazzocchi R., Moretti C., 1996. *La fitodepurazione*, *Agricoltura* **2**: 12-14.
- Phillips G., 1991. *A case study in restoration: shallow eutrophic lakes in the Norfolk Broads*, *Eutrophication of freshwaters*, 251-279.
- Tuzun I. and Mason C.F., 1996. *Eutrophication and its control by biomanipulation: an enclosure experiment*, *Hydrobiologia* **331**: 79-95.
- Vaithiyanathan P., Richardson C.J., 1997. *Nutrient profiles in the everglades: examination along the eutrophication gradient*, *The Science of the Total Environment* **205**, 81-95.

7. RILIEVI TERMOGRAFICI DA POSTAZIONI FISSE SU AREE COSTIERE DEL LAGO DI MASSACIUCCOLI

TECNICHE DI TELERILEVAMENTO APPLICATE ALLA RICERCA DELLE FONTI DI ALIMENTAZIONE DEL LAGO

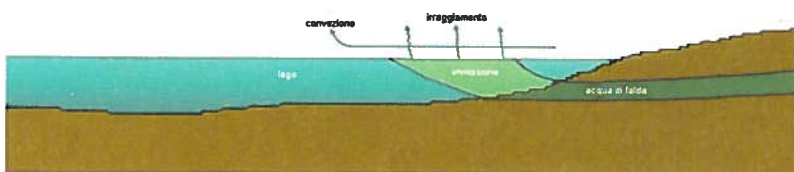
Arnaldo Tonelli

7.1. Introduzione

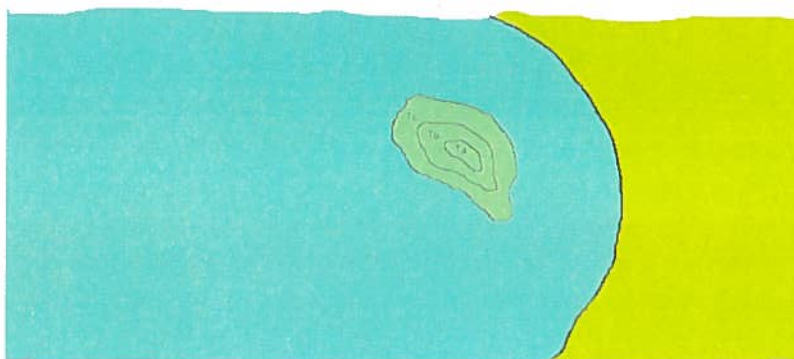
Nel 1997 l'Amministrazione dell'Ente Parco Regionale Migliarino - S. Rossore conferiva un incarico di studio allo scopo di individuare la posizione delle fonti subacquee di alimentazione del lago di Massaciuccoli e di stimarne la portata immessa. Veniva proposto di risolvere il quesito con metodi di telerilevamento, studiando le alterazioni di temperatura sulla superficie del lago imputabili all'immissione di acqua dalla falda. L'indagine è stata condotta sul finire della stagione invernale, quando è massima la differenza di temperatura fra acqua di alimentazione dalla falda, più calda, e acqua del lago, più fredda. I rilievi sono stati realizzati con un termografo, puntando il lago dalla collina dell'Aquilata e dalla strada che dalla collina scende verso il lago. Lo studio dei dati raccolti, secondo la metodologia di telerilevamento esposta qui di seguito, ha portato alla conclusione che l'alimentazione avviene nella zona al piede dell'Aquilata e che la portata si aggira intorno ai 15 litri al secondo. Il risultato dell'indagine è riportato in Fig. 4.

7.2. Metodologia di telerilevamento

La localizzazione delle zone in cui avvengono immissioni dalla falda si basa sulle alterazioni della temperatura osservabili sulla superficie dell'acqua del lago. L'andamento della temperatura si può rilevare con misure termometriche puntuali, in superficie e a profondità variabile. Con queste però viene a mancare il quadro generale del campo di temperatura per il quale occorrerebbero decine di migliaia di saggi. Con misure di tipo radiometrico nell'infrarosso termico si può ottenere per contro un'immagine della distribuzione della temperatura che più facilmente permette di riconoscere una anomalia anche debole e, aspetto ancora più importante, consente di effettuare una sti-



Schema di immissione dalla falda. Gran parte del calore introdotto viene sottratto per convezione e irraggiamento



Schema di osservazione dall'alto del pennacchio di acqua di falda immessa nel lago e galleggiante in superficie. Il pennacchio è formato da aree a temperatura T_a , T_b , T_c , ecc

Fig. 1 Schema dell'infiltrazione di acqua dalla falda in un corpo idrico. Quando sono verificate le condizioni di sufficiente contrasto di densità, dovute a differenza di temperatura, l'acqua proveniente dalla falda è spinta a galleggiare in superficie e può essere osservata con un termografo. Nello schema in basso viene mostrato l'aspetto della anomalia termica che accompagna l'acqua in galleggiamento: appare come un pennacchio a temperatura più alta di quella del resto della superficie del lago.

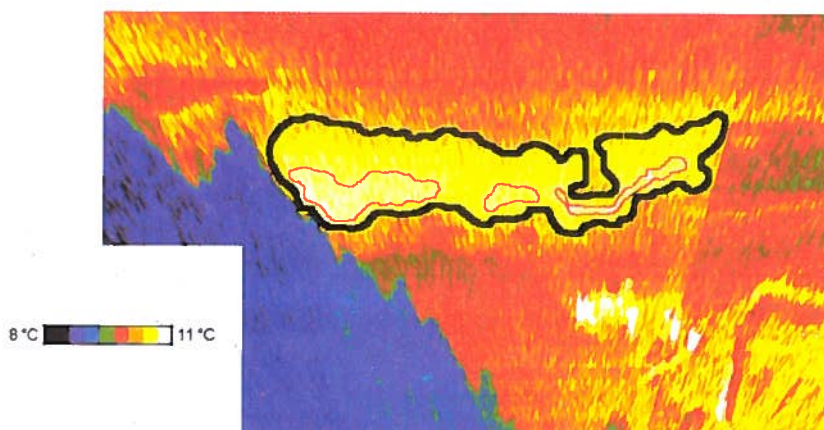


Fig. 3 Restituzione in forma di isoterme del tratto di mosaico che interessa lo studio. L'anomalia termica positiva che accompagna il pennacchio dovuto all'immissione dalla falda è stato proiettato in modo da simulare l'osservazione dalla verticale. Si tratta di una anomalia positiva molto debole e piuttosto estesa.



Fig. 2 Mosaici di termografie rilevate dalla collina dell'Aquilata (in alto) e dalla strada che dalla collina porta al lago (in Fig. 4 sono riportati i punti di osservazione).

ma della portata immessa.

L'acqua è completamente opaca alla radiazione infrarossa, per cui con rilievi termografici si acquisiscono dati esclusivamente riferiti alla superficie dello specchio d'acqua. Per ottenere misure significative occorre che la massa d'acqua entrante generi un campo termico "anomalo" in superficie, quindi sia spinta al galleggiamento.

L'acqua stratifica in funzione della densità, maggiore sul fondo e minore in superficie. Per avere galleggiamento occorre che la massa d'acqua entrante abbia densità minore (quindi temperatura maggiore) di quella del corpo idrico che la riceve. Queste condizioni sono soddisfatte nella stagione invernale, quando l'acqua del lago è esposta alla temperatura dell'ambiente esterno,

mentre l'acqua di falda tende a mantenere una temperatura prossima a quella media annuale, caratteristica della quota e della latitudine del luogo.

A Massaciuccoli, nel periodo delle riprese all'inizio di marzo, la differenza di temperatura fra acqua di falda e acqua del lago era intorno ai 2 °C.

In condizioni di sufficiente contrasto di densità, l'acqua che dalla falda si infila nel lago viene spinta in superficie generando un pennacchio termico. Lo studio di quest'ultimo permette di valutare orientativamente la portata immessa.

Infatti se l'infiltrazione dalla falda al bacino del lago avviene con velocità limitata, gli scambi di calore per conduzione fra acqua e acqua sono di piccola entità e il calore introdotto con l'immissione dalla falda viene dissipato principalmente per irraggiamento e convezione alla superficie dello specchio d'acqua. All'equilibrio, quindi a portata immessa costante, tanto calore entra quanto ne viene dissipato. Dalla equazione di bilancio termico si può ricavare il valore della portata. Il calore Q_f , introdotto dalla falda con la massa d'acqua immessa, vale

$$Q_f = c m \Delta T$$

con c calore specifico

m massa

ΔT differenza di temperatura fra acqua di falda
e acqua del lago

Fissato un intervallo di tempo Δt , $Q_f / \Delta t$ rappresenta una potenza termica P che a regime deve essere dissipata dal sistema lago-ambiente. Trascurando la cessione di calore per rimescolamento dell'acqua di falda con quella di lago, il calore che entra nell'unità di tempo viene asportato per irraggiamento e convezione e la superficie di scambio è data dal pennacchio con le sue aree isoterme A_i a temperatura T_i (nella Fig.1 sono indicate tre generiche aree a temperatura T_a , T_b , T_c). In definitiva il bilancio termico dà:

potenza entrante P = potenza dissipata per irraggiamento e per convezione

$$Q_f / \Delta t = c m \Delta T / \Delta t = c m (T_s - T_m) / \Delta t = P = \{ a \sum_i A_i (T_i^4 - T_m^4) + b f(v) [\sum_i A_i (T_i - T_a)] \}$$

con P potenza termica entrante = $Q_f / \Delta t$

c calore specifico dell'acqua

m massa d'acqua entrante dalla falda nel tempo Δt

ΔT salto termico $T_s - T_m$

T_s temperatura media dell'acqua di falda

T_m temperatura media dell'acqua del lago

a costante

A_i	aree isoterme entro il pennacchio galleggiante
T_i	temperatura delle aree A_i
b	costante
$f(v)$	funzione della velocità del vento v
T_a	temperatura dell'aria

da cui la portata in massa $m / \Delta t$, oggetto dell'indagine

$$m / \Delta t = \{ a \sum_i A_i (T_i^4 - T_m^4) + b f(v) [\sum_i A_i (T_i - T_a)] \} / c (T_s - T_m)$$

Con notazione tecnica, assumendo per la temperatura dell'aria, al livello della superficie del lago, la temperatura media dell'acqua stessa, si ha:

$$m / \Delta t = \{ \varepsilon 4.96 [\sum_i A_i [(T_i/100)^4 - T_{min}/100^4]] + (5 + v/1100) [\sum_i A_i (T_i - T_{min})] \} / c [T_{max} - T_{min}]$$

dove è $m / \Delta t$ portata in [kg/h]

ε emissività media dell'acqua sull'intero spettro

4.96 costante di Stefan-Boltzmann in [Cal/m² h K⁴]

A_i aree isoterme entro il pennacchio galleggiante espresse in [m²]

T_{min} temperatura dell'acqua del lago. La temperatura T_a dell'aria

è assunta uguale a T_{min} stessa [K]

v velocità del vento [m/h]

T_{max} temperatura dell'acqua di falda [K]

T_i temperatura delle aree A_i [K]

c calore specifico dell'acqua = 1 [Cal / kg K]

Nel nostro caso sono stati rilevati:

- una area di 5000 [m²] alla temperatura media di 283.94 [K]
- una area di 30000 [m²] alla temperatura media di 283.79 [K]
- la temperatura media dell'acqua del lago pari a 283.64 [K]
- la temperatura dell'acqua di falda intorno a 285 [K]
- l'assenza di vento ($v = 0$)

Introducendo il valore 0.66 per l'emissività \ dell'acqua, come media su tutto lo spettro elettromagnetico, si ottiene:

$$\begin{aligned} m / \Delta t &= \{ \varepsilon 4.96 [\sum_i A_i [(T_i/100)^4 - (T_{min}/100)^4]] + (5 + v/1100) [\sum_i A_i (T_i - T_{min})] \} / [T_{max} - T_{min}] \\ &= \{ 0.66 \times 4.96 [5000 (2.8394^4 - 2.8364^4) + 30000 (2.8379^4 - 2.8364^4)] + \\ &\quad + \{ [5 [5000 (283.94 - 283.64) + 30000 (283.79 - 283.64)] \} / [285 - 283.79] = \\ &= \{ 3.27 [5000 0.2742 + 30000 0.1370] + 5 [5000 0.3 + 30000 0.15] \} / 1.21 = \\ &= \{ 17922.87 + 30000 \} / 1.21 = 39605.67 \text{ [kg/h]} \end{aligned}$$

Questa portata, corrispondente a 1 l/s, è da considerarsi un valore minimo in

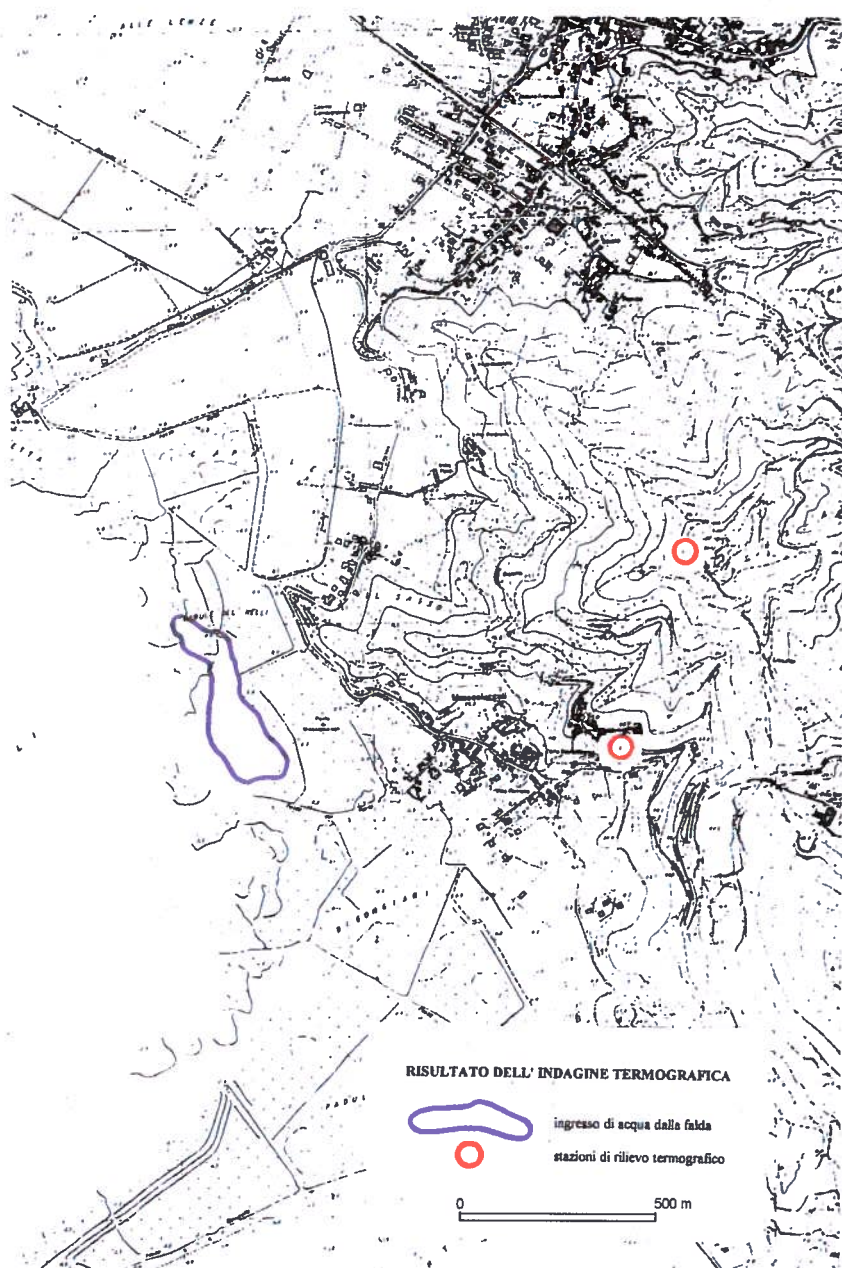


Fig. 4 Riporto dei risultati sulla base topografica resa disponibile

quanto sono stati trascurati gli scambi per conduzione. La portata reale è superiore a questo valore: orientativamente possiamo ritenere la portata compresa fra questo valore minimo e il 50% in più, attestandoci quindi intorno a 15 l/s.

7.3. L'infrarosso termico e la termografia

La zona dove la falda alimenta il lago e la stima della sua portata sono state individuate utilizzando la temperatura dell'acqua come indicatore. A questo scopo sono state realizzate riprese con un sistema termografico puntando da una altura (la collina dell'Aquilata) verso il lago.

La descrizione a distanza del campo della temperatura delle superfici indagate viene realizzata per mezzo di strumenti che misurano l'emissione spontanea di radiazioni termiche dagli oggetti. Tutti gli oggetti con temperatura superiore allo zero assoluto (nella scala termodinamica assoluta, espressa in gradi Kelvin K, è $0\text{ K} = -273.14\text{ }^{\circ}\text{C}$) emettono radiazione elettromagnetica. Questa, captata da speciali sensori, viene convertita in segnale elettrico per andare a formare, in modo simile a un sistema televisivo, una immagine chiamata "termografia".

L'acqua è completamente opaca alla radiazione termica. È questa caratteristica che permette di rilevare con la termografia la distribuzione della temperatura proprio sulla superficie dell'acqua e ricavare le informazioni utili alla determinazione delle portate immerse.

Il legame fra radiazione e temperatura assoluta, considerando l'intera estensione dello spettro elettromagnetico, è del tipo:

$$N = \sigma T^4$$

dove è N radianza $[\text{W}/\text{m}^2]$
 σ costante pari a $5.669 \cdot 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^{-4}]$
T temperatura assoluta $[\text{K}]$

Questa relazione è valida per una superficie teorica ideale (indicata col termine di "corpo nero") in grado di emettere tutta l'energia elettromagnetica possibile, in accordo alla relazione di Planck. Le superfici reali, di fatto, approssimano per difetto questa condizione. L'indice di efficienza di emissione è chiamato emissività e viene espresso come rapporto fra l'emissione reale e quella massima teorica alla stessa temperatura T

$$\varepsilon = N_r / N$$

con N_r radianza emessa dalla superficie alla temperatura T
N radianza teorica massima emettibile alla temperatura T

Per l'acqua l'emissività, sull'intero spettro elettromagnetico, vale circa 0.66.

La radiazione elettromagnetica viene captata e convertita in segnali elettrici da sistemi radiometrici. I radiometri eseguono misure puntuali mentre i termografi analizzano le superfici da investigare secondo serie di punti allineati per righe e colonne, generando immagini. Nella ricerca sul lago di Massaciucoli è stato impiegato un termovisore Probeye TVS 2100 ST della HUGHES-AVIO con queste caratteristiche:

- intervallo spettrale di funzionamento $4.0 \div 5.4$ micron
- risoluzione geometrica 1.1 milliradiani
- risoluzione radiometrica limite 0.05°C
- campo di misura da -20°C a $+950^{\circ}\text{C}$

Il sensore è costituito da una serie di 10 rivelatori all'antimoniuro di indio portati alla temperatura operativa di funzionamento (-170°C) da un sistema frigorifero ad argon in ciclo Stirling. Il campo di vista è di $15^{\circ} \times 10^{\circ}$ ed è coperto da 256 elementi-immagine in orizzontale per 170 righe in verticale. Il sistema funziona a scansione ottico-meccanica con un poligono di specchi rotante. La matrice-immagine viene formata virtualmente su una memoria, presentata sullo schermo del monitor e registrata su dischetto da $3\frac{1}{2}$ floppy disc. Il contenuto informativo della matrice-immagine è espresso in gradi centigradi.

A titolo di documentazione si riporta il diario delle riprese:

Mosaico delle termografie riprese il 4 marzo (Fig. 2, in alto) dalla casa di abitazione a quota 250 m sulla collina dell'Aquilata la sera all'imbrunire (intorno alle ore 18.00—19.00) con i parametri:

estremi di scala	$9.12^{\circ}\text{C} - 11.68^{\circ}\text{C}$
sensibilità	0.01°C per digit
emissività	impostata a 0.96
ora media	18.30

Mosaico delle termografie riprese dalla stessa postazione sull'Aquilata il mattino del 5 marzo, all'alba (intorno alle ore 07.00), con i parametri:

estremi di scala	$6.83^{\circ}\text{C} - 11.95^{\circ}\text{C}$
sensibilità	0.02°C per digit
emissività	impostata a 0.96
ora media	07.30

Mosaico delle termografie riprese dalla strada che scende verso il lago, a quota 90 m, nel primo mattino del 5 marzo (intorno alle ore 09.00, vedi Fig.

2, in basso), con i parametri:

estremi di scala	6.83 °C - 11.95 °C
sensibilità	0.02 °C per digit
emissività	impostata a 0.96
ora media	09.15

La parte significativa del mosaico termografico (costituita da alcune delle oltre 20 termografie dell'intera panoramica) è stata deformata geometricamente nell'intento di simulare l'osservazione dalla verticale e quindi rilevare l'area della anomalia termica.

Le figure 2 e 3 mostrano un tratto della panoramica termografica e la proiezione verticale del tratto significativo da cui sono stati ricavati i dati per il calcolo della portata.

Riferimenti bibliografici

- Tonelli A. (1980) *Misurare l'ambiente*, Collana B.M.S. N° 43, Edizioni Zanichelli, Bologna
- Pajani D. (1989), *Mesure par thermographie infrarouge*, ADD Editeur, Avenue A. Thomas, 7 F-92290 Chatenay Malabry
- Gaussorgues G. (1989), *La thermographie infrarouge*, Technique et Documentation - Lavoisier Rue Lavoisier, 11 F-75384 Paris Cedex 08
- The Americal Society of Photogrammetry, *Manual of Remote Sensing*, A.S.P. 105 N. Virginia Avenue - Falls Church, Va. 22046
- Tonelli A. M. (1998), *Complementi di telerilevamento teorico e applicato*, Luni Editrice, Milano.

Articoli su riviste ed atti di congressi:

- Cassinis R., Lechi G.M., Tonelli A. (1972), *Le misure nel campo dell'infrarosso termico: prime applicazioni alle Scienze della Terra* - Atti dell'Associazione Geofisica Italiana - Studi in onore di G. Aliverti, 1972
- Tonelli A. (1972), *Termografie all'infrarosso da stazioni a terra e da aereo*, Quaderni di "La ricerca scientifica" n° 83, 1972
- Tonelli A. (1977), *Il telerilevamento da aereo e da satellite per l'analisi e il controllo dell'inquinamento*, Quaderni di termografia, Cesena, 1977
- Alberotanza L., Tonelli A. (1978), *Thermal roughness and texture analysis for water bodies: their relationship with the bottom morphology* - XVIII Convegno Internazionale sullo Spazio - Roma, 15 / 16 marzo 1978
- Tonelli A. (1978), *Surface texture analysis with thermal and near infrared scanners*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing - Vol. 44 n° 10 pp 1273-1278 October 1978
- Tonelli A. (1981), *Previsione del rischio di eutrofizzazione, provocata da scarichi urbani in mare, per mezzo della termografia aerea* - Acqua e Aria, n°8, ottobre 1981
- Marino C. M., Tonelli A. (1981), *Studio dell'inquinamento idrico per mezzo dell'analisi di termografie aeree*, Rivista PIXEL anno 2 n°4, 1981
- Gandino A., Tonelli A. (1983), *Recent Remote Sensing techniques in fresh water submarine springs monitoring: qualitative and quantitative approach* - Proceedings of International Symposium on Methods and Instrumentation for the Investigation on Groundwater Systems (MIIGS) - Noordwijkerhout, The Netherlands - 2-6 maggio 1983
- Tonelli A. (1987), *Studio delle acque costiere con dati telerilevati. Analisi multitemporale del trasporto solido e della flora sottomarina*, I° Congresso nazionale dell'Associazione Italiana di Telerilevamento - Parma 29 settembre-2

Informazioni generali: Internet alla voce "Remote Sensing"

GLI INTERVENTI PER IL RISANAMENTO DEL LAGO



8. IL PANORAMA DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO PERIFERICI

Mario Cenni

8.1. Introduzione

Il comprensorio lacuo-palustre del Massaciuccoli si estende per circa 2000 ha in prossimità della costa settentrionale della Toscana, composto da circa 1300 ha di canneti e falascheti, in parte flottanti ed in parte radicanti, e da 700 ha di specchio lacustre in senso stretto. A partire dagli anni 1950-55 le biocenosi tipiche di questo ambiente, originariamente oligotrofo ed oligoalino (Brunelli e Cannicci, 1942), hanno iniziato a semplificarsi: alcune specie sono diventate rare ed altre sono scomparse. Tali modificazioni hanno coinvolto inizialmente le specie floristiche e zoologiche più esigenti (lontra - *Lutra lutra* L., †1976, Cenni, 1990; luccio - *Esox lucius* L., Alessio *et al.*, 1994) e man mano hanno portato alla scomparsa od alla estrema rarefazione di specie ritenute generalmente comuni, dai grandi gasteropodi dulcacquicoli (*Limnea* sp., *Planorbis* sp.) alle macrofite di fondale. Non ultima per gravità la drastica riduzione numerica delle svariate migliaia di anatre che svernavano sullo specchio del lago, ormai un ricordo di trenta - quaranta anni fa. Consistente e di grande rilevanza resta invece la popolazione di una specie minacciata a livello europeo, il tarabuso (*Botaurus stellaris* L., Puglisi *et al.*, 1995).

Ad un esame superficiale le acque del Massaciuccoli appaiono oggi torbide, con una trasparenza che, misurata al disco di Secchi, è compresa fra 40 e 80 cm, dipendentemente dal regime pluviometrico e dai venti.

I criteri che hanno guidato sin dall'inizio l'opera di risanamento del lago e del circostante comprensorio palustre si sono formati sulla scorta delle ricerche condotte a partire dall'inizio degli anni '90. Il Parco Regionale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli strutturò allora un consistente gruppo di ricerca che aveva individuato nella biomanipolazione la strategia sperimentale fondamentale per ottenere il risanamento del comprensorio (Cenni, 1994). Fu subito chiaro però che era necessario verificare lo stato trofico generale del bacino per impostare con adeguate

conoscenze la biomanipolazione, fase abbastanza delicata da essere circoscritta, almeno inizialmente, ad aree sperimentali. Le più recenti acquisizioni sullo stato del bacino risalivano agli anni '70 (AQUATER, 1980) e, data l'assenza di cognizioni circa le modificazioni che il sistema fisico, chimico e biologico poteva aver subito da allora in risposta agli eventi perturbatori esterni (depuratori, idrovore, clima etc.), si ritenne necessario seguirne l'andamento con cadenza almeno quindicinale, per tentare di capire quali fossero le modificazioni indotte più costanti ed identificabili. Ad esempio, una costante rilevata durante tutto il periodo di osservazione è stata la discreta conservazione delle biocenosi in alcune aree marginali del bacino, quelle più distanti o isolate dal circolo generale delle acque.

Sono stati dedicati al lavoro di ricerca due periodi, dal 1991 al 1994 e dal 1995 al 1998. In altra parte di questo volume vengono forniti dettagliati resoconti sulla presenza di nutrienti (P, N) e sulla struttura delle comunità fitoplanctonica, zoobentonica e zooplanctonica.

8.2. Quali problemi affrontare

Le cause del degrado del Massaciuccoli sono state identificate in cinque aspetti principali, tutti collegati allo sviluppo demografico all'interno del bacino ed all'industrializzazione dell'agricoltura (Cenni, 1992, 1994, 1997, Cenni *et al.* 1998):

- *Eutrofizzazione* (apporto di nutrienti, P ed N, dai comparti agricoli e dai depuratori civili)
- *Interrimento* (apporto di sedimenti dai comparti agricoli e naturale deposizione di materiale organico)
- *Salinizzazione* (causata dall'abbassamento del livello estivo del lago sino a - 0,45 m s.l.m.)
- *Presenza di specie esotiche* (*Procambarus clarkii* Girard, consumatore degli steli delle macrofite radicanti, con forte incidenza su tutta la catena trofica)
- *Scarso ricambio idrico* (captazione ad uso urbano dei naturali, scarsi, apporti superficiali).

In questo capitolo si tratteranno questi problemi e la strategia messa in atto per affrontarli a livello periferico, ovvero delle opere messe in atto al di fuori dell'ambiente lacuo-palustre vero e proprio. Per chiarire la differenza fra le opere "periferiche" e quelle "interne" ci si riferisca alla Figura 6. Le opere "interne" verranno trattate nel capitolo 13 dedicato ai progetti comunitari *Life-Natura*.

8.2.1. Eutrofizzazione

Il fenomeno dell'eutrofizzazione, ovvero dell'anomala, e generalmente innaturale, presenza di quantità eccessive di fosforo (P) e azoto (N) negli ambienti acquatici, produce fasi successive di sviluppo dei vegetali sommersi sufficientemente note e descritte da una bibliografia internazionale almeno trentennale, che recentemente ha raggiunto i livelli di definizione teorica maggiore (Golterman & De Oude, 1991; Phillips, 1991; Moss *et al.*, 1996). Le modificazioni indotte nelle acque e nella composizione delle comunità vegetali ed animali sono descritte nella Figura 1.

Come nei sistemi vegetali emersi, una elevata concentrazione di nutrienti induce in acque libere la crescita non più limitata di macrofite e fitoplancton. Le maggiori capacità di utilizzazione della luce e dei nutrienti da parte del fitoplancton, nonché i tempi precoci di fioritura rispetto alle macrofite (Phillips *et al.*, 1978), può condurre ad una densità tale di microalghe in sospensione da ridurre a pochi cm la capacità della luce di penetrare nell'acqua. Per le macrofite di fondale la conseguenza è la progressiva riduzione della possibilità di fotosintetizzare, sino all'arresto, e quindi alla loro scomparsa. Allo stesso tempo il turnover rapido di fioritura e decadimento del fitoplancton consente la deposizione sul fondo di ingenti quantità di materiale organico, risultante dalla morte delle cellule vegetali. L'azione del vento, che riesce a creare onde di 60 - 70 cm di altezza su di uno specchio acqueo di soli 2 metri di profondità, porta alla risospensione di tale materiale e del limo di provenienza agricola, contribuendo alla opacizzazione della colonna d'acqua. È probabilmente questo il meccanismo di degrado che ha modificato il Massaciuccoli negli ultimi decenni.

L'apporto di nutrienti esterni al sistema lacuo-palustre del Massaciuccoli ha quattro origini riconosciute:

- Depuratori
- Agricoltura
- Un allevamento bovino
- Un'industria alimentare

Depuratori

Depuratori mal funzionanti recapitano le loro acque nella rete di canali che conduce al lago. Il depuratore di Vecchiano, che raccoglie anche i reflui di Migliarino e recapita le proprie acque nel canale Barra-Barretta, nel comprensorio meridionale del lago, e il depuratore di Massarosa, che introduce lo scarico nel canale Pantaneto, nella rete di canali ad Est della zona palustre,

presentano storicamente una costante difficoltà a rispettare allo scarico basse concentrazioni di P ed N (vedi capitolo 3). Nonostante gli sforzi delle rispettive Amministrazioni Comunali, la messa a norma degli impianti, date anche le esigenze di minimizzare l'impatto sul Massaciuccoli, non è mai divenuta una realtà, e di conseguenza sia il Parco che ARPAT hanno identificato nell'allontanamento dal bacino l'unica soluzione che metta in sicurezza il lago da tali sorgenti inquinanti. Tale ipotesi ha trovato concretezza nella realizzazione del progetto per la trasformazione del depuratore di Vecchiano in una stazione di pretrattamento e sollevamento, con successivo invio, a mezzo di tubazioni in pressione, al depuratore di S. Jacopo (PI) (vedi capitolo 9). Per quanto riguarda il depuratore di Massarosa i suoi reflui verrebbero invece indirizzati verso Nord, oltre i limiti del bacino, per essere utilizzati nel comprensorio floro-vivaistico dell'entroterra viareggino, ove scarseggia la risorsa idrica per l'eccessivo emungimento dalla falda (vedi capitolo 11). Restano da sanare i numerosi casi, all'interno del territorio comunale di Massarosa, nei quali singole abitazioni non sono allacciate alla pubblica fognatura.

Agricoltura

Una ulteriore occasione di apporto di nutrienti è dovuta all'agricoltura intensiva condotta pressoché in tutte le bonifiche circostanti il lago (Fig. 2).

*Tab.1 Apporti al lago 1995**

	Bonifica Vecchiano	Bonifica Massac.
Fosforo totale	7 tonn.	9 tonn.
Azoto totale	85 tonn.	134 tonn.
Sedimenti terrosi	1433 tonn.	1732 tonn.

*dati del CNR - IGM Bologna

Per ridurre tali apporti il Parco ha utilizzato gli strumenti di programmazione dell'utilizzazione del territorio a sua disposizione. Fra questi, i Piani di Gestione che prevedono, per l'attività agricola delle aree circostanti il lago, alcune limitazioni quantitative nell'uso di concimi fosfatici ed azotati. Allo stesso modo il Parco ha favorito il diffondersi della pratica agricola del "sod-seeding" ovvero semina su sodo, che, risparmiando all'agricoltore la pratica dell'aratura, mantiene il terreno più compatto diminuendone l'erosione e la perdita di nutrienti ad essa connessa.

La perdita di nutrienti dai comparti agricoli è strettamente associata alla perdita di sedimenti. Il progresso ottenuto nella meccanizzazione delle lavo-

razioni agricole ha portato l'utilizzazione percentuale della superficie dei campi ai massimi livelli. Oggi, comunemente, non vengono conservate aree franche dalle coltivazioni come un tempo, quando la difficoltà di ricostituire le fosse di drenaggio fra i campi faceva sì che queste rimanessero stabili ed inerbite, spesso accompagnate anzi da filari di salici e pioppi. Le scoline rappresentano il punto di contatto fra il materiale terroso asportabile dal campo e la rete drenante. A questo livello si realizza l'immissione nelle acque del materiale in sospensione e dei nutrienti particolarmente solubili (azoto in forma N-NO_3^-). Tale materiale, principalmente limoso (Frascati, 1994), ha la capacità inoltre di trasportare, legato chimicamente, anche il fosforo (PO_4^-), notoriamente meno solubile in acqua.

Fra le varie soluzioni ideate per limitare l'enorme apporto di nutrienti e sedimenti al lago, il Parco ha selezionato un progetto che, anziché basarsi sul lagunaggio dei reflui provenienti dai campi, ha impostato il drenaggio delle acque sul criterio della prevenzione. Si tratta di limitare l'ingresso di sedimenti e nutrienti a livello del contatto primario con le scoline, ovvero ai bordi delle stesse, grazie alla realizzazione di una doppia fascia inerbita sulle sue due sponde. Le modalità di realizzazione del progetto sono descritte più avanti in questo volume, nel capitolo 13 dedicato a *Life*.

Un allevamento bovino

La presenza di una stalla con alcune decine di mucche nel piccolo comparto di bonifica di Massaciuccoli è in grado di portare il quantitativo di azoto totale da esso proveniente agli stessi livelli di quello di Vecchiano, che pure si estende su una superficie cinque volte maggiore. Sono state quindi proposte al proprietario possibili soluzioni per limitare l'apporto di azoto alla rete scolante, ma una progettazione definitiva, che dovrebbe avere requisiti di economicità e basso impatto ambientale, non è ancora stata ideata.

Un'industria alimentare

Esiste nel bacino di Vecchiano un'industria manifatturiera di prodotti alimentari che, almeno in un passato recente, ha prodotto scarichi altamente inquinanti. Opportune verifiche devono essere effettuate sulla sua capacità di scaricare reflui accettabili per la qualità delle acque del corpo recettore.

8.2.2. Interrimento

Come detto, la perdita di terreno dai comparti agricoli circostanti il lago è causata dalla mancanza di una loro copertura vegetale costante e porta al ru-

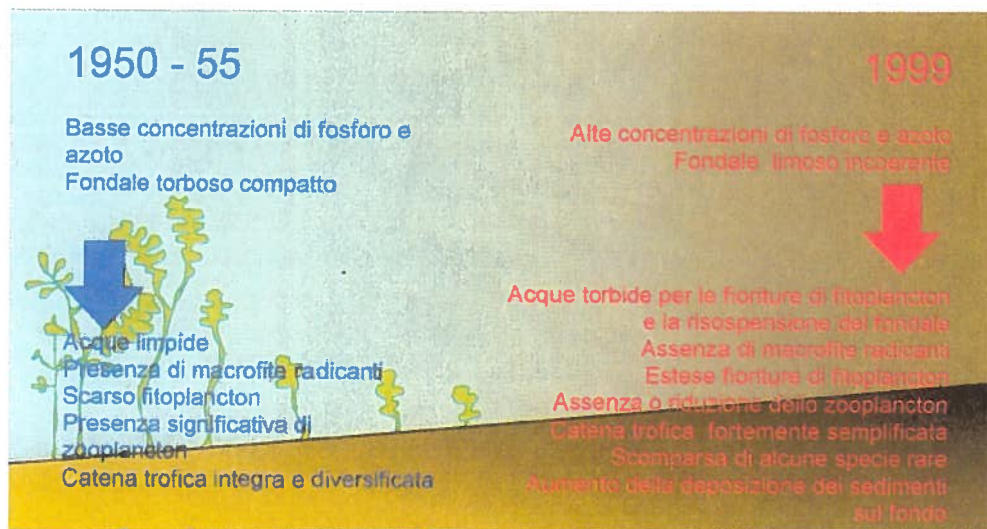


Fig. 1 Lago di Massaciuccoli: evoluzione dello stato 'ambiente sommerso'



Fig. 2 Il pennacchio dei sedimenti che entra nel lago dalla Barra-Barretta

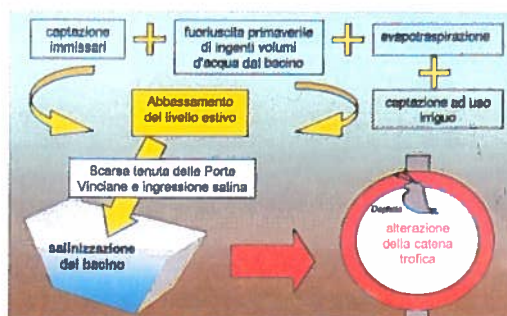


Fig. 3 Cause della salinizzazione

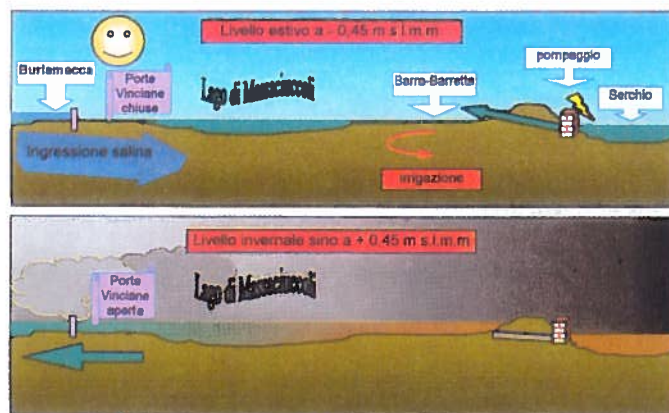


Fig. 4 Situazione idraulica estiva ed invernale nel Lago di Massaciuccoli



Fig.5 L'azione invernale dello scolmatore Bufalina nei confronti dei sedimenti e degli inquinanti (rosso) e gli inputs estivi di acque superficiali (verde).

mc la perdita totale di invaso, facendolo passare dagli originari 11.000.000 mc agli attuali 9.000.000 mc. Questi tassi di interrimento porterebbero il Massaciuccoli alla scomparsa nel volgere di poco più di un secolo. È chiaro che in assenza di tali apporti l'interrimento naturale sarebbe molto più lento.

Il problema del run-off di materiale dai campi, come detto per i nutrienti di origine agricola, trova soluzione nella applicazione del progetto "fasce inerbite" descritto precedentemente come limitatore dell'ingressione di nutrienti. La trasformazione del sistema della rete di scoline e canali in un sistema "fisso", o comunque più stabile, renderebbe da sola molto minore la disper-

scellamento superficiale di moli notevoli di terreno (vedi Tab. 1). Tale asportazione non è costante per tutte le tipologie di terreni che circondano il Massaciuccoli. Ad esempio nella bonifica meridionale si alternano diversi tipi di suoli (Balatri e Buscemi, rapporto al Parco), da quelli torbosi poco erodibili, circostanti il lago e risultanti dalle bonifiche più recenti, ai suoli dell'ansa del Serchio, di origine alluvionale, contenenti poca sostanza organica e molto limo. Sono questi i suoli cosiddetti "sciolti", che misti a sabbia divengono fra i maggiori contribuenti nella cessione di sedimento alle acque. Le particelle di materiale limoso, di tessitura molto ridotta ($< 1/21$ mm), sono estremamente mobili se sospese in un fluido, e riescono a migrare per alcuni Km attraverso la rete drenante senza depositarsi completamente e raggiungendo quindi in parte il Massaciuccoli. È stato stimato il quantitativo di materiale accumulatosi nel lago negli ultimi 37 anni in uno studio recente (Duchi *et al.*, 1995), che ha valutato in 2.000.000

sione di sedimenti nelle acque. L'applicazione del progetto "fasce inerbite" risulta del tutto priva di conseguenze economiche per gli agricoltori della zona, che si vedrebbero anzi interamente retribuita dal progetto l'opera di mantenimento della rete scolante.

Il Parco Naturale, in accordo con il Comune di Vecchiano ed il Consorzio di Bonifica della Versilia, sta inoltre predisponendo una progettazione per invertire il senso del drenaggio delle acque reflue dai territori più alti della bonifica e più prossimi al Serchio, in altre parole quelli più meridionali. Anziché recapitare le proprie acque nel Massaciuccoli, tali terreni sgonderebbero in direzione Sud, nel Serchio, le cui acque non subirebbero importanti alterazioni soprattutto nei momenti di piena, quando la quantità di solidi sospesi è già di per sé altissima.

La realizzazione dello scolmatore del lago attraverso il canale Bufalina consentirà di asportare le acque provenienti dalla Barra, cariche di nutrienti e sedimenti, prima che queste invadano o attraversino completamente il lago durante gli eventi di piena (Fig. 5).

8.2.3. Salinizzazione

La storica diminuzione estiva dei livelli del lago è causata principalmente dalla forte evapotraspirazione (le acque basse raggiungono temperature prossime ai 30°C), dalla captazione degli scarsi immissari pedecollinari e dalla sommaria soluzione idraulica rappresentata dalle Porte Vinciane, le porte a bilico che mettono in comunicazione il sistema con il mare. Un ulteriore aspetto critico per il lago, e che pure è connesso all'attività agricola, è rappresentato dalla captazione estiva per l'irrigazione, soprattutto del bacino meridionale. I minimi estivi conseguenti, che portano il lago sino a quota -40 cm s.l.m., causano il rientro di acque salate dal suo emissario, il canale Burlamacca, sommariamente obliterato contro tale evento dalle Porte Vinciane. La funzione di chiusura è infatti parziale, in quanto il vecchio manufatto permette il rientro di notevoli quantitativi di acque salate, probabilmente anche dalle banchine che incardinano il sistema (Spandre, 1997).

Il Parco e il Consorzio di Bonifica della Versilia propongono la creazione di una cateratta manovrabile che consenta non solo l'eventuale svuotamento di emergenza, ma anche l'aumento della tenuta basale. Un'altra fondamentale funzione sarebbe quella di ritenzione delle acque del bacino contro la loro fuoriuscita primaverile che, in presenza di maree basse, porta in tempi relativamente rapidi (giorni) all'abbassamento del livello sino allo 0 o meno, mentre sarebbe opportuno mantenere livelli positivi di almeno 20-30 cm,

necessari per limitare i citati minimi estivi.

Se da un lato non è possibile contrastare alcuni di questi fenomeni quali l'evapotraspirazione, si può far molto per limitare gli effetti degli altri. Un rimedio che è già stato messo in atto dal Parco è l'inserimento di acque superficiali dal fiume Serchio attraverso il canale Barra-Barretta. Una pompa da 250 l/sec introduce nel bacino acque qualitativamente controllate da una stazione automatica posta nella stessa località (Fig. 4). Il risultato atteso da tale introduzione è duplice.

Da un lato è sperimentale, perché il condizionamento dell'acqua del canale Barra-Barretta nei primi mesi primaverili dovrebbe condurre ad un recupero qualitativo delle sue cenosi naturali.

Dall'altro è una fattiva limitazione del richiamo di acque dal lago nella Barra-Barretta, quando le venti bocchette di presa per l'irrigazione dei comparti agricoli di Vecchiano e Massaciuccoli, che si innestano sullo stesso canale, sono aperte. È ovvio che durante il periodo di irrigazione l'acqua introdotta dal Serchio non riesce in alcun modo a raggiungere il lago, ma la sola azione di diminuzione dell'abbassamento del livello estivo del lago è importantissima per i motivi anzidetti.

8.2.4. Presenza di specie esotiche

Ci si riferisce in special modo alle specie di organismi acquatici che negli ultimi decenni hanno colonizzato il Massaciuccoli, causando problemi di dimensioni diverse (Alessio *et al.*, 1994; Alessio *et al.*, 1997) quanto a sbilanciamento dell'equilibrio trofico del sistema. Fra queste, alcune specie ittiche quali il pesce gatto *Ictalurus melas* (Raf.), il carassio dorato *Carassius auratus* (L.), il persico sole *Lepomis gibbosus* (L.), il persico trota *Micropterus salmoides* (Lacép.) e la gambusia *Gambusia holbrooki* Gir. hanno comunque, per ovvi motivi, interferito tutte con la compagine ittica originaria.

Da segnalare che il persico trota può avere avuto effetti benefici sotto alcuni punti di vista. Essendo infatti un predatore di altri pesci esso ha indubbiamente contribuito, con l'indigeno luccio, *Esox lucius* L., ed in misura minore con altre specie, a diminuire la presenza di specie zooplanctivore, quali il crognolo, *Atherina boyeri* Risso, la gambusia, il triotto, *Rutilus erithrophthalmus* Zer., la scardola, *Scardinius erithrophthalmus* (L.) e molte altre che si comportano come zooplanctivore durante gli stadi giovanili.

Le linee di intervento mirate ad incidere direttamente sulla composizione della compagine ittica devono puntare quindi a favorire la presenza dei predatori ed a ridurre gli zooplanctivori e gli erbivori. Tale azione si presenta non semplice in

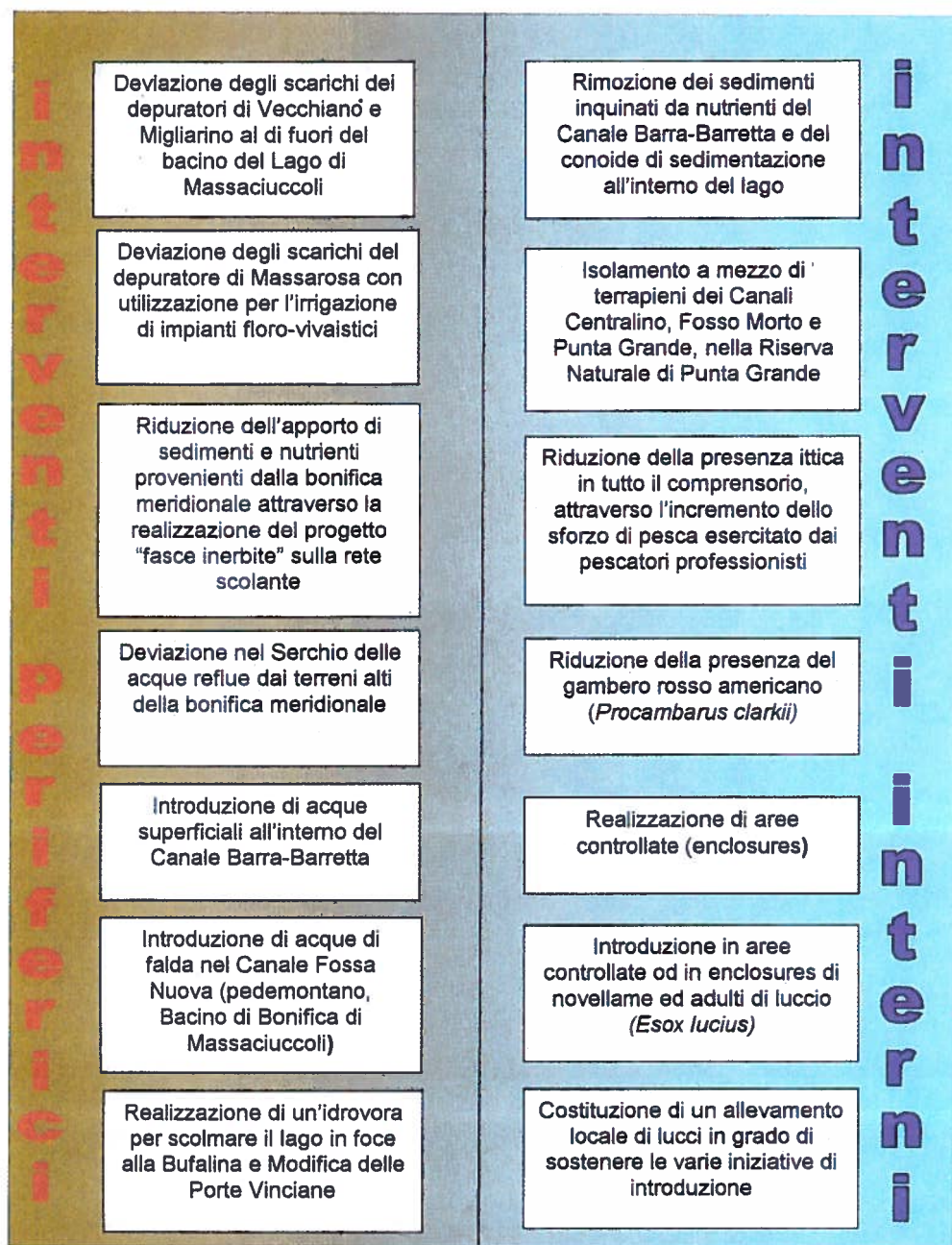


Fig. 6 Il Panorama degli interventi

quanto molte delle specie che hanno impatto negativo su questa alterata catena trofica hanno allo stesso tempo scarso valore economico o alimentare, e vengono generalmente reimmesse in acqua dai pescatori che operano alle bilance.

Per contrastare questa situazione il Parco ha dato in concessione di pesca, a venti pescatori professionisti locali, le acque del Massaciuccoli, coordinandone l'attività per giungere ad una migliore gestione della fauna ittica.

Ma il motivo principale per cui il Parco ha riaperto la pesca professionistica sul Massaciuccoli (il Piano per il Parco la escluderebbe) è la necessità di contrastare la crescita smisurata di *Procambarus clarkii* Girard, il gambero rosso americano, specie esotica americana importata ed immessa nell'ambiente per la trascuratezza di chi gestiva un allevamento abusivo. Il danno causato dalla specie è enorme ed assume diversi connotati, incidendo su tutti gli stadi della catena trofica. È stato rilevato, a datare dal 1995, anno di esplosione del problema, un continuo e netto peggioramento di tutti gli ambienti da esso frequentati, in particolare per la totale scomparsa delle macrofite radicate dai settori marginali del comprensorio palustre. Tali ambienti, che si erano mantenuti in buone condizioni proprio grazie all'isolamento dal circolo generale delle acque ricche di nutrienti e sostanze esogene che investono il bacino, sono ad oggi del tutto assimilabili al resto del comprensorio. Il danno sulle macrofite (*Ceratophyllum*, *Myriophyllum*) è fra l'altro non proporzionale alle reali capacità alimentari del gambero, in quanto esso si concretizza nella semplice brucatura della parte basale dello stelo, a cui segue il distacco ed il galleggiamento della parte superiore della pianta, con conseguente degradazione. In altra parte di questo volume (Capitolo 6) sono descritte alcune precauzioni resesi necessarie per effettuare sperimentazioni con le macrofite all'interno del bacino, senza subire l'influenza del gambero.

L'attività di pesca controllata del gambero è impostata sull'uso di nasse (localmente dette bertovelli) ed i risultati negli ultimi quattro anni sono stati buoni, tanto che si è giunti ad una notevole riduzione della specie in tutto il bacino.

Il Parco sta ora tentando di ampliare tali risultati ricercando un risultato economico per i pescatori anche nel prelievo dei gamberi di piccole dimensioni, non vendibili sul florido mercato che la specie ha, e che vengono oggi reimmessi fraudolentemente in acqua. Questo risultato si può ottenere percorrendo due strade diverse. In primo luogo dedicando delle somme a fondo perduto per l'acquisto dei gamberi sotto taglia (la taglia commerciabile si aggira sui 15 cm) e la diretta distruzione degli stessi. In secondo luogo identificando il pregio commerciale che questi potrebbero avere se utilizzati per l'arricchimento in pigmento rosso (astaxantina) del mangime per le trote salmonate

condotte in allevamento. Un apposito incarico professionale è stato dato dal Parco per eseguire queste verifiche. In questo caso il Parco potrebbe acquistare gli animali e allevarli o venderli dopo aver ricompensato i pescatori.

La meta perseguita è la distruzione della specie.

8.2.5. Scarso ricambio idrico

Gli apporti storici al lago non sono mai stati tali da garantirne il ricambio, ma indubbiamente svolgevano una funzione importante nel mantenere gli ambienti che li ricevevano in buone condizioni, quantomeno per quanto riguarda i punti di introduzione. In ogni caso risultava importante la funzione di ricarica idrica del bacino esercitata durante il periodo estivo. Prima della loro captazione, ad uso idropotabile, la sorgente del Paduletto (Vecchiano, PI) e quella di Villa Spinola (Massarosa) immettevano le loro acque nel lago attraverso la rete di canali che lo circondano, con un apporto che nel complesso si doveva aggirare sui 300 l/sec di acque sorgive. Tale funzione di ricarica viene oggi svolta impropriamente dai depuratori e dalle idrovore, che naturalmente introducono acque di cattiva qualità ed in modo discontinuo, diversamente dalle sorgenti naturali. Come già accennato, nel paragrafo dedicato alla salinizzazione, gli Enti hanno provveduto in parte a limitare il problema del mancato apporto di acque nel periodo tardo primaverile ed estivo grazie ad un impianto di presa da 250 l/sec, localizzato a Pontasserchio (Fig 5). La progettazione è stata eseguita tenendo conto delle indicazioni degli ideatori e realizzando il manufatto di presa in alveo, in modo tale che fosse possibile allocarvi più pompe di sollevamento. Purtroppo l'ottica e le motivazioni dell'opera non sembrano del tutto condivise dalla Regione che dovrebbe provvedere, attraverso il Consorzio di Bonifica, a far funzionare l'impianto. In attesa di ciò i Comuni di Massarosa, Vecchiano, Viareggio ed il Parco hanno provveduto con propri fondi straordinari al suo funzionamento negli anni 1997 e 1998. Non si è al corrente di alcun fondo destinato al suo funzionamento per il 1999.

È in via di realizzazione un accordo con il Consorzio di Bonifica della Versilia per la gestione di questo impianto che tanta importanza ha anche per l'agricoltura del comprensorio.

8.3. Conclusioni

Il panorama degli interventi identificati per il risanamento del lago di Massaciuccoli è individuato nella Figura 6. Fra le opere "esterne" che vi sono elencate molte devono ancora essere ad oggi finanziate:

- deviazione degli impianti di depurazione fuori bacino,
- deviazione nel Serchio delle acque reflue dalle terre alte della bonifica meridionale,
- spese di funzionamento della pompa di presa sul Serchio e suo potenziamento,
- correzione del funzionamento delle Porte Vinciane.

Sono state invece realizzate, nell'ambito degli interventi interni, alcune opere che hanno messo in evidenza la capacità del sistema di reagire positivamente se difeso dagli inquinanti di origine esterna. Fra queste, come meglio descritto nel capitolo dedicato alle opere interne realizzate con il supporto della UE, si ricorda l'isolamento idraulico di alcuni canali posti a Nord del lago, nel comprensorio palustre, che hanno portato ad ottenere un'ottima trasparenza delle acque, dimostrando la negatività delle perturbazioni esterne. Questo risultato, oltre ad avere riportato tali canali (superficie tot. 30 ha ca.) in una condizione di maggiore trasparenza delle acque rispetto al resto del bacino, dimostra l'assoluta necessità di risolvere in primis il problema dell'inquinamento esterno.

Bibliografia

- Alessio G, Baldaccini G. N., Bianucci P., Esteban Alonso J., 1992. *Fauna ittica e livello trofico del Lago di Massaciuccoli: dati preliminari*. In *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa, pp 167 - 180.
- AQUATER, 1980. *Accertamenti ed indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio. II fase*. Min. Agr. E For., Roma.
- Brunelli G., Cannicci G., 1942. *Il Lago di Massaciuccoli*. Boll. Pesca, Piscic. Idrobiol. 16: 5-66.
- Cenni M., 1990. *Risultati negativi di un'indagine sulla presenza della lontra (Lutra lutra L.) nel lago di Massaciuccoli ed osservazioni sull'ambiente*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., ser. B. vol XCI: 233-239.
- Cenni M., 1992. *Restoration of Massaciuccoli lake, Tuscany, Italy*. Assessing and

- monitoring changes in wetland parks and protected areas. Proceedings of a wetland workshop held in the Broads, October 9-13, 1992: 81 -85.
- Cenni M., 1994. *Eutrofizzazione del lago di Massaciuccoli*. Pisa. Parco Naturale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, 223 pp.
- Cenni, M. 1997. *Lago di Massaciuccoli: 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Pisa. Ente Parco Regionale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli.
- Cenni M., Baldaccini G. N., Cini C., Frascari F., Giaconi V., Grazzini A., Pensabene G., Simoni F., Spandre R., 1998. *Lake Massaciuccoli: A Strategic, Sustainable Approach for the Restoration of a Nutrient Enriched Shallow Lake*. Fresenius Envir. Bull. 7: 120 - 127.
- Cini C., 1999. *La distribuzione dei nutrienti nel bacino del Lago di Massaciuccoli*. Firenze. Lago di Massaciuccoli: verso il risanamento.
- Frascari F, Bergamini M. C., Caridei F., Miserocchi S., 1994. *Studio geochimico sedimentologico dei fondali in funzione del ciclo delle sostanze nutrienti nel Lago di Massaciuccoli*. In *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa, pp.41 - 62.
- Golterman H.L. & De Oude N.T., 1991. *Eutrofication of lakes, rivers and coastal seas*. The handbook of Environmental Chemistry. 5: 79 - 124.
- Moss B., 1980. *Ecology of freshwaters*. Oxford.
- Moss B., Madgwick J. & Phillips G.L., 1996. *A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes*. The Broads Authority, Norwich.
- Phillips G., 1991. *A case study in restoration: shallow eutrophic lakes in the Norfolk Broads*. In *Eutrophication of Freshwaters*, Chapman e Hall.
- Phillips G. L., Eminson D. & Moss B., 1978. *A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters*. Aquatic Botany. 4: 103 126.
- Puglisi L. & Cima O., 1995. *Attuale consistenza del tarabuso Botaurus stellaris L. nella palude di Massaciuccoli*. Avocetta 19: 154.
- Spandre R., 1997. *Studio Idrogeologico del bacino del Lago di Massaciuccoli*. In *Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Ente Parco Regionale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa: pp 23 - 91.
- Duchi G., Ferrari R., Matraia M., Viti C., 1995. *Contributo alle conoscenze idrogeologiche sul bacino del Lago di Massaciuccoli*. In *Il Bacino del Massaciuccoli*, IV. Cons. Idraul. di II Categoria Canali Navigabili Burlamacca, Malfante Venti e Quindici. Pisa, pp. 11 - 42.

9. INTERVENTI PER IL RECAPITO DEI REFLUI DEI DEPURATORI DI MIGLIARINO E VECCHIANO FUORI DAL BACINO DEL MASSACIUCCOLI

Amerigo Simi, Rocco Stuchio

9.1. Premessa

Le problematiche connesse alla conservazione dell'ambiente e alla sua salvaguardia sono ormai da anni al centro del dibattito politico e culturale tendente a proporre l'adozione di scelte in cui il rapporto tra sviluppo ed ambiente assume un'importanza prioritaria.

Questo indirizzo ci porta a considerare le politiche ecologiche come elementi prioritari di un complesso in cui collocare e ridefinire la pianificazione del territorio e la qualità della vita, dove lo sviluppo economico - produttivo non può prescindere dalla valutazione di impatto sull'ambiente e sulle risorse naturali. L'impegno di GEA in questi anni ha teso ad affermare una metodologia che contenesse questi obiettivi e che si va concretizzando, in partnership con le Amministrazioni Comunali, verso scelte in cui diventa elemento vincolante il binomio tra strategia operativa e valorizzazione dell'ambiente.

È in questa ottica che si va a collocare il *Progetto consortile per la depurazione delle zone Pisa Nord, S. Giuliano T. e Vecchiano per la salvaguardia del litorale e del Lago di Massaciuccoli*, proposto da GEA, le cui soluzioni tecniche e progettuali sono il frutto della collaborazione e del confronto di idee con i Comuni di Pisa, S. Giuliano T. e Vecchiano, nonché di ARPAT, USL e l'Ente Parco.

Il progetto è stato sottoposto all'approvazione dell'Autorità di Bacino dell'Arno e del Serchio che ne ha condiviso gli obiettivi e le soluzioni proposte.

Il progetto quadro presentato è suddivisibile in stralci funzionali eseguibili, nell'ambito dello schema generale tracciato, i cui parziali benefici sono immediati e singolarmente evidenti.

Il progetto generale di intervento per la depurazione delle acque reflue prevede la dismissione dell'impianto di Migliarino e di Vecchiano, l'allaccio della relativa fognatura all'impianto di San Jacopo, la realizzazione della rete

fognaria di Arena Metato nel Comune di S. Giuliano Terme, la dismissione dell'impianto di depurazione de La Fontina nel Comune di Pisa e l'allaccio all'impianto di S. Jacopo adeguatamente ampliato e potenziato.

L'intervento sopra descritto è stato dettato:

- a) dalle attuali condizioni di esercizio degli impianti esistenti che necessiterebbero di interventi di potenziamento e di realizzazione delle linee di trattamento fanghi
- b) dall'ubicazione degli impianti, in modo particolare per il Depuratore La Fontina che si trova, praticamente, all'interno del contesto urbano creando notevoli problemi ambientali in relazione agli abitanti e alle attività commerciali delle zone circostanti
- c) dai previsti completamenti delle reti fognarie e conseguenti piani di allacciamento:
 - depuratore La Fontina: CNR Area di S. Cataldo, Ospedale di Cisanello, parte di Pisa Nova, frazioni di Asciano, Agnano e Campo;
 - depuratore Migliarino: area artigianale della Traversagna;
- d) dai previsti sviluppi di aree edificabili e di insediamento industriale e artigianale;
- e) dalla volontà dell'Amministrazione Comunale di S. Giuliano Terme di realizzare la fognatura separata delle frazioni di Arena Metato, S. Andrea e Madonna dell'Acqua;
- f) dalla volontà dell'Amministrazione Comunale di Vecchiano di abolire gli scarichi dei propri depuratori con recapito nel Lago Massaciuccoli.

Attualmente i dati di esercizio sono:

- depuratore di Vecchiano:
raccoglie le acque di scarico del capoluogo, di Filettole, Nodica e Avane, abitanti equivalenti serviti n. 9000, portata trattata annua mc 500.000;
- depuratore di Migliarino:
raccoglie le acque di scarico di Migliarino e la zona Industriale-Artigianale, abitanti equivalenti serviti n. 3000, portata trattata annua mc 200.000.

9.2. Obiettivi del progetto

Trasferimento tramite condotta in pressione e centraline di sollevamento delle acque reflue degli scarichi civili ed industriali dei Comuni di Pisa (zona Nord), San Giuliano Terme e Vecchiano, presso un unico impianto centralizzato di depurazione (impianto di S. Jacopo), opportunamente ampliato e adeguato per ricevere una quantità di scarichi civili pari ad una potenzialità

di circa 120.000 - 150.000 abitanti equivalenti e che consenta un miglior controllo e una maggiore garanzia di rispetto degli standards qualitativi dello scarico finale.

Minori impatti ambientali sul territorio derivanti dalla chiusura di tre impianti di depurazione (Vecchiano, Migliarino e La Fontina) prossimi ad aree abitate.

Concorrenza al risanamento dell'ambiente trofico del Lago di Massaciucoli mediante l'eliminazione delle acque in uscita dai depuratori.

Possibilità di completamento e ampliamento delle reti fognarie secondo gli obiettivi delle Amministrazioni Comunali in linea con le direttive comunitarie. In tal senso i Comuni dovranno considerare, nella stesura dei nuovi PRG, sia le aree recuperate che l'area di rispetto dell'impianto consortile.

9.3. Previsioni dei tempi di attuazione

- a) Primo lotto funzionale: realizzazione della fognatura nera delle frazioni di Arena Metato e trasferimento dei liquami dal Depuratore di Migliarino a quello di S. Jacopo, in grado di sopportare tale carico.

Previsione fine lavori entro 2001.

- b) Secondo lotto funzionale: ampliamento delle linee di trattamento del Depuratore di S. Jacopo per aumentare la sua capacità dagli attuali 40.000 ab./eq a 120.000 / 150.000 ab./eq.

Previsione fine lavori entro 2003.

- c) Terzo lotto funzionale che prevede: il progetto del trasferimento dei liquami dal Depuratore La Fontina a quello di S. Jacopo, la dismissione dell'impianto di Vecchiano e il collettamento verso S. Jacopo sulle tubazioni realizzate nel primo lotto.

Previsione fine lavori entro 2004.

9.4. Impianti di Vecchiano e Migliarino: attività preliminari già eseguite

Dalle analisi sul funzionamento degli impianti, eseguite da GEA, è emerso che il carico inquinante delle acque in arrivo è mediamente più elevato di quello per il quale sono stati dimensionati.

A tale proposito il Comune di Vecchiano, in collaborazione con GEA, ha affidato ad ARPAT una campagna di analisi sui liquami in ingresso al fine di valutare le effettive concentrazioni degli inquinanti. Da tali analisi è risultato che il carico inquinante dei liquami è effettivamente più elevato rispetto ad un



normale refluo civile ed è dovuto sostanzialmente alla precisa separazione degli allacci alla fognatura nera con un maggior apporto di solidi che determinano, di norma, anche un aumento delle concentrazioni di azoto e fosforo totale.

In particolare, nell'impianto di Migliarino tale situazione viene aggravata dal fatto che le portate d'ingresso sono molto variabili con punte elevate in alcune ore della giornata, in quanto i liquami vengono pompati direttamente dalle centraline di sollevamento della rete fognaria rendendo impossibile una omogeneizzazione dei liquami stessi.

Inoltre mancava completamente la linea fanghi con conseguente necessità di trasferire gli stessi, tramite autobotti, all'impianto di S. Jacopo, che è dotato di disidratazione meccanica ed ispessimento fanghi.

Tale situazione di precaria efficienza depurativa è stata, negli ultimi tempi, più volte evidenziata in incontri, approfondimenti, ricerche e studi svolti dall'Amministrazione Comunale di Vecchiano insieme all'Azienda GEA, ad ARPAT e alla USL, soprattutto in considerazione che il corpo ricettore dei reflui depurati dei due impianti è il Lago di Massaciuccoli, corpo idrico fortemente atrofizzato e da tempo oggetto di studi finalizzati al suo risanamento.

A tale proposito l'Amministrazione Comunale di Vecchiano insieme a GEA, ARPAT e USL, ha individuato e una serie di interventi nel breve periodo atti a consentire una migliore gestione; in particolare:

Impianto di Migliarino

Le condizioni di funzionamento erano:

- le portate molto variabili con punte elevate in alcune ore della giornata: ciò è dovuto alla presenza di centraline di pompaggio poste sulla fognatura;
- il carico inquinante dei liquami in ingresso elevato, rispetto ad un normale liquame di tipo civile e catalogabile come liquame a concentrazione "forte", in particolare per i parametri COD, ammoniaca.

Dalle analisi sul funzionamento dell'impianto è emerso che il carico inquinante delle acque in arrivo è mediamente più elevato di quello per il quale è stato dimensionato.

Gli interventi di primo miglioramento hanno previsto:

- a) realizzazione di una vasca di equalizzazione e accumulo iniziale che consenta di avere una omogeneizzazione del carico inquinante ed una attenuazione delle portate di punta immesse alle linee di processo. Si è realizzato un accumulo pari al 20-40% del volume medio giornaliero. La vasca è alimentata dalle centraline di sollevamento esistenti poste sulla rete fogna-

ria; di qui il liquame, mediante sollevamento di nuova realizzazione, è pompato alla fase di grigliatura fine e immesso nel ciclo di trattamento esistente.

L'impianto di sollevamento è realizzato con 3 pompe sommerse. La vasca è attrezzata con un mixer sommerso di agitazione.

La vasca realizzata sarà utilizzata quale vasca di accumulo e sollevamento della fase successiva di dismissione del depuratore;

- b) installazione di una centrifuga di disidratazione dei fanghi e della relativa stazione di preparazione e dosaggio del polielettrolita; la centrifuga è installata in un apposito fabbricato realizzato in carpenteria metallica. Sono state realizzate le opere civili connesse con la raccolta e lo stoccaggio dei fanghi disidratati.

Impianto di Vecchiano

Le condizioni di funzionamento erano:

- carico inquinante dei liquami in ingresso elevato, rispetto ad un normale liquame di tipo civile e catalogabile come liquame a concentrazione "forte", in particolare per i parametri COD, ammoniaca.

Dalle analisi sul funzionamento dell'impianto è emerso che il carico inquinante delle acque in arrivo è mediamente più elevato di quello per il quale è stato dimensionato; risulta pertanto difficoltosa la gestione della linea fanghi.

Gli interventi di primo miglioramento hanno previsto:

- a) fornitura e posa in opera di una stazione di disidratazione meccanica realizzata mediante una centrifuga di potenzialità adeguata alla attuale produzione di fango, completa di stazione di preparazione e dosaggio del polielettrolita;
- b) realizzazione di un fabbricato in carpenteria metallica e di un tratto di strada interna sul retro della palazzina per consentire le operazioni di carico e scarico dei cassoni.

I costi complessivi per entrambi gli interventi sono ammontati a lire 160.000.000.

10. LA DISCARICA "LE CARBONAIE"

Vladimiro Giaconi, Alessandro Lippi, Paolo Tacconi

10.1. Premessa

Fra i tanti problemi ambientali che negli ultimi decenni hanno contribuito al degrado del Lago di Massaciuccoli si deve considerare anche la presenza di discariche di rifiuti solidi. Tali discariche, delle quali le più note sono quella di "Pioppogatto" e "Le Carbonaie", sono nate in un'epoca nella quale la discarica era un luogo dove abbandonare i rifiuti e non un impianto tecnologico dove stoccare in modo razionale e definitivo i residui.

La presente nota riguarda la discarica "Le Carbonaie" ubicata nella fascia peripalustre a circa 3500 m dalla costa, verso l'interno oltre il centro abitato di Viareggio.

Il problema della bonifica della discarica è ormai vecchio. Gli enti, le istituzioni, le associazioni, i gruppi, gli uffici, gli esperti e i cittadini che si sono interessati e che si interessano al caso, sono numerosi e con atteggiamenti, opinioni, livelli di conoscenza, esperienza, molto differenziate. Non vi è stata in passato una linea progettuale accettata da tutti senza riserve in ogni sua parte, nè vi sono state condizioni facili per attuare le azioni ed i lavori necessari alla soluzione del problema che, infatti, a quasi dieci anni dalla cessazione dell'utilizzo del sito, non è ancora interamente risolto.

Nella nota vengono esposti, oltre alla storia dell'area ed ai suoi caratteri fisico-ambientali, anche i caratteri della discarica e la soluzione tecnica per la sua bonifica secondo le nuove norme attualmente in vigore, tenendo conto del particolare pregio ambientale del luogo che è parte del Parco Naturale di Migliarino S. Rossore Massaciuccoli.

Queste sono le linee sulle quali, in modo nuovo, le Amministrazioni locali stanno muovendosi per arrivare ad una soluzione di bonifica definitiva in tempi brevi.

10.2. Situazione naturale dei luoghi, lavori di bonifica idraulica e attività estrattive

Nei tempi geologici recenti l'ambiente marino-costiero che caratterizzava l'area ha progressivamente lasciato spazio ad un ambiente deltizio e di dune costiere, con il conseguente avanzamento della linea di costa verso Ovest.

L'interferenza tra i notevoli e discontinui processi di dinamica fluviale e costiera ha creato un ambiente caratterizzato dall'alternanza di paludi, boschi, dune sabbiose.

In tempi storici le prime opere idrauliche di una certa consistenza, atte a regolarizzare e limitare l'estensione delle zone inondate e inondabili, risalgono al Seicento.

È però nel 1931, con l'istituzione del Consorzio di Bonifica, che inizia l'intensa bonifica idraulica del Padule per consentire l'espansione agricola e urbana.

L'altra rilevante causa modificatrice delle caratteristiche naturali dell'ambiente è stata la recente estrazione di sabbie silicee che ha interessato prevalentemente la zona NO del Lago di Massaciuccoli, a NE dell'area di "Le Carbonaie"; mentre le operazioni di bonifica idraulica hanno aumentato la superficie emersa, le escavazioni hanno formato vasti specchi d'acqua di forma irregolare e di varia profondità, dovuti all'emergenza della falda freatica.

L'area in esame è stata ed è tuttora strettamente collegata all'evoluzione del bacino lacustre di Massaciuccoli, che in passato arrivava con le sue acque fino alle colline di Massarosa e ben oltre Viareggio. Ancora in epoca storica l'area in esame faceva parte dell'ampia fascia palustre che cinge il Lago.

Cospicua era la presenza di vegetazione igrofila o palustre nelle zone interessate dall'acqua mentre, nelle zone meno depresse, si avevano estese boscaglie per lo più di ontani, salici e querce.

Dopo gli interventi di bonifica idraulica della prima metà del secolo il suolo è stato prevalentemente adibito a seminativi, seminativi irrigui, seminativi arborati e prati.

La situazione ambientale descritta non differisce molto da quella che si aveva nei primi anni '70, periodo in cui l'area ha iniziato ad essere interessata dai primi scarichi di rifiuti.

L'area è situata in una zona pianeggiante, per lo più priva di insediamenti, al margine occidentale di una zona umida dalla quale è separata dal Fosso delle Quindici. Gli immediati dintorni sono prevalentemente incolti o palustri a N e E, adibiti a seminativi più o meno irrigui variamente interrotti da boscaglie e macchie a S e O-NO.

La regimazione idraulica dell'area è affidata a fossetti disposti in direzione

SO-NE che recapitano nel fosso delle Quindici, nonché a fossi principali con andamento NO-SE.

Il lago di Massaciuccoli dista meno di 1 km dal limite dell'area in esame.

In epoca recente, presumibilmente prima degli anni 60, nell'area sono stati effettuati scavi che apparentemente non seguivano una geometria regolare e che presumibilmente erano finalizzati all'estrazione di torba.

La situazione ambientale appena descritta acquista importanza ai fini della realizzazione della bonifica ambientale, in quanto rappresenta lo stato dell'area nel periodo in cui quest'ultima iniziava ad essere interessata dai primi scarichi di rifiuti.

10.3. Storia dell'attività di discarica e di risanamento

L'inizio dell'attività di discarica non è nota. È presumibile che sia iniziata con scarichi abusivi gettati da ignoti nelle cavità lasciate dalla precedente attività di estrazione della torba. Si suppone che l'inizio risalga agli anni '60. Il Comune di Viareggio utilizzava fin dagli anni '70 una discarica, in un luogo attiguo all'attuale, chiamato località Frasseti.

Lo stesso Comune, nel 1983, avendo esaurito lo scarico in località Frasseti prese in affitto un appezzamento di 2 ettari per adibirlo a discarica in località Le Carbonaie.

La discarica si sviluppò senza uno studio o un progetto specifico, come era consuetudine in quel periodo storico, nonostante l'entrata in vigore, proprio in quegli anni, del D.P.R. n. 915. Nel 1985 l'Amministrazione Provinciale di Lucca autorizzò il Comune di Viareggio per alcuni mesi, in via provvisoria, a gestire la discarica di Le Carbonaie prescrivendo la presentazione di un progetto, completo di studio geologico, per la bonifica ambientale dell'area.

Il primo progetto di "risanamento" fu presentato dal Comune di Viareggio e approvato dalla Provincia di Lucca nel luglio del 1985.

Lunga e complessa è la storia delle successive autorizzazioni, emergenze, richieste e presentazioni di progetti e studi. Le tappe principali sono:

- progetto di bonifica per trasferimento del 1988 approvato nel 1989;
- progetto di bonifica in situ nel 1992;
- nuovo progetto di definitiva bonifica in corso di redazione.

10.3.1. Progetto di bonifica 1988

Il progetto consisteva nella predisposizione di vasche impermeabilizzate e controllate in area limitrofa, nell'asportazione dei rifiuti dalla posizione attuale e loro stoccaggio definitivo nelle vasche.

Le vasche di progetto (tre vasche) sono state realizzate e sono state effettuate anche operazioni di stoccaggio di alcune decine di migliaia di m³ di rifiuti portati dal vecchio cumulo.

Per le note necessità contingenti di smaltimento dei RSU freschi, nel passato, le vasche appena predisposte sono state parzialmente colmate anche con questi rifiuti.

Una variante del progetto, redatta in un momento successivo, prevede la realizzazione di una quarta vasca sul lato Nord di quelle esistenti per supplire alle ulteriori necessità, comprese le volumetrie residue nel vecchio cumulo.

10.3.2. Progetto di messa in sicurezza in situ 1992

Il progetto consisteva schematicamente nel confinare in situ l'attuale accumulo di discarica attrezzandolo anche con un sistema di recupero dei fluidi (biogas e percolato).

Il confinamento superiore avveniva tramite rimodellamento della superficie e sua impermeabilizzazione.

Il confinamento laterale tramite un setto impermeabile profondo 20 metri.

Il confinamento inferiore tramite una barriera virtuale consistente nell'allontanamento a 20 metri di profondità dell'interfaccia falda-percolato e nel suo controllo tramite sistema di monitoraggio.

Il progetto non è stato realizzato.

10.3.3. Nuovo progetto di bonifica

Nel 1995 il Comune di Viareggio riceve dalla Giunta Regionale Toscana, Dipartimento Ambiente, due miliardi di contributo per procedere alla definitiva bonifica dell'area.

Nel 1997 il Comune di Viareggio, in coerenza con la definitiva decisione di non utilizzare ulteriormente l'area per lo smaltimento di nuovi rifiuti, in risposta anche alle sollecitazioni regionali e del Parco di Migliarino San Rossore Massaciuccoli per l'urgente bonifica del sito, volendo addivenire alla bonifica dell'area secondo le nuove norme tecniche entrate in vigore qualche anno prima, decide di formulare le necessarie modifiche e adeguamenti al progetto di bonifica che prevedeva il trasferimento di rifiuti nelle vasche impermeabilizzate.

L'insieme degli studi, delle indagini, delle progettazioni e della parziale

realizzazione delle opere ha portato alla situazione attuale che vede, purtroppo, la vecchia discarica ancora presente e alcune vasche non utilizzate.

10.4. Caratteri fisici del sito

10.4.1. Caratteri litologici

Il substrato, fino ad una profondità di circa 30 m dal piano campagna, è costituito da sabbie medio-fini, localmente più o meno limose.

Da tale profondità si passa gradualmente a limi e quindi ad argille sempre più o meno sabbiose.

Intorno ai 40 m di profondità dal piano campagna si rilevano livelletti torbosi.

Relativamente al vecchio cumulo, il contatto RSU-terreno in posto è di difficile definizione perché probabilmente la superficie di appoggio del vecchio cumulo ha subito, almeno localmente, escavazioni e rimovimentazioni successive di terreno e rifiuti.

In affioramento e con buona probabilità immediatamente sotto la superficie basale delle nuove vasche, sono presenti materiali con scarse caratteristiche meccaniche costituiti da riporti, rifiuti e terreni con abbondante componente organica.

10.4.2. Caratteri idrogeologici

Le sabbie che costituiscono il sottosuolo della discarica sono sede di una falda freatica contenuta alla base dai livelli di argille con torba presenti a profondità variabili da 32 a 46 m.

L'area di ricarica della falda, localizzata lungo l'asse del cordone dunale caratterizzata da quote di falda superiori a 1,5 m sul livello del mare, costituisce una parziale barriera idraulica all'ingressione di acque marine in falda.

Dall'asse dunale, che si comporta da spartiacque sotterraneo, partono due deboli flussi idrici (gradiente idraulico dell'ordine di 0,2 m/km) in direzione mare e area palustre.

A Est del Fosso Trogola è localizzata un'ampia area con livello di falda depresso al di sotto del livello del mare (-0,5 m).

La depressione della falda a Est della discarica è da attribuirsi ai pompaggi delle idrovore per la bonifica che attivano il deflusso sotterraneo verso la zona Nord del lago.

La falda è in connessione idraulica sia con i fossi che dal Lago di Massaciuccoli uniscono le acque verso Nord al canale Burlamacca (fosso Quindici,

Fosso Trogola), sia con gli specchi d'acqua prodotti dall'attività di escavazione di sabbie silicee ubicati poco a Est del Fosso Quindici.

10.5. Caratteri di inquinamento ambientale

Le indagini e le determinazioni chimiche effettuate sinteticamente, raccolte ed analizzate nel nuovo progetto di bonifica della discarica, riguardano i rifiuti ed i terreni immediatamente sottostanti, le acque superficiali e le acque sotterranee.

10.5.1. Rifiuti

In tutti i campioni analizzati si ritrovano quantità consistenti di carbonio organico, che risulta mediamente presente tra il 10 ed il 25%.

Il dato non sorprende, in quanto in tutti i campioni sono stati accertati visivamente evidenti frammenti, anche di dimensioni notevoli, di legname, materiali plastici e manufatti tessili.

Elevata risulta ancora la concentrazione di azoto totale, specialmente in rapporto alla frazione ammoniacale.

Lo stesso si può dire per il fosforo totale in rapporto ai fosfati, che sono risultati, per tutti i campioni, presenti in quantità inferiore al limite di rilevanza del metodo analitico utilizzato.

Per lo zolfo invece il rapporto con i solfati assume un valore che solo in due casi è lievemente superiore a dieci, mentre mediamente si mantiene attorno a due.

È interessante notare come il rapporto tra carbonio ed azoto risulti compreso tra i valori 4,5 e 17,5, con valore medio di 9,4, assai prossimo ad 8, indicato in genere in letteratura come valore proprio della sostanza organica contenuta in campioni di RSU.

I valori per il carbonio organico, attestanti di media attorno al 20%, tenuto conto del metodo utilizzato per la determinazione (digestione con bicromato all'ebollizione), sono in accordo con i dati reperibili in letteratura, per giacenze di RSU di circa 10-15 anni, se si ammette per la trasformazione del carbonio organico una cinetica di reazione del primo ordine, e un contenuto, nel rifiuto fresco, compreso tra il 30 e il 35%.

10.5.2. Acque dei piezometri del vecchio cumulo

Per ogni piezometro sono stati prelevati due campioni a quote ubicate al di sopra e al di sotto del piano campagna.

In generale si può affermare che:

- i valori di concentrazione, per molti parametri, sono crescenti all'aumentare della profondità del campione;
- tutti i campioni risultano avere elevata salinità.

Il confronto tra i risultati analitici ottenuti sulle acque prelevate dai piezometri del vecchio cumulo e quelli rilevati sulle acque di percolazione dei rifiuti delle nuove vasche, pone in evidenza come le acque sottostanti il vecchio cumulo di rifiuti risultino in media notevolmente più ricche non solo di sali inorganici disciolti, di composti ossidabili (COD) e di azoto ammoniacale, ma presentino anche indici più elevati di contaminazione da metalli pesanti quali ferro, cromo, piombo e rame.

In definitiva potremo definire le acque prelevate dai piezometri una sorta di "concentrato di percolato".

10.5.3. Acque dei piezometri e dei fossi esterni al vecchio cumulo

Qualitativamente migliori delle precedenti sono risultate le acque prelevate da quattro piezometri esterni, e dai fossi che circondano su tre versanti il cumulo dei rifiuti.

Considerando i valori medi di ciascun parametro per le due serie di campioni (piezometri e fossi), risulta che gli stessi sono inferiori a quelli riscontrati per il percolato, con eccezione dell'azoto ammoniacale e dei solfati.

10.5.4 Percolato delle nuove vasche impermeabilizzate

I valori riscontrati possono essere ritenuti quelli tipici di un percolato di discarica di rifiuti solidi urbani, di età superiore a 10-12 anni.

10.6. Valutazione del contributo allo stato di contaminazione ambientale dovuto alla presenza del vecchio cumulo di RSU

Il quadro generale che emerge attualmente non è dissimile da quello tracciabile con i dati disponibili, provenienti da precedenti indagini.

Il confronto tra i risultati ottenuti sui campioni di rifiuto con quelli rilevati nel corso della campagna del 1991, ad esempio, non rivela, per il carbonio organico, l'azoto, il fosforo e lo zolfo, variazioni nel contenuto in misura tale da poter far ritenere che la massa dei rifiuti possa considerarsi prevalentemente mineralizzata.

Se inoltre esaminiamo i risultati ottenuti sui principali parametri caratterizzanti il percolato primario di discarica (sostanze organiche espresse

come COD, azoto ammoniacale e cloruri), ci accorgiamo che questi sono in accordo con quelli rilevati dai periti nel corso della consulenza tecnica d'ufficio disposta dalla Procura della Repubblica di Lucca, negli anni 1993-1994, tenuto conto della variazione nel tempo di tali parametri nel passaggio dalla fase di degradazione acida a quella metanigena dei rifiuti.

Anche lo stato di contaminazione delle acque di falda sottostanti il cumulo dei rifiuti appare fortemente alterato, specialmente per la presenza di elevate quantità di sali minerali disciolti, di sostanze ossidabili ed azoto ammoniacale.

Consistente risulta anche la presenza di alcuni metalli come il ferro, il cromo, il nichel ed il piombo, caratteristica di questa tipologia di percolato.

Tale stato di contaminazione permane, anche se in modo meno massiccio, anche nelle acque superficiali e di falda limitrofe - che saranno assunte come bianco di riferimento in fase di bonifica - come del resto fu evidenziato nella perizia tecnica d'ufficio del 1994, nella quale furono evidenziati chiari indici di contaminazione, specialmente da metalli pesanti, nei pozzi spia, posti rispettivamente ad 800 metri e a 2 km a sud del vecchio cumulo discarica.

A convalidare lo stato di contaminazione dell'ambiente idrico, che comunque appare avere uno sviluppo prevalente in senso verticale piuttosto che una diffusione in quello orizzontale, può essere utile fare rilevare che, considerando i valori medi calcolati per i fossi e per i piezometri esterni al vecchio cumulo, appaiono rispettati per i metalli pesanti - ad eccezione del ferro - per i nitrati e per i solfati, i limiti del D.P.R. 515/82-Colonna A3, e del D.P.R. 236/88, mentre gli stessi sono superati per i parametri conducibilità, COD, azoto ammoniacale e cloruri.

In sintesi, appare evidente l'inquinamento anche intenso delle acque di falda sotto e nell'immediato intorno della discarica, nonché un più lieve inquinamento delle acque superficiali limitrofe. Tale inquinamento si attenua velocemente a brevi distanze dalla discarica stessa in accordo con i caratteri idrogeologici che indicano una circolazione delle acque di falda molto lenta e limitata.

10.7. Descrizione sintetica degli adeguamenti e modifiche da apportare al progetto di bonifica

Il nuovo progetto di bonifica è stato impostato seguendo l'approccio interdisciplinare previsto dalle norme tecniche della Regione Toscana attualmente in vigore.

Tali norme prevedono di considerare in modo prioritario e strettamente coordinato i tre aspetti ambientalmente più rilevanti: chimico, geologico e ingegneristico. Tale approccio interdisciplinare deve seguire tutto l'iter dall'impostazione degli studi e dei rilievi fino allo sviluppo del progetto, alla realizzazione della bonifica e al recupero ambientale successivo.

Il risultato di tale approccio è stato una conferma delle linee essenziali del vecchio progetto con alcune importate variazioni di notevole peso sugli effetti ambientali della Bonifica.

Il primo problema di adeguamento del progetto è relativo ai volumi. Infatti da un lato, dopo la redazione del vecchio progetto, si sono aggiunti ulteriori volumi di rifiuti; dall'altro il vecchio progetto niente diceva a proposito dei rapporti base discarica-superficie-topografia-falda.

Dopo le indagini effettuate risulta quanto segue:

- il volume del vecchio cumulo, posto sopra quota +0,5 (piano di campagna), è stimato in circa 400.000 m³;
- il volume posto sotto quota +0,5 fino ad un massimo di 3,5 m di profondità (quota -3 m s.l.m.) è stato stimato in circa 73.000 m³. Tale volume si trova pressochè tutto sotto il livello di falda;
- il volume totale dei rifiuti presenti nel vecchio cumulo è di circa 473.000 m³.

I volumi da asportare subiranno un aumento dovuto sia alle necessità di asportare meccanicamente i materiali senza la possibilità di scegliere nei particolari i rifiuti dal terreno (problema che porta il volume totale a 520.000 m³), sia all'aumento di volume che i materiali subiranno con la loro movimentazione e che non riprenderanno completamente dopo compattazione (aumento che porta il volume totale da 520.000 a 570.000 m³).

Il problema dei volumi, nel nuovo progetto, viene risolto ampliando la vasca attualmente non utilizzata verso l'area della vecchia discarica, una volta asportati parzialmente i rifiuti dal vecchio cumulo.

Il secondo problema consiste nella rimozione dei rifiuti sottofalda (non previsto nel vecchio progetto). Tale problema viene risolto operando come segue: partendo dal lato nord del vecchio cumulo si asportano i rifiuti a tutta altezza fino quasi al piano di campagna; a questa quota si forma un piazzale di dimensioni limitate dal quale opera un escavatore che preleva i rifiuti sottofalda e li deposita sul piazzale dal quale successivamente vengono asportati.

Via via che si avanza con gli scavi si colma il cavo con materiale granulare fino al piano di campagna attuale, mantenendo i cavi delle dimensioni minime necessarie all'operatività delle macchine e mantenendo la falda depressa

di qualche centimetro rispetto alle aree limitrofe tramite pompaggio per evitare la diffusione degli inquinanti.

Nel primo settore dell'area così bonificata e consolidata si realizza l'ampliamento della vasca necessaria a stoccare la totalità dei rifiuti.

Al termine delle operazioni di bonifica l'area del vecchio cumulo costituirà, per la parte non interessata dall'ampliamento delle vasche esistenti, un piano stabile ed eventualmente riutilizzabile.

Il nuovo cumulo potrà essere, senza prevedere grandi progetti e strutture, un punto di osservazione sull'area palustre, che presenta aspetti paesaggistici e naturalistici di notevole interesse.

In ogni caso l'area sarà definitivamente bonificata eliminando l'attuale permanenza di una sorgente di inquinamento non in regola con le norme e le leggi attuali, ma soprattutto assolutamente incompatibile con la presenza del Parco Naturale di Migliarino San Rossore Massaciuccoli.

Bibliografia

- Tacconi P., (1982), *Criteri di progettazione di discariche controllate in ambiente collinare*, Atti Convegno Nazionale "La Discarica Controlla"; Firenze, maggio 1982, pagg. 795-829; (Dipt. Ing. Civ. Sez. Geol. Appl. Pubbl. n. 1/84, Firenze, pagg. 1-22).
- Tacconi P., (1983), *Problemi per lo smaltimento dei fanghi in ambiente collinare*, Atti Conv. Naz. "Fanghi di risulta degli impianti di depurazione: metodologie di utilizzo e smaltimento" Società Chimica Italiana, Firenze, (Dip. Ing. Civ. Sez. Geol. Appl., Firenze, Pubbl. n° 6/84, pagg. 1-12).
- Tacconi P., (1987), *Gli impianti di discarica controllata per lo smaltimento dei rifiuti: momenti, livelli, ruoli e metodi di Valutazione di Impatto Ambientale*, Atti del VI Congresso dell'O.N.G., Fondazione Cini, Venezia, pp. 115-133.
- Tacconi P., (1991), *The Sheltered Landfill: "A new environmental protection technique for sanitary landfilling"*, Third Int. Sympo, Sardinia 91.
- De Paoli B., Granata R., Hautmann G., Tacconi P., (1993), *Confinement of hazardous waste by composite vertical cutoff walls*, International Conference the environment and geotechnics, Paris.

Tacconi P., Benci L., (1994), *Risanamento in situ di vecchie discariche con rifiuti tossici e nocivi sotto falda*, VIII Congresso Nazionale del Consiglio Nazionale dei geologi, Roma.

Tacconi P., (1995), *Principi ordinatori e linee guida per la bonifica delle discariche minerarie nella Toscana*. Atti della I conferenza sullo stato dell'ambiente in Toscana - Atti della I° Conferenza Regionale sullo stato dell'ambiente in Toscana Vol. 2 - p. 41-66, Firenze.

Del Prete R., Lorenzo P., Tacconi P., (1996), *Condizioni di pericolosità per discariche di RSU poste su pendii instabili in Basilicata*, Atti del V Conv. Naz. Geol. Appl., Cagliari.

11. RISTRUTTURAZIONE DEL DEPURATORE DI MASSAROSA IN FUNZIONE DEL RIUTILIZZO DELLE ACQUE IN AGRICOLTURA

Vladimiro Giaconi

11.1 Premessa

Gli studi e le ricerche fino ad oggi svolte hanno ampiamente dimostrato che l'immissione nel lago di Massaciuccoli di scarichi depurati e non, derivanti dagli insediamenti civili che gravitano sul bacino imbrifero del lago, costituiscono una delle cause di maggiore rilievo nel favorire lo sviluppo di fenomeni di ipertrofia che attualmente caratterizzano le acque del lago.

Di particolare rilievo è il contributo che deriva dalle immissioni prodotte dagli insediamenti civili del comune di Massarosa, attualmente dotato di un impianto di depurazione la cui potenzialità non supera il 50 % del carico inquinante convogliato dalla rete fognaria.

Ogni giorno circa 3500 mc di liquami, sommariamente depurati nei limiti di cui alla tabella K della L.R. 5/86, riversano nel lago di Massaciuccoli attraverso il canale Pantaneto un carico di nutrienti rilevante che può essere stimato in circa 1-2 e 15-20 tonnellate/anno rispettivamente di fosforo e di composti azotati.

La soluzione prospettata dal comune di Massarosa si presenta di notevole interesse tecnico e ambientale, elimina qualsiasi contributo di inquinamento al lago e contestualmente, nell'ottica del riuso delle acque depurate, fornisce un servizio di approvvigionamento idrico ai floricoltori della zona da anni in grave difficoltà per le carenze idriche del sottosuolo interessate dal fenomeno del cuneo salino.

Il progetto pertanto si caratterizza e si distingue per quattro aspetti:

- a) miglioramento della qualità dell'effluente le cui caratteristiche chimico fisiche e biologiche dovranno rispettare i limiti di cui alla tabella A della legge 319/76;
- b) eliminazione di qualsiasi apporto inquinante al lago;
- c) utilizzazione delle acque depurate nel settore orto-floro-vivaistico;

d) riequilibrio della falda interessata per eccessivi emungimenti superiori alla capacità di ricarica della falda dal fenomeno del cuneo salino.

Considerato che il bando per l'affidamento dell'incarico di progettazione relativo all'ampliamento, alla ristrutturazione dell'impianto di depurazione ed alla riutilizzazione delle acque depurate è scaduto da poco, sarà possibile esporre solo gli orientamenti, gli indirizzi e gli obiettivi della progettazione in quanto le soluzioni tecniche specifiche sono ancora da individuare.

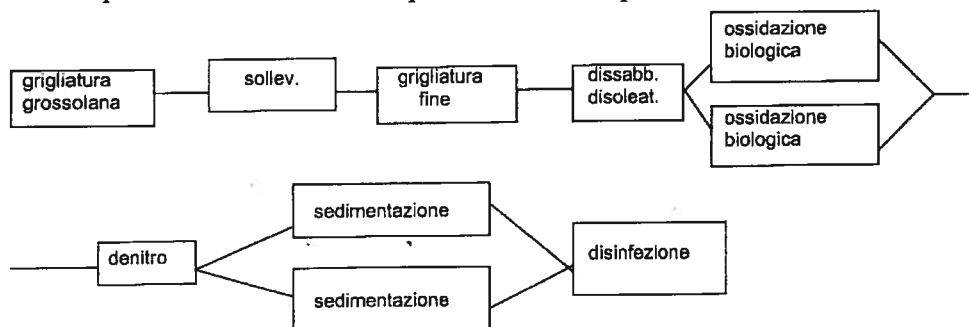
Il progetto si realizza attraverso tre interventi distinti ma coordinati tra loro:

1. ristrutturazione ed ampliamento dell'impianto di depurazione del comune di Massarosa;
2. realizzazione di una condotta di spinta a pressione che travasi le acque depurate ad un serbatoio di distribuzione;
3. realizzazione della rete di distribuzione alle aziende orto-floro-vivaistiche delle acque depurate.

11.2. Ristrutturazione impianto di depurazione

I valori dei parametri riportati nella tabella, che rappresentano le caratteristiche chimico-fisiche medie dell'effluente dal depuratore di Massarosa, indicano che la qualità dello scarico è tale da costituire una fonte considerevole di inquinamento per il lago e da non consentire l'uso per scopi irrigui. Da qui la necessità di prevedere un potenziamento ed una complessiva ristrutturazione con il duplice obiettivo di avere un effluente le cui caratteristiche chimico fisiche batteriologiche non solo rispettino i limiti della tabella A allegata alla legge 319/76, ma siano nel contempo tali da consentire il particolare uso irriguo nelle aziende della zona.

L'impianto dovrà avere una potenzialità complessiva di circa 16.000 abi-



tanti equivalenti, e si prevede un costo intorno a 2 miliardi e 500 milioni con tempi di realizzazione non inferiori a 24 mesi.

La fase di ristrutturazione ed ampliamento dell'impianto prevede, per motivi di costi, la realizzazione di un sistema a due moduli, secondo lo schema sopra riportato, con alcuni comparti in comune per una migliore integrazione dell'esistente. In pratica si prevede il raddoppio della vasca di ossidazione, la realizzazione di un comparto anossico adibito alla denitrificazione del liquame in uscita dal biologico, ed il raddoppio del sedimentatore finale.

In ultimo è previsto un trattamento terziario di disinfezione e filtrazione del liquame con lo scopo di abbattere le cariche batteriche prima del riuso a scopi irrigui. La tecnica di disinfezione ottimale, in relazione al particolare riutilizzo dell'effluente, dovrebbe essere il trattamento con raggi UV in quanto garantisce l'abbattimento delle cariche batteriche senza l'utilizzo di prodotti potenzialmente tossici per le colture.

11.3. Condotta di trasporto delle acque depurate ai serbatoi di distribuzione

Nell'area di pertinenza dell'impianto di depurazione delle acque civili (del capoluogo) di Massarosa saranno realizzati una stazione di spinta ed il punto di presa della condotta in pressione per vettoriare l'acqua di scarico, opportunamente depurata e trattata, dal capoluogo a Montramito ove è previsto il deposito di stoccaggio.

Per superare il dislivello tra le quote di uscita del depuratore e la zona di Montramito le acque dovranno essere sollevate da una vasca di accumulo per mezzo di un impianto costituito da tre elettropompe centrifughe ad asse verticale, con idonee caratteristiche di portata e prevalenza, per modulare il funzionamento dell'impianto alle variazioni della portata in uscita dal depuratore. La condotta, che si sviluppa per circa 4000 metri, è prevista in acciaio, rivestita esternamente ed internamente in cls centrifugato, protetta dai fenomeni corrosivi con impianto attivo di protezione catodica, simile al tipo di protezione adottato per le condotte in acciaio dell'acquedotto per uso potabile. Il diametro previsto della condotta è DN 200 e la posa è prevista interrata.

Il tracciato segue parallelamente la condotta esistente dell'acquedotto per uso potabile che dal depuratore del capoluogo attraversa strade secondarie e strade poderali, e attraverso proprietà private segue un percorso interno fino a raggiungere Montramito: ciò facilita l'esecuzione dell'opera, con interferenze minime sulla viabilità principale.

Per la sicurezza della funzionalità dell'impianto, la stazione di pompaggio sarà attrezzata con un gruppo elettrogeno d'emergenza.

11.4. Serbatoio di stoccaggio e rete di distribuzione alle aziende florovivaistiche

La condotta in località Montramito sarà collegata agli impianti progettati dal Consorzio di Bonifica per l'ipotizzata utilizzazione in campo agricolo delle acque captate dalla galleria drenante della sorgente di Montramito. L'impianto prevede una piccola stazione di sollevamento ad un torrino piezometrico posto sul monte Gulfa a quota + 35.00 m s.l.m., da cui parte la condotta principale di adduzione in pressione che successivamente si ramifica in rete capillare di distribuzione alle aziende floricole della zona del Brentino.

La portata adottata sarà graduata in funzione della richiesta grazie all'installazione nella stazione di sollevamento di tre elettropompe centrifughe ad asse verticale. La portata massima prevista sarà di 60 l/s, pari alla portata media della sorgente; durante i periodi di scarsa richiesta, o per portate della sorgente superiori, la canaletta in cls esistente all'ingresso della galleria farà da sfioratore versando l'acqua nel laghetto antistante.

Il torrino piezometrico eviterà il ripercuotersi delle sovrappressioni e depressioni dovute ai continui attacchi e stacchi delle elettropompe, in tutta la rete di distribuzione, e quindi all'utenza, a vantaggio del regolare funzionamento dell'acquedotto e di una maggior durata delle pompe. La quota dell'acqua nel torrino sarà tale da garantire all'utenza idraulicamente più sfavorita la pressione necessaria per l'allaccio.

La condotta adduttrice avrà un DN 300, e nel tratto che va dalla stazione di sollevamento al ponte della Sarzanese, sul fosso Gora di Stiava, verrà posata dentro una canaletta in cls del Consorzio della Bonifica, che serviva fino agli anni 50 per irrigare con la stessa acqua della sorgente di Montramito la campagna circostante. In tal modo si ridurranno al massimo i costi per eventuali servitù o espropri dovuti al passaggio della condotta.

Lo stesso criterio ha guidato la scelta del tracciato della condotta adduttrice posta lungo l'unghia dell'argine sinistro del Fosso Gora di Stiava, lato campagna, cioè su terreno demaniale.

Dopo un percorso di circa 2.080 m lungo l'argine sinistro del Fosso Gora di Stiava, in corrispondenza di via Poggio alle Viti prima e via dei Pioppi poi, attraverso la Gora di Stiava, si dipartono due condotte secondarie, anch'esse in acciaio.

La condotta di via dei Pioppi sarà posata sotto la sede stradale, mentre quella lungo via Poggio alle Viti potrà essere posata dentro la sponda del fosso omonimo, con risparmio dei costi necessari per il ripristino del manto stradale.

La condotta secondaria lungo via Poggio alle Viti servirà le aziende floricole che sono poste nella zona del Brentino, ad est dell'autostrada Sestri Levante-Livorno, per una superficie agricola totale pari a 28 ha circa, mentre la secondaria lungo via dei Pioppi servirà le aziende floricole che si trovano ad Ovest dell'autostrada, per una superficie totale pari a 17 ha circa.

La scelta tecnica di posare due condotte secondarie, dividendo idraulicamente la zona del Brentino in due parti, permetterà al Consorzio di Bonifica, nei periodi di minima portata del depuratore e di magra eccezionale della sorgente, di garantire ugualmente, con un appropriato turno di adacquamento, il servizio alle aziende floricole allacciate.

I diametri delle condotte distributrici saranno proporzionali secondo le portate di massima richiesta contemporanea delle aziende da servire, in modo che all'utenza idraulicamente più sfavorita risulti una pressione minima di almeno 2 atm.; ogni azienda floricola sarà servita con valvola limitatrice e ciascuna dovrà dotarsi di una vasca di accumulo. Lungo le condotte distributrici in acciaio con rivestimento bituminoso pesante nei diametri DN 100 e DN 8 verranno eseguiti gli allacci alle aziende floricole.

Ricordando che il volume massimo di adacquamento giornaliero calcolato per la zona in esame è pari a circa 115.000 l/ha x g e che l'estensione del terreno agricolo è pari a circa 45 ha, risulta possibile erogare costantemente, nel periodo di massima richiesta, una portata di circa 1 l/s x ha, mentre se consideriamo il volume di adacquamento medio pari a 90.000 l/ha x g, si potrebbe erogare fino a circa 1,30 l/s x ha.

12. LE OPERE DEL CONSORZIO DI BONIFICA VERSILIA-MASSACIUCCOLI: LORO VALENZA IN DIREZIONE DEL RISANAMENTO

Leonardo Giannecchini

12.1. Descrizione del bacino idrografico

Le acque di pioggia che cadono sulla superficie di circa 8.640 ha, delimitata a sud dal Serchio, a Nord dalla Via di Montramito, a Est dal crinale delle colline di Vecchiano e Massarosa e a Ovest dalla linea che costeggia dapprima la ferrovia Genova - Pisa in Comune di Viareggio, poi la Via Aurelia in Comune di Vecchiano ed infine una porzione della proprietà Salviati, si raccolgono nell'invaso costituito dal lago e dal padule di Massaciuccoli.

Detto recipiente, avente una superficie di circa 1890 ha, è delimitato a Nord dalle arginature circondariali delle bonifiche di Massarosa, Portovecchio e Quiesa, ad eccezione di due piccole insenature in cui l'area palustre si spinge fino a lambire le colline Massarosesi, a Sud dalle arginature circondariali delle bonifiche di Massaciuccoli Pisano e di Vecchiano, e a Ovest dai terreni più alti del bacino di bonifica a levante di Viareggio.

Dal bacino lacuo-palustre le acque vengono recapitate in mare attraverso due emissari a scolo naturale: il Canale Burlamacca ed il fosso Bufalina. Quest'ultimo, mentre costituisce un valido sistema di sgrondo per le aree circostanti, funziona come emissario del lago solo in particolari circostanze dato il continuo insabbiamento della foce, anche con moto ondoso di piccola entità, e date anche le modeste dimensioni dell'alveo. Durante le mareggiate lo scolo naturale attraverso i due emissari è impedito fino a quando i livelli del lago tornano a superare quelli del mare. In questo periodo transitorio il bacino scolante nel lago si amplia includendo anche aree del Comune di Viareggio ad Est della ferrovia e del Comune di Vecchiano a Sud della Bufalina.

Gli immissari del lago sono i vari rii collinari, fra cui i più importanti sono la Fossa Nuova, il canale di acque alte Massarosa, il fosso Riaccio o Rio Nuovo, il rio Tre Gore, l'Annarosa ed il Rio di Colle.

A questi si devono aggiungere le acque scaricate dalle sei idrovore a servizio dei circa 3.100 ha di bonifica a scolo meccanico, e dai fossi a servizio delle aree di gronda a quota superiore ai normali livelli del lago, aventi una superficie di circa 1.750 ha.

12.2. Opere di bonifica di competenza del Consorzio.

Con delibera del Consiglio Regionale n. 415 del 3.10.1989 sono stati accorpati al comprensorio di bonifica della Versilia il bacino compreso fra il Burlamacca e Torre del Lago ed al comprensorio di bonifica del lago e Padule del Massaciuccoli (Bacino Meridionale Pisano) la Macchia di Migliarino, per la parte compresa tra la Bufalina ed il Serchio.

Con delibera del Consiglio Regionale n. 433 del 29/12/1997 il comprensorio del Lago e del Padule di Massaciuccoli è stato accorpo al comprensorio della Versilia. Un unico Consorzio quindi attualmente gestisce le opere di bonifica del bacino intorno al lago.

Queste sono costituite principalmente da:

- 6 impianti idrovori, con una capacità massima di sollevamento di circa 24.6 mc/s
- 15,1 km di argini circondariali;
- 74 km di canali di acque alte;
- 125 km di canali di acque basse;
- 20,4 km di strade;
- numerosi manufatti quali opere di presa per irrigazione, cateratte, sifoni ecc.

In applicazione della L.R. 34/94 il Consorzio di Bonifica Versilia-Massaciuccoli dovrà in tempi brevi ampliare la propria operatività sull'intero comprensorio n. 11 "Versilia" di ha 37.752 (quindi anche sulle zone collinari e montane), oltre che sull'intera area di Filettole.

In tal modo un unico Ente gestirà le opere di bonifica e le opere idrauliche dell'intero bacino idrografico del lago di Massaciuccoli.

12.2.1. Bufalina

Una larga porzione dei territori di bonifica a sud della Via di Montramito (oltre 3.000 ha) è soggiacente alle acque del lago. In molte aree il battente fra le quote del terreno ed i livelli di piena dell'invaso lago-padule supera i tre metri.

La messa in sicurezza di questi territori dal rischio di allagamento per insufficienza o crisi delle difese arginali può essere ottenuta in tempi ragionevolmente brevi intervenendo contemporaneamente su due fronti:

- a) consolidando ed adeguando le arginature circondariali;
- b) controllando ed attenuando le piene del lago, regolando l'entità degli afflussi e dei deflussi.

Come già accennato al punto 12.1 circa 8.640 ha di territorio, che in alcuni casi salgono a circa 10.000, sgrondano, in modo naturale o artificiale, nel lago e nel padule la cui superficie topografica è di circa 1.890 ha.

In occasione degli eventi di pioggia più consistenti in pochi giorni milioni di mc. d'acqua confluiscono in detto recipiente, mentre dall'emissario (Burlamacca) defluiscono portate che normalmente non riescono a superare i 15 mc/s.

Queste ultime si riducono sensibilmente o addirittura si annullano, anche per più giorni consecutivi, durante le forti mareggiate che frequentemente accompagnano le perturbazioni autunno-invernali. Difatti i più gravi eventi di crisi del lago si sono verificati per concomitanza di prolungate mareggiate, che hanno mantenuto chiuse per lunghi periodi le porte Vinciane sul Burlamacca, riducendo i volumi d'acqua smaltiti a valori trascurabili, con piogge anche di intensità non eccezionale ma ripetutesi a breve distanza di tempo.

In queste condizioni i livelli del lago raggiungono e mantengono a lungo valori tali da innescare fenomeni di tracimazione delle arginature o dissesto dalle stesse per sifonamento o filtrazione, purtroppo a volte degeneranti in rotte con allagamenti di estese aree. Per ridurre il rischio di cui sopra in tempi relativamente brevi è necessario intervenire sia aumentando l'invaso disponibile, sia riducendo gli afflussi al lago, sia aumentando i deflussi dello stesso.

L'aumento dell'invaso disponibile potrà essere ottenuto rialzando e potenziando le arginature e recuperando nuove aree dove far espandere le acque di piena. Per questi interventi si rimanda ai punti successivi.

La diminuzione degli afflussi al lago può essere ottenuta sia deviando in altri recapiti gli scolì di quelle aree che per posizione e giacitura, come certe aree a sud di Viareggio e quelle servite dal Separatore a Vecchiano, si prestano allo scopo, sia migliorando le capacità di invaso della rete scolante.

Lo smaltimento di maggiori volumi d'acqua durante le piene del lago rimane comunque l'intervento che riteniamo più efficace e concretamente realizzabile in tempi brevi e con costi relativamente modesti.

Simulazioni analitiche condotte sui più gravi eventi di piena del lago degli ultimi anni dimostrano come avremmo potuto evitare il raggiungimento di situazioni di crisi se fosse stato possibile far defluire, in modo continuo e tempestivo, fin dal raggiungimento del livello di guardia, una certa portata.

Tale deflusso deve essere garantito in qualsiasi condizione, anche durante

le mareggiate, e questo può essere ottenuto grazie al sollevamento meccanico.

Si è pertanto individuata nel canale Bufalina, dotato di idrovora, la possibilità di avere un secondo, efficace, emissario del lago, capace di smaltire un sufficiente volume liquido giornaliero proprio nei momenti in cui questo contributo è particolarmente prezioso, ossia quando il Burlamacca non può scaricare, causando il pericoloso accumulo di acqua già descritto.

Il Consorzio in questi giorni sta perfezionando il progetto definitivo per l'adeguamento della Bufalina a tale scopo, e per la costruzione dell'impianto di sollevamento.

L'azione della Bufalina dovrebbe inoltre, oltre che ridurre il rischio idraulico, portare benefici anche sull'interrimento, riducendo i tempi di permanenza delle materie in sospensione che attualmente, per svariati giorni, hanno la possibilità di depositarsi nel lago, e modificare positivamente la propagazione dei pennelli di torbide alla foce della Barra.

12.2.2. Canale Separatore

L'adeguamento e la sistemazione idraulica del fosso Separatore, in Comune di Vecchiano, costituisce un punto fondamentale per la sicurezza idraulica dell'area servita dal canale, ma anche per l'intero bacino del lago. Detto canale raccoglie le acque di scolo di una larga fascia di terreni a scolo naturale in destra del Serchio e le recapita nel fosso Barra e quindi nel lago. L'accresciuto livello di impermeabilizzazione dell'area servita, la perdita di capacità naturale d'invaso dovuta alla rimozione o al tombamento della canalizzazione capillare (fossi, scoline, capi fossi ecc.) unitamente alle forti precipitazioni, che caratterizzano l'attuale assetto climatico, hanno comportato un aumento dell'intensità delle portate di piena, non sopportabili in sicurezza dall'attuale alveo del canale.

È in corso di studio l'intervento di sistemazione del Separatore in cui si prevede la diversione di un'aliquota, ancora da stabilire, della portata di piena del canale, nel fiume Serchio. Ciò permetterà di ridurre il rischio di allagamenti, sia dell'area direttamente attraversata, sia dell'intero bacino, abbattendo di una sensibile quantità il volume liquido in ingresso nel lago, durante i periodi di piena, compresi l'eventuale carico inquinante e l'apporto solido, con innegabili benefici anche dal punto di vista ambientale per il lago stesso.

12.2.3. Gli argini circondariali

Le arginature circondariali che separano e difendono le aree bonificate dei

bacini Settentrionale Lucchese e Meridionale Pisano dalle acque del Lago di Massaciuccoli hanno uno sviluppo di oltre 15 km.

Esse rientrano fra le opere di bonifica realizzate fra il 1920 ed il 1935. A quell'epoca non vi era ancora differenza altimetrica fra i terreni compresi nei perimetri delle bonifiche e quelli del padule (+ 0,10 m. sul l.m.), e i primi argini circondariali furono realizzati con modesti rilevati di materiale torboso sufficienti a contenere le escursioni del livello del lago, normalmente inferiori al metro. L'esigenza di mantenere sufficientemente depressa la falda superficiale in modo da rendere coltivabili i terreni, soddisfatta mediante il costante esercizio degli impianti idrovori, ha comportato una forte subsidenza delle aree bonificate dove in alcune zone attualmente si raggiungono i -3 m. s.l.m.

Di conseguenza si è andato formando un battente sempre maggiore (tuttora in aumento) fra le acque del lago e la campagna che ha reso necessario un continuo rialzamento delle sommità arginali mediante ricarichi e rin fianchi, al fine di assicurare la presenza di un idoneo fianco contro le altrimenti inevitabili tracimazioni.

Detti interventi, realizzati normalmente con terreno argilloso proveniente dalle vicine cave collinari ed eseguiti nell'intento di rendere il corpo arginale impermeabile e staticamente idoneo a sopportare le cresciute spinte della massa liquida da contenere, hanno finito per appesantirlo, incrementando le pressioni trasmesse sul sottostante strato di base fortemente compressibile e suscettibile di refluimenti laterali.

È superfluo aggiungere che ad ogni ricarico degli argini hanno fatto inevitabilmente seguito cospicui cedimenti, i quali, a loro volta, hanno reso necessari ulteriori riporti di terra al fine di ripristinare le quote necessarie, innescando una catena di interventi che tuttora prosegue.

In conseguenza di tutto ciò, dobbiamo pensare alle attuali arginature come frutto di innumerevoli interventi di prima necessità realizzati con materiali eterogenei messi in opera in condizioni di particolare difficoltà ed il cui peso non è più sopportato dal terreno di fondazione. Va da sé che il grado di sicurezza di queste importanti opere di difesa va rapidamente abbassandosi, come testimoniato peraltro dai sempre più frequenti interventi di somma urgenza cui si è stati costretti negli ultimi anni.

Data la gravità della situazione, negli ultimi anni, il Consorzio ha condotto una serie di studi e sperimentazioni, in collaborazione con il Professore Ingegnere L. Caroti, docente di geotecnica dell'Università di Pisa, al fine di accertare le cause dei dissesti e individuare una tipologia d'intervento in grado di

consolidare gli argini già gravemente lesionati riducendo il pericolo di crisi anche durante l'esecuzione dei lavori.

Questi studi hanno posto in evidenza che, per la presenza di acqua nei contigui canali, la coltre compressibile e buona parte del corpo dei rilevati sono da considerarsi immersi e, poiché il livello dell'acqua è assai più alto del piano di campagna, sono certamente presenti moti di filtrazione nel corpo del rilevato stesso con conseguenti forze di trascinamento dirette nella direzione dei moti medesimi. Tali moti di filtrazione sono, oltretutto, di continuo incentivati dal permanente emungimento di acqua dalla bonifica a scolo meccanico.

Dallo studio è stato, inoltre, precisato che lo strato su cui sono posati i rilevati (sia esso costituito da torbe sia invece caratterizzato dalla presenza di sabbia fine limosa-torbosa, scarsamente addensata) può presentare, da zona a zona, caratteristiche fisico-meccaniche che possono evidenziare effetti riportabili, separatamente o congiuntamente, a fenomeni di forte compressibilità e/o di mancata resistenza al taglio: fenomeni, comunque, di entità tale da provocare quadri deformativi così imponenti ed evolutivi da contribuire l'un l'altro all'incremento dei fenomeni stessi.

Si può pertanto ritenere che gli inconvenienti verificatisi fino ad oggi possano essere attribuibili alle cause qui di seguito singolarmente richiamate e che, assai probabilmente, si manifestano anche contemporaneamente esasperando le condizioni di crisi.

Il peso del rilevato provoca un cedimento dello strato su cui insiste, sia per la elevatissima compressibilità di quest'ultimo, quando trattasi di torba, sia per la sua suscettibilità a rifluimenti laterali, quando si tratta di sabbie fini limose fluide.

La stabilità a rottura del complesso rilevato-strato di sedime, per quanto non definibile con precisione, è da ritenere in condizione praticamente al limite della sicurezza; nella scarpata verso lago tale condizione può risultare aggravata non solo per la sua maggior altezza ma anche per la più elevata pendenza a seguito della minor stabilità dovuta all'azione dinamica del moto ondosio di quest'ultimo.

Nei periodi di magra (stagione estiva) si riduce la parte di rilevato da considerarsi come "immersa" e, quindi, per l'aumento del suo peso "efficace", si ha un incremento dei cedimenti del sottostante strato compressibile. Nelle stesse stagioni si manifestano fessurazioni di ritiro conseguenti alla perdita di umidità.

Nei successivi periodi a forte piovosità l'acqua penetra nelle fessurazioni riducendo la già scarsa resistenza al taglio del corpo del rilevato.

L'innalzamento del livello dell'acqua provoca un aumento delle pressioni neutre e quindi una riduzione delle pressioni efficaci; provoca, altresì, un aumento della spinta idraulica verso la bonifica che va a sommarsi alle forze di trascinamento che conseguono ai moti di filtrazione, anche questi divenuti di maggiore entità.

Poiché la resistenza allo scorrimento fra rilevato e strato sottostante, per la particolare natura dei relativi terreni, è estremamente modesta, si possono allora manifestare, in maniera prevalente, situazioni di "slittamento laterale del materiale di riporto" verso la bonifica e anche verso il lago, là dove l'argine è privo di banchina.

Sulla base dello studio di cui sopra il Consorzio di Bonifica della Versilia ha eseguito interventi di stabilizzazione delle arginature con risultati soddisfacenti, prima a livello sperimentale poi per il ripristino di tratti particolarmente compromessi, interventi che prevedono il consolidamento del terreno di fondazione e del rilevato arginale mediante la tecnica del jet-grouting, ossia trattamento del terreno con iniezioni di boiaccia di cemento.

Tale tecnica permette di migliorare sensibilmente le caratteristiche del terreno in sito, col grosso vantaggio che il lavoro può essere effettuato con mezzi leggeri in grado di agire su argini gravemente dissestati in presenza di un forte e permanente battente d'acqua senza pericolose sollecitazioni, e disturbando in misura minima i già precari equilibri in atto.

Grazie a questi interventi gli argini potranno essere adeguatamente rialzati, ottenendo un prezioso aumento del volume di invaso del lago e del padule.

Inoltre il terreno trattato aumenta notevolmente la sua impermeabilità per cui è possibile formare diaframmi che abbattano quasi completamente i pericolosi moti di filtrazioni più sopra ricordati.

In questo modo, durante il periodo estivo, si ridurranno le nocive dispersioni di ingenti volumi d'acqua verso le bonifiche, collaborando a preservare la già ridotta riserva d'acqua nel bacino lacuo-palustre.

12.2.4. Irrigazione

L'attuale sistema di irrigazione delle aree circostanti il lago è basato in parte sui prelievi d'acqua dallo stesso, attraverso varie cateratte, in parte emungendo acqua dalla falda con i pozzi ed in parte utilizzando l'acqua dei canali di bonifica.

Gli studi condotti dal Parco hanno evidenziato quanto nocivo sia l'eccessivo impoverimento del corpo idrico lacuo-palustre nel periodo estivo, ed è noto a tutti l'effetto altrettanto dannoso dell'emungimento d'acqua dalla fal-

da, agli effetti della salinizzazione della stessa. Quest'ultimo fenomeno può essere efficacemente combattuto anche distribuendo l'acqua necessaria alle aziende agricole ed alle industrie attraverso appositi acquedotti che evitino l'emungimento diretto della falda.

Il Consorzio ha già progettato un primo acquedotto a servizio dell'area del Brentino, per il cui approvvigionamento è previsto l'utilizzo di un'aliquota della portata delle sorgenti di Montramito, già utilizzata per vari decenni da questo Ente, e ha verificato la possibilità di riutilizzo delle acque trattate del depuratore di Massarosa. Per compensare in parte i prelievi irrigui dal lago è già stato realizzato dal Genio Civile di Pisa un impianto di sollevamento che immette acqua del Serchio nel fosso Barra-barretta e quindi nel lago. È previsto un imminente passaggio della gestione di questo impianto al Consorzio che dovrà inoltre verificare la possibilità di un suo potenziamento.

Per ridurre i prelievi d'acqua diretti dal lago o dai suoi affluenti, in particolare nel bacino a Sud, occorre rivedere l'intero complesso delle opere di presa riducendole di numero e sostituendole con condotte che facciano servizio lungo il percorso attraverso manufatti di distribuzione dotati di contatore e meccanismi di regolazione. In tal modo il Consorzio potrà gestire i volumi d'acqua utilizzati evitando eventuali sprechi e limitando il prelievo d'acqua ai minimi strettamente necessari.

In merito alla necessità di evitare un eccessivo abbassamento del livello liquido nel lago durante il periodo estivo, si ritiene che debba essere presa in considerazione dagli organi competenti l'opportunità di modificare il sistema di chiuse sul Burlamacca. La sostituzione delle porte Vinciane con altro tipo di cateratta può permettere di trattenere per esempio, durante il periodo primaverile, maggiori volumi d'acqua nel lago. Il funzionamento idraulico delle porte Vinciane infatti consente solo il deflusso dal lago verso il mare, e questo inevitabilmente comporta che il primo tende a raggiungere il livello di bassa marea del secondo. Un tipo diverso di cateratte, che offra maggiori garanzie di ritenuta, potrebbe anche efficacemente impedire il riflusso di acqua salata verso il lago. Può avvenire infatti che, per fenomeni di correnti di densità, anche nei momenti in cui i portoni sono aperti e superficialmente l'acqua scorre verso mare, ci sia la possibilità di salinizzazione degli strati profondi.

12.2.5. Area Samminiata

Fra gli interventi destinati alla riduzione del rischio idraulico legato al lago, come già detto, si rende opportuno anche il recupero di aree ex palustri

ove far espandere le acque di piena. Una prima ipotesi vagliata da questo Ente ha individuato un'area di alcune decine di ettari nell'area della Samminiata, che riallagata potrebbe risolvere tutta una serie di problemi idraulici delle opere di bonifica contigue, oltre che aumentare l'invaso disponibile in caso di piena e rinaturalizzare un'area di alto pregio.

Nel prossimo periodo si procederà ad un esame più approfondito atto ad accertare i costi di questa operazione e le possibilità di funzionamento.

13. LE AZIONI DEI PROGETTI:

**LIFE-NATURA '97 "RISANAMENTO DEL MASSACIUCCOLI,
SITO ELETTIVO DEL TARABUSO"**

E

**LIFE-NATURA '99 "MASSACIUCCOLI 2ª FASE: RIDUZIONE DEI
SEDIMENTI E BIOMANIPOLAZIONE"**

Mario Cenni

13.1. Introduzione

Il programma delle azioni previste da *Life* è suddiviso in due grandi sezioni:

- 1) Programma *Life* - Natura '97 "Risanamento del Massaciuccoli sito elettivo del tarabuso".
- 2) Programma *Life* - Natura '99 "Massaciuccoli 2ª fase: riduzione dei sedimenti e dei nutrienti".

13.2. Risanamento del Massaciuccoli sito elettivo del tarabuso

Le azioni previste dal programma '97, ormai attuate, hanno ricevuto il supporto economico della UE attraverso lo strumento *Life*. È in corso di valutazione, da parte dell'U.E., l'approvazione del secondo programma dedicato al Massaciuccoli.

Si è detto, in altra parte di questo volume (cap. 8), quali siano gli interventi periferici necessari alla riduzione del carico di inquinanti (nutrienti P, N). Questa sezione è invece dedicata alle opere cosiddette interne, grazie alle quali si tenta di attuare un'inversione dello stato delle acque del bacino da "*sistema dominato da fitoplancton*" a "*sistema a macrofite di fondale*" (Moss *et al.*, 1996, Phillips, 1991, Phillips *et al.*, 1978), dove il primo è caratterizzato da acque torbide e catena trofica alterata, e il secondo da acque limpide ed una catena trofica completa delle sue varie componenti.

Il programma *Life* '97 ha finanziato sei tipologie di opere aventi tutte sia finalità dirette, tese ad ottenere risultati tangibili di miglioramento, sia sperimentali, per la verifica di fattibilità e di applicabilità su scala allargata all'intero bacino:

- *azioni di dragaggio selettivo di sedimenti inquinati;*

- azioni di isolamento di corpi idrici (canali) rispetto al circolo generale delle acque inquinate;
- azioni di biomanipolazione della catena trofica;
- azioni di gestione degli ambienti palustri emersi o flottanti a favore del tarabuso;
- azioni di gestione delle sfagnete;
- creazione di strutture di controllo dello stato dell'ambiente.

13.2.1. Descrizione dei lavori

Azioni di dragaggio selettivo di sedimenti inquinati.

Questo intervento è stato eseguito in via sperimentale all'interno del canale Barra-Barretta per verificare le capacità estrattive della draga Pneuma, prescelta per il dragaggio selettivo di fondali inquinati.

L'esecuzione del progetto ha portato all'estrazione di 10.000 mc di fondali inquinati dalla forte presenza di nutrienti (P, N).

Tali sedimenti si originano come conseguenza dell'attività agricola svolta nel comprensorio della bonifica meridionale di Massaciuccoli e di Vecchiano che, trovandosi per una estensione di circa 1.000 ha al di sotto del livello del lago, sono drenati da due impianti idrovori di grosse dimensioni capaci complessivamente di asportare 15 mc/sec di acqua dai comparti di bonifica (Fig. 2).

Tabella 1 - Riepilogo delle quantità di acqua pompata dagli impianti idrovori di Vecchiano e Massaciuccoli (da Franceschi, 1997)

Portate in milioni di mc	Idrovora di Vecchiano	Idrovora di Massaciuccoli	Totale
1987	10,0	-	10,0
1988	10,6	6,9	17,5
1989	5,7	3,7	9,4
1990	11,2	5,8	17,0
1991	16,0	8,4	24,4
1992	17,1	8,3	25,4
1993	10,9	5,5	16,4
1994	14,0	7,5	21,5
1995	9,7	3,8	13,5

Da un esame della Tabella 1 è dato un volume di acque del lago di 9 milioni di mc, si evince che le due idrovore riescono da sole a "sostituire", o comunque a condizionare totalmente la qualità dell'acqua dell'invaso duran-



Fig. 1. La draga selettiva Pneuma.

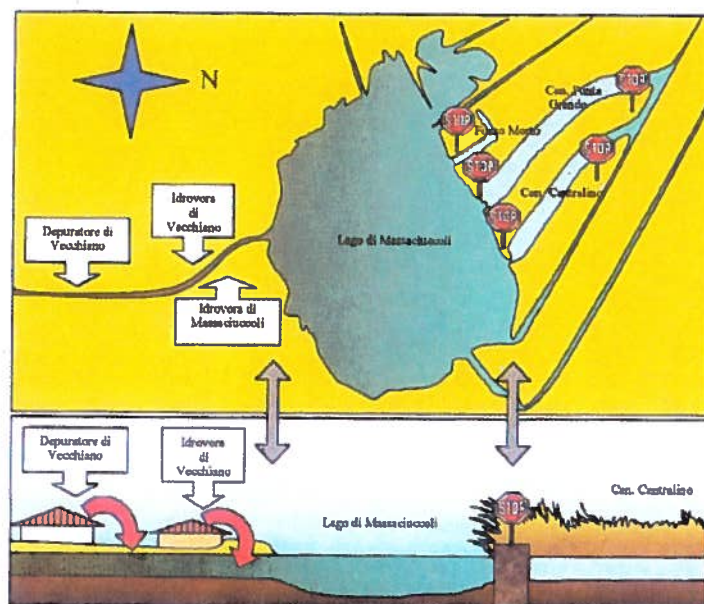


Fig. 3 Opere di chiusura dei canali a Nord del lago.



Fig. 2 Il complesso delle idrovore.

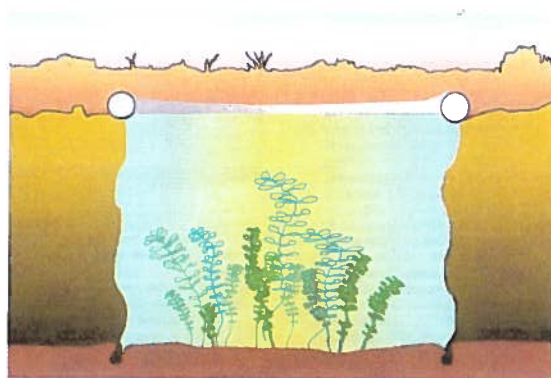


Fig. 4 Sezione dell'enclosure di tipo "flottante".

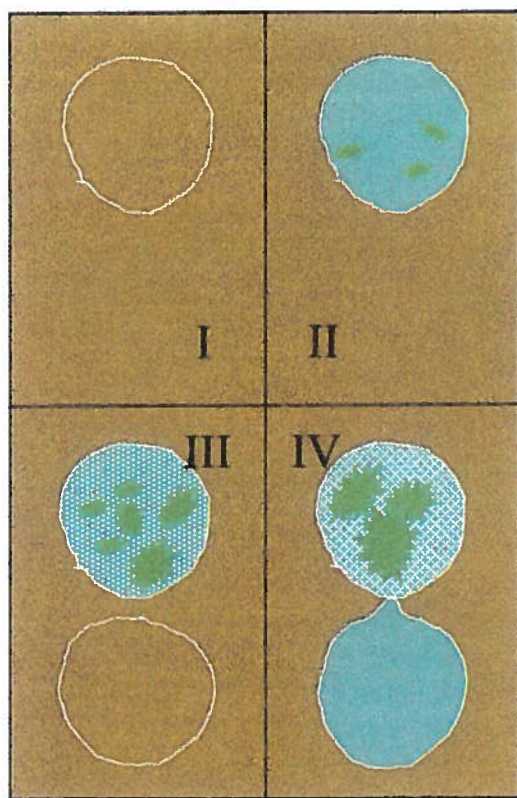


Fig. 5. *Le fasi di ampliamento dell'intervento.*

te il loro periodo di attività. Circa le cause dell'apporto considerevole di materiale sedimentario e di nutrienti (P,N) si veda il progetto "fasce inerbite" più avanti in questa sezione.

Il dragaggio eseguito con draga "Pneuma" ha dato ottimi risultati per la sua capacità di fornire buoni rapporti solido/liquido pari circa a 30/70. Il sistema Pneuma si basa sull'utilizzo di una chiatta alla quale sono applicate anteriormente due colonne fisse che fungono da guide di scorrimento per gli spostamenti verticali delle bocche di aspirazione. Nota la batimetria e lo strato di sedimenti da rimuovere, le bocche di aspirazione vengono calate alla profondità voluta. L'asportazione dello strato individuato è ottenuta dall'avanzamento della chiatta che, non dotata di propulsore autonomo, si muove verso punti fissi a terra od in acqua azionando i verricelli che monta a bordo.

Questo metodo di avanzamento consente di non creare turbolenze e quindi risollevarlo di fondale. Le bocche di estrazione sono in continuità con le pompe di aspirazione, che provvedono pure all'allontanamento del materiale attraverso tubazioni. Per la deposizione del materiale estratto è stata ricavata una trincea parallelamente al canale dragato. Il risultato principale atteso da tale lavoro è quello di restituire le sezioni originali al canale nel tratto compreso fra le idrovore e la sua foce nel lago. L'aumentata sezione consente infatti di diminuire la velocità dell'acqua ed incrementare la sedimentazione all'interno del canale dei solidi sospesi introdotti dalle idrovore durante il pompaggio. Scopo del lavoro è anche quello di valutare la bontà e la precisione del metodo "Pneuma" ai fini di una sua possibile applicazione all'interno del bacino del lago stesso (vedi parte dedicata a "Life - Natura '99" in questo capitolo) per la rimozione di strati di fondale inquinato da nutrienti (Pensabene *et al.*, 1997).

Azioni di isolamento di porzioni di zone allagate (canali) rispetto al circolo generale delle acque inquinate (Fig. 3).

Stante la situazione di generale perdita di qualità delle acque del bacino si è cercato in prima istanza di creare delle zone isolate dalla circolazione idrica generale, all'interno delle quali fosse possibile verificare i tempi di ripristino di condizioni non influenzate dalla bassa qualità dell'acqua circolante. Sono stati prescelti a questo scopo tre canali che solcano i canneti settentrionali in senso N-S e che rappresentano, per le loro dimensioni, dei veri bacini idrici di larghezza compresa fra 100 e 150 m e dall'estensione complessiva di circa 40 ha. Si è invertita in tal modo la funzione di tali canali, da assoggettati totalmente alla qualità dell'acqua del lago, in quanto deflussori del corpo idrico verso l'uscita dal bacino in periodo invernale, a bacini chiusi, completamente circondati da canneti in parte flottanti in parte radicanti. I lavori di chiusura del canale Centralino, conclusi recentemente (novembre 1998), hanno visto in tal modo aumentata la trasparenza della colonna d'acqua da 70/80 cm misurati al disco di Secchi, a 180/190 cm in periodo di fermo delle idrovore, per diminuire proporzionalmente da 60/65 cm nel lago ed a 115/120 nel canale in periodo di funzionamento delle idrovore. La diminuzione della trasparenza all'interno del canale, sebbene isolato, appare dovuta a temporanei blooms di fitoplancton. Si è ottenuto in tal modo che, stante la profondità massima di 2,50 m del canale, 10/15 ha di fondali del canale stesso siano raggiunti dalla radiazione solare. Questa circostanza pone tali ambienti nella condizione di essere ricolonizzati da specie di macrofite radicanti (*Ceratophyllum sp.*,

Myriophyllum sp.) anche particolarmente esigenti (*Najas* sp., *Chara* sp.) semi e spore delle quali si ritiene che siano conservati nel substrato sommerso.

Si è ritenuto di utilizzare tali canali per eseguire prove di recupero della trasparenza delle acque anche per un altro motivo. I canneti che circondano i canali rappresentano un notevole ostacolo per i venti dominanti, provenienti in prevalenza dai quadranti occidentali, spesso assai forti da causare nel lago onde di 60 - 70 cm. Nei canali isolati invece si manifesta un leggero moto ondoso soltanto quando i venti hanno provenienza N-NO.

Azioni di biomanipolazione della catena trofica

All'interno dei canali, grazie alle favorevoli condizioni instauratesi, si è proceduto alla installazione di due tipi di *enclosures*.

Un primo tipo, detto "fisso", è costituito da un telaio in legno impregnato, parallelepipedo, di dimensioni 2m x 2m x 3m(h), che sottende un film in PVC recante due aperture laterali (finestre) dotate di retino di maglia < 1mm. La struttura è mantenuta in loco grazie all'ancoraggio a due pali esterni infissi profondamente nel fondale. La base della struttura lignea ed il relativo film in PVC sono immersi nel fondale melmoso del canale.

Il secondo tipo, detto "flottante" (Fig. 4), è costituito da un telo in PVC di 20 m di lunghezza ed alto 3 m, dotato di galleggiante e di peso morto continuo per tutta la sua lunghezza. Anche tale struttura è dotata di quattro finestre perimetrali con retino in grado di garantire gli scambi idraulici. Questi sono necessari per impedire collassamenti o sovratensionamenti del PVC, in caso di variazione del livello interno/esterno dell'acqua.

La funzione delle due tipologie di struttura utilizzate è quella di circoscrivere ulteriormente lo spazio sommerso per mantenere inaccessibile l'interno delle *enclosures* ai pesci. È infatti nota l'azione predatoria svolta da questi sullo zooplankton, elemento basilare per la filtrazione delle acque e l'abbattimento del fitoplancton (Moss *et al.*, 1996). La modularità delle strutture flottanti di PVC consente di realizzare sbarramenti di proporzioni notevoli essendo ogni parte costituente in grado di lavorare autonomamente, in modo indipendente dal numero di moduli utilizzati. La chiarificazione della colonna d'acqua sarà ottenuta grazie a due circostanze:

- assenza di correnti che possano risollevare il fondale;
- introduzione del *Daphnia magna* in quantità tali da limitare fortemente il fitoplancton quale causa di torbidità.

All'interno del canale si procederà quindi nel modo seguente: una volta instaurate le desiderate condizioni di trasparenza all'interno del primo modu-



Fig. 6. L'introduzione di *Daphnia magna* nell'enclosure.



Fig. 8 Asportazione di specie infestanti nelle sfagnete.

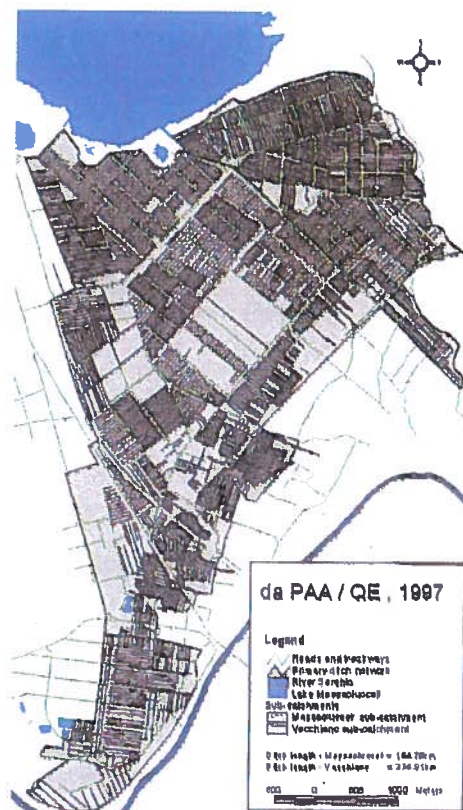


Fig. 9 La rete di scoline primarie.

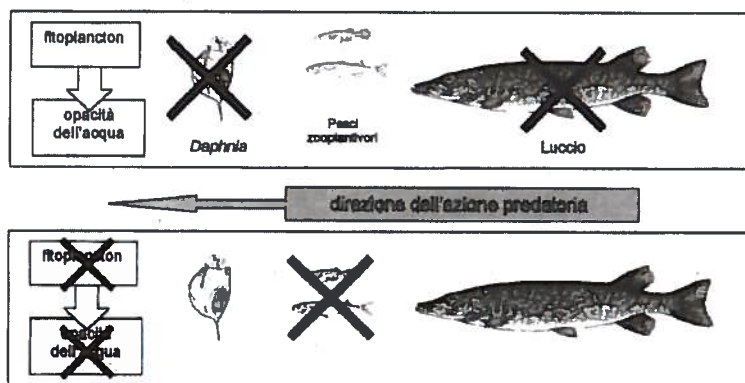


Fig. 7 Relazione fra catena trofica e opacità dell'acqua, prima e dopo la biomaniipolazione



Fig. 10 Sezione delle scoline, prima e dopo l'inerbimento.

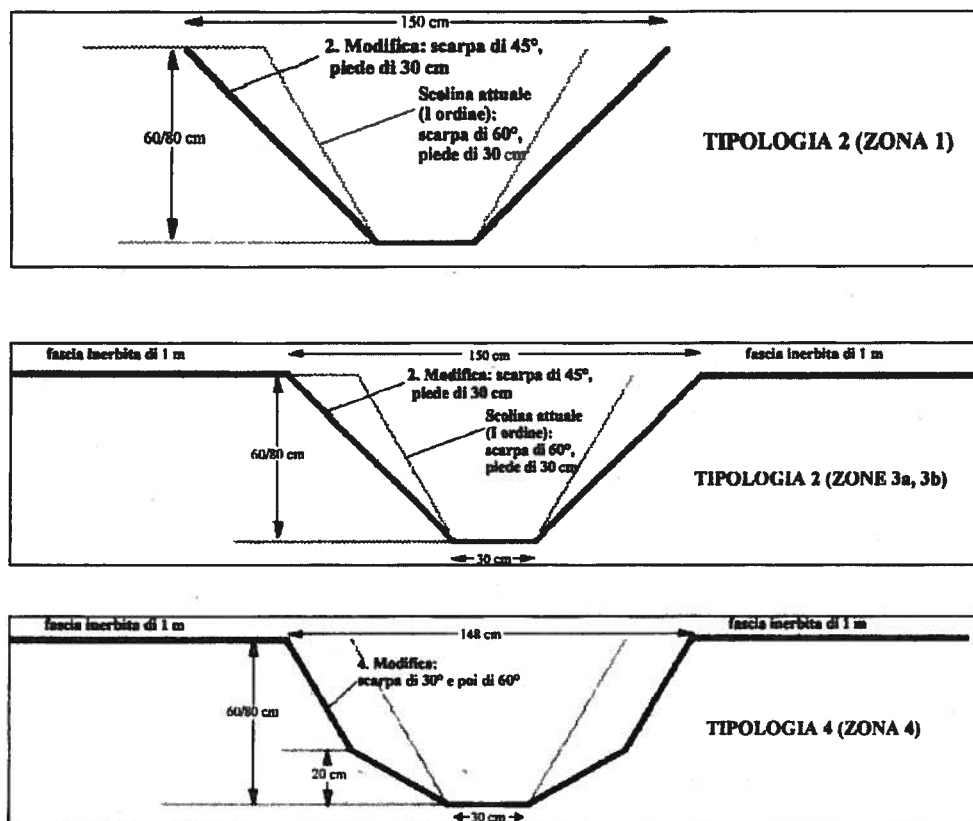


Fig 11 Sezioni delle scoline come modificate dal progetto.

lo, se ne aggiungerà un secondo, semplicemente aggiuntandone gli estremi al primo (Fig. 5).

Una volta che si siano riguadagnate acque limpide ed una catena trofica vitale su superfici adeguate, pari almeno alla larghezza del canale, si manterrà fisso un lato dell'*enclosure*, spostando ed allargando l'altro lato fino a coprire l'intero canale. Si ritiene che le modificate condizioni delle acque all'interno delle *enclosures* condizionino positivamente le acque circostanti ad ogni nuovo allargamento. Questo modo di procedere grazie al condizionamento di parti contigue verrà utilizzato nella II fase del progetto *Life* direttamente all'interno del bacino del lago.

Allo stesso modo la biomanipolazione della catena trofica viene effettuata grazie all'introduzione di lucci (*Esox lucius*) di taglia adeguata da fungere da predatori dei pesci zooplantivori all'interno del canale (Fig. 7) come pure verranno introdotte *Daphnia* in quantità sufficienti da limitare la quantità di fitoplancton ed incrementare quindi la trasparenza (Fig. 6) (Alessio *et al.*, 1992).

Azioni di gestione degli ambienti palustri emersi o flottanti a favore del tarabuso

In collaborazione con l'Università di Pisa, Dipartimento di Scienze del Comportamento Animale, sono state identificate le linee guida per una gestione dei canneti mirata a favorire la presenza e le attività trofiche del tarabuso, *Botaurus stellaris* (L.), specie di interesse comunitario ai sensi della Direttiva Habitat. In particolare discende dalla ricerca universitaria la necessità di mantenere vaste aree di canneto ad età differenziate. Queste tipologie di area sono state infatti identificate come le più frequentate dalla specie a seguito di esperimenti di radio-tracking condotti recentemente. Grazie al progetto *Life* sono stati sfalciati, con l'uso di trinciastocchi montato su trattore, circa 10 ha di vecchi canneti, in aree dove questi non erano utilizzati né dal tarabuso né da altre specie per la nidificazione - airone rosso *Ardea purpurea* L., falco di palude *Circus aeruginosus* (L.). Sono state realizzate aree di taglio, con direzione EO, interrotte da aree con vegetazione eretta di ampiezza 10 m. La presenza di estese superfici ecotonali fra aree tagliate e non, e quindi la possibilità di reperire aree di rifugio in prossimità delle aree di alimentazione, crea un ambiente particolarmente favorevole alla specie.

Azioni di gestione delle sfagnete

L'area palustre circostante il Lago di Massaciuccoli, caratterizzata da estesi canneti e cariceti, ospita alcune piccole aree di sfagneta (*Sphagnum* sp. pl.)

di grande interesse geobotanico (Tomei, 1997). In tali aree, ed in quelle emerse circostanti, sopravvive una rara flora relitta di essenze botaniche tipiche del Terziario e Quaternario, per le quali il Massaciuccoli è risultato una importante area di accantonamento e sopravvivenza durante opposti periodi climatici. Le sfagnete di Massaciuccoli, estese circa 1 ha, rappresentano le uniche sfagnete del bacino del Mediterraneo collocate a livello del mare. La loro sopravvivenza è legata fortemente ai livelli estivi del bacino. Gli abbassamenti del livello possono raggiungere -0,40 m slmm e la conseguenza di ciò è che i pulvini più emersi tendono a seccarsi in questo periodo. Il basso tenore di imbibizione della torba sottostante favorisce la colonizzazione di queste aree ristrettissime da parte di altre essenze che possono interferire con la purezza dei popolamenti tipici della sfagneta. Ad esempio la frangola (*Frangula alnus* Miller) dalla quale ogni anno vengono asportati manualmente diverse decine di germogli per mq, oppure la stessa cannuccia di palude (*Phragmites australis* (Cav.) Trin.) (Fig. 8). Da qui si comprende l'importanza di quegli interventi tesi a limitare l'abbassamento estivo (vedi capitolo 8).

Creazione di strutture di controllo sullo stato dell'ambiente

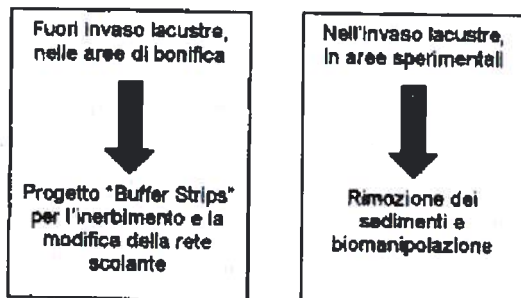
È stata realizzata, a ridosso della Riserva Naturale di Punta Grande (lato Nord del Lago), una torre per l'osservazione ed il controllo sia dell'avifauna che di eventuali incendi che dovessero interessare l'area palustre.

All'interno del Canale Centralino è stata posizionata una sonda multiparametrica-acque con invio dei dati rilevati (O₂, pH, salinità, torbidità, T°C, livello) ad una stazione remota (Sede del Parco). La funzione della stazione è di controllare in tempo reale le mutazioni dei parametri che si verificano nel canale come conseguenza delle attività di biomanipolazione.

13.3. Massaciuccoli 2ª fase: riduzione dei sedimenti e dei nutrienti

Questa seconda fase del programma *Life* è stata sottoposta al vaglio della UE nel novembre 1998. Il progetto ha come fulcro due differenti tipologie d'azione mirate ad eliminare uno stesso elemento di alterazione del comprensorio di Massaciuccoli: l'apporto di sedimenti e la connessa immissione di nutrienti. Il comparto di attività umane sul quale si prevede di intervenire è quello agricolo, in particolare la bonifica meridionale del Lago di Massaciuccoli estesa per 2.500 ha circa. Come noto, l'uso di concimi di origine chimica in agricoltura determina, con il dilavamento causato dalle piogge, il loro trasporto nella rete scolante della bonifica e da questa nel corpo recettore finale

(Lago di Massaciuccoli) (vedi cap. 8, Tab. 1). Il problema del trasporto dei sedimenti e dei nutrienti è stato affrontato dal progetto su due fronti:



Progetto "Buffer Strips" per l'inerbimento e la modifica della rete scolante

Il progetto Buffer Strips, realizzato da due compagnie di progettazione inglese, ha individuato nell'area di intervento 4 tipologie di terreni, che vanno da quelli torbosi, nelle aree più prossime agli ambienti lacustri e palustri, ai terreni più sciolti e carenti di sostanza organica dei distretti più distanti, caratterizzati questi ultimi da una tessitura limosa. Il progetto prevede quindi di riorganizzare la rete scolante e di modificare la sezione delle scoline secondo quattro schemi principali, creando sui due lati delle stesse delle fasce erbose (vedi Figg. 9 e 10). Per ogni tipologia di terreno individuato vengono proposte sezioni di scolina diverse (Fig. 11). Il progetto, interamente finanziato dall'Autorità di Bacino del Serchio, prevede di coprire 150 Km di scoline nella bonifica di Massaciuccoli e 370 Km nella bonifica di Vecchiano. La filosofia del progetto è opposta a quella sulla quale si basa comunemente il principio del lagunaggio. In questo caso i sedimenti vengono intercettati dalle fasce inerbite ancor prima che essi entrino in contatto con la rete scolante, piuttosto che rimuoverli a valle attraverso la sedimentazione e la loro asportazione dopo decantazione. L'Ente Parco, al momento della scelta progettuale, ha preferito questa impostazione a quella del lagunaggio anche per la difficoltà connessa con il reperimento delle superfici necessarie alla realizzazione degli invasi di decantazione. Oltre ai costi di esproprio dei terreni agricoli necessari per la realizzazione delle vasche, dovrebbero essere messi in conto periodici interventi per la loro riescavazione dopo il riempimento causato dai sedimenti trattenuti, con conseguenti difficoltà nello stoccaggio o nella messa a dimora stabile di quanto asportato. Questo progetto, che coinvolge quasi cinquanta aziende agricole, ha inoltre il vantaggio di essere esente

da costi di manutenzione. Questo avverrà dopo che la gestione delle fasce inerbite, superato un quinquennio iniziale nel quale l'Ente Parco farà fronte ai costi di sperimentazione e manutenzione, sarà divenuta una normale pratica agricola. Nelle previsioni degli ideatori (PAA/QE, 1997) la realizzazione del progetto dovrebbe portare all'abbattimento di circa l'80% del carico solido e ad una riduzione di circa il 70 % dei nutrienti.

Rimozione dei sedimenti e biomanipolazione

Questa parte del progetto *Life II* riproduce in settori lacustri limitati quanto è stato sperimentato nel I progetto, con l'identificazione di aree al di fuori dei maggiori flussi idrodinamici, e quindi prossime alle rive o comunque lontane dai canali aperti. L'intervento proposto consiste nella rimozione di uno strato predeterminato di fondale, a mezzo della draga selettiva "Pneuma", su di una superficie di circa 6 ha, e nel creare altre aree di "bianco" tenute nelle stesse condizioni ma escludendo l'asportazione dei fondali. Questo intervento consentirà di evitare il rilascio di P dai sedimenti ed il risollevarimento dei fondali a causa dell'azione eolica. L'area di intervento sarà quindi isolata idraulicamente dalle acque circostanti utilizzando le *enclosures* già sperimentate nel canale Centralino (progetto *Life I*) ed all'interno verrà eseguita la biomanipolazione con gli stessi principi là adottati. Si ritiene in questo modo, e per tappe successive, di riuscire ad ottenere acque di buona qualità anche all'interno del lago in settori isolati da ulteriori inquinamenti. La tipologia delle *enclosures* nel lago subirà alcune modeste modifiche per consentire di limitare l'azione eolica negli ampi spazi aperti, e per evitare sia l'ingresso accidentale di piccoli pesci per superamento della barriera al di sopra del galleggiante, sia per escludere che il galleggiante venga utilizzato dai gabbiani o da altre specie di uccelli come posatoio. La permanenza degli uccelli sul bordo delle *enclosures* causerebbe infatti un indesiderabile incremento dei nutrienti conseguente alle loro defezioni.

Bibliografia

- Alessio G, Baldaccini G. N., Bianucci P., Esteban Alonso J. (1992), *Fauna ittica e livello trofico del Lago di Massaciuccoli: dati preliminari*. In *Eutrofizzazione del Lago di Massaciuccoli*. Parco Naturale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa, pp 167 - 180.
- Franceschi R, (1997), *Aree bonificate nel bacino di Massaciuccoli: ubicazione e dati di pompaggio delle idrovore*. In: *Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Ente Parco Regionale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa: pp. 93-114.
- Pensabene G., Frascari F. e Cini C. (1997), *Valutazione quantitativa del carico di nutrienti e di solidi sospesi immesso nel Lago di Massaciuccoli dai comprensori di bonifica di Vecchiano e Massaciuccoli*. In *Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Ente Parco Regionale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa: pp.131-148.
- Moss B, Madgwick J. & Phillips G.L., (1996), *A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes*. The Broads Authority, Norwich, pp.180.
- Phillips G, (1991), *A case study in restoration: shallow eutrophic lakes in the Norfolk Broads*. In *Eutrophication of Freshwaters*, Chapman e Hall.
- Phillips G. L., Eminson D. & Moss B. (1978), *A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters*. *Aquatic Botany*. 4: 103-126.
- Tomei P.E., Guazzi E. e Barsanti A. (1997), *La carta della vegetazione delle paludi e del lago di Massaciuccoli*. In *Lago di Massaciuccoli, 13 ricerche finalizzate al risanamento*. Ente Parco Regionale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli, Pisa.
- PAA/QE (Penny Anderson Associates / Quest Environmental), (1997), *Control of nutrient enrichment through the management of agricultural run-off*, Relazione al Parco Naturale Migliarino S.Rossore Massaciuccoli.