

Il Lago di Massaciuccoli: evoluzione del livello trofico

GIANPAOLO SALMOIRAGHI - DONATELLA CARUSI

Introduzione

Il Lago di Massaciuccoli, le cui principali caratteristiche morfometriche sono riportate nella figura 1, si trova in Toscana. Il lago è inserito in un ambiente paludoso solo in parte bonificato dal 1920 ad oggi. Le fotografie 1 e 2 mostrano alcuni aspetti caratteristici di questo ambiente: l'estesa superficie e le zone a canneto, i colorati capanni utilizzati (una volta) per la pesca con il bilancino.

Gli eventi storici, sia naturali che provocati dall'uomo verificatisi nel bacino del Massaciuccoli sono stati numerosi. In questo contesto, oltre a richiamare le principali fonti bibliografiche: Zandrini (1736), Ratto (1923), Pampanini (1927), Brunelli (1942) si riporterà, in forma molto schematica, le principali fasi del lago.

Formazione: Le sabbie trasportate dall'Arno ed ammassate per opera delle correnti marine hanno formato, in più riprese, un cordone litoraneo che poco alla volta ha separato dal mare una laguna costiera divenuta in seguito palude e lago.

Prime trasformazioni: Dal VI al XVIII secolo furono eseguite alcune opere di tra-

sformazione del territorio per garantire mediante deviazioni del corso dei fiumi, aperture di canali artificiali, costruzione di porte (dette Vinciane in quanto si attribuisce a Leonardo da Vinci la loro invenzione), una regolazione degli afflussi ed un appropriato assetto idrografico del bacino.

Bonifica: Le idee ed i progetti per bonificare i territori paludosi prendono il via dalla seconda metà del settecento ma la realizzazione e la messa a cultura delle zone paludose attorno al lago cominciò attorno al 1920. Al giorno d'oggi la superficie completamente bonificata nel bacino del lago è di circa 2800 ettari.

Inquinamento: Lo sviluppo agricolo, industriale, turistico e demografico verificatosi in questi ultimi decenni non è sempre stato affiancato da una corretta applicazione delle risorse tecnologiche per lo smaltimento dei «rifiuti» ed ha causato l'attuale degradazione dell'ambiente.

È opportuno affiancare a questa breve analisi degli eventi storici una schematica ricapitolazione dello stato trofico del Lago di Massaciuccoli desunta dalla bibliografia:

| PERIODO | LIVELLO TROFICO | AUTORE |
|-----------|-----------------|--|
| 1931-1935 | Oligotrofia | Brunelli e Cannicci (1935) |
| 1939-1940 | Oligotrofia | Brunelli e Cannicci (1942) |
| 1972 | Eutrofia | Lab. Igiene di FI, LU e Pisa (1972) |
| 1975 | Eutrofia | Ministero Agricoltura e Foreste (1975) |
| 1977-1978 | Eutrofia | Lab. Igiene Lucca (1978) |
| 1980 | Eutrofia | Ministero Agricoltura e Foreste (1980) |

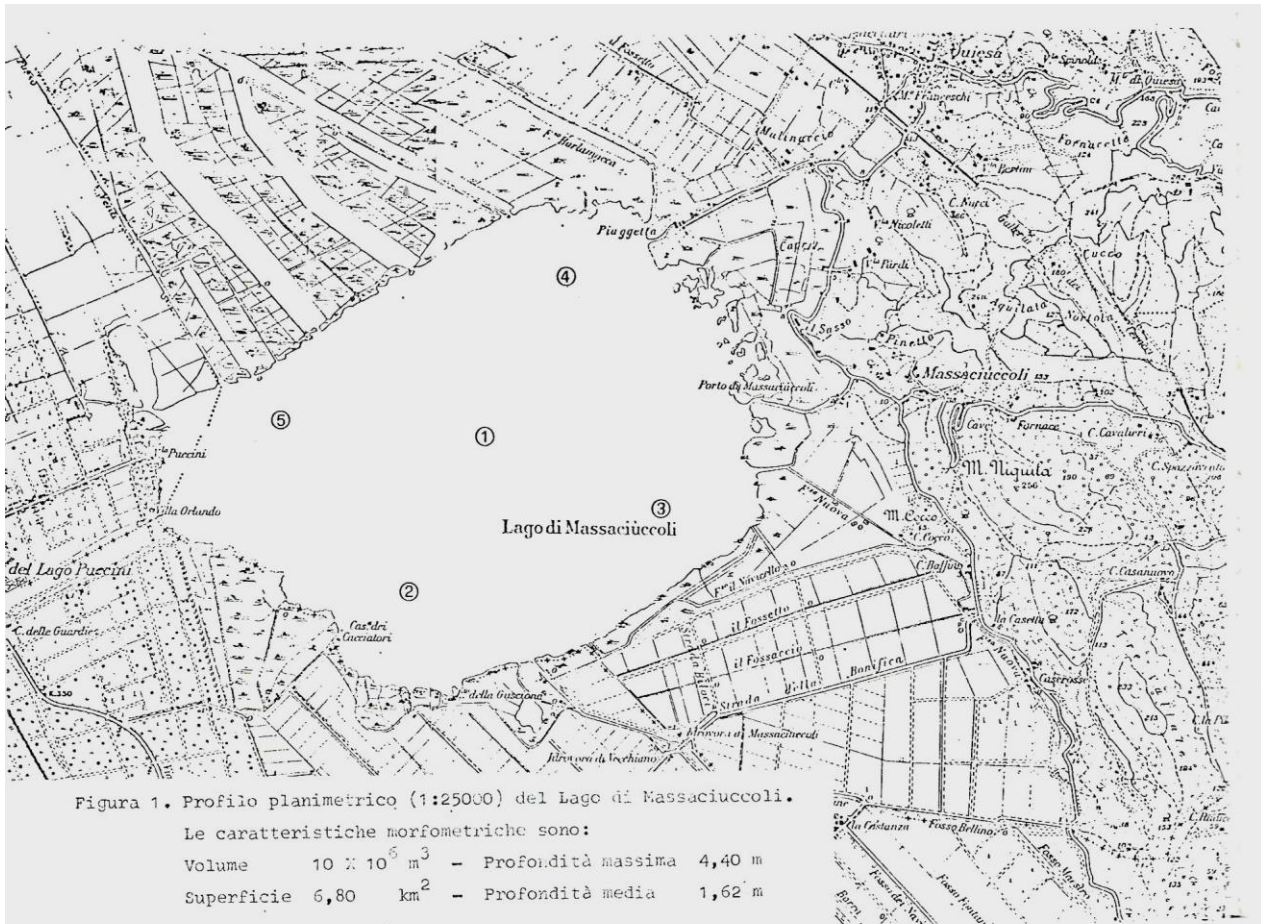


Figura 1. Profilo planimetrico (1:25000) del Lago di Massaciuccoli.

Le caratteristiche morfometriche sono:

| | | | | |
|------------|------------------------------|---|--------------------|--------|
| Volume | $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ | - | Profondità massima | 4,40 m |
| Superficie | 6,80 km^2 | - | Profondità media | 1,62 m |

Il lago di Massaciuccoli è quindi, al giorno d'oggi, fortemente eutrofizzato.

Per un corretto approccio allo studio ed alla risoluzione degli squilibri ambientali, dal momento iniziale della percezione del problema si devono, a nostro avviso, inserire le fasi della descrizione e dell'analisi rivolte alla individuazione delle cause ed allo studio delle più opportune metodologie di risanamento. Ci si propone quindi, con questo lavoro di contribuire alla conoscenza dell'ambiente incrementando la quantità di informazioni da mettere a disposizione degli Enti gestori per un efficace «futuro» ripristino del Massaciuccoli.

Metodologia

I campionamenti sono stati prevalentemen-

te eseguiti nei periodi primaverili-estivi degli anni 1978, 1979 e 1980 nelle cinque stazioni indicate nella figura 1.

Nella tabella 1 sono riportati i riferimenti tecnici/bibliografici della metodologia adottata nella ricerca.

Risultati

In questo contesto si prendono in considerazione solo i risultati delle analisi eseguite sui campioni prelevati al centro del lago (stazione 1). Nella tabella 2 sono riportati i valori medi integrati fra quelli superficiali (-0,25 m) e quelli di fondo (-2,00 m). Questa elaborazione, pur modificando i risultati ottenuti, non altera sostanzialmente la visione d'insieme che si può avere sulle caratteristiche delle acque invase, poiché per la limitata pro-



Foto 1 - Il Lago di Massaciuccoli.

Tabella 1 - Metodi usati nella ricerca

| | | Metodo - Strumento | Riferimento bibliografico |
|-------------|--|---|---|
| CAMPAGNA | Campionatore Temperatura Trasparenza Estinzione luminosa Ossigeno disciolto Produzione primaria | Bottiglia secondo Ruttner Termometro a pozzetto Disco di Secchi Fotocellula NEWEL Titolazione Incubazione di C ¹⁴ in bottiglie chiare e scure | Winkler mod. Alsterberg Steeman Nielsen (1952) |
| LABORATORIO | Alcalinità Conducibilità pH Cloruri Clorofilla <i>a, b, c</i> Phaeophytinac Azoto ammoniacale Azoto nitroso Azoto nitrico Ortofosfato Fosforo totale Silice | Conduttometrico Ponte di Kohlrausch pH-metro BECHMAN Titolazione conduttometrica Estrazione acetonica 90% Estrazione acetonica 90% Spettrofotometrico Spettrofotometrico Spettrofotometrico Spettrofotometrico Spettrofotometrico Spettrofotometrico | Vollenweider (1962) Vollenweider (1962) Unesco (1966) Unesco (1966) Koroleff (1970) Standard methods (1975) Schweir mod. EAWAG Strickland and Parson (1968) Golterman (1971) Standard methods (1975) |

| | | 1/7/78 | 4/8/78 | 11/9/78 | 12/5/79 | 10/6/79 | 18/7/79 | 28/8/79 | 5/10/79 | 19/5/80 | 24/6/80 | 25/7/80 |
|----------------------------------|----------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Temperatura | °C | 21,5 | 27,0 | 24,5 | 21,0 | 27,7 | 27,0 | 22,0 | 9,5 | 18,0 | 22,2 | 26,5 |
| Ossigeno disciolto | mg/l | 8,7 | 8,2 | 8,8 | 10,7 | 12,4 | 4,8 | 9,0 | 11,0 | 8,9 | 10,0 | 7,3 |
| Saturazione dell' O ₂ | % | 101,0 | 104,3 | 107,6 | 123,3 | 159,4 | 61,1 | 105,5 | 99,5 | 96,9 | 117,6 | 90,7 |
| pH | | 8,8 | 6,5 | 8,5 | 8,8 | 8,0 | 8,5 | 8,2 | 8,5 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| Conducibilità | µS 18°C | 2142 | 4110 | 2798 | 1679 | 1857 | 2042 | 2329 | 2620 | 2149 | 2059 | 2019 |
| Alcalinità | meq/l | 3,8 | 3,7 | 3,5 | 3,6 | 4,0 | 3,1 | 2,9 | 3,2 | 3,1 | 3,4 | 3,3 |
| Cloruri | mg/l | 519 | 1125 | 796 | 440 | 480 | 575 | 753 | 724 | 624 | 716 | 828 |
| N-NH ₄ | µg/l | 24,5 | 98,8 | 72,2 | 53,1 | 232,7 | 19,3 | 166,1 | 6,6 | 37,4 | 88,6 | 24,6 |
| N-NO ₃ | µg/l | 204,2 | 227,8 | 219,4 | 197,4 | 157,1 | 165,6 | 241,8 | 314,2 | 130,9 | 248,0 | 174,2 |
| N-NO ₂ | µg/l | 5,0 | 0,6 | 2,2 | 2,6 | 2,3 | 5,0 | 4,1 | 2,7 | 3,5 | 19,0 | 4,6 |
| N-inorg. | µg/l | 233,7 | 327,2 | 293,8 | 253,1 | 392,1 | 189,9 | 194,4 | 323,5 | 171,8 | 355,6 | 203,4 |
| P-PO ₄ | µg/l | 22,7 | 20,0 | 12,4 | 11,6 | 19,4 | 14,3 | 11,8 | 10,7 | 19,0 | 17,4 | 15,0 |
| P-totale | µg/l | 32,6 | 24,3 | 15,7 | 24,4 | 29,4 | 20,8 | 17,1 | 12,6 | 35,4 | 29,9 | 24,3 |
| SiO ₂ | mg/l | 2,23 | 2,29 | 2,27 | 2,10 | 2,14 | 2,05 | 1,42 | 0,89 | 2,79 | 1,20 | 1,36 |
| Clorofilla a | mg/m ³ | 41,40 | 26,44 | 37,19 | 6,55 | 20,49 | 36,42 | 29,09 | 50,76 | 51,23 | 53,79 | 36,39 |
| Clorofilla b | mg/m ³ | 3,71 | 2,93 | 4,06 | 1,16 | 0,98 | 3,95 | 8,98 | 3,30 | 3,53 | 2,10 | 3,05 |
| Clorofilla c | mg/m ³ | 12,16 | 5,89 | 16,72 | 6,58 | 9,53 | 14,70 | 29,73 | 7,61 | 16,42 | 6,39 | 7,15 |
| Phaeophytinae | mg/m ³ | 7,12 | 4,92 | 18,00 | 9,41 | 2,35 | 1,65 | 38,09 | 0,50 | 8,62 | 29,61 | 25,14 |
| Trasparenza | m | 0,50 | 0,75 | 0,75 | 0,60 | 0,75 | 0,50 | 0,60 | 0,35 | 0,50 | 0,65 | 0,50 |
| E 430 / E 663 | | 4,36 | 2,97 | 5,03 | 5,92 | 3,35 | 3,03 | 5,09 | 2,84 | 2,75 | 2,18 | 3,65 |
| Estinzione | \bar{E} /m | - | 1,85 | - | 1,28 | 1,63 | 1,96 | 2,11 | - | 2,09 | 0,82 | - |
| Produzione primaria | mg C ass./m ² d | - | 297 | - | 339 | - | 1092 | 644 | - | 485 | - | - |

Tabella 2 - Risultati delle analisi eseguite nella stazione centrale del Lago di Massaciuccoli.

fondità e l'assenza di una stratificazione termica verticale le differenze qualitative fra i due strati sono il più delle volte modeste.

Dai dati registrati si nota che le acque centrali del Massaciuccoli mantengono una sostanziale omogeneità del loro chimismo. E questo un aspetto che sorprende alquanto

poiché le fonti di disturbo di questo ecosistema sono molteplici e fra queste è di predominante importanza il collegamento lago-mare attraverso il canale Burlamacca che è piuttosto instabile e spesso provoca l'immissione di acqua marina in lago (M. A. F., 1975). Solo il 4-VIII-78 la zona centrale ha risentito

di un tale evento e le modificazioni sono vistose: cloruri 1125 mg/l, conducibilità 4110 µS e pH 6,5.

Nel procedere alla valutazione dei dati raccolti nella tabella 2 occorre ricordare che la scarsa profondità e la notevole estensione del lago, oltre a favorire la dissoluzione dell'os-

sigeno atmosferico che è quasi sempre stato rinvenuto in elevate concentrazioni, provoca una continua circolazione dei nutrienti algali dalle zone profonde a quelle più superficiali. In questi casi i sedimenti stessi, rilasciando le sostanze mineralizzate, assumono una notevole importanza come fonte in-

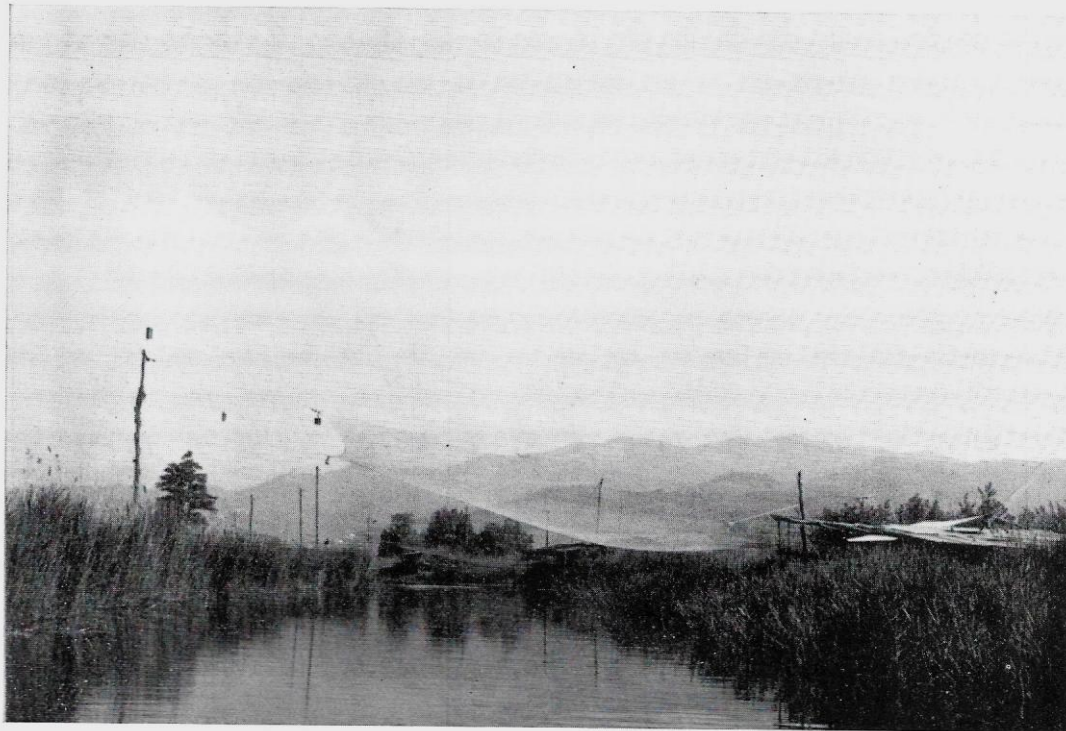


Foto 2 - Uno degli innumerevoli canali che circondano il Lago.

terna di sostanze nutritive per il popolamento algale. È forse questa la ragione o, una delle ragioni, per la quale il contenuto medio di nutrienti (SiO_2 , N-NO_3 , N inorganico, P-PO_4 e P totale) non decrescono vistosamente nei periodi di massima produzione algale. Le elevate concentrazioni di azoto e fosforo rinvenute sono caratteristiche degli ambienti ad accentuata eutrofizzazione. Infatti diversi Autori, fra i quali Vollenweider (1968) considerano «estremamente pericolose», ai fini di un eccessivo sviluppo del popolamento algale, acque il cui contenuto di azoto inorganico e fosforo totale superano rispettivamente i $300 \mu\text{g/l}$ ed i $120 \mu\text{g/l}$. Le frequenti sovrassaturazioni dell'ossigeno disciolto, la limitata trasparenza e le alte concentrazioni dei pigmenti fotosintetici (Tabella 2) confermano l'elevata attività del popolamento algale.

La stima della produzione primaria fitoplanctonica è una ulteriore e definitiva informazione sul livello trofico del Massaciucoli: i valori registrati (Tabella 2) sono mol-

to alti, propri dei laghi a protratta eutrofizzazione culturale (Rodhe, 1969). A titolo informativo vale la pena di ricordare che la produzione primaria annuale dei laghi oligotrofi non deve superare i 50 gr C ass./m^2 mentre quella dei laghi altamente eutrofi varia fra i 150 e i $200 \text{ gr C ass./m}^2$ anno (Vollenweider, 1968).

La più intensa attività fotosintetica, in accordo con la rapida estinzione verticale della radiazione luminosa causata, nel Massaciucoli, principalmente dalla elevata densità degli organismi algali, si verifica nei primissimi strati d'acqua.

Da una analisi quantitativa della distribuzione spazio-temporale del popolamento fitoplanctonico pelagico è stato inoltre appurato che la densità totale è notevole e che sono gli organismi appartenenti al gruppo delle Cianofite (*Lyngbya contorta*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia tenuissima* e *Chroococcus dispesus*) quelli che effettuano le fioriture più intense e protratte nel tempo (M.

A.F., 1980). Occorre ancora ricordare che fra gli organismi fitoplanctonici di questo lago è stata registrata (Simoni, 1977) la presenza di *Prymnesium parvum* (Chrysophyceae). Questo organismo libera, durante le fioriture, quantità letali o subletali di ittiotossine (Simoni, 1980) che potrebbero essere la causa delle morie di pesci verificatesi nel 1972 e 1977.

Conclusioni

I dati esposti non sono altro che una ulteriore conferma dell'avanzato stato di trofia del Lago di Massaciuccoli. Fra le probabili cause si possono citare: la discarica dei rifiuti urbani ed industriali, l'immissione in lago delle acque di irrigazione agricola, i sistemi di idrovore utilizzate per la bonifica, la risospensione delle sostanze mineralizzate a livello dei sedimenti e la presenza di paludi torbose. Tutti questi fattori a nostro avviso interagiscono e concorrono nel determinare la eutrofizzazione del Massaciuccoli ed è difficile stabilire quale di essi assume un ruolo prioritario.

Nella situazione attuale molteplici sono le conseguenze della degradazione dell'invaso di Massaciuccoli. I danni che si possono brevemente ricordare non sono solo a carico del patrimonio naturale (caratteristiche organolettiche delle acque sgradite, riduzione delle specie ittiche e degli uccelli stanziali e migratori) ma anche delle attività economiche e sociali (turismo, balneazione e pratica delle attività di caccia e pesca).

Ringraziamenti

Ringraziamo il professore Enrico Vanni, Direttore dell'Istituto di Zoologia dell'Università di Bologna, per aver incoraggiato e stimolato questa ricerca e per aver fornito il Laboratorio del Centro Studi Sorelle Clarke di Bagni di Lucca delle attrezzature necessarie per l'esecuzione delle analisi chimiche.

Rivolgiamo un cordiale ringraziamento al Presidente della Provincia di Lucca per aver concesso l'uso dei natanti in dotazione al Servizio Caccia e Pesca della Provincia di Lucca ed in servizio sul Lago di Massaciuccoli.

BIBLIOGRAFIA

- APHA - AWWA - WPCF 1975: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Amer. Publ. Health. Ass., Inc. New York.
- BRUNELLI G. e G. CANNICCI, 1935: Notizie preliminari sulle caratteristiche chimiche e biologiche del Lago di Massaciuccoli. *Rend. Acc. Lincei*, se. VI, 22 (12).
- BRUNELLI G. e G. CANNICCI, 1942: Il Lago di Massaciuccoli. *Boll. Pesca, Pisc. Idrobiol.*, Fasc. 3, 54 pp.
- GOLTERMAN H. L., 1971: *Methods for chemical analysis of fresh water*. IBP handbook, N. 8.
- KOROLEFF F., 1970: *Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue*. Inter. Con. for the explor of the sea Interlab report N. 3. Helsinki.
- Laboratori di Igiene e Profilassi, reparti chimici di Firenze, Lucca e Pisa 1972: Relazione sulle indagini chimiche eseguite sul lago di Massaciuccoli. 16 pp.
- Laboratorio Provinciale di Igiene e Profilassi di Lucca 1978: Controlli delle acque del lago di Massaciuccoli relativi alla ittiotossicità.
- Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste 1975: Accertamenti ed indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio.
- Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste 1980: Seconda campagna di indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli.
- PAMPANINI R., 1927: *Gli esponenti più notevoli e più rari della flora toscana. «I monumenti naturali della Toscana nel censimento delle bellezze naturali d'Italia»*. Gruppo per la tutela pass. scient. Nazionali. Difesa Paesaggio. Firenze.
- RATTO M., 1923: *Notizie e studi del comitato tecnico per l'utilizzazione dei Combustibili Nazionali*. Roma.
- RODHE W., 1969: Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe. In G. A. Rohlich ed. *Eutrophication: causes, consequences, correctives*. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- SIMONI F., 1977: Sulle cause della moria dei pesci nel Lago di Massaciuccoli negli anni 1972-1977. *Riv. Ital. Igiene*, XXXVII: 363.380.
- SIMONI F., 1980: *Prymnesium parvum* (Chrysomonadina) quale fattore di tossicità per l'ittiofauna del Lago di Massaciuccoli. *Riv. Ital. Igiene*, XL: 139-154.
- STEEMAN NIELSEN E., 1952: The use of radioactive carbon (C-14) for measuring production in the sea. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* 18: 117-140.
- STRICKLAND J.D.H. and J. R. PARSONS. 1968: *A practical hand-book of sea water analysis - Fish. Res. Bd. Can. Bull. Ottawa*.
- UNESCO, 1966: *Determination of photosynthetic pigmentism seawater*. Report of SCOR/UNESCO Working Group 17, which met from 4 to 6 June 1964, UNESCO, Paris: Monograph on Oceanographic Methodology 1, 69 pp.
- VOLLENWEIDER R. A., 1962: Sull'uso dei metodi con-

duttometrici per la titolazione dell'alcalinità totale, dei cloruri e dei solfati nelle acque dolci. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 15: 29-42.

VOLLENWEIDER R. A., 1968: *Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen*

and phosphorus as factors in autrophication. Organ. Econ. Coop. and Directorate for Scientific Affairs.

ZENDRINI B., 1936: In BRUNELLI G. e G. CANICCI (1942). Il Lago di Massaciuccoli. *Boll. Pesca, Pisc. Idrobiol.*, Fasc. 3, 54 pp.

8