

PAOLO DURIO, DANILLO MORI, GIAN CARLO PEROSINO

ASPETTI LIMNOLOGICI DEL LAGO DI CANDIA *

RIASSUNTO - Sul lago di Candia (NW Italia) sono state compiute rilevazioni relative alle principali caratteristiche fisiche e chimiche delle acque e dei sedimenti nei quattro momenti stagionali nel corso dell'anno 1982.

Il commento dei dati ottenuti è inserito in un ambito più generale comprendente l'origine geomorfologica del lago, l'analisi delle caratteristiche morfometriche della conca lacustre e del relativo bacino imbrifero e l'individuazione dei principali elementi climatici ed idrologici.

Questo studio, benché limitato a pochi elementi e parametri fisici e chimici del sistema considerato, anche se di particolare significato, può costituire una fase di analisi a carattere generale sulla base della quale sia possibile individuare, per il futuro, più precisi indirizzi di ricerca.

È emerso che il lago di Candia non è soggetto a fenomeni di « inquinamento » da sostanze tossiche ma, piuttosto, è in uno stato di netta ipertrofia anche e soprattutto per il notevole « carico di nutrienti » convogliati dal bacino imbrifero derivanti, in modo particolare, dalle attività umane.

Nelle conclusioni vengono suggerite ipotesi di risanamento delle acque lacustri la cui validità (e i relativi impegni finanziari) potrebbero essere presi in considerazione nell'auspicabile eventualità della costituzione di un parco naturale che coinvolga tutto il bacino imbrifero e una opportuna zona intorno alla « Palude di Candia ».

ABSTRACT - *Candia lake limnological aspects (Piedmont, NW Italy).*

Observations concerning to the main physical and chemical peculiarities of the waters and sedimentary aspects during the 1982 four seasonal times have been made on Candia.

The results of the data obtained are inserted in a more general sphere embracing the geomorphological genesis of the lake, the morphometrical peculiarities analysis of this lake basin and for the relative catchment-basin and the individualization of the most important climatic and hydrological features.

This study, although limited to a few elements and physical and chemical parameters of the considered system, even if of particular meaning, can constitute a stage of a general analysis on the field of which is possible to specify, for the future, more precise courses of research.

It results that Candia lake isn't subject phenomena of « pollution » by toxic substances but, on the contrary, it is in a condition of clear hypertrophic stage also and above all for the considerable « load of nourishing elements » converged by the catchment-basin, deriving, particularly, from human activities.

In the conclusions are suggested hypothesis of reclamation of the lake-waters, the validity of which (and the relative financial obligations) might be taken into consideration in the desirable eventuality of a natural park establishment including all the catchment-basin and a right area round the « Candia marsh ».

* Lavoro eseguito col contributo del C.R.E.S.T., Centro Ricerche in Ecologia e Scienze del Territorio, Torino.

INTRODUZIONE

Organici programmi di intervento atti a proteggere le acque di un determinato territorio, anche per gli aspetti più generali della loro utilizzazione per uso domestico o industriale, debbono essere a fondamento dei programmi tecnico-amministrativi di una Regione.

Nella corretta gestione delle acque è momento essenziale la sistemazione dei bacini idrografici, così vistosamente soggetti alle manifestazioni di dissesto idrogeologico, la valutazione e la tutela di un bene tanto importante ed, infine, una armonica ed oculata utilizzazione per far fronte a tutti gli aspetti sociali ed economico-produttivi. Sotto questo aspetto, particolare attenzione deve essere rivolta ai laghi che costituiscono un bene naturale di incommensurabile valore sia per le attività agrarie, sia per le cospicue riserve di energia accumulata per le produzioni idroelettriche e sia, non ultimo, per i momenti ricreativi. Infine, carattere di saliente valore culturale, è da riconoscere nel fatto che i laghi, quasi sempre, sono degli ecosistemi unici sia per quanto concerne gli aspetti naturalistici (proprio per i particolari momenti biocenotici che esprimono) che per un insieme di fattori culturali che hanno indotto o sviluppato.

Nel tempo, purtroppo, la maggior parte dei laghi ha subito una notevole pressione da parte dell'uomo e delle sue attività sociali sul territorio. In primo luogo è da considerare il turismo incontrollato che ha espresso momenti di impatto grave con i mezzi di diporto meccanizzati (fuoribordo, motoscafi, ecc...) e, non ultima, la rivoluzione delle produzioni agricole e zootecniche che hanno inquinato e « concimato » le acque lacustri con prodotti di sintesi e metabolici più vari. A queste due attività deve necessariamente essere affiancato, in tutti i suoi aspetti negativi, il massiccio ed esteso sviluppo economico-industriale.

L'inevitabile conseguenza di questo insieme di fattori antropici è stata ed è una vistosa accelerazione dei processi di eutrofizzazione dei bacini lacustri, ormai giunti ad un livello di soglia che rende sempre più problematica la loro utilizzazione per le produzioni ittiche che da sempre sono il momento più significativo di tali corpi d'acqua. Va ricordato, a tale proposito, che il valore del patrimonio ittico di un corpo d'acqua tende a diminuire allorché la popolazione di specie in esso presenti, costituita da quelle più pregiate (Salmonidi) viene soppiantata da altre fra le quali tende a prevalere il cosiddetto « pesce bianco » (ciprinidi). Questo fenomeno viene a manifestarsi proprio nel momento in cui si instaurano condizioni adatte all'aumento del livello di trofia del lago (Grimaldi, 1967; Borroni e Grimaldi, 1978).

La particolare attenzione riservata alle acque ed al loro risanamento è oggi in Piemonte (ancorché in tutta Italia) un problema assai grave in stretta correlazione allo sviluppo delle attività economico-industriali ed urbane con la conseguente produzione di ingenti quantità di scarto ed inquinanti che hanno indotto una profonda alterazione dei normali processi metabolici delle acque di scorrimento superficiale e di quelle lacustri.

Da un punto di vista ecologico i laghi rappresentano sistemi assai più complessi che non i fiumi e i torrenti e richiedono da parte degli esperti studi approfonditi ed articolati per comprenderne i fattori fisico-chimici e biologici che ne

determinano l'evoluzione. Ne consegue che ogni piano di intervento teso al loro recupero deve avere, alla base, una serie di accurate ed approfondite indagini scientifiche a carattere limnologico. Purtroppo, sulla spinta di pressioni socio-economiche, frequentemente le amministrazioni locali prospettano e, talora, danno vita a ipotesi di intervento per il risanamento delle acque lacustri senza avere una seria documentazione scientifica preventiva che valga ad indicare le tecniche e le metodologie di « riabilitazione » di un lago sia esso inquinato o eutrofico.

In Piemonte, se si escludono i laghi Mergozzo, Orta e Maggiore, oggetto di importanti e numerose ricerche effettuate dall'Istituto di Idrobiologia di Verbania Pallanza (CNR), pochi e non coordinati sono gli studi sulle rimanenti acque lacustri regionali; fra questi sono da ricordare quelli sui laghi di Avigliana (Forneris e Mussa, 1979; Badino *et Alii*, 1980) e di Candia (Giussani *et Alii*, 1980) e quello condotto dal Reparto di Idrobiologia Applicata di Brugherio di Milano del CNR (Chiaudani e Vighi, 1982) comprendente anche i maggiori laghi piemontesi.

Nell'affrontare lo studio di un bacino lacustre si deve, a nostro avviso, fare base ad una recente articolazione concettuale che vede il lago come « *...un sistema aperto, a flusso continuo, che fa parte di un sistema più globale, vale a dire che si tratta di un sottosistema del bacino imbrifero...* » (Vollenweider, 1979). Ne discende che la qualità dell'acqua che affluisce ad un lago è determinata dall'insieme del bacino imbrifero e che i fattori che determinano tali proprietà « *...al livello più generale sono quelli climatico-idrologici e geo-litologici...* » (Vollenweider, 1979). Infine, da queste considerazioni, nasce il concetto di « carico » e di « capacità assimilativa » di un sistema lacustre in rapporto alle condizioni geomorfologiche, climatiche e limnologiche in generale, come sintesi degli studi limnologici atti a fornire indicazioni sulle metodologie di recupero delle acque lacustri.

Da tali premesse ed alla luce delle più recenti acquisizioni scientifiche, è stato articolato un piano di ricerca e di studio del lago di Candia nei punti:

- a) analisi delle principali caratteristiche geomorfologiche del bacino imbrifero e del territorio immediatamente circostante;
- b) individuazione dei principali elementi morfometrici;
- c) inquadramento climatico e stima, nelle sue linee generali, del bilancio idrico;
- d) valutazione di parametri chimico-fisici;
- e) analisi chimiche dei sedimenti;
- f) considerazioni conclusive con particolare riferimento alle metodologie di recupero.

Se tale proposta di ricerca non può e non deve essere considerata momento definitivo in quanto è limitata alla valutazione di pochi elementi e parametri chimico-fisici del sistema considerato, ancorché sufficientemente significativi, essa può, peraltro, costituire una fase di inquadramento a carattere generale. Questi dati potranno aprire prospettive nuove per studi più approfonditi e, sulla loro interpretazione, tentare di individuare uno schema che, avvalorandosi dei dati delle principali variabili dell'ecosistema-lago, fornisca ipotesi di possibile progetto di risanamento.

Il bacino imbrifero del lago di Candia è compreso tra le seguenti coordinate geografiche:

45° 18' 24"
45° 20' 4" Latitudine Nord

4° 30' 47"
4° 34' 17" Longitudine W M. Mario

e, con una superficie di 6,875 km², costituisce una porzione di territorio, entro le colline moreniche di Ivrea, facente parte del bacino idrografico della Dora Baltea (Fig. 1).

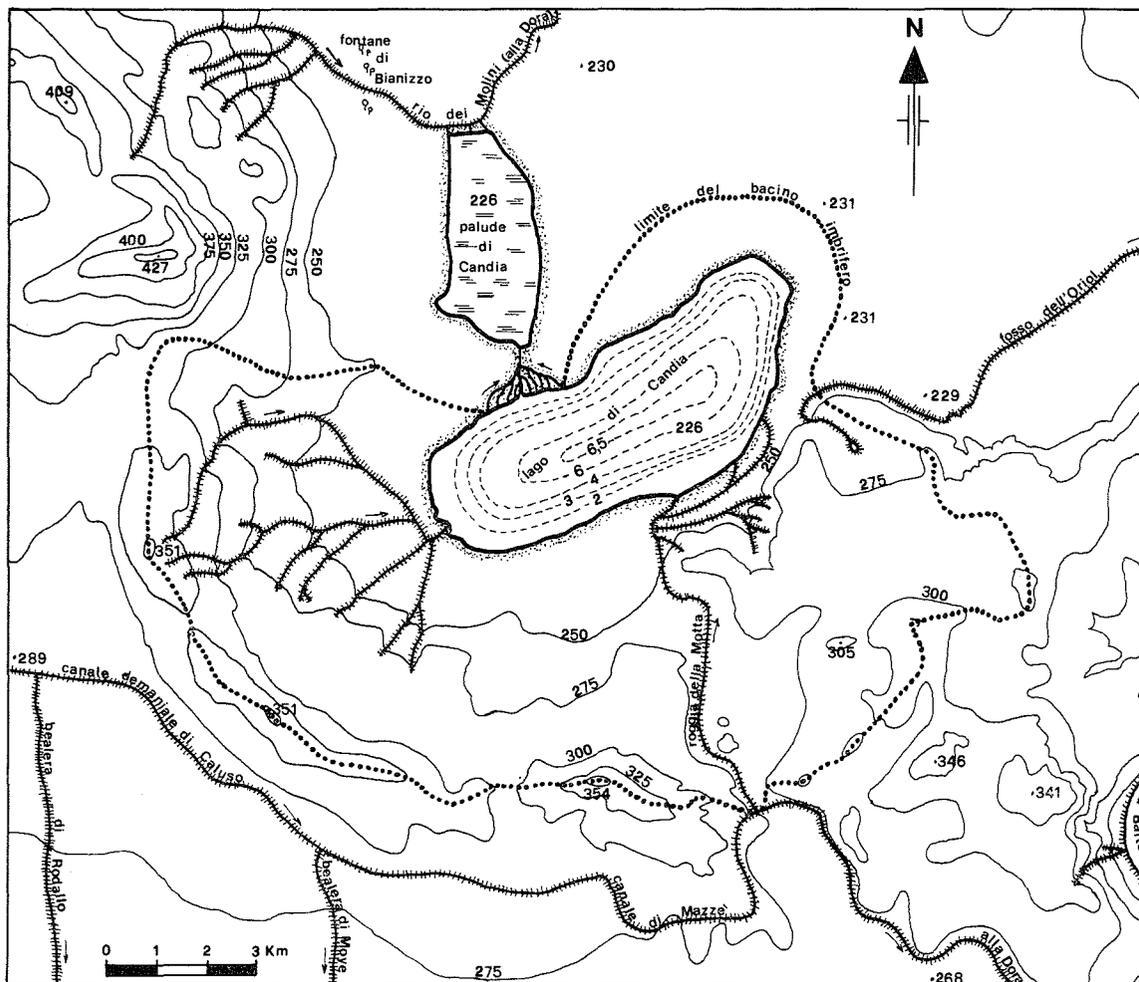


Fig. 1 - Lago di Candia e relativo bacino imbrifero.

Lo specchio d'acqua del lago è relativamente modesto ed ha, come superficie, un'estensione di appena 1,403 km²; inoltre è poco profondo non superando i 6,5-7 m.

Il lago di Candia rappresenta un ambiente di particolare interesse dove i processi di antropizzazione hanno scarso valore mentre prevale un rigoglioso sviluppo di macrofite che rappresentano un opportuno e sicuro habitat per moltissime specie animali.

Per queste sue peculiari caratteristiche il lago merita di essere attentamente considerato per un'opera di oculata protezione.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Il territorio compreso nel bacino del lago di Candia presenta un succedersi di situazioni geologiche cui è sufficientemente agevole attribuire ruoli e significati in un contesto geologico più ampio. L'indagine, proprio per esigenza di affrontare problemi specifici partendo da un modello di base logico, non può non tenere conto dell'evoluzione del paesaggio circostante; il che, in altri termini, significa considerare le varie fasi evolutive dell'ampia fascia di territorio compresa nell'anfiteatro morenico di Ivrea. Il quadro sintetico che qui esponiamo trae spunto da osservazioni di « campagna » integrate dall'interpretazione di elementi ricavabili dalla letteratura ed, in particolare, dalla cartografia.

In termini cronologici il lasso di tempo che intercorre tra oggi e la formazione del lago di Candia è appena di circa 20.000 anni, intervallo molto breve da un punto di vista geologico, tuttavia i motivi della presenza di questo lago e di quelli vicini (Viverone, Alice) sono da ricercare ben più indietro nel tempo.

Per gli scopi di questo lavoro riteniamo opportuno fornire non tanto un rilevamento cartografico di dettaglio (per questo rimandiamo alla cartografia esistente) quanto piuttosto un'interpretazione genetica dei processi fisici succedutisi in ambito regionale e che trovano, come ultima espressione, la configurazione geomorfologica attuale prendendo innanzitutto in considerazione la successione ipotetica degli eventi nel tempo.

Partendo dal basso verso l'alto nella serie stratigrafica, al di sopra del basamento cristallino affiorante nei dintorni di Ivrea, si individuano depositi marini sabbiosi: si tratta di sabbie alternate a ghiaie ricche di resti di molluschi fossili sicuramente attribuibili al Pliocene. Essi sono già noti da lungo tempo nella letteratura paleontologica (Sacco, 1889-90; Rabogliatti, 1954) particolarmente per la località Ponte dei Preti. Tali associazioni fossili presentano notevoli affinità con quelle del Pliocene superiore in facies astiana, tipiche del bacino Ligure-Piemontese ed indicative di mare poco profondo. Al di sopra si trovano depositi con caratteristiche piuttosto insolite ed erroneamente interpretate in passato (Novarese, 1913-14; Sacco, 1928): si tratta di sabbie grigio-giallastre, di cui esiste una sezione naturale all'imbocco della Valchiusella, che gradatamente passano ad argille siltose grigio-bluastre con una frazione più grossolana spesso intercalata. La caratteristica peculiare è la presenza di ciottoli striati e di fossili marini generalmente rotti o in cattivo stato di conservazione. L'interpretazione che si dà attualmente a tali depositi

riprende l'ipotesi formulata da Bruno (1877...1900); si tratterebbe di depositi ancora sicuramente marini dato che contengono faune marine delle quali una parte sarebbe sicuramente rimaneggiata (in particolare gli esemplari di grandi dimensioni abrasati e rotti) ed una parte probabilmente autoctona dato che gli esemplari hanno ben conservate anche strutture molto delicate che andrebbero distrutte in casi di eventuali trasporti pot-mortem. Associati si trovano elementi, quali i ciottoli striati, che suggeriscono un'attività francamente glaciale. Si tratta di una facies glacio-marina (Carraro *et Alii*, 1975; Carraro, 1979), per cui alla base della serie continentale esistono depositi di ambiente marino e di natura glaciale ancora attribuibili al Pliocene superiore. Una obiezione a questa interpretazione potrebbe essere mossa nel considerare soltanto le associazioni fossili e non le strutture sedimentarie; in effetti questi fossili sono stati per lungo tempo interpretati come indicatori di clima caldo, ma nella realtà l'abbassamento della temperatura esterna, durante le fasi glaciali, non deve aver superato i 6 °C, pertanto faune di clima temperato-caldo, viventi a decine di metri di profondità, non devono aver risentito, in modo sensibile, di tali cambiamenti.

Alla sommità di questi depositi i terreni di copertura iniziano con una sequenza di tipo continentale di età quaternaria, dovuti all'azione delle glaciazioni, responsabili, fra l'altro, della « costruzione » dell'anfiteatro morenico di Ivrea e, quindi, anche del lago di Candia. La dinamica dei ghiacciai riteniamo sia sufficientemente nota e rimandiamo a Carraro (1979), Durio *et Alii* (1982a-b), limitandoci a richiamare alcuni concetti più oltre.

Delle successive glaciazioni che hanno modellato, attraverso processi di deposizioni e di esarazione, le nostre regioni, nell'anfiteatro morenico di Ivrea rimangono le tracce delle fasi Mindel, Riss e Würm.

Immediatamente a Sud, il lago di Candia è sbarrato da un cordone morenico rissiano ed in uno spaccato naturale si osservano depositi glaciali (morena s.s.) che coprono depositi fluvioglaciali caratterizzati da materiali più fini a laminazione incrociata. Gastaldi (1863, 1865), Novarese (1913-14), Sacco (1927) ritenevano questi depositi fini come appartenenti ai periodi interglaciali; oggi essi sono interpretati come di origine cataglaciale.

È bene tener presente che in un dato lasso di tempo una fase glaciale è caratterizzata dalla presenza contemporanea di diverse facies, ad esempio deposizione di una morena contemporanea ad una fase fluvioglaciale; a ciò va aggiunto che le lingue glaciali avanzano ed arretrano in tempi successivi e, di conseguenza, i relativi depositi possono ricoprire o essere ricoperti da depositi fluvioglaciali o addirittura lacustri.

Premesse queste considerazioni appare più chiaro come possano essersi succedute le diverse fasi glaciali. Tralasciando il Mindel, i cui depositi morenici sono marginali e di estensione piuttosto limitata, dato che in gran parte sono stati cancellati dalle espansioni glaciali successive, vale la pena di soffermarsi sui depositi del Riss, glaciazione che è stata la più estesa in assoluto.

In Fig. 2 si può osservare come la lingua glaciale sia arrivata oltre l'attuale lago di Candia, formando con i suoi detriti morenici frontali lo sbarramento più esterno dell'anfiteatro morenico. Questi depositi caotici a granulometria piuttosto grossolana

ed eterogenea, pur non essendo distinti cartograficamente (vedi anche foglio 57 - Torino della Carta Geologica d'Italia), sono sul terreno riconducibili al Riss 1 e Riss 2.

Infiteatro morenico di Ivrea

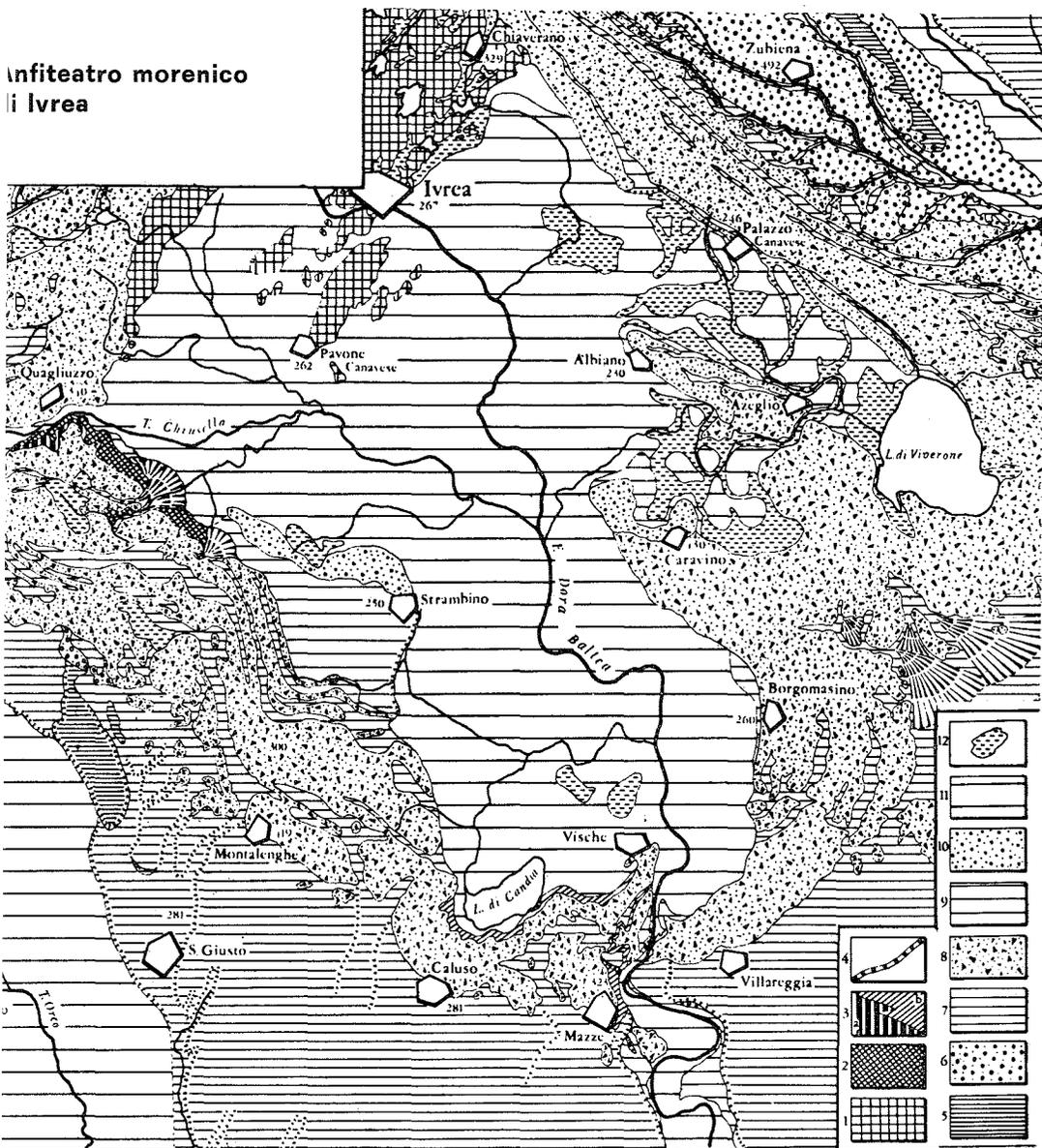


Fig. 2 - Carta geologica dell'anfiteatro morenico di Ivrea (da Carraro *et Alii*, 1975). 1 - basamento cristallino. 2 - sabbie ricche in molluschi del Pliocene. 3 - depositi glaciomarini del Pliocene superiore. 4 - conglomerato di origine fluviale (Gunz-Mindel). 5 - depositi fluvioglaciali del Mindel. 6 - morena del Mindel. 7 - depositi fluvioglaciali del Riss. 8 - morena del Riss. 9 - depositi fluvioglaciali del Würm. 10 - morena del Würm. 11 - depositi alluvionali recenti. 12 - depositi lacustri recenti.

Il Riss antico, ben visibile nel settore laterale sinistro dell'anfiteatro, ha lasciato tracce di depositi fluvio-glaciali nell'area della Bessa.

Ben più importante, ai nostri fini, è la penultima fase glaciale nota come Riss recente; infatti la Serra di Ivrea, le cerchie frontali che sbarrano i laghi di Candia e di Viverone e le cerchie laterali sono riferibili a questa glaciazione.

...« *La litologia del morenico è costituita da una matrice o sabbiosa o argillosa con ciottoli sempre spigolosi ad angoli più o meno smussati. Il paleosuolo è argilloso e di color rossastro arancio con ciottoli in fase di avanzata alterazione* »... (Bonsignore *et Alii*, 1969). Il paleosuolo non è sempre presente in quanto è stato sottoposto a processi erosivi successivi cosicché le cerchie moreniche in genere sono ghiaiose a causa del dilavamento dell'originario paleosuolo.

La successiva glaciazione würmiana ha avuto modeste estensioni ed i corrispondenti depositi morenici e fluvio-glaciali, ubicati nell'interno dell'anfiteatro rissiano, risultano arretrati rispetto a quelli della precedente glaciazione.

I laghi di Candia e di Viverone si sono formati durante il Wurm ed i loro bacini, al massimo della teorica espansione, erano compresi tra la cerchia wurmiana più interna e quella rissiana più esterna. Secondo Carraro (1979) è assai dubbio che sia esistito un unico grande lago ove oggi è la depressione interna dell'anfiteatro morenico di Ivrea, ipotesi, quest'ultima, avanzata da Sacco (1928); se ciò si fosse verificato in un passato più remoto comunque i relativi depositi lacustri sarebbero stati cancellati ed asportati dall'ultima espansione glaciale.

Da un punto di vista genetico, dunque, il lago di Candia è nato in un'epoca molto recente e si sta rapidamente riducendo nell'attuale epoca post-glaciale. Le attuali dimensioni del bacino sono assai ridotte rispetto al passato e ciò è dovuto ad un costante processo di interrimento di cui sono responsabili le acque superficiali che in esso decantano il loro carico solido dilavato dai depositi morenici circostanti.

MORFOMETRIA DELLA CONCA LACUSTRE E DEL RELATIVO BACINO IMBRIFERO

Le forme, le dimensioni e la posizione geografica di un lago e del relativo bacino sono elementi fondamentali per l'influenza che hanno sull'evoluzione delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche delle acque lacustri (Barbanti, 1972, 1973, 1979) ...« *Le forme della conca lacustre e del territorio limitrofo devono essere conosciute con esattezza e rappresentate cartograficamente, per la planimetria e per la batimetria* (Fig. 1), *costituendo queste informazioni il presupposto necessario per una utile discussione della morfologia* »... (Barbanti e Carollo, 1969) e delle altre caratteristiche limnologiche.

Lo studio morfologico può essere affrontato da un punto di vista qualitativo ma ciò non consente di arrivare a risultati tangibili e concreti. È più opportuno, invece, compiere un'analisi di tipo quantitativo che fornisca dati la cui elaborazione permetta di operare sintesi grafiche o numeriche di più pratica applicazione (Carollo e Drago, 1971).

Alla base dello studio quantitativo di una determinata porzione di territorio



Fig. 1 - Il lago di Candia sbarrato a valle dai rilievi morenici rissiani (ottobre 1982).



Fig. 2 - Rio della Motta, parte alta. L'erosione ha esposto depositi lacustri e morenici (ottobre 1983).

Fig. 3 - Particolare del canale di deflusso dal lago di Candia alla Palude (maggio 1983).



Fig. 4 - La zona rivierasca del lago di Candia con densa vegetazione. In particolare il fitto canneto e lo sviluppo della *Trapa natans* (ottobre 1982).



è la scelta di una carta che permetta di ricavare i dati fondamentali necessari per l'individuazione delle caratteristiche fisiogeografiche dell'area in oggetto. Ci è sembrato opportuno, sulla base delle dimensioni del bacino imbrifero del lago di Candia, scegliere, come strumento base, le Tavole dell'Istituto Geografico Militare (in scala 1:25.000) ingrandite fotograficamente in scala 1:10.000. Contemporaneamente si è fatto largo uso di fotografie aeree e sono stati necessari non pochi sopralluoghi in « campagna » per poter individuare determinate caratteristiche altimetriche non facilmente rilevabili sulle carte come, per esempio, la posizione dei limiti del bacino imbrifero nella sua porzione N-NE (Fig. 1).

Sulla carta topografica si sono valutate, mediante planimetrazione ripetuta quattro volte, le aree del bacino imbrifero comprese tra le isoipse con equidistanza pari a 25 m (Fig. 1 e Tab. 1) e si è proceduto quindi alla costruzione della *curva ipsografica* (Fig. 3) che, oltre a permettere confronti con areali diversi (Strahler, 1952, 1968), consente l'individuazione dell'altitudine mediana (Tab. 2), cioè di quella quota al di sopra e al di sotto della quale è presente il 50% della superficie dell'intero areale.

| m s.l.m. | A | B | C | D |
|----------|-------|-------|-------|------|
| 354-350 | 0,021 | 0,021 | 0,3 | 2,9 |
| 350-325 | 0,358 | 0,379 | 5,5 | 12,3 |
| 325-300 | 0,688 | 1,067 | 15,5 | 17,4 |
| 300-275 | 1,581 | 2,648 | 38,5 | 11,9 |
| 275-250 | 1,987 | 4,635 | 67,4 | 8,6 |
| 250-226 | 2,240 | 6,875 | 100,0 | 5,8 |

Tab. 1 - Superfici e pendenze delle diverse fasce altimetriche del bacino imbrifero del lago di Candia. A - Superfici (km²), B - Superfici cumulate (km²), C - Percentuali delle superfici cumulate rispetto a quella totale del bacino (%), D - Pendenze medie (%).

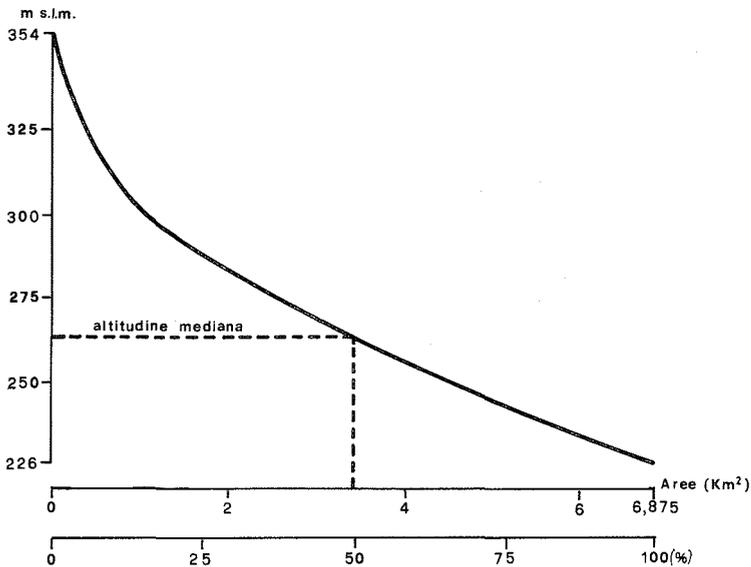


Fig. 3 - Curva ipsografica del bacino imbrifero del lago di Candia.

| | |
|---|--|
| Superficie lago (A _o) | 1,403 Km ² |
| Superficie bacino imbrifero (A) | 6,875 Km ² |
| Rapporto A/A _o | 4,90 |
| Perimetro lago (L _o) | 5,734 Km |
| Perimetro bacino imbrifero (L) | 13,558 Km |
| Sviluppo perimetro lago (DL _o) | 1,37 |
| Sviluppo perimetro bacino imbrifero (DL) | 1,46 |
| Massima lunghezza lago (1) | 2,113 Km |
| Massima larghezza lago (b) | 0,853 Km |
| Larghezza media (b = A _o /1) | 0,664 Km |
| Volume (V) | 5,363 10 ⁶ · m ³ |
| Profondità massima (Z _m) | 6,7 m |
| Profondità media (Z = V/A _o) | 3,8 m |
| Grado di incavamento (Z/Z _m) | 0,57 |
| Profondità relativa (Z _r) | 50,1 % |
| Pendenza media versanti bacino imbrifero (K) | 10,5 % |
| Altitudine del lago (H _o) | 226 m s.l.m. |
| Altitudine massima bacino imbrifero (H) | 354 m s.l.m. |
| Altitudine mediana bacino imbrifero (H _m) | 266 m s.l.m. |

Tab. 2 - Elementi morfometrici del lago di Candia e del relativo bacino imbrifero.

La determinazione (con compasso di precisione con apertura di 3 mm) delle lunghezze delle isoipse con equidistanza di 25 m, ha permesso, con la conoscenza delle aree precedentemente valutate, di calcolare la pendenza media delle fasce altimetriche (Tab. 1) e dell'intero bacino (Tab. 2). La pendenza (K) delle fasce altimetriche è stata determinata secondo l'espressione (Carollo, 1970):

$$\bar{K} = \frac{he \cdot (l_1 + l_2)}{2 \cdot a}$$

dove: (l₁ e l₂) sono i tratti (Km) di isoipse che delimitano inferiormente e superiormente la fascia altimetrica;

(a) è la superficie della fascia altimetrica (Km²);

(he) è l'equidistanza (25 m) tra due isoipse.

La pendenza media dell'intero bacino è stata calcolata mediante la seguente formulazione (Carollo, 1970):

$$K = \frac{he}{A} \cdot \sum_1^n l$$

dove, in questo caso, vengono presi in considerazione l'intera superficie del bacino (A) e la somma delle lunghezze di tutte le isoipse ($\sum_1^n l$).

La situazione generale della regione in studio è sintetizzata dall'istogramma della distribuzione delle pendenze medie dei versanti nelle diverse fasce altimetriche raffrontate con l'estensione di queste ultime (Fig. 4).

Quale elemento sintetico per la quantizzazione della forma del bacino imbrifero del lago di Candia, è stato calcolato lo sviluppo del suo perimetro o *indice di forma* o di Gravelius (in Tonini, 1959):

$$DL = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}}$$

dove L è il perimetro (Km) del bacino (Tab. 2); in tal modo si ha una misura del grado di similitudine del bacino con una forma teorica circolare. Questo parametro è molto importante perché a seconda della morfologia, diversi sono i tempi di concentrazione delle acque.

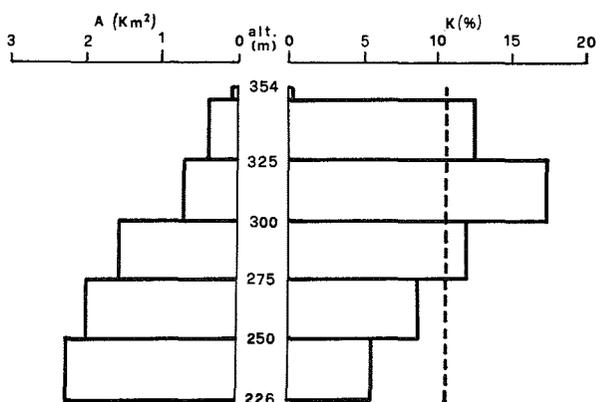


Fig. 4 - Bacino imbrifero del lago di Candia. Distribuzione delle aree (A) e della pendenza media (\bar{K}) nelle diverse fasce altimetriche. Pendenza media del bacino (- - -).

L'analisi morfologica della conca lacustre è stata effettuata sulla base dell'aggiornamento (da noi compiuto nel maggio del 1982 mediante scandaglio) del rilevamento batimetrico effettuato nel 1979 da Chessa (1980). La batimetria del lago è rappresentata in Fig. 1; le misure di superfici e di lunghezze sono state compiute, come per il bacino imbrifero, sull'ingrandimento 1:10.000; sono state determinate, in questo modo, le aree delle diverse fasce batimetriche e i relativi volumi (Tabb. 3 e 4). Da questi ultimi dati è stata costruita la *curva dei volumi* (Fig. 5) relativa al lago di Candia; questo tipo di rappresentazione è molto utile per confrontare le masse d'acqua degli strati superficiali (dove prevale la produzione fotosintetica ad opera del fitoplancton) con quelle profonde (dove prevalgono la respirazione e la decomposizione); nei laghi in cui i volumi d'acqua profondi non costituiscono, come nel nostro caso, una grossa porzione rispetto a quello totale, i processi di crescita dei livelli di trofia sono favoriti (Thienemann, 1927; Strom, 1933; Rawson, 1955, 1956).

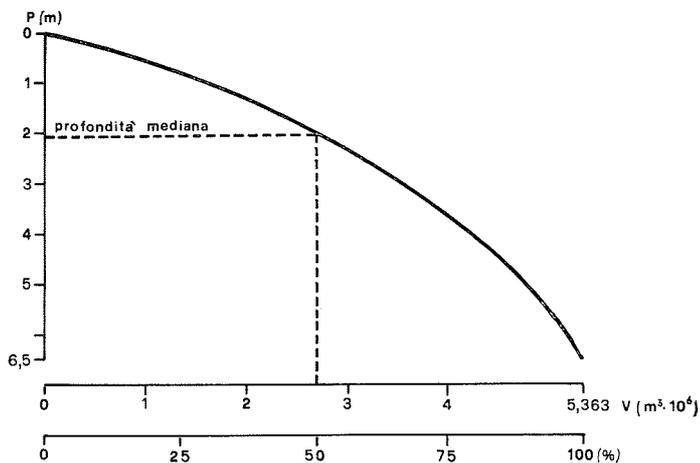


Fig. 5 - Curva dei volumi del lago di Candia (profondità mediana 2,1 m).

| P (m) | A | B | C |
|-------|-------|-------|-------|
| 0-2 | 0,292 | 0,292 | 20,8 |
| 2-3 | 0,168 | 0,460 | 32,8 |
| 3-4 | 0,248 | 0,708 | 50,5 |
| 4-6 | 0,490 | 1,198 | 85,4 |
| 6-6,5 | 0,205 | 1,403 | 100,0 |

Tab. 3 - Superfici delle diverse fasce batimetriche del lago di Candia. A - Superfici (km²). B - Superfici cumulate (km²). C - Percentuali delle superfici cumulate rispetto a quella totale del lago (%).

| P (m) | A | B | C |
|-------|-------|-------|-------|
| 0-2 | 2,514 | 2,514 | 46,9 |
| 2-3 | 1,027 | 3,541 | 66,0 |
| 3-4 | 0,819 | 4,360 | 81,3 |
| 4-6 | 0,900 | 5,260 | 98,1 |
| 6-6,5 | 0,103 | 5,363 | 100,0 |

Tab. 4 - Volumi d'acqua degli strati in corrispondenza delle diverse fasce batimetriche del lago di Candia. A - Volumi degli strati (m³ · 10⁶). B - Volumi cumulati (m³ · 10⁶). C - Percentuali dei volumi cumulati rispetto a quello totale del lago (%).

I dati morfometrici di sintesi sono riportati nella Tab. 2; il loro significato ed interpretazione sono assai noti e comuni nella letteratura limnologica (Hutchinson, 1957; Barbanti e Carollo, 1969; Wetzel, 1975;...).

A conclusione di questa breve analisi morfometrica abbiamo voluto applicare, per il lago di Candia, l'espressione di Seppanen (1972) nel tentativo di correlare le

peculiari caratteristiche fisiogeografiche con l'evoluzione trofica del lago. In pratica si determina il numero massimo (N) di « cottages » che possono essere costruiti sulle rive o nelle immediate vicinanze senza gravi interferenze sui livelli di trofia:

$$N = \frac{A_0 \cdot \sqrt[3]{DL_0}}{10}$$

dove A_0 (ettari) e DL_0 sono, rispettivamente, la superficie del lago e lo sviluppo del relativo perimetro; 10 è il numero di ettari minimo indispensabile, secondo l'Autore, per sopportare un solo cottage. Il valore da noi ricavato è risultato pari a 16, ben superiore al numero di edifici attualmente sulle rive del lago; occorre rilevare, però, che due di essi sono ristoranti con annesse strutture turistiche e, quindi, in grado di produrre rifiuti in misura ben maggiore di un semplice cottage abitato, in genere, da una famiglia e per un periodo di tempo, spesso, molto inferiore all'anno intero.

ELEMENTI CLIMATICI ED IDROLOGICI

Esiste una stretta relazione tra climatologia ed ecologia lacustre; alla base di tutto è ...«*l'acqua derivata dalle precipitazioni meteoriche: in parole povere, pioggia, neve, oppure acqua di scioglimento dei ghiacciai, anche questa, però, correlata alle situazioni climatiche*»... (Tonolli, 1971). È evidente, infatti, che se le proprietà delle acque di precipitazioni che alimentano il lago sono funzione delle trasformazioni fisiche e chimiche che le acque stesse subiscono nel percorrere il reticolo idrografico o nel loro « ruscellare » sui versanti delle colline e delle montagne che fanno parte del bacino imbrifero, sono però, fondamentali anche le modalità e l'intensità delle manifestazioni meteorologiche la cui successione è caratterizzante il clima (Durio *et Alii*, 1982b).

Le analisi climatiche vengono normalmente compiute sulla base di rilevazioni della temperatura dell'aria, delle precipitazioni e di altri parametri meteorologici effettuate da stazioni, che abbiano funzionato per un periodo di osservazione significativo nel territorio in esame. Nella maggior parte dei casi si fa riferimento ai dati pubblicati sugli Annali Idrologici del Servizio Idrografico (Ministero LL. PP.); di quest'ultimo hanno funzionato poche stazioni, per brevi periodi e non vicine al territorio comprendente il lago di Candia al fine di ottenere risultati sufficientemente attendibili dalle elaborazioni dei dati climatici rilevati. Si sono allora utilizzati quelli relativi alla località di Candia Canavese (275 m s.l.m.; parte dell'abitato è situata all'interno del bacino imbrifero a N-W dell'omonimo lago) calcolati per l'anno medio (1921-1970) mediante interpolazioni dei dati delle stazioni più vicine effettuate per la Regione Piemonte (1980: « Progetto per la pianificazione delle risorse idriche del territorio piemontese »). Dal nostro studio, quindi, essendo basato esclusivamente sulle temperature dell'aria e sulle precipitazioni medie mensili ed annue (Tab. 5), sono escluse le analisi dei fenomeni meteorologici eccezionali che tanta parte hanno nel condizionare i fenomeni biologici. Riteniamo, comunque,

anche solo sulla base dei valori medi, di poter fornire, pur nelle sue linee generali, un inquadramento del clima del territorio comprendente il lago di Candia.

La *temperatura media annua* (12,1 °C) da noi ricavata è inferiore a quella calcolata dal Mennella (1967) per la penisola italiana (13,9 °C) e compresa tra quelle (12-13 °C) rappresentative, secondo lo stesso Autore, per la Pianura Padana.

Il *regime termico* (Tab. 5) è caratterizzato dal massimo nel mese di luglio (22,3 °C) e dal minimo nel mese di gennaio (1,3 °C); aprile (con 11,4 °C) e ottobre (con 12,7 °C) sono i mesi con temperature che più si avvicinano alla media annua; il collocamento di questi valori peculiari nell'anno è simile a quanto avviene per buona parte della penisola italiana (Mennella, 1967).

Dalla differenza tra la temperatura media mensile del mese più caldo e quella del mese più freddo, si è ottenuta l'*escursione media annua* pari a 21 °C superiore al valore di 20 °C considerato da Mori (1957) come limite al di sopra del quale il clima di una regione si può definire di tipo continentale.

La *media annua delle precipitazioni* (944 mm) è leggermente inferiore alla media italiana di 970 mm (Contessini, 1956) ma nettamente superiore a quella, 760 mm, relativa alla Pianura Padana (Mennella, 1967).

Il *regime pluviometrico* (Tab. 5), secondo la classificazione proposta dal Mennella (1967) può essere definito di tipo « sub-litoraneo alpino » con due massimi stagionali (maggio con 116 mm e novembre con 94 mm) nelle stagioni primaverile ed autunnale, di cui è moderatamente prevalente il primo, e due minimi, di cui quello invernale (gennaio con 34 mm) risulta nettamente inferiore a quello estivo (agosto con 81 mm).

L'inquadramento climatico generale può essere rappresentato dal *climogramma termo-pluviometrico* (Fig. 6); esso è suddiviso in quattro quadranti da due rette rappresentanti l'una la temperatura media annua e l'altra il mese medio (la media annua delle precipitazioni divisa per 12). Per ogni mese i valori medi di temperatura e di precipitazioni individuano un punto in uno dei quadranti rappresentanti, questi ultimi, particolari situazioni climatiche. Spicca la posizione del trimestre invernale caratterizzato da basse temperature e scarsa piovosità; il periodo più umido è quello primaverile; in estate, anche se le precipitazioni non sono scarse come nell'inverno, cospicue possono essere le perdite d'acqua per evapotraspirazione a causa delle elevate temperature anche se, dato che nessun mese cade nel III quadrante, non dovrebbero essere frequenti fenomeni di grave deficit idrico.

Questa analisi è confermata dal calcolo degli *indici di De Martonne* (1926) per ciascun mese (Tab. 5) dalla seguente formulazione:

$$De = \frac{12 \cdot P}{T + 10}$$

dove P è la precipitazione media mensile (mm) e T è la temperatura media mensile (°C). In nessun mese i valori calcolati risultano inferiori a 15, limite al di sotto del quale, secondo il suddetto Autore, si ha mediamente una situazione di aridità.

Il calcolo dei *rapporti P/T* eseguiti per ogni mese (Tab. 5), inoltre, non è mai risultato inferiore a 2 mm/°C, limite, quest'ultimo, al di sotto del quale, secondo Gaussen (in Pinna, 1977) un mese può considerarsi « secco ».

| | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | anno |
|-------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| | 34 | 38 | 60 | 102 | 116 | 115 | 83 | 81 | 85 | 86 | 94 | 50 | 944 |
| E | 2 | 8 | 22 | 50 | 91 | 123 | 145 | 127 | 87 | 48 | 18 | 5 | 723 |
| | 1,3 | 3,7 | 6,6 | 11,4 | 16,4 | 20,0 | 22,3 | 22,0 | 18,5 | 12,7 | 6,9 | 2,7 | 12,1 |
| PE | 32 | 30 | 38 | 52 | 24 | -7 | -62 | -46 | -2 | 38 | 76 | 45 | 218 |
| A.WL | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -7 | -69 | -115 | -117 | 0 | 0 | 0 | — |
| ST | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 193 | 142 | 113 | 112 | 150 | 200 | 200 | — |
| ST | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -7 | -51 | -29 | -1 | 38 | 50 | 0 | — |
| E | 2 | 8 | 22 | 50 | 91 | 123 | 134 | 111 | 86 | 48 | 18 | 5 | 697 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 29 |
| | 32 | 30 | 38 | 52 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 | 45 | 247 |
| O' | 31 | 31 | 34 | 43 | 34 | 17 | 8 | 4 | 2 | 1 | 13 | 29 | 247 |
| O'' | 152 | 152 | 167 | 211 | 167 | 83 | 39 | 20 | 10 | 5 | 64 | 142 | 1212 |
| MD | 231 | 231 | 234 | 243 | 234 | 210 | 150 | 117 | 114 | 151 | 213 | 229 | 2357 |
| O''+P | 186 | 190 | 227 | 313 | 283 | 198 | 122 | 101 | 95 | 91 | 158 | 192 | 2156 |
| e | 36 | 33 | 43 | 57 | 52 | 46 | 31 | 30 | 36 | 45 | 67 | 47 | 43 |
| | 26 | 10 | 9 | 9 | 7 | 6 | 4 | 4 | 5 | 7 | 14 | 19 | — |

Tab. 5 - Precipitazioni (mm) e temperature (°C) medie mensili a Candia Canavese calcolate per l'anno medio (1921 - 1970) mediante interpolazioni dei dati delle stazioni più vicine effettuate per la Regione Piemonte (1980: « Progetto per la pianificazione delle risorse idriche del territorio piemontese »). Precipitazioni (P), evapotraspirazione potenziale (PE), temperature (T), perdita d'acqua cumulata (A.WL), riserva idrica del suolo (ST), variazioni della riserva (C.ST), evapotraspirazione reale (AE), deficit idrico (D), eccedenza idrica (S), scorrimento superficiale (RO'), scorrimento superficiale calcolato per il bacino idrografico e riferito alla superficie del lago (RO''), ritenzione totale di umidità (TMD), indici di De Martonne (De), indici di Gausson (G).

Indice di aridità $I_a = 100d/PE = 4,0$; Indice di umidità $I_h = 100S/PE = 34,2$; Indice di umidità globale $I_h - I_a = 30,2$; $B_1 B'_1 r b'_1$: clima umido mesotermico con piccola deficienza idrica.

A conclusione di questa breve analisi climatica si è voluto applicare il « metodo Thornthwaite » (1946, 1954, 1957) ampiamente collaudato e in grado di offrire una sintesi più completa del bilancio idrico del territorio in oggetto. Nella Tab. 5 vengono riportati tutti i parametri del bilancio idrico (espressi come altezza, in millimetri, di una lama liquida uniformemente estesa sulla superficie del bacino imbrifero del lago di Candia) e le relative classificazioni il cui calcolo e significato sono assai noti e divulgati da un'ampia letteratura (fra gli altri Franceschetti, 1977 e Pinna, 1977); nella Fig. 7 è rappresentato graficamente il bilancio idrico secondo i dati riportati nella succitata Tab. 5.

Particolarmente interessanti sono i valori medi mensili stimati dello scorrimento superficiale (RO'); questa grandezza, secondo Thornthwaite (in Pinna, 1977), rappresenta l'eccedenza idrica, determinata da ciò che rimane sulla superficie del terreno dell'acqua di precipitazioni alla quale viene sottratta quella « realmente persa » per evapotraspirazione. Tale eccedenza idrica scorre sulla superficie del suolo nei canali naturali o sottoforma di acque dilavanti oppure viene assorbita temporaneamente dal terreno per essere poi restituita per mezzo delle sorgenti.

Moltiplicando i valori medi mensili di RO' per il rapporto A/A_0 (superficie

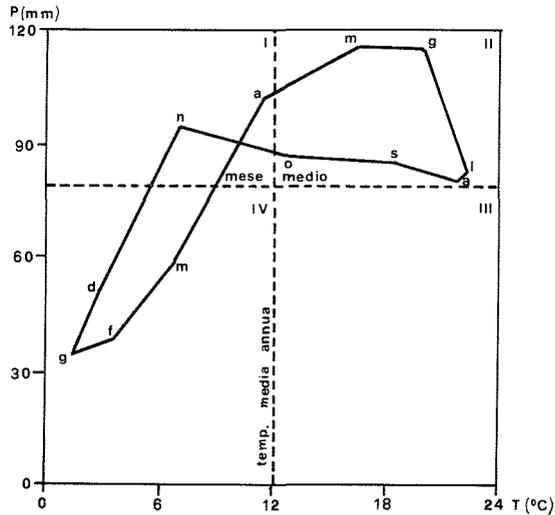


Fig. 6 - Climogramma termo-pluviometrico di Candia.

bacino imbrifero/superficie lago; Tab. 2) si ottengono i valori medi mensili (Tab. 5) dello scorrimento superficiale valutato per l'intero bacino imbrifero e riferito alla superficie del lago (RO''); in pratica il valore medio annuo, espresso in metri, ($1,21 \text{ m}$) moltiplicato per la superficie del lago ($1,403 \cdot 10^6 \text{ m}^2$) rappresenta il volume d'acqua ($1,70 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) che, mediamente, affluisce in un anno al lago dal bacino imbrifero sia attraverso lo scorrimento superficiale incanalato e dilavante che attraverso le sorgenti comprese quelle che si trovano al di sotto della superficie del lago se l'acqua che le alimenta deriva, come è probabile, dallo stesso bacino imbrifero. Il volume appena stimato corrisponde alla modesta portata media annua di $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ ($50 \text{ l} \cdot \text{sec}^{-1}$) di un ipotetico immissario drenante tutta l'acqua del bacino imbrifero.

A questa acqua bisogna aggiungere quella delle precipitazioni dirette (P) sulla superficie del lago (944 mm il valore medio annuo; Tab. 5) corrispondenti ad un volume ($1,32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) pari a $4/5$, circa, dell'acqua derivante dal bacino.

Nella Fig. 8 è rappresentato il regime degli afflussi totali al lago (sulla base dei dati della Tab. 5) da cui è possibile mettere in evidenza il diverso contributo di P e di RO'' . Questi ultimi hanno valori opposti nelle stagioni estiva ed invernale; nella stagione fredda le precipitazioni (P) sono assai ridotte e, in conseguenza della limitatissima evapotraspirazione (Tab. 5 e Fig. 8), quasi tutta l'acqua meteorica che cade sul bacino imbrifero affluisce al lago ($RO'' > P$); nella stagione estiva le piogge sono più abbondanti ma la maggior parte dell'acqua meteorica « raccolta » dal bacino viene persa per evapotraspirazione e solo una porzione assai limitata affluisce al lago ($RO'' < P$). Il volume totale medio annuo di acqua che affluisce ($P + RO''$) è pari, dunque, a $3,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Un fenomeno particolarmente importante è l'evaporazione diretta dalla superficie lacustre; infatti... « evidenti appaiono gli effetti che si manifestano sul bilan-

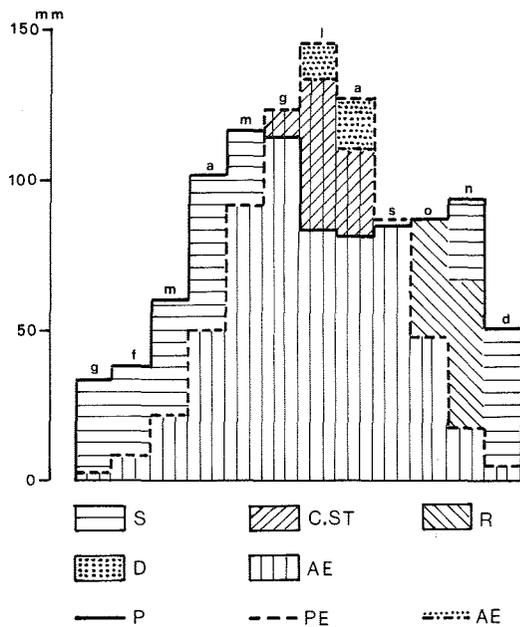


Fig. 7 - Bilancio idrico secondo Thornthwaite per Candia. Eccedenza idrica (S), deficit idrico (D), variazioni della riserva (C.ST), evapotraspirazione reale (AE), ricostituzione della riserva (R), precipitazioni (P), evapotraspirazione potenziale (PE).

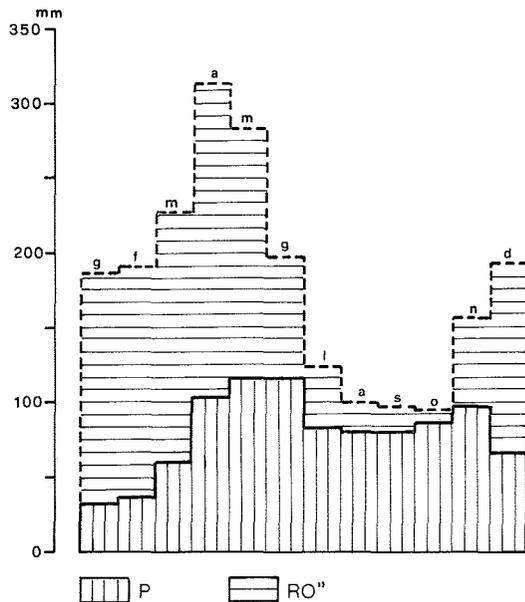


Fig. 8 - Regime degli afflussi al lago di Candia. Contributi dovuti alle precipitazioni dirette sulla superficie (P) e quelli derivanti dal bacino imbrifero (RO'').

cio idrologico e su quello energetico, sul chimismo della massa liquida e sulle caratteristiche chimico-fisiche dei primissimi strati d'acqua, soprattutto durante i periodi di stagnazione »... (Barbanti, 1970).

L'evaporazione diretta (E) non è di facile determinazione e il fatto che esistano molte tecniche di valutazione... « è un sintomo evidente che nessuna di esse è pienamente soddisfacente: tutte quelle finora note soffrono di limitazioni e di approssimazioni che... ne rendono difficile... il loro impiego »... (Barbanti, 1970). Inoltre tali tecniche richiedono l'uso di strumentazioni (evaporimetri, anemometri, psicrometri,...) che abbiano effettuato misurazioni per un determinato periodo di osservazione; per il lago di Candia, purtroppo (analogamente alla situazione della maggior parte dei laghi piemontesi), non hanno mai funzionato stazioni climatiche con strumenti di quel tipo.

Eppure l'evaporazione rappresenta una porzione non trascurabile del bilancio idrologico. Uno studio condotto da Barbanti e Drago sul lago Mergozzo (1971) ha stabilito che, nel periodo ottobre '69 - settembre '70, l'evaporazione (611 mm) è risultata circa la metà rispetto alle precipitazioni dirette (1192 mm). Sul lago d'Endine le perdite apparenti, nel periodo 1959-1968, sono state mediamente $356 \text{ mm} \cdot \text{anno}^{-1}$, cioè poco meno di $1/4$ del valore medio annuo delle precipitazioni dirette (1517 mm) calcolato per lo stesso periodo (Barbanti e Carollo, 1974). Sul lago Maggiore, nel periodo 1957-1978 l'evaporazione ($1144 \text{ mm} \cdot \text{anno}^{-1}$) è risultata, secondo Ambrosetti *et Alii* (1981), pari a $3/5$ circa delle precipitazioni ($1755 \text{ mm} \cdot \text{anno}^{-1}$).

Sulla base delle considerazioni precedenti, quindi, in linea molto approssimativa, possiamo stimare, per il lago di Candia, l'evaporazione media annua pari a circa il 50% delle precipitazioni dirette ($E \sim 0,5 \cdot P$). Trascurando poi le eventuali perdite sotterranee (introducendo, quindi, una ulteriore semplificazione) possiamo stimare il volume d'acqua totale (U) che mediamente esce dal lago in un anno:

$$U \sim RO'' + 0,5 \cdot P$$

che è risultato essere pari a circa $2,36 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{anno}^{-1}$. Il rapporto V/U , cioè tra il volume del lago e quello che defluisce in un anno per mezzo dell'emissario, definisce il cosiddetto « tempo teorico di rinnovo delle acque lacustri » che, per il lago di Candia è risultato pari a circa 2,3 anni; questo parametro rappresenta il numero teorico di anni necessario affinché tutta l'acqua del lago sia totalmente ricambiata. Occorre precisare, però, che questo valore (anche se indicativo, almeno a livello di confronto) è puramente teorico, perché presuppone il lago configurato come un tratto fluviale a sezione più ampia e con una morfologia molto regolare, entro il quale si sviluppi un trasporto liquido più o meno uniforme senza tener conto di quel complesso di fenomeni fisici, chimici e biologici particolarmente importanti anche nel determinare i movimenti delle acque ai diversi livelli di profondità; in realtà, quindi, i tempi reali di totale rinnovo delle acque lacustri sono alquanto superiori a quelli teorici (Barbanti, 1971).

È indubbio, comunque, che il tempo teorico di rinnovo (essendo determinato dai parametri morfometrici della cuvetta lacustre e del rispettivo bacino imbrifero, oltre che dell'entità delle precipitazioni sull'intero areale) esprime sinteticamente

la « vivacità idrologica » del lago così importante nel condizionarne l'evoluzione; infatti maggiore è il « ricambio idrico » e, a parità di tutte le altre condizioni, minori sono i tempi di crescita dei livelli di trofia del lago stesso.

A questo proposito particolarmente interessante, a nostra avviso, è l'ipotesi di utilizzare l'acqua delle « fontane di Bianizzo » (distanti pochi chilometri; Fig. 1) da immettere nel lago. Si tratta di acque sorgive dalle caratteristiche fisiche e chimiche adatte, più o meno costanti nell'anno (temperatura 12-13 °C; pH = 7,9; conducibilità $\sim 150 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e con una portata media di circa $40 \text{ l}\cdot\text{sec}^{-1}$, di poco inferiore alla stima di RO¹. Ciò vuol dire un contributo di un volume d'acqua pari a $1,26\cdot 10^6 \text{ m}^3\cdot\text{anno}^{-1}$ e, quindi, una riduzione del tempo teorico di ricambio delle acque lacustri a $\sim 1,5$ anni. L'immissione di un flusso d'acqua costante, inoltre, consentirebbe un deflusso dal lago alla palude, e, quindi, al rio dei Molini (Fig. 1), anche durante l'estate negli anni caratterizzati da eccezionali deficit idrici che, determinando un notevole abbassamento del livello, riducono a tal punto il volume, da rendere molto più critiche situazioni di deficit di ossigeno nelle acque profonde.

PARAMETRI CHIMICO-FISICI

La definizione delle caratteristiche fisiche e chimiche delle acque e dei sedimenti del lago è stata effettuata utilizzando una stazione fissa entro la isobata di 6,5 m (Fig. 1), in modo tale da compiere rilevazioni lungo una colonna d'acqua significativa della massima profondità, facendo uso di una sonda munita di elettrodo combinato COMBIBOX mod. CMS 570 e di relativo strumento di misura COMBIBOX 570 della Wissenschaftlich Technische (Germania). Con questa apparecchiatura sono stati misurati, a varie profondità, i valori della temperatura, dell'ossigeno disciolto, del PH e della conducibilità (Tabb. 6-10 e Fig. 9). Per quanto attiene alla valutazione di altri parametri chimici si è fatto riferimento ai dati riportati da Chessa (1979), da Giussani *et Alii* (1980) e da Chiaudani e Vighi (1982) che sulle acque del lago di Candia hanno operato con determinazioni analitiche fra le quali, di particolare interesse, quelle dei « nutrienti »: azoto e fosforo.

Temperatura delle acque

I rilievi sono stati effettuati nell'arco di un anno (1982: 19 febbraio, 14 maggio, 5 agosto, 2 novembre) al fine di avere un quadro generale, pur nelle sue linee principali, nelle stagioni estreme (estiva ed invernale) e in quelle intermedie (primavera ed autunno).

Dai dati rilevati (Tab. 6 e Fig. 9) appare evidente che nei mesi di maggio e di novembre si verificano situazioni di transizione fra quella invernale, che è caratterizzata da isotermità alle diverse profondità, e quella estiva allorché la differenza di temperatura tra le acque superficiali (che possono raggiungere i 28 °C) e quelle profonde è massima (11,4 °C).

¹ I dati analitici e chimico-fisici dell'acqua delle fontane di Bianizzo vengono pubblicati per esteso in altra memoria.

| P (m) | 19 feb | 14 mag | 5 ago | 2 nov |
|----------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 2,6 | 22,1 | 27,9 | 12,2 |
| 1 | 2,9 | 21,3 | 26,1 | 12,1 |
| 2 | 3,0 | 18,3 | 25,0 | 12,0 |
| 3 | 3,0 | 16,6 | 24,7 | 11,5 |
| 4 | 3,0 | 15,1 | 23,2 | 11,0 |
| 5 | 3,0 | 14,0 | 18,6 | 10,7 |
| 6 | 3,0 | 12,3 | 16,5 | 10,4 |
| 6,5 | 3,0 | 11,5 | — | 10,1 |

Tab. 6 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) dell'acqua alle diverse profondità (P).

Osservando il grafico illustrato in Fig. 9 si può rilevare che non esiste nel periodo estivo una vera e propria « stratificazione termica » nel senso che non è evidenziabile una fascia di profondità ove il gradiente di diminuzione della temperatura risulti particolarmente pronunciato. Tale fenomeno si manifesta, di norma, nei laghi piccoli e poco profondi. Non esiste una vera e propria « barriera fisica » tra le acque superficiali e quelle profonde e pertanto è probabile che si instauri un certo apporto di « nutrienti » da queste ultime alle prime tanto che l'attività di « produzione primaria » ne risulterebbe favorita.

Ossigeno disciolto

I valori di ossigeno sono espressi in $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Tab. 7) ed in percentuale rispetto alla saturazione (Tab. 8 e Fig. 9) calcolati secondo l'abaco Tonolli (1947).

Nell'inverno c'è omogeneità alle diverse profondità determinata dall'avvenuto rimescolamento delle acque nella precedente stagione. Solo in prossimità del fondo si ha una brusca caduta fino al 41% rispetto alla saturazione e ciò è dovuto, probabilmente, al fatto che la considerevole quantità di sostanza organica presente è tale da impedire una sua completa ossidazione. Tale ipotesi è confortata dal fatto che nel mese di maggio (Tabb. 7 e 8) l'ossigeno risulta praticamente assente ad un metro dal fondo così come si verifica già dai quattro metri di profondità nel mese di agosto.

| P (m) | 19 feb | 14 mag | 5 ago | 2 nov |
|----------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 13,8 | 11,8 | 12,7 | 11,9 |
| 1 | 13,3 | 11,7 | 12,7 | 11,8 |
| 2 | 13,0 | 12,1 | 11,1 | 10,5 |
| 3 | 12,8 | 9,4 | 8,0 | 9,9 |
| 4 | 12,6 | 4,1 | 0,1 | 3,9 |
| 5 | 12,3 | 0,7 | 0,0 | 1,8 |
| 6 | 10,5 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 6,5 | 5,4 | 0,0 | — | 0,5 |

Tab. 7 - Ossigeno ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) alle diverse profondità (P).

| P (m) | 19 feb | 14 mag | 5 ago | 2 nov |
|----------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 103 | 139 | 163 | 113 |
| 1 | 101 | 133 | 159 | 112 |
| 2 | 99 | 130 | 135 | 108 |
| 3 | 97 | 98 | 98 | 93 |
| 4 | 96 | 41 | 1 | 36 |
| 5 | 86 | 7 | 0 | 17 |
| 6 | 80 | 1 | 0 | 8 |
| 6,5 | 41 | 0 | — | 5 |

Tab. 8 - Ossigeno (% saturazione) alle diverse profondità (P).

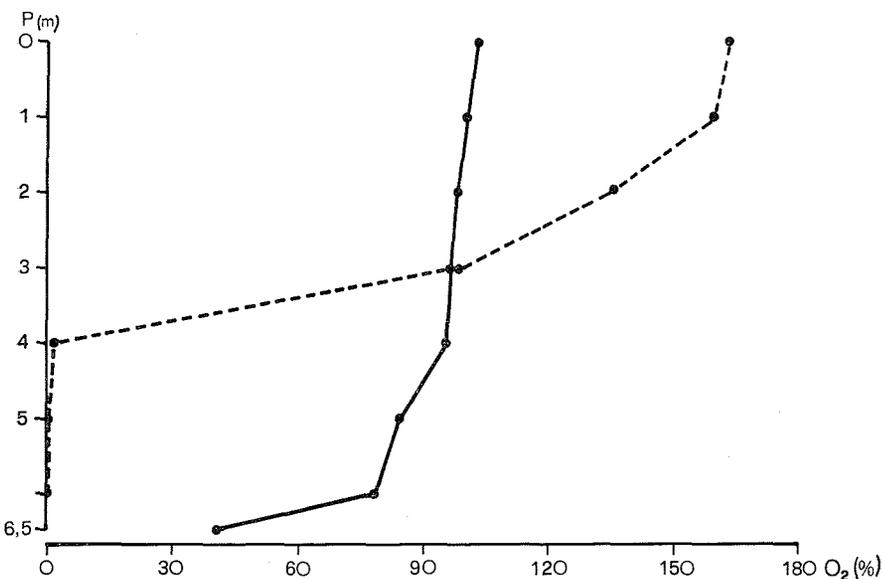
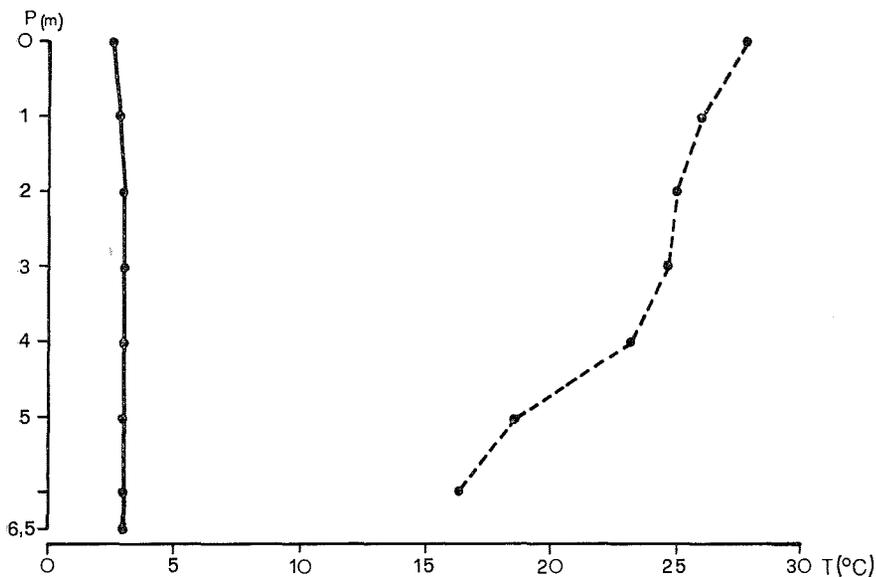


Fig. 9 - Distribuzione verticale delle temperature (T) e delle percentuali di ossigeno (O₂) sciolto in acqua rispetto alla saturazione; inverno (19/2/'82): —; estate (5/8/'82): - - - -.

La mancanza di ossigeno disciolto nelle acque al di sotto di 4 m dalla superficie (nel 25% del volume totale) pone il lago di Candia fra quelli caratterizzati da evidente ipertrofia (Gakstatter *et Alii*, 1975).

PH

In generale si osserva che i valori del PH sono più elevati nelle acque superficiali che in quelle profonde (Tab. 9) con la tendenza ad aumentare nelle prime ed a diminuire nelle seconde al passaggio dalla stagione fredda a quella calda.

Particolarmente significativo è il PH delle acque in prossimità del fondo che risulta debolmente acido soprattutto in agosto e ciò, probabilmente, è da mettere in relazione al fatto che la condizione di anossia favorisce la liberazione di composti acidi, soprattutto di acido solfidrico. Un ambiente acido, inoltre, rende maggiormente solubili quei sali che, in acque neutre o debolmente alcaline, non lo sono (per es. i carbonati) e impedisce la formazione di precipitati (per es. gli ortofosfati legati al ferro) che diversamente sarebbero sottratti al ciclo biologico restando adsorbiti nel sedimento.

Se a questo fenomeno si aggiunge il fatto che la mancanza di una vera e propria « stratificazione termica » consente un certo qual « rifornimento di nutrienti » agli organismi vegetali delle acque superficiali, si può giungere a spiegare l'eccessivo sviluppo di « produzione primaria » che caratterizza il lago di Candia.

| P (m) | 19 feb | 14 mag | 5 ago | 2 nov |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 0 | 8,3 | 8,6 | 9,0 | 8,8 |
| 1 | 8,3 | 8,5 | 9,1 | 8,7 |
| 2 | 8,4 | 8,7 | 8,9 | 8,8 |
| 3 | 8,0 | 8,1 | 7,9 | 8,1 |
| 4 | 7,7 | 7,4 | 6,8 | 7,3 |
| 5 | 7,1 | 7,3 | 6,7 | 7,0 |
| 6 | 7,0 | 6,7 | 6,4 | 6,8 |
| 6,5 | 6,8 | 6,5 | — | 6,6 |

Tab. 9 - PH alle diverse profondità (P).

Conducibilità

La conducibilità viene espressa in $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ed è in relazione con il tenore di ioni presenti in acqua; inoltre è influenzata dal PH, dalla valenza degli ioni e dal loro grado di ionizzazione. In linea di massima la conducibilità ha un andamento « parallelo » al PH (Tab. 10) con valori che sono superiori in estate rispetto a quelli dell'inverno e che aumentano dalla superficie verso il fondo.

Nel nostro caso particolarmente elevati sono quelli rilevati nelle acque profonde ed, in particolare, in estate; tale situazione potrebbe essere dovuta alla maggiore acidità delle acque che porterebbe in soluzione una maggiore quantità di sali.

Trasparenza

Questo parametro, molto usato in limnologia, è da mettere in relazione con la produzione di plancton. La trasparenza, infatti, è quasi sempre minore allorché

| P (m) | 19 feb | 14 mag | 5 ago | 2 nov |
|----------|--------|--------|-------|-------|
| 0 | 90 | 100 | 110 | 100 |
| 1 | 90 | 100 | 110 | 100 |
| 2 | 90 | 100 | 110 | 105 |
| 3 | 100 | 105 | 110 | 110 |
| 4 | 110 | 120 | 115 | 120 |
| 5 | 115 | 135 | 180 | 155 |
| 6 | 130 | 180 | 275 | 200 |
| 6,5 | 145 | 210 | — | 225 |

Tab. 10 - Conducibilità ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) alle diverse profondità (P).

maggiore è lo sviluppo di plancton (Hutchinson, 1957; Moroni e They, 1967; Ramazzotti, 1969; Cordella, 1981).

La trasparenza è stata da noi misurata col disco di Secchi ed ha fornito valori da un massimo di 3,7 m in febbraio a un minimo estivo di 1,4 m, misure che rappresentano la profondità alla quale il disco immerso (bianco e del diametro di 20 cm) scompare alla vista.

Il valore di trasparenza minima è rappresentativo dello stato di trofia di un lago e quello da noi misurato è inferiore ai 2 m, limite al di sotto del quale, secondo Gakstatter *et Alii* (1979) si hanno condizioni di eutrofia.

Sedimenti

Le analisi si riferiscono allo strato di sedimenti più superficiale ed hanno portato alla determinazione della sostanza organica e, mediante la tecnica dell'assorbimento atomico, di alcuni metalli pesanti (Tab. 11).

| Cr | Cu | Ni | Zn | Pb |
|------|------|------|------|---------|
| 0,84 | 0,65 | 2,17 | 1,95 | assente |

Tab. 11 - Concentrazioni (p.p.m.) di alcuni elementi sul sedimento secco del lago di Candia.

Per quanto riguarda questi ultimi nessun elemento denuncia concentrazioni troppo elevate anche se, dalla loro presenza, si potrebbe pensare ad uno stato generale di inquinamento nelle sue fasi iniziali.

Più interessante è certamente il valore di sostanza organica del sedimento che, calcolato sul secco, ha fornito il dato medio del 23%. Si tratta di un valore decisamente elevato che colloca il lago di Candia fra quelli più eutrofizzati.

Nutrienti

Nel mese di luglio 1979 Giussani *et Alii* (1980) effettuarono analisi chimiche delle acque alle diverse profondità e in due punti del lago di Candia. Le concentrazioni di azoto nitrico variavano da un minimo di $30 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ nelle acque superficiali

ad un massimo di $100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ in quelle più profonde; analogamente per l'azoto totale inorganico si passava da $50\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ fino ad oltre i $190\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Per quanto riguarda il fosforo reattivo i valori minimi, in superficie, erano intorno ai $9 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ mentre, in prossimità del fondo, i massimi raggiungevano addirittura i $130 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$; il fosforo totale era compreso fra i $40 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ e i $159 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Si tratta di concentrazioni decisamente elevate dalle quali risulta chiaramente evidente l'alto livello di trofia raggiunto dal lago.

Valori altrettanto elevati sono stati ottenuti da Chessa (1980) ed in particolare intorno ai $40\text{-}50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, quelli minimi dell'azoto nitrico, fino ad oltre i $200 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, quelli massimi nel periodo compreso tra l'ottobre '79 e lo stesso mese dell'80, mentre gli ortofosfati sono oscillati fra i $7 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (nelle acque superficiali nel mese di dicembre) e i $75 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (nelle acque profonde nel mese di luglio).

Dai dati sopra segnalati è possibile tentare di individuare i valori medi delle concentrazioni dei « nutrienti » azoto e fosforo rappresentativi dell'intero volume del lago e quali indici della condizione trofica:

| | |
|---|--|
| — azoto inorganico totale | $\sim 160 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ |
| — fosfati reattivi (P-P ₀₄) | $\sim 15 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ |
| — fosfati totali | $\sim 65 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ |

Questi valori sono molto vicini a quelli indicati da Chiaudani e Vighi (1982) per il lago di Candia.

Individuazione di un fattore fondamentale

È noto che la disponibilità di azoto e di fosforo giocano un ruolo determinante nel condizionare la produttività dei bacini lacustri. Redfield (1958, 1963) afferma che il fitoplancton, in normali condizioni fisiologiche, assimila il carbonio, l'azoto e il fosforo nelle proporzioni 106:16:1 quale risultato stechiometrico del processo fotosintetico.

Chiaudani e Vighi (1974, 1978) hanno verificato sperimentalmente che i valori del rapporto azoto inorganico totale/fosfati reattivi superiori a 10 indicano limitazione da fosforo ed è quanto si verificherebbe per il lago di Candia visto che il rapporto N/P fra le concentrazioni medie ci è risultato pari a poco meno di 11.

Condizioni trofiche attuali

Dato che il fosforo risulta essere il « nutriente » che maggiormente determina lo sviluppo della produttività algale, si è fatto riferimento alla quantità di questo elemento per dare un valore indicativo dello stato trofico del lago di Candia.

Sakamoto (1966) ha proposto il valore di fosforo totale di $30 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ come soglia della concentrazione media al di sopra della quale un lago può considerarsi eutrofico. Vollenweider (1968, 1976), Rast e Lee (1978), Chiaudani e Vighi (1982), stabiliscono un limite più basso ($20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) fra le condizioni di mesotrofia ed eutrofia.

Il lago di Candia può allora considerarsi ipertrofico dato che la concentrazione media di fosforo totale da noi indicata ($65 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) è addirittura superiore ai $50\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, valore quest'ultimo al di sopra del quale, secondo Rast e Lee (1978) ...« *si ha uno stato di netta eutrofia, tale da pregiudicare la maggior parte delle possibili utilizzazioni* »...

Altro indice dello stato trofico del lago è quello che utilizza i criteri che stanno alla base del TSI (Trophic State Index) proposto da Carlson (1977). Questo indice è basato sulla considerazione che l'incremento del livello trofico determina una diminuzione della trasparenza dell'acqua come conseguenza dell'aumento della biomassa algale. Il suddetto Autore propone, quindi, la formulazione:

$$\text{TSI} = 10 \cdot (6 - \log_2 \text{SD})$$

dove SD, espressa in metri, rappresenta la profondità minima alla quale sparisce alla vista il disco di Secchi. Con $\text{SD} = 1,4 \text{ m}$ (quella da noi misurata il 5 agosto '82) si è ottenuto $\text{TSI} = 55$, superiore al valore di 50 al di sopra del quale si hanno condizioni di eutrofia (Carlson, 1977).

Stima dei carichi

Le caratteristiche geomorfologiche, climatiche e vegetazionali del bacino imbrifero del lago, le utilizzazioni del suolo ad uso agricolo e le attività produttive e turistiche più in generale, contribuiscono a determinare le caratteristiche chimiche delle acque che vengono convogliate nella cuvetta lacustre. Risulta, quindi, particolarmente utile compiere misure dirette su tali acque in modo da prevedere il contributo di « nutrienti » che affluisce dal bacino imbrifero al lago allo scopo di individuare livelli di carico oltre i quali si possono manifestare sintomi più o meno evidenti di eutrofizzazione. La complessità della rete idrografica, d'altra parte, il fatto che il lago di Candia è alimentato anche e soprattutto da acque non incanalate e controllabili e le difficoltà tecniche evidenti nel compiere misure dirette, ci ha indotto a determinare i carichi eutrofizzanti mediante stime indirette che possono fornire indicazioni di buona approssimazione.

Vollenweider (1968, 1969, 1975) basandosi su lavori di altri Autori (Biffi, 1963; Piontelli e Tonolli, 1964) ha proposto e perfezionato un modello generale che utilizza pochi ed essenziali parametri che presiedono all'evoluzione trofica dei laghi quali la massa dei « nutrienti » che perviene alle conche lacustri, la profondità media e il tempo teorico di ricambio. Questo modello è stato poi studiato da Chiaudani *et Alii* (1978) e utilizzato da Chiaudani e Vighi (1982) in una indagine sull'eutrofizzazione dei principali laghi italiani, constatando che i valori da esso forniti rimanevano dello stesso ordine di quelli ottenuti mediante misure dirette.

Il contributo pro capite di fosforo totale attribuibile alla popolazione residente nel bacino imbrifero del lago di Candia (circa 650 abitanti nel 1974 secondo i dati pubblicati dalla Regione Piemonte, 1980, per il « Progetto per la Pianificazione delle Risorse Idriche nel Territorio Piemontese »), in accordo con vari Autori (Vollenweider, 1969; Oglesby *et Alii*, 1973; Marchetti, 1977), può essere considerato pari a 1,28 Kg/anno (0,58 metabolico + 0,70 da detersivi) di

cui soltanto il 50% (0,64 Kg/anno) raggiunge la conca lacustre. Quest'ultimo valore moltiplicato per il numero di abitanti ed espresso per unità di superficie del lago, esprime il carico totale (Cb) derivato dagli abitanti stessi:

$$C_b = 419 \text{ Kg/anno} = 299 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}/\text{anno}$$

Al suolo è stato attribuito un valore di cessione pari a $0,1 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (in Chiaudani e Vighi, 1982) valido per terreni incolti e/o dove le colture prevalenti sono del tipo di quelle che non lasciano « scoperti » i terreni all'azione dilavante delle acque meteoriche e dove non vengono usati, in modo massiccio, concimi chimici. Dal dato della superficie dell'intero bacino imbrifero ($6,875 \text{ Km}^2$; Tab. 2), si può facilmente calcolare il carico di fosforo totale (Cs), derivato dal suolo, di tutto l'area contribuente il lago di Candia:

$$C_s = 69 \text{ Kg/anno} = 49 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}/\text{anno}$$

che rappresenta appena il 15% circa di quello derivato dagli abitanti.

La concentrazione media di fosforo totale [P] in funzione dei carichi C_b e C_s prima calcolati si può stimare mediante il succitato modello che può essere sintetizzato dalla seguente relazione:

$$[P] = (C_b + C_s) \frac{T}{\bar{Z} \cdot (\sqrt{T} + 1)}$$

dove T è il tempo teorico di ricambio (da noi stimato pari a circa 2,3 anni) e \bar{Z} è la profondità media (3,8 m). In questo modo si ottiene una concentrazione media stimata di fosforo totale $[P] \sim 80 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ poco più di 1,2 volte superiore al valore medio misurato di $65 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

Ritenendo quindi, tale modello di stima sufficientemente significativo (introducendo il valore di correzione $1/1,2 = 0,83$ appena individuato), ritenendo che un eventuale progetto di risanamento delle acque del lago di Candia potrebbe essere rivolto alla riduzione del carico dovuto agli abitanti (perché ben più di 6 volte superiore a quello dovuto al suolo e nella prospettiva di non incidere negativamente sull'economia agricola locale) e stabilendo, quindi, $C_s =$ costante e imponendo $[P] \leq 20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, valore limite quest'ultimo di tollerabilità (riconosciuto dalla maggior parte degli Autori succitati) al di sopra del quale l'ambiente lacustre può manifestare evidenti segni di eutrofizzazione, l'equazione precedente può essere risolta ponendo come incognita C_b :

$$C_b = \left\{ [P] \frac{\bar{Z} \cdot (\sqrt{T} + 1)}{T} - C_s \right\} \cdot 0,83$$

Il valore così ricavato è risultato essere pari a $41 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}/\text{anno}$ che rappresenta il carico massimo dovuto agli abitanti affinché il livello di trofia del lago rimanga almeno entro i livelli di mesotrofia. Si tratta, comunque, di un carico molto basso rispetto a quello attuale; in altri tempi bisognerebbe intervenire su quest'ultimo in modo da ridurlo dell'85% circa.

Da questo punto di vista la situazione potrebbe essere meno complessa se si volesse attuare il progetto, precedentemente proposto, di utilizzare le acque delle fontane di Bianizzo da convogliare nel lago; ciò ridurrebbe, in base a quanto stimato precedentemente, il tempo teorico di ricambio delle acque da 2,3 a 1,5 anni circa. Un maggiore ricambio idrico consentirebbe al lago di « sopportare » livelli di carico leggermente superiori stimabili, con le precedenti formulazioni, inserendo $T = 1,5$ anni anziché 2,3. In questo modo il carico massimo dovuto agli abitanti salirebbe da 41 a 80 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}/\text{anno}$ il che comporterebbe una riduzione del 70% circa del carico attuale affinché non si raggiungano alti livelli di eutrofia.

CONCLUSIONI

Sulla scorta dei dati ricavati dalle indagini su « campo » e in laboratorio sul lago di Candia, si può tentare una descrizione riassuntiva delle condizioni trofiche utilizzando lo schema di classificazione proposto da Dillon e Regler (1975) basato sulla suddivisione dei laghi in quattro classi con livelli di trofia crescenti e che tiene conto, principalmente, delle possibili utilizzazioni per usi estetici, ricreativi e ittici. Il lago di Candia può essere inserito nella classe quarta comprendente ...« laghi utilizzabili solo per la pesca di specie poco esigenti e di acque calde (Ciprinidi); l'anossia ipolimnica è un evento regolare nel periodo estivo ed i valori del disco di Secchi sono inferiori a 1,5 m; le concentrazioni medie di clorofilla ($29 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ quella di clorofilla « a » misurata nel luglio 1979 da Giussani *et Alii*) possono risultare superiori a $25 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ». Volendo fare un confronto con altre situazioni relative a laghi piemontesi, Chiaudani e Vighi (1982) hanno inserito anche i due laghi di Avigliana e quello di Viverone nella stessa classe che, secondo i succitati Autori, è quella comprendente i laghi più eutrofici.

L'alto livello di eutrofia raggiunto dal lago di Candia può determinare una situazione tale da rendere sempre più difficile la sua utilizzazione da diversi punti di vista, in particolare da quello turistico-ricreativo. L'alta produttività biologica, elevati valori di PH e di sostanza organica, l'abbondanza dei nutrienti e, conseguentemente, l'alta densità ittica, possono determinare, per esempio, l'insorgere e il diffondersi di fenomeni morbosi determinati da infezioni branchiali ad opera di miceti appartenenti al genere *Branchiomyces* (Grimaldi, 1971; Grimaldi *et Alii*, 1973; Giussani *et Alii*, 1976). Proprio nella prima settimana del mese di luglio 1979 si è verificato, nel lago di Candia, un grave episodio di mortalità che ha colpito le popolazioni di Scardola (*Scardinus erythrophthalmus*) e di Tinca (*Tinca tinca*) a causa di una diffusa infezione da *Branchiomyces* (Giussani *et Alii*, 1980).

È, quindi, necessario formulare ipotesi di intervento per il recupero delle acque lacustri di Candia nel tentativo di riportarle almeno nelle condizioni di mesotrofia tenendo conto, però, che le indicazioni fornite da questo nostro lavoro non possono essere considerate definitive ma suscettibili di ulteriori controlli e approfondimenti prima di essere prese in considerazione come base di previsione di investimenti per la realizzazione pratica di opere di risanamento.

Un'opera di difesa, senza alcun dubbio molto utile, è l'impostazione di briglie

(in cemento armato o con gabbioni a secondo della consistenza del terreno) sui corsi d'acqua temporanei drenanti le « acque selvagge » del bacino imbrifero. In particolare tali opere (relativamente economiche) sono necessarie per il rio della Motta (Fig. 1) nei tratti caratterizzati da maggiore pendenza; con tale intervento si viene a diminuire la velocità dell'acqua che, in occasione di precipitazioni intense, in virtù di un maggiore « trasporto solido », determina un aumento del potere d'erosione e del trasporto di detriti (acque torbide) al lago. Contemporaneamente si fa presente che una maggiore cura e protezione dei canali di drenaggio e dei « fossi » (soprattutto nella porzione collinare del bacino) oltre a consentire una migliore protezione del suolo, diminuisce l'azione dilavante dell'acqua delle precipitazioni (soprattutto durante i rovesci temporaleschi) e, quindi, del carico di « nutrienti » che, « strappati » dal suolo stesso, giunge al lago.

Abbiamo già avuto modo di accennare al progetto dell'utilizzazione delle acque delle « fontane di Bianizzo » che, date le loro caratteristiche, possono essere considerate adatte da immettere nel lago allo scopo di aumentare la « vivacità idrologica » anche se, dai risultati ottenuti dalle stime dei carichi effettuate nel precedente capitolo, i benefici che ne risulterebbero non sarebbero tali da determinare una sostanziale inversione di tendenza per ciò che riguarda la crescita dei livelli di trofia. Riteniamo, comunque, che, dati i relativamente bassi costi che un simile progetto comporterebbe, l'acqua di dette fontane, con una portata pressoché costante di $40 \text{ l} \cdot \text{sec}^{-1}$, consentirebbe un deflusso dal lago alla palude anche nei periodi caratterizzati da forti deficit idrici che sono quelli che possono ingenerare situazioni difficili dal punto di vista biologico.

Oltre all'immissione dell'acqua di Bianizzo potrebbero essere utilizzate altre tecniche di risanamento che, nel loro insieme, risulterebbero di una certa efficacia. Certamente un rigoroso controllo degli scarichi cloacali su tutto il territorio del bacino imbrifero sarebbe particolarmente importante e ciò in funzione, essenzialmente, delle opere di difesa del territorio che sono da inserire nei piani regolatori dei comuni interessati e, in particolar modo, di quello di Candia Canavese.

Oltre a questa serie di interventi risanatori e rigeneratori delle acque, le Amministrazioni preposte debbono proibire tassativamente l'uso di natanti a motore di qualunque tipo e per qualunque impiego. Questi mezzi, infatti, provocano la dispersione, sulla superficie dell'acqua, di films sottilissimi di sostanze oleose che limitano fortemente gli scambi gassosi liquido/atmosfera con gravissimo danno per le biocenosi del lago. Le eliche dei motori, inoltre, ingenerano turbolenze che, data l'esigua profondità delle acque, portano al rimescolamento di fanghi di fondo alterando i meccanismi di sedimentazione e di quelli, assai importanti, legati ai processi di ossido-riduzione che in essi si sviluppano. L'uso di tali mezzi non può essere spacciato quale mezzo ricreativo o sportivo di massa in quanto l'alto costo di acquisto e di gestione ne fanno un oggetto di ricreazione e svago per pochi oltre che essere diseducativi e cattivi esempi di gestione e di fruizione al sociale delle risorse naturali.

Contemporaneamente potrebbero essere utilizzate, in via sperimentale, altre tecniche di risanamento già collaudate soprattutto in piccoli bacini europei. A questo proposito facciamo riferimento agli interventi di Vollenweider e di Melchiorri-San-

tolini (1979) al « Convegno sui bacini lacustri » (CNR - P.F.) tenuto a Sassari il 4-6 ottobre 1977, sulle diverse metodologie di recupero delle acque lacustri.

Secondo Vollenweider (1979) le misure correttive, all'interno del corpo d'acqua, possono essere distinte in tre categorie:

- 1) manipolazioni dell'ambiente fisico;
- 2) manipolazioni dell'ambiente chimico;
- 3) manipolazioni dell'ambiente biologico.

Le manipolazioni fisiche quali la « deastratificazione » (portare acqua ossigenata in profondità e cioè produrre un rimescolamento estivo quando si verifica la stratificazione termica) e l'aerazione (immissione, attraverso pompe, di aria nelle acque profonde) oltre che costose non sono esenti da « effetti collaterali » quali l'apporto di « carichi nutrienti » alle acque superficiali che comporterebbe un aumento di produttività.

Le manipolazioni chimiche (caratterizzate da bassi costi), basate, essenzialmente, sulla precipitazione dei « nutrienti » e/o l'inattivazione dei sedimenti per mezzo di sostanze opportune, anche se consentono risultati a breve scadenza, sono da impiegare con particolare cautela perché non sono ancora completamente chiari quali potrebbero essere gli effetti collaterali di nuovi composti che, comunque, sono pur sempre sconosciuti all'organismo lago.

È nostra opinione, pertanto, che intervenire con cautela per mezzo di manipolazioni a livello biologico sia la soluzione migliore.

A questo proposito Chessa (1980) propone l'introduzione di carpe erbivore (*Ctenopharyngodon idella*); la sottrazione di sostanza organica può, quindi, essere effettuata attraverso la pesca compresa quella sportiva che può essere fortemente incentivata. La pesca, d'altra parte, secondo Giussani *et Alii* (1980), soprattutto se periodica e selettiva, può essere alla base del controllo della densità numerica delle specie ittiche sovrabbondanti.

Ma la tecnica biologica più interessante è, a nostro avviso, quella del taglio e, quindi, trasporto lontano dal bacino imbrifero, delle macrofite che sono abbondanti nella zona rivierasca del lago (in particolare la *Trapa natans*), taglio da essere eseguito in modo da ottenere la massima asportazione di sostanza organica tenendo conto, contemporaneamente, che le piante acquatiche del lago di Candia oltre ad essere particolarmente interessanti per la loro biologia (Camoletto e Dal Vesco, 1983) costituiscono, insieme alla palude, un patrimonio di estremo interesse da salvaguardare.

Siamo perciò favorevoli alla proposta di un *parco naturale* che, secondo noi, deve avere i propri confini segnati dai limiti del bacino imbrifero (per la stretta relazione fra il territorio che lo costituisce e il lago) e deve comprendere una fascia intorno alla palude proprio per il particolare significato che questa rappresenta. Ciò non solo nell'ottica di conservare un ambiente naturale di alto valore ma, in armonia con le più avanzate proposte internazionali in merito, per poter attuare una nuova gestione del territorio. Gestione che deve essere intesa come momento sperimentale per un più corretto ed economico intervento umano sui sistemi naturali non solo a tutela della natura ma anche per l'uomo e il suo territorio.

BIBLIOGRAFIA

- AMBROSETTI W., ARCA G., BARBANTI L., ROLLA A., 1981 - Caratteristiche meteorologiche dell'areale lacustre. In: Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere. « *Rapporti su studi e ricerche condotti nel bacino del Lago Maggiore, (campagna 1979)* »: 1-44. Pallanza.
- BADINO G., LODI E., MARCHIONNI V., ROLANDO A., 1980 - I laghi di Avigliana. Regione Piemonte, Ass. Pian. Terr. Parchi Natur. 47 pp., Torino.
- BARBANTI L., 1970 - L'evaporazione dalle superfici lacustri: tecniche di studio. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 26: 97-119, Pallanza.
- BARBANTI L., 1972 - Il tempo di residenza delle acque lacustri: un parametro fondamentale per l'interpretazione dei processi di inquinamento. *Atti Congr. Intern. Climatol. Lacustre. Como, 20-23 maggio 1971*: 369-375.
- BARBANTI L., 1973 - Le caratteristiche limnologiche delle acque lacustri in relazione ai fenomeni di inquinamento: problemi fisici. *Gior. studio Pollution 72. Padova, 16-17 giugno 1972*: 191-206.
- BARBANTI L., 1979 - Parametri fisici nella modellistica del fenomeno dell'eutrofizzazione. C.N.R. Promozione della qualità dell'ambiente. *Atti Conv. eutrof. in Italia. Roma 3-4 giugno 1978*: 45-70.
- BARBANTI L., CAROLLO A., 1969 - Morfologia e morfometria della conca lacustre. In: TONOLLI V., Introduzione allo studio della limnologia. *Ed. Ist. Ital. Idrobiol.*: 36-47, Pallanza.
- BARBANTI L., CAROLLO A., 1974 - Caratteristiche fisiche. In: Indagini ecologiche sul lago d'Endine. *Ed. Ist. Ital. Idrobiol.*, 1-94, Pallanza.
- BARBANTI L., DRAGO E., 1971 - Bilancio termico e flussi di calore nel lago di Mergozzo. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 27: 269-316, Pallanza.
- BIFFI F., 1963 - Determinazione del fattore tempo come caratteristica del potere di autodepurazione del lago d'Orta in relazione a un inquinamento costante. *Atti Ist. Ven. Sci. Lett. Arti*, 121: 131-136, Venezia.
- BONSIGNORE G., BORTOLAMI G., ELTER G., MONTRASIO A., PETRUCCI F., RAGNI U., SACCHI R., STURANI C., ZANELLA E., 1969 - Note illustrative della carta geologica d'Italia fogli 56-57. Torino-Vercelli, pp. 96, Roma.
- BORRONI I., GRIMALDI E., 1978 - Fattori e tendenze di modificazione dell'ittiofauna italiana d'acqua dolce. *Boll. Zool., suppl.*, 45 (2): 63-73.
- BRUNO L., 1877 - I terreni costituenti l'anfiteatro allo sbocco della Dora Baltea. pp. 65, Ivrea.
- BRUNO L., 1884 - L'era lacustre nell'anfiteatro della Dora Baltea. *Boll. C.A.I.*, 50: 3-19.
- BRUNO L., 1895 - L'anfiteatro della Dora Baltea. *Riv. Geogr. Ital.*, 2 (2): pp. 11.
- BRUNO L., 1897 - Studi intorno al fenomeno glaciale nella vallata della Dora Baltea. *Riv. Geogr. Ital.*, 4 (5-6): pp. 9.
- BRUNO L., 1900 - Cenni geologici dei dintorni di Ivrea. Epoca Quaternaria. Zona prealpina dall'Orco alla Sesia. pp. 72, Ivrea.
- CAMOLETTO R., DAL VESCO G., 1983 - Flora e lineamenti della vegetazione del lago di Candia. (*In stampa*).
- CARLSON R.E., 1977 - A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 361-369.
- CAROLLO A., 1970 - Lineamenti generali di un bacino imbrifero e suoi rapporti con i laghi. *Disp. IV Corso Aggior. Ingegn. Sanit., Milano 11-23 maggio. Ist. Ingegn. Sanit. Politecn.*, 1: 1-48. Milano.
- CAROLLO A., DRAGO E., 1971 - Analisi morfometrica del bacino del torrente S. Bernardino. *Mem. Ist. Ital. Idrob.*, 27: 317-356, Pallanza.
- CARRARO F., 1979 - Paese dell'Uomo: geo-morfologia dell'Anfiteatro Morenico di Ivrea. 1° *Conv. sul Canavese. Atti*, 13-31, Ivrea (1980).
- CARRARO F., MEDIOLI F., PETRUCCI F., 1975 - Geomorphological study of the morainic Amphitheatre of Ivrea, Northwest Italy. *Bull. R. Soc. New Zealand*, 13: 89-93, Wellington.
- CHESSA A., 1980 - Indagine idrobiologica sul lago di Candia. Univ. St. Torino, Fac. Sci. Mat. Fis. Nat., *tesi di laurea ined.*
- CHIAUDANI G., PAGNOTTA R., PREMIZZI G., RUGGIU R., VIGHI M., 1978 - Analisi dell'eutrofizzazione con modelli semplici e complessi. C.N.R. Promozione della qualità dell'ambiente. *Atti del Conv. sull'Eutrof. in Italia, Roma 3-4 giugno 1978*: 27-44.

- CHIAUDANI G., VIGHI M., 1974 - The N:P ration and test with Selenastrum to predict eutrophication in lakes. *Water Res.*, 8: 1063-1069.
- CHIAUDANI G., VIGHI M., 1978 - Metodologia standard di saggio algale per lo studio della contaminazione delle acque marine. *Quad. IRSA*, 39: pp. 120, Milano.
- CHIAUDANI G., VIGHI M., 1982 - L'eutrofizzazione dei bacini lacustri italiani. *Sintesi Quad. IRSA* 43. *Acqua Aria*, maggio 1982: 361-378, Milano.
- CONTESSINI F., 1956 - Impianti idroelettrici. *Ed. Tamburini*, Milano.
- CORDELLA P., 1981 - I laghi italiani e il problema dell'eutrofizzazione. *Le Scienze*, 27 (157): 24-33, Milano.
- DE MARTONNE E., 1926 - Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. *La Météorologie*, 2, Paris.
- DILLON P.S., REGLER F.H., 1975 - A simple method for predicting the capacity of a lake development based on lake trophic status, *Journ. Fish. Res. Board. Can.*, 32: 1519-1531.
- DURIO P., MORI D., PEROSINO G.C., 1982a - Le variazioni climatiche, le glaciazioni, la morfogenesi glaciale (particolari riferimenti al Piemonte e Valle d'Aosta). *Lab. Riforma*, Ms. in stampa, Torino.
- DURIO P., MORI D., PEROSINO G.C., 1982b - Ambienti lacustri, *Lab. Riforma*, Ms. in stampa, Torino.
- FORNERIS G., MUSSA P.P., 1979 - Lago grande di Avigliana. Modificazione delle popolazioni ittiche in rapporto al livello trofico, *Acqua Aria*, marzo 1979: 99-101.
- FRANCESCHETTI B., 1977 - Lezioni di geografia fisica (parte 2^a), Ist. Geol. Univ. Torino, disp. Ms.
- GAKSTATTER J.H., ALLUM M.O., OMERNIK J.M., 1975 - Lake eutrophication results from the National Eutrophication Survey. *Corvallis Environmental Research Lab., U.S.E.P.A.*, Corvallis.
- GASTALDI B., 1863 - Sulla escavazione (affouillement) dei bacini lacustri compresi negli anfitreati morenici. *Atti Soc. Ital. Sci. Nat.*, 5: 240-247, Pavia.
- GASTALDI B., 1865 - Sulla riescavazione dei bacini lacustri per opera degli antichi ghiacciai. *Mem. Soc. Ital. Sci. Nat.*, I: pp. 28, Pavia.
- GIUSSANI G., BORROMI I., GRIMALDI E., 1976 - Role of un-ionized ammonia in predisposing gill apparatus of *Alburnus alburnus albobella* to fungal and bacterial diseases. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 161-175, Pallanza.
- GIUSSANI G., DE BERNARDI R., MOSELLO R., GHITTINO P., 1980 - Situazione limnologica del lago di Candia (Piemonte) in concomitanza con una grave mortalità ittica da Branchiomicosi. *Riv. It. Pisc. Ittiop.*, A, 15 (2): 46-52.
- GRIMALDI E., 1967 - Ripercussioni degli inquinamenti sui popolamenti ittici lacustri. *Atti Coll. Ing. Como (Convegno sull'inquinamento delle acque lacustri. Como 8-10 ott. 1965)*: 35-40.
- GRIMALDI E., 1971 - Episodi di mortalità massiva a carico delle popolazioni di alborella (*Alburnus albobella*) dei laghi del Nord-Italia, provocati da una infezione branchiale da miceti del genere *Branchiomyces*. *Riv. It. Pisc. Ittiop.*, 6, 1: 11-14.
- GRIMALDI E., PEDUZZI R., CAVICCHIOLI G., GIUSSANI G., SPREAFICO E., 1973 - Diffusa infezione branchiale da funghi attribuiti al genere *Branchiomyces* Plehn (*Phycomycetes Saprolegniales*) a carico dell'ittiofauna di laghi situati a nord e a sud delle Alpi. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 30: 61-69, Pallanza.
- HUTCHINSON G.E., 1957 - A Treatise on Limnology. I. Geography, Physics and Chemistry. *John Wiley & Sons Inc.*, New York.
- MARCHETTI R. (a cura di), 1977 - Indagine sulla qualità delle acque del fiume Po. *Quad. IRSA* 32, pp. 822, Milano.
- MARCO C., 1892 - Dalla scomparsa del mare pliocenico alla formazione dell'anfiteatro morenico della Dora Baltea con cenni sulla formazione dei ghiacciai alpini. pp. 22, *Tomatis*, Ivrea.
- MELCHIORRI-SANTOLINI U., 1979 - Possibili interventi per ridurre l'eutrofizzazione dei bacini lacustri artificiali. C.N.R. Promozione della qualità dell'ambiente. *Atti Conv. sui bacini lacustri artificiali. Sassari 4-6 ott. 1977*: 403-418.
- MENNELLA C., 1967 - Il clima d'Italia nelle sue caratteristiche e varietà e quale fattore dinamico del paesaggio. V. I, *Edart*, Napoli.
- MORI A., 1957 - Clima. In: *L'Italia fisica. T.C.I.*, Milano.
- MORONI A., THEY E., 1967 - Metodi in limnologia. *Ist. Zool. Anat. Comp. Univ. Parma*.

- NOVARESE V., 1913-14 - Il Quaternario in Val d'Aosta e nelle valli del Canavese (p. 3). *Bo'll. R. Comit. Geol. It.*, 45: 138-196.
- OGLESBY R.T., HAMILTON L.S., MILLS E.L., WILLING P., 1973 - Owasco lake and its watershed. *Technic. Rep.*, Cornell.
- PINNA M., 1977 - Climatologia. *UTET*, Torino.
- PIONTELLI R., TONOLLI V., 1964 - Il tempo di residenza delle acque lacustri in relazione ai fenomeni di arricchimento in sostanze immesse con particolare riguardo al lago Maggiore. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 17: 247-266, Pallanza.
- RABOGLIATTI C., 1954 - Studio dei lembi pliocenici dei dintorni di Ivrea. *Atti Ist. Geol. Univ. Torino*, 2: 95-114, 2 tavv., Torino.
- RAMAZZOTTI G., 1969 - Proprietà ottiche dei laghi. In: TONOLLI V., Introduzione allo studio della limnologia. *Ltd. Ist. Ital. Idrobiol.*: 62-67, Pallanza.
- RAST W., LEE G.F., 1978 - Summary analysis of the North-American (U.S. portion) O.E.C.D. eutrophication project: nutrient loading lake response relationships and throphic state indices. *Ecological Res. Ser. EPA 600/3-78-008*: pp. 455, Corvallis.
- RAWSON D.S., 1955 - Morphometry as a dominant factor in the productivity of large lakes. *Verb. Int. Ver. Limnol.*, 12: 164-175.
- RAWSON D.S., 1956 - Algal indicators of trophic lake types. *Limnol. Oceanogr.*, I: 18-25.
- REDFIELD A.F., 1958 - The biological control of chemical factors in the environments. *Amer. Sci.*, 46: pp. 205.
- REDFIELD A.F., KETCHUM B., RICHARDS F.A., 1963 - The influence of sea water. In: HILL (Editor) *The Sea*, 2, *Wiley Intersci.*, New York, 26-72.
- REGIONE PIEMONTE, 1980 - Progetto per la pianificazione delle risorse idriche del territorio piemontese. 5 voll., 1 atl., Torino.
- SACCO F., 1899-90 - Il bacino Terziario e Quaternario del Piemonte. *Bibliografia, Geologia pura, Paleontologia, Geologia applicata*. pp. 634.
- SACCÒ F., 1927 - Il Glacialismo nella Valle d'Aosta. *Min. LL.PP., Uff. Idrogr. Po*, pp. 66, Torino.
- SACCO F., 1928 - I grandi laghi postglaciali di Rivoli e di Ivrea. *L'Universo*, 9 (2): pp. 12.
- SAKAMOTO M., 1966 - Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Arch. Hydrob.*, 62: 1-28.
- SEPPANEN P., 1972 - Determination of summer cottaging capacity of lakes. *Acqua Fennica*: 104-107.
- STRAHLER A.N., 1952 - Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 63: 1111-1142.
- STRAHLER A.N., 1968 - *Physical Geography*. *J. Wiley & Sons. Inc.*, New York.
- STROM K.M., 1933 - Nutrition of algae. Experiments upon: the feasibility of the Schreiber Method in fresh waters; the relative importance of iron and manganese in the nutritive medium; the nutritive substance given by Pake bottom muds. *Arch. Hydrobiol.*, 25: 38-47.
- THIENEMANN A., 1927 - Der Bau des Serbeckens in seiner Bedeutung für den Abbauf des Lebens im See. *Verb. Zool. Bot. Ges. Wien*, 77: 87-91.
- THORNTHWAITE C.W., 1946 - An approach toward a rational classification of climate. *Trans. Amer. Geophys. Un.*, 271.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1954 - The measurement of potential evapotranspiration. *Seabrook*, New York.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1957 - Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Cencerton*.
- TONINI D., 1959 - Elementi di Idrografia e Idrologia. Vol. I, *Libr. Univ.*, Venezia.
- TONOLLI L., 1971 - Meteorologia ed ecologia lacustre. *Med. Term. Clim.*, 9: 6-10.
- TONOLLI V., 1947 - Abaco per la determinazione grafica dei valori di saturazione dell'ossigeno disciolto. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 3: 463-466, Pallanza.
- VOLLENWEIDER R.A., 1968 - Water management research. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus factors in eutrophication. *Techn. Rep. O.C.D.E.*, pp. 194, Paris.
- VOLLENWEIDER R.A., 1969 - Möglichkeiten und Grenzen elementarer Modelle der Stoffbilanz von Seen. *Arch. Hydrobiol.*, 66: 1-36.
- VOLLENWEIDER R.A., 1975 - Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. *Schweiz. Zeit. Hydr.*, 37: 53-84.

- VOLLENWEIDER R.A., 1976 - Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lakes eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 53-83, Pallanza.
- VOLLENWEIDER R.A., 1979 - Eutrofizzazione delle acque: carico nutritivo, capacità assimilativa e metodologie di riabilitazione dei laghi e dei serbatoi eutrofizzati. C.N.R. Promozione della qualità dell'ambiente. *Atti Conv. sui bacini lacustri artificiali, Sassari 4-6 ott. 1977*, 13-62.
- WETZEL R.G., 1975 - Limnology. *Saunders Co.*, pp. 743, Philadelphia-London-Toronto.

P. DURIO,
Cattedra di Ecologia
Fac. Medicina Veterinaria
Via Nizza, 52
10126 Torino

D. MORI,
G. C. PEROSINO
C.R.E.S.T.,
Centro Ricerche in Ecologia
e Scienze del Territorio,
Via Caprera, 30
10136 Torino