

WALTER DRAGONI (\*)

## IDROGEOLOGIA DEL LAGO TRASIMENO: SINTESI, PROBLEMI, AGGIORNAMENTI (\*\*)

*Contribuiscono alla felicità di quel paese (l'Etruria) i laghi grandi e molti che vi sono; siccome quelli che son navigabili, e nutrono gran quantità di pesci e di uccelli palustri... questi laghi vanno a sboccare nel Tevere. Tali laghi sono il Cimino, quei di Volsinio e di Clusio, quello di Sabazia ch'è il più vicino a Roma, e quello del Trasimeno che n'è il più discosto verso Arezzo.*

STRABONE

**ABSTRACT:** DRAGONI W., *Hydrogeology of Lake Trasimeno: up to day knowledge and problems.* (IT ISSN 0084-8948, 1982) - The Trasimeno is a closed lake subject to strong pluriannual oscillations: the building of a large outlet has lowered the mean level of the lake but it hasn't eliminated its level variations. The scarce depth of the lake and the flatness of its bottom and banks cause vast and repeated marches damaging heavily the ecosystem of the lake and the local Economy. In the time between 1959 and 1961 in order to find some remedies for such a state of things the drainage basin was enlarged artificially, but the results are not satisfactory.

The Trasimeno basin is generally composed of formations with little permeability. The flysch known as "Arenarie del Monte Cervarola" of Oligo-Miocene age and river-lacustral Villafranchian and present sediments are the main outcrops. The hydrogeologic characteristics of such formations and the general structural pattern show that there are scarce possibilities of underground outlets from the catchment basin towards external zones. Despite the scarce permeability a weak water body, which feeds the lake, has taken place. In this work a linear relation between level variations and annual rainfalls has been found. This has given the possibility to simulate with good approximation the lake levels, to calculate the mean annual loss of the water surface (1 500-1 600 mm), the needed rain to compensate it (about 710 mm) and the coefficient of run-off of the drainage basin (0,50).

Furthermore it has been possible to estimate the effects of the enlargement works of the basin already carried out and of eventual future enlargements and the ground-water balance has been roughly determined. Studies on the annual precipitations on the lake basin from 1921 to 1980 show also that the lake level variations are linked with pluriannual cyclic of high and low rainy periods: the actual hydric yield is not only insufficient to eliminate the effects of the low rainy periods, but even to limit them in an efficacious way.

**RIASSUNTO:** DRAGONI W., *Idrogeologia del Lago Trasimeno: sintesi, problemi, aggiornamenti.* (IT ISSN 0084-8948, 1982). Il Lago Trasimeno è un lago laminare chiuso soggetto a forti oscillazioni pluriannali di livello: la costruzione di un grosso emissario ha abbassato il livello medio del lago ma non ha eliminato le variazioni di livello. A causa della scarsa profondità del lago,

della debole inclinazione del fondo e delle sponde, tali variazioni provocano vasti e ricorrenti impaludamenti con gravi danni per l'ecosistema del lago e per l'Economia locale. Si cercò di porre rimedio a tale stato di cose fra il 1959 e il 1961 ampliando artificialmente il bacino scolante, ma i risultati ottenuti non sono soddisfacenti dato che le oscillazioni di livello, pur se smorzate, continuano.

Il bacino del Trasimeno è composto da formazioni generalmente poco permeabili. I principali affioramenti sono di « Arenarie del Monte Cervarola » oligo-mioceniche e sedimenti fluvio-lacustri villafranchiani e attuali. Le caratteristiche idrogeologiche di tali formazioni e l'assetto strutturale generale indicano che vi sono scarse possibilità di rilevanti deflussi sotterranei dal bacino imbrifero verso zone esterne ad esso. Nonostante la scarsa permeabilità, nei terreni post-miocenici sub-orizzontali, si è instaurata una modesta falda idrica che alimenta il lago. Si manifesta con buona approssimazione una relazione lineare fra afflussi meteorici e variazioni di livello del lago. In base a ciò è stato possibile calcolare le attuali perdite medie annue dallo specchio (1 500-1 600 mm), la pioggia annua necessaria a compensarle (circa 710 mm) e il coefficiente di deflusso medio annuo (0,50 circa).

Inoltre è stato possibile valutare l'effetto dei valori di ampliamento del bacino già eseguiti e di eventuali futuri ampliamenti e si è cercato di definire, a grandi linee, il bilancio sotterraneo. Lo studio degli afflussi meteorici annuali sul bacino del lago, dal 1921 al 1980, indica che le variazioni di livello del lago sono legate a periodi pluriannali ciclici di bassa e alta piovosità; l'attuale apporto idrico non è sufficiente non solo ad eliminare, ma nemmeno a limitare in modo efficace, gli effetti negativi dei periodi a bassa piovosità.

**TERMINI-CHIAVE:** Idrogeologia applicata; gestione di risorse idriche; bilancio; livello lacustre; evapotraspirazione.

(\*) *Ricercatore presso l'Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica nell'Italia Centrale del CNR - P.le Giotto, 40 - Perugia.*

(\*\*) *Si ringraziano: la dott. F. MELONE per il contributo dato alla elaborazione dei dati; P. SERAFINI, amico dell'autore e del lago, per le informazioni fornite; l'ing. DALL'OGGIO, direttore della Sezione di Roma del Servizio Idrografico, per avere messo a disposizione numerosi dati non ancora pubblicati.*

## PREMESSA

L'importanza economica e sociale del Lago Trasimeno è rilevante. Durante gli ultimi venti anni è divenuto il centro di una grossa attività turistica e sono state incrementate le attività tradizionali della pesca e dell'irrigazione. Oltre a ciò il Trasimeno ha una eccezionale importanza naturalistica e ambientale: esso costituisce praticamente l'unico ambiente palustre di una certa vastità nell'Italia Centrale, caratterizzato da specie animali e vegetali tipiche. Come si vedrà più avanti, però, l'attuale assetto del lago è precario e tutto lascia prevedere che senza opportuni interventi la situazione possa evolversi in senso negativo e irreversibile. L'importanza naturalistica del lago vieta interventi che operino trasformazioni radicali e impone il più rigoroso controllo su tutte le attività antropiche che potrebbero compromettere l'attuale assetto.

La presente nota intende fornire una sintesi aggiornata delle caratteristiche idrologiche e idrogeologiche del lago, della sua storia e dei suoi problemi e dare un contributo alla formulazione di un improrogabile razionale programma di gestione.

## 1. INQUADRAMENTO GENERALE

### 1.1. GENERALITÀ

Il Lago Trasimeno è situato a una trentina di chilometri a W di Perugia. È un lago senza emissari naturali, caratterizzato da una bassa profondità (al massimo 6 metri) che permette l'esistenza di un denso e vasto canneto.

Il bacino imbrifero del lago non ha rilievi con quote superiori agli 800 m s.m.; la morfologia nell'insieme è piuttosto dolce, anche se nella zona sudorientale le colline maggiori dai fianchi piuttosto acclivi, individuano nettamente la depressione in cui è ubicato il lago; la zona occidentale, invece, è solo blandamente ondulata. La distanza fra lo spartiacque e lo specchio d'acqua è al più di 5 ÷ 6 km e quindi il lago è caratterizzato da un rapporto fra la superficie totale del bacino e la superficie dello specchio piuttosto piccolo (1,6); per la bassa permeabilità del substrato, lo spartiacque superficiale coincide in pratica con quello sotterraneo. Il volume d'acqua che in un certo intervallo di tempo arriva al lago dipende esclusivamente dagli afflussi meteorici ricadenti sul bacino e dalla evapotraspirazione. A causa della variabilità delle precipitazioni durante l'anno e da un anno all'altro, il volume d'acqua invasato è estremamente variabile, e, data la forma del fondo, ciò corrisponde a variazioni di livello notevoli; queste, specie in passato, hanno portato a piene disastrose per gli abitanti dei paesi rivieraschi. Tali allagamenti, a durata pluriennale, potevano verificarsi varie volte in un secolo, come è testimoniato da numerose targhe poste per ricordare le alluvioni peggiori a S. Feliciano, Passignano e Tuoro e come è ampiamente riportato in bibliografia.

### 1.2. CENNI STORICI

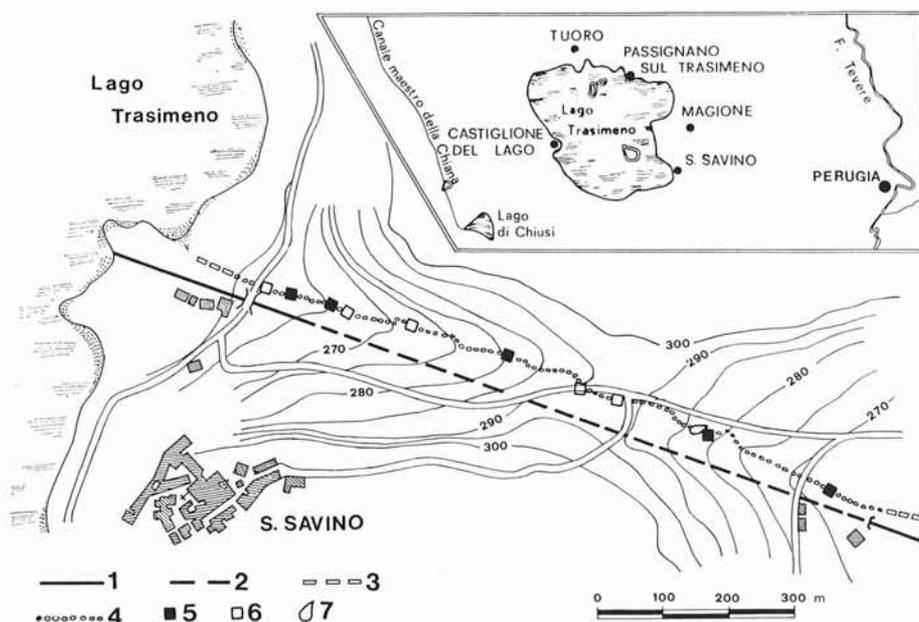
La zona del Lago Trasimeno fu abitata sin da epoca preetrusca. I Romani, analogamente a come fecero per altri laghi dell'Italia Centrale (Albano, Fucino, ecc.), cercarono di eliminare o minimizzare il problema degli allagamenti costruendo nei pressi di S. Savino, probabilmente negli anni in cui fu imperatore Claudio (MESCHINI, 1900; VELATTA, 1968), un canale emissario, in parte in galleria, che nelle intenzioni avrebbe dovuto funzionare da scarico delle acque di piena. Non sappiamo quali furono gli effetti di tale emissario ma, o perché il progetto era inadeguato o perché l'opera si era deteriorata, nel 1420 BRACCIO FORTEBRACCIO DA MONTONE, signore di Perugia, completò un nuovo emissario tuttora visibile (secondo alcune fonti ristrutturò quello romano caduto in rovina e di cui non si ha traccia). L'emissario medioevale è lungo complessivamente 1 057 m, tramite una galleria di 900 m passa sotto la sella situata fra S. Savino e Monte Petreto e si scarica nel Torrente Caina, affluente del Nestore, a sua volta affluente del Tevere. Gli effetti dell'emissario medioevale furono tanto modesti che papa SISTO IV nel 1482 ridusse il bacino imbrifero del lago deviando nel Lago di Chiusi i due maggiori tributari del Trasimeno, i torrenti Tresa e Riomaggiore. Ciò nonostante, e a dispetto dei continui lavori di manutenzione della galleria di BRACCIO, gli allagamenti continuarono: per esempio nel 1602 il livello arrivò a quasi 3,5 m sopra la soglia dell'emissario, allagando gran parte dei centri abitati posti vicino le sponde.

Dagli ultimi anni del 1700 alla fine del secolo scorso furono progettate varie opere per risolvere la questione: si parlò di riduzione dello specchio e soprattutto di prosciugamento totale. Quest'ultima soluzione fu particolarmente vicina a diventare esecutiva quando nel 1876 fu completamente prosciugato il Lago del Fucino in Abruzzo, anch'esso soggetto a piene disastrose. Ciò che sconsigliò di impiegare un tale drastico mezzo anche per il Trasimeno fu probabilmente l'effetto provocato dalla scomparsa del Lago del Fucino sul clima delle zone circostanti: la temperatura media annua si abbassò di circa un grado, nei due-tre anni successivi al prosciugamento gli uliveti scomparvero e le colture in genere, specialmente la vite, subirono danni notevolissimi.

Nel 1895 fu progettato per il Trasimeno un nuovo emissario che fu completato nel 1898. Esso, parallelo all'emissario medioevale, ha una lunghezza complessiva di 7 314 m di cui 896 in galleria; una diga in muratura fra l'incile e il percorso sotterraneo costituiva il sistema di regolazione del livello. La soglia di sfioro fu posta all'epoca della costruzione 20 cm più in basso di quella di BRACCIO DA MONTONE.

Nella diga furono ricavate, durante la costruzione, due aperture circolari, gli « occhi », munite di paratoie mobili per alimentare alcuni mulini lungo l'emissario e per irrigare la piana di Magione; il diametro di tali aperture è di circa 60 cm, il centro a 1,30 m sotto la soglia. La portata massima del tunnel del nuovo emissario è di circa 12 m<sup>3</sup>/sec, pari a circa 12 volte quella dell'emissario medioevale.

FIG. 1 - Vecchio e nuovo emissario del Lago Trasimeno. Emissario del 1898: 1) a cielo aperto; 2) in galleria. Emissario medioevale: 3) a cielo aperto; 4) in galleria; 5) pozzi sulla verticale dell'emissario medioevale tutt'ora visibili; 6) pozzi non visibili; 7) ostruzione per frana. Il cunicolo medioevale nel tratto a valle della frana non è percorribile. (Modificato da MENCHINI, 1900; rilievo emissario medioevale integrato dal rilievo di GUZZETTI F. e LA ROCCA F. del 1980).



L'emissario medioevale, che ha funzionato fino alla fine del secolo scorso, è attualmente interrotto da una frana. Percorrendo il tratto agibile si osservano chiaramente le numerose riparazioni e i rimaneggiamenti a cui è stato sottoposto fino alla metà dell'Ottocento. Nel complesso è un'opera piuttosto scadente, con sezione variabile, numerose svolte ad angolo netto e strozzature.

La massima portata dell'emissario medioevale, espressa in altezza sullo specchio medio attuale, è di circa 25 cm all'anno: gli effetti sui livelli del lago, in passato mediamente più esteso, furono trascurabili non per cause accidentali, come eventuali franamenti, ma per le caratteristiche di costruzione. Tutto ciò induce a pensare che esso non sia opera dei Romani, la cui tecnica era generalmente ben più raffinata ed efficiente, ma dà valore all'ipotesi che BRACCIO DA MONTONE abbia lavorato su un cunicolo di origine « barbarica » (BINACCHIELLA, 1969). Negli ultimi tempi si è parlato di un possibile utilizzo del cunicolo nella futura gestione idraulica del Trasimeno: quanto detto e il fatto che l'attuale emissario impedisce al lago di raggiungere la quota di funzionamento di quello antico, esclude questa possibilità.

La « cava », così viene chiamato dalle popolazioni locali il cunicolo di BRACCIO, è oggi solo una interessante testimonianza dei tentativi, non ancora finiti, di regimare il Trasimeno. La fig. 1 riporta l'ubicazione e l'assetto dei due emissari.

### 1.3. SITUAZIONE ATTUALE

Il nuovo emissario ha abbassato il livello medio del lago ma non ha eliminato le oscillazioni; destinato a funzionare saltuariamente (CATANIA, 1950; DEFFENU & DRAGONI, 1978), impedisce l'accumulo di rilevanti spessori d'acqua nei periodi ad alta piovosità: quando inizia un periodo di magra il lago perde acqua a partire da una quota uguale o di poco superiore alla quota di sfioro.

Le inondazioni sono state praticamente eliminate ma la piattezza delle sponde e la scarsa profondità del lago provocano nei periodi di magra vasti impaludamenti, con fenomeni di eutrofismo gravissimi per la fauna, la piscicoltura e l'igiene pubblica.

La crisi peggiore si ebbe alla fine degli anni '50, quando la massima profondità fu di m 2,93 e si temette un prosciugamento completo. Una commissione di esperti, convocata dal Ministero dei Lavori Pubblici, suggerì l'ampliamento del bacino imbrifero. Ciò fu fatto reimmettendo nel lago i torrenti Tresa e Riomaggiore (i lavori erano già iniziati nel 1952) e allacciando alle opere di immissione i torrenti Moiano e Maranzano. La commissione auspicò anche la deviazione nel lago dei torrenti Esse e Mucchia ma tale proposta è rimasta lettera morta. Le acque dei torrenti immessi sono convogliate al Trasimeno dall'immissario (Allacciante) Anguilara: la fig. 2 riporta l'attuale assetto del lago e del bacino imbrifero. Il sistema di canalizzazioni è reversibile nel senso che per mezzo di paratoie l'acqua può essere fatta defluire, tramite i vecchi alvei, nel Lago di Chiusi. I lavori di ampliamento, completati fra il 1959 e il 1961, hanno avuto l'effetto di innalzare il livello medio del lago, ma non hanno eliminato le oscillazioni pluriennali: si sono avute ancora delle magre notevoli, come per esempio fra il 1970 e il 1975.

L'ampliamento del bacino imbrifero era già stato progettato alla fine degli anni Venti (LUIGGI & UGOLINI, 1928); all'epoca era stato previsto che, dopo tale ampliamento, la regolazione tramite soglia fissa non avrebbe più garantito il controllo dei livelli massimi. Fu quindi progettata una paratoia mobile, con soglia di fondo a quota 255,62, che venne realizzata nel 1952. Ufficialmente tale paratoia non è mai stata usata per fare funzionare l'emissario, ma, specie in passato, è corsa voce che la paratoia venisse manovrata abusivamente per abbassare il livello del lago, tanto che il

Genio Civile di Perugia ha innalzato due muri fissi, uno immediatamente a ridosso della paratoia mobile, e l'altro più a monte, all'incile del canale emissario; gli «occhi» furono anch'essi murati nel 1962. Attualmente quindi il sistema di regolazione è ancora a soglia fissa, con quota di sfioro che fino al Marzo del 1978 è stata di 257,33 m s.m. In tale epoca l'Amministrazione della Provincia di Perugia ha innalzato la soglia di una ventina di cm, tramite un muretto di mattoni, che è stato dopo vari mesi solo in parte abbattuto.

Non è la prima volta che la soglia del canale emissario subisce simili vicissitudini. Tali azioni riflettono gli interessi contrastanti delle popolazioni rivierasche: se da un lato pesca e turismo si avvantaggiano di acque

profonde e poco paludose, dall'altro, più bassa è la soglia di sfioro, maggiore è la superficie coltivabile, o, al limite, quella più o meno abusivamente edificabile.

È stato più volte tentato di comporre tali divergenze, e di definire la zona demaniale da quelle private ma, evidentemente, i risultati sono stati scarsi. Ufficialmente la zona demaniale intorno al lago è segnata dalla quota di 257,33 m s.m.; sul terreno però il limite è piuttosto ambiguo, dato che i cippi sono in parte scomparsi o rimossi. Nel Giugno del 1969 furono riuniti nella Prefettura di Perugia i rappresentanti di tutti gli enti pubblici o privati in qualche modo interessati ai livelli del lago: in quella occasione fu deciso che le paratoie mobili sarebbero state azio-

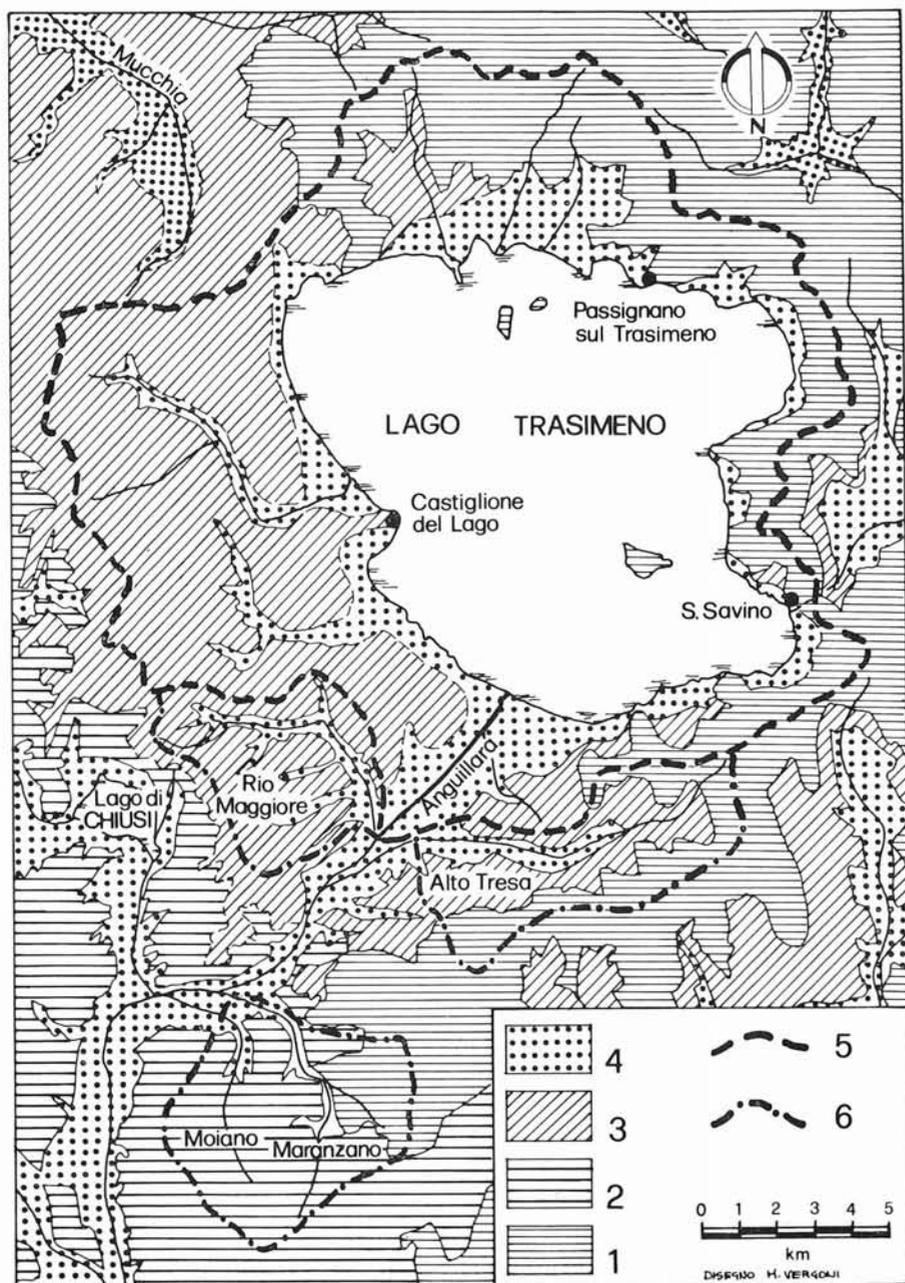


FIG. 2 - Schema litologico e assetto generale del bacino del Trasimeno. 1) Formazioni flyschoidi oligo-mioceniche; 2) Sedimenti litorali pliocenici: sabbie e puddinghe con livelli argillosi; questi ultimi sono praticamente assenti nel bacino dei torrenti Moiano e Maranzano; 3) Depositi alluvionali fluvio-lacustri « villafranchiani » e, trasgressivi su questi, sedimenti sabbioso-ghiaiosi, con numerose intercalazioni argillose, del Pleistocene; 4) Depositi alluvionali fluvio-lacustri recenti e attuali; 5) Bacino fino al 1959-60; 6) Bacini aggiunti dopo il 1959-60. La permeabilità delle formazioni affioranti è nell'insieme bassa. Localmente, però, la minore quantità di sedimenti argillosi può permettere una certa circolazione idrica. Nei sedimenti pliocenico-pleistocenici e nei depositi alluvionali olocenici si è instaurata, tutto intorno al lago, una modesta falda che drena in esso. Non è del tutto da escludere che nella zona più occidentale vi sia qualche modesto deflusso sotterraneo verso il Lago di Chiusi. Dispersioni sotterranee di qualche importanza dovrebbero aversi nel bacino del Moiano Maranzano.

nate dal Genio Civile solo nel caso che il livello raggiungesse la quota di 257,68 m s.m.

In parte per effetto delle modificazioni della soglia e in parte per l'abbondanza delle precipitazioni e per la loro distribuzione il livello del lago è arrivato nell'Aprile del 1979 a 257,88 m; ciò ha provocato l'allagamento di una settantina di ettari di terreno privato coltivato e difficoltà per lo scarico di alcune fognature nel lago. Si è quindi riproposto il problema di una regolazione dinamica, attraverso la soglia mobile, del funzionamento dell'emissario (CUCCARO, 1978).

#### 1.4. PUBBLICAZIONI

Da STRABONE in poi centinaia di autori si sono occupati del Trasimeno. La presente nota riporta solo i titoli essenziali, mentre in DEFFENU & DRAGONI (1978), MINELLI (1928), MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE (1977), SACCHI (1968) viene riportata una bibliografia più vasta; un gran numero di articoli riguardanti l'Ecologia del lago sono pubblicati sulla « Rivista di Idrobiologia » edita dall'Istituto di Idrobiologia e Piscicoltura « G. B. GRASSI » dell'Università di Perugia.

## 2. LINEAMENTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI

### 2.1. STRUTTURA

Da un punto di vista tettonico la depressione che costituisce il Lago Trasimeno è ubicata in prossimità del fronte della Falda Toscana sovrascorsa sul Flysch Umbro.

La genesi della depressione che forma il lago non è, nonostante i numerosi studi della zona, chiara. Secondo le ipotesi più comunemente accettate essa sembra collegata alla Tettonica a horst e graben che, a partire dal tardo Miocene, ha interessato la zona fino al Quaternario (dando origine ai bacini « villafranchiani » della Val di Chiana, del Tevere, ecc.); d'altro canto l'esame di immagini riprese da satellite sembra indicare che il Lago Trasimeno occupa la parte più interna di una serie di depressioni circolari concentriche di origine recentissima, le cui cause sono sconosciute, che potrebbero avere condizionato l'esistenza e la sopravvivenza, rispetto agli altri laghi « villafranchiani », del Trasimeno stesso (DEFFENU & DRAGONI, 1978).

### 2.2. STRATIGRAFIA E LITOLOGIA

Senza entrare in dettaglio e facendo riferimento alla numerosa bibliografia esistente (COLACICCHI, 1974; DALLAN & NARDI, 1975; ELTER, 1972), il substrato del bacino del Trasimeno può essere suddiviso litologicamente in quattro grandi gruppi:

a) Sedimenti flyschiodi cenozoici (« Complesso Monte Modino-Monte Cervarola »). Essi sono diffusi soprattutto nella zona orientale. Tali sedimenti, che nella carta geologica ufficiale sono attribuiti per lo più al Magigno, e appartengono invece, secondo i criteri più recenti, alle formazioni delle Marne di Pievepelago (Oli-

gocene superiore - Miocene inferiore), delle Arenarie del Monte Cervarola (Miocene inferiore - medio) e delle Marne di Monte S. Michele (Miocene medio). Gli affioramenti delle Arenarie del Monte Cervarola sono di gran lunga i più estesi. Essi consistono di arenarie risedimentate con numerose intercalazioni marnose e calcarenitiche. Le altre due formazioni, litologicamente simili, sono composte da argilloscisti variamente colorati, marne siltose grigie e arenarie.

b) Sedimenti litorali pliocenici. Tali sedimenti, trasgressivi sulle formazioni mioceniche, vanno dal Pliocene inferiore al Pliocene superiore. Intorno al Lago di Chiusi consistono di sabbie, puddinghe e lenti argillose con Moluschi litorali e salmastri del Pliocene medio-inferiore. Nei pressi di Città della Pieve (ossia nei bacini dei torrenti Moiano e Maranzano) gli affioramenti sono formati da sedimenti in cui la frazione argillosa è praticamente assente, composti da sabbie variamente cementate alternate a conglomerati e arenarie.

c) Sedimenti fluvio-lacustri del « Villafranchiano » e del Pleistocene superiore. Gli affioramenti « villafranchiani » sono molto diffusi nella zona occidentale del bacino. Essi consistono di sabbie e ghiaie intercalate a livelli argillosi in cui sono stati rinvenuti numerosi fossili d'acqua dolce. Andando da W verso lo specchio di acqua i sedimenti « villafranchiani » sono quasi ovunque coperti da materiale, per lo più sabbioso-ghiaioso anch'esso, fluvio-lacustre del Pleistocene superiore, depositosi sul « Villafranchiano » dopo la sua emersione e una sua parziale erosione.

d) Depositi alluvionali recenti e attuali; essi contornano tutto il lago e costituiscono gli alvei dei torrenti che in esso drenano. Sono costituiti prevalentemente da sabbie e limi, con numerose intercalazioni ghiaiose e argillose.

### 2.3. IDROGEOLOGIA

Nel bacino del Trasimeno si possono distinguere tre unità idrogeologiche. La prima è costituita dai terreni più antichi, ovvero dalle formazioni del Complesso del Monte Modino - M. Cervarola, che sono da considerare impermeabili o a bassissima permeabilità. La presenza delle interstratificazioni argillose ed argilloscistose giustifica ampiamente tale assunto, che è del resto dimostrato dalla mancanza di sorgenti con portata notevole. La circolazione, quando le condizioni stratigrafiche e giaciture lo consentono, è limitata ai primi metri di profondità ove la formazione si presenta decompressa e risulta quindi permeabile per fratturazione e porosità in corrispondenza degli strati formati da materiali arenacei alterati. È da tenere presente, inoltre, che queste formazioni presentano una coltre superficiale di origine eluviale o coluviale in cui si ha una modesta circolazione idrica alimentante piccole sorgenti. Le caratteristiche idrogeologiche di questa unità permettono di chiarire il particolare andamento delle variazioni attuali del livello del lago: si è notato che il massimo incremento del livello si ha in Febbraio, mentre la massima piovosità si regi-

stra nei mesi di Ottobre-Novembre ed il mese di Settembre è già notevolmente piovoso.

Tale sfasamento, in un bacino di modeste dimensioni, si giustifica oltre che con il diverso valore della evapotraspirazione dallo specchio nei vari mesi, con il diverso valore del coefficiente di deflusso che è legato allo stato di saturazione della coltre superficiale, saturazione che è evidentemente massima in Febbraio.

La seconda unità è quella dei sedimenti pliocenico-pleistocenici, costituita da ghiaie, sabbie, limi e argille, variamente intercalate e di notevole potenza. La permeabilità generale è bassa dato che la circolazione idrica è localizzata in quelle lenti sabbiose e ghiaiose in cui la matrice argillosa è più scarsa.

La terza unità è rappresentata dai sedimenti fluvio-lacustri del Pleistocene superiore e da quelli recenti ed attuali. Sotto il profilo litologico questi sono costituiti da ghiaie, sabbie e limi come i precedenti, ma i terreni ghiaiosi e sabbiosi presentano a volte una scarsa matrice limoso-argillosa. Ciò influenza la permeabilità che localmente può raggiungere valori non troppo bassi.

Nelle due ultime unità idrogeologiche si è localizzata una falda più o meno continua che circonda tutto il lago. Tale falda, molto superficiale, mostra isofreatiche parallele alle isoipse e sempre superiori al livello del lago; essa quindi contribuisce all'alimentazione dello stesso.

Nella zona più occidentale del bacino potrebbe esserci qualche modesta dispersione sotterranea verso il Lago di Chiusi; ci sono sicuramente deflussi sotterranei rilevanti, sempre verso il Lago di Chiusi, dai bacini sabbiosi dei torrenti Moiano e Maranzano, allacciati artificialmente

al lago con opere pensili e quindi interessanti solo il deflusso superficiale. A parte tali eccezioni e sulla base dei dati disponibili (DEFFENU & DRAGONI, 1978; MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E FORESTE, 1977), devono essere escluse dispersioni sotterranee di qualche importanza, soprattutto nella zona centrale ed orientale del bacino.

### 3. IDROLOGIA

#### 3.1. I DATI

Il presente lavoro prende in considerazione le caratteristiche idrologiche del lago dal 1921 al 1980. Fino a tutto il 1974 sono stati usati i dati e le elaborazioni riportati da DEFFENU & DRAGONI, 1978; per gli anni seguenti ci si è serviti di dati inediti messi gentilmente a disposizione dal Servizio Idrografico del Ministero LL.PP., sezione di Roma; per questo periodo gli afflussi meteorici sono stati calcolati mensilmente col metodo di Thiessen sulla base dei dati raccolti dalle stazioni pluviometriche ubicate nel bacino e nelle zone limitrofe. I dati sui livelli sono quelli della stazione idrometrica di S. Savino: si deve assumere che abbiano una approssimazione di almeno 3 ÷ 4 cm, dato che l'idrometro consiste di una semplice tavola graduata immersa nell'acqua e che il moto ondoso impedisce una lettura precisa. Inoltre vento, differenze di pressione barometrica e sesse potrebbero giocare un ruolo non indifferente, *ma sicuramente notevole*, sui livelli misurati.

La tab. 1 riporta gli afflussi meteorici mensili dall'1.1.1975 all'1.1.1980, mentre la tab. 2 riporta per lo

TABELLA 1

PIOVOSITÀ MENSILI (mm) RAGGUAGLIATE SU BACINO E SPECCHIO DEL LAGO TRASIMENO. I valori sono stati ottenuti col metodo THIESSEN usando i dati di tutte le stazioni pluviometriche ubicate nel bacino. Fanno eccezione i dati contrassegnati con asterisco, che corrispondono alla sola stazione di Monte del Lago, in prima approssimazione assimilabili alle precipitazioni ricadenti sull'intero bacino (ARREDI, 1959).

ANNO	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG.	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.	TOT.
1975	3	28	109	37	73	45	22	72	32	64	107	40	632
1976	15	82	93	80	34	68	57	83	112	143	111	97	975
1977	59	76	42	18	72	37	37	112	86	41	69	80	739
1978	81	67	92	104	119	91	48	62	11	97*	25*	70*	867
1979	70*	116*	99*	56*	10*	6*	10*	0*	38*	62*	74*	64*	605
1980	85*												

TABELLA 2

QUOTE ASSOLUTE (m s.l.m.) DEL LIVELLO DEL TRASIMENO AL GIORNO INIZIALE DI OGNI MESE DAL 1975 AL 1980. Le quote sono riferite alla nuova fondamentale IGM e rilevate all'idrometro di S. Savino.

ANNO	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG.	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.
1975	256,42	6,41	6,40	6,46	6,46	6,46	6,41	6,22	6,14	6,09	6,07	6,16
1976	6,18	6,19	6,30	6,44	6,48	6,43	6,34	6,25	6,21	6,23	6,38	6,56
1977	6,74	6,97	7,06	7,10	7,05	7,10	6,96	6,83	6,83	6,81	6,80	6,82
1978	6,92	7,07	7,19	7,43	7,51	7,60	7,62	7,52	7,39	7,29	7,32	7,32
1979	7,40	7,50	7,71	7,83	7,82	7,67	7,60	7,44	7,29	7,22	7,24	7,30
1980	7,41											

stesso periodo le quote assolute del lago il primo giorno di ogni mese. La tab. 3 riassume le quote assolute dei manufatti di riferimento: dal 1950 in poi esiste una discrepanza fra queste quote e quelle pubblicate negli Annali Idrologici perché questi continuano a riferirsi alla vecchia fondamentale IGM, mentre la tabella si riferisce alla nuova che è di circa 13,5 cm più alta <sup>(1)</sup>. I dati at-

TABELLA 3

QUOTE ASSOLUTE IN M S.L.M. ADOTTATE NELLA PRESENTE NOTA (\*).

Periodo	1921 ÷ 1943	1950 ÷ 1958	1959 ÷ 1978
quota idrometro di riferimento	257,63 (*) (S. Savino)	254,19 (*) (M. del Lago)	257,33 (S. Savino)
quota della soglia di sfioro dell'emissario	257,63	257,33	257,33

(\*) I dati contrassegnati con asterisco sono riferiti alla vecchia fondamentale IGM.

tualmente rilevati dal Consorzio di Bonifica del Trasimeno e dal Genio Civile di Perugia, sono riferiti alla nuova rete fondamentale IGM. Per questi motivi, per spostamenti degli idrometri, per errori di trascrizione e per gli eventi bellici che hanno interessato la zona, le quote assolute del lago prima del 1961 non sono note; nonostante ciò è stato possibile ricostruire per tre periodi distinti (1921 ÷ 1934, 1950 ÷ 1958, 1959 ÷ 1980) i livelli in modo tale che i valori riferentesi a ognuno di questi periodi sono fra loro comparabili (DEFFENU & DRAGONI, 1978). Si noti che l'inizio del terzo periodo coincide con l'ampliamento del bacino imbrifero.

### 3.2. TEMPERATURE, PIOVOSITÀ E VARIAZIONI DI LIVELLO ANNUALI

La tab. 4 riporta la distribuzione media mensile e stagionale delle piogge sul bacino del Trasimeno. Il massimo afflusso si ha in Novembre, il minimo in Luglio; la stagione più umida è l'autunno, la più secca l'estate. Per ciò che riguarda la temperatura e gli effetti del lago sul clima della zona, gli unici dati disponibili sono quelli della stazione di Monte del Lago, dove funziona con varie interruzioni una stazione termometrica dal 1926. La tab. 5 mette a confronto le caratteristiche di Monte del Lago con quelle di Perugia e di Foligno, distanti rispettivamente dal lago in linea d'aria 16 e 48 km. Il fatto che Monte del Lago abbia la maggiore escursione termica indica, da un lato che i modesti rilievi che bordano il bacino espongono la conca del lago a tutti i venti e, dall'altro, gli scarsi effetti del lago sul clima locale. Ciò è dovuto alla bassa profondità di questo: la sottile lama d'acqua ha nell'insieme una piccola capacità termica e una conseguente bassa capacità termoregolatrice, che al più smorza appena i valori estremi della temperatura (DEFFENU & DRAGONI, 1978).

<sup>(1)</sup> Notizia fornita dal geom. TALEVI del Servizio Idrografico di Roma.

TABELLA 4

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE MENSILE E STAGIONALE DELLE PIOGGE NEL PERIODO 1921 ÷ 1974 (\*).

	Piuvosità media (mm)	%
Settembre	75,6	9,6
Ottobre	92,2	11,7
Novembre	95,3	12,1
Autunno	263,2	33,4
Dicembre	77,2	9,8
Gennaio	60,7	7,7
Febbraio	66,2	8,4
Inverno	204,1	25,9
Marzo	63,0	8,0
Aprile	67,0	8,5
Maggio	67,8	8,6
Primavera	197,8	25,1
Giugno	54,4	6,9
Luglio	30,7	3,9
Agosto	37,8	4,8
Estate	122,9	15,6

(\*) Sono stati esclusi gli anni 1944, 1945, 1946 con dati incerti.

TABELLA 5

CONFRONTO FRA ALCUNE CARATTERISTICHE TERMOMETRICHE DI MONTE DEL LAGO, PERUGIA E FOLIGNO (DAL 1921 AL 1974).

	Monte del Lago	Perugia	Foligno
altitudine m s.l.m.	295	493	235
media annua	14°,0	13°,3	14°,5
media mese più caldo (lug.)	23°,7	22°,9	24°,2
media mese più freddo (gen.)	4°,3	4°,2	4°,9
escursione termica	19°,5	18°,7	19°,3

Le precipitazioni sul bacino e sullo specchio d'acqua differiscono soltanto del 2 ÷ 3 %; il mese di Settembre segna generalmente l'inizio del periodo autunnale ad alta piovosità di modo che l'anno idrologico si può fare iniziare il 1° Settembre.

La piovosità media fra il 1921 e tutto il 1977 (esclusi gli anni 1943-44-45 con dati incerti) è stata di 788 mm. Il campo di variabilità della media annuale è piuttosto ampio, andando dai 1 188 mm dei 12 mesi fra il 1° Gennaio e il 31 dicembre 1960, ai 489 mm dei 12 mesi compresi fra il 1° Settembre 1970 e il 31 Agosto 1971. La temperatura media annuale varia, da un anno all'altro, in misura nettamente minore: fra il 1921 e il 1974, sempre omettendo gli anni 1943-44-45, la minima si è avuta nel 1940 con 12°,4, la massima nel 1934 con 14°,7.

L'escursione media annuale del livello del lago è piuttosto marcata e dell'ordine dei 40 cm (fig. 3). Il mas-

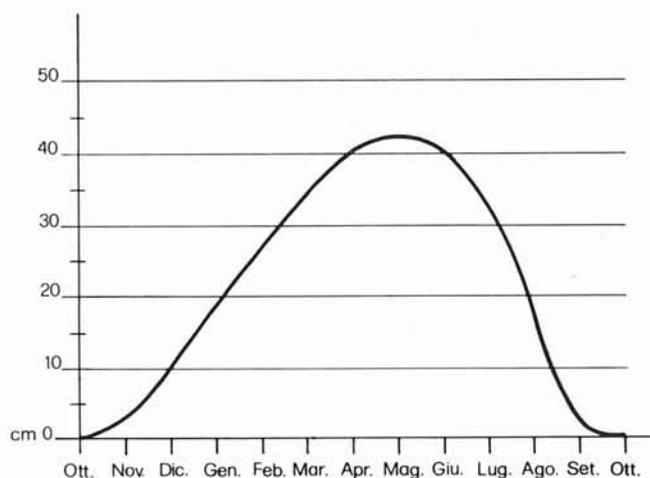


FIG. 3 - Andamento del livello medio mensile del Trasimeno dal 1921 al 1974. La figura è solo indicativa perché nei calcoli i decimali sono stati arrotondati in modo da ottenere alla fine e all'inizio dell'anno la stessa quota; sono stati esclusi i mesi con emissario funzionante.

simo livello si raggiunge nella tarda primavera, il più basso alla fine dell'estate. Nel periodo preso in esame i livelli del lago diminuiscono, sempre, fra Giugno e Settembre mentre aumentano fra Ottobre e Giugno. La tab. 6 riporta la media delle variazioni di livello nei mesi da Giugno ad Agosto e durante i restanti mesi, calcolate per i 3 periodi con dati omologhi e con emissario non funzionante. I dati della tab. 6 indicano che:

— Gli abbassamenti hanno una dispersione intorno alla media minore degli innalzamenti.

— L'abbassamento medio nel periodo 1961 ÷ 1977 è inferiore a quello dei periodi precedenti; viceversa l'innalzamento medio dell'ultimo periodo è maggiore; ciò evidentemente è da imputarsi all'ampliamento del bacino.

TABELLA 6

VARIAZIONI DI LIVELLO MEDIO ( $D_h$ ) FRA IL 1° GIUGNO E IL 1° SETTEMBRE E FRA IL 1° OTTOBRE E IL 1° GIUGNO (\*).

periodo	$D_h$ (m)	scarto quadratico medio	valori estremi	
1° Giugno - 1° Settembre				
1921 ÷ 43	-0,37	0,11	-0,16	-0,55
1950 ÷ 58	-0,36	0,08	-0,19	-0,48
1961 ÷ 77	-0,31	0,09	-0,19	-0,46
1° Ottobre - 1° Giugno				
1921 ÷ 43	+0,40	0,22	+0,14	+0,82
1950 ÷ 58	+0,34	0,13	+0,19	+0,61
1961 ÷ 77	+0,45	0,35	+0,09	+0,91

(\*) Sono stati considerati solo i periodi con emissario non funzionante.

La minore variabilità degli abbassamenti estivi (quando l'effetto delle piogge è scarso) rispetto alla variabilità degli innalzamenti indica che le perdite d'acqua del lago sono più o meno costanti: del resto i fattori che regolano la evapotraspirazione (temperatura, irraggiamento, eliofanìa, ecc.) sono tutti in qualche modo legati alla temperatura media dell'aria, e si è già visto quanto sia scarsa la variabilità di questa da un anno all'altro. Le precipitazioni medie annue, invece, sono comprese entro estremi fra loro molto lontani.

### 3.3. BILANCIO

La sensibilità del Trasimeno alle precipitazioni è immediata e si esaurisce in 2 ÷ 3 giorni anche dopo piogge molto intense: ciò è da attribuirsi al fatto che circa 1/3 delle precipitazioni cade direttamente sullo specchio e alla scarsa distanza fra il lago e il limite del bacino. Per l'impermeabilità del substrato cenozoico di questo gli apporti idrici sono limitati agli afflussi meteorici cadenti sul bacino stesso.

Per quanto detto nel paragrafo precedente, supponiamo che le perdite del lago per evapotraspirazione dallo specchio siano più o meno costanti. In tale situazione il bilancio idrologico è semplice: si considerino le variazioni di volume che il lago subisce negli anni con emissario non funzionante. Esse dipendono dalle precipitazioni che cadono direttamente sullo specchio, da quelle che cadono sul bacino moltiplicate per il coefficiente di deflusso medio annuale e dalle perdite del lago dovute alla evapotraspirazione e ai prelievi artificiali. Considerando gli afflussi positivi e le perdite negative si può scrivere:

$$(1) \quad D_v = P \cdot S_s + P \cdot S_b \cdot C - E \cdot S_s$$

dove i simboli valgono:

$D_v$  = variazioni di volume;  $P$  = altezza di pioggia su bacino e specchio;  $C$  = coefficiente di deflusso medio annuo;  $S_s$  = superficie media dello specchio;  $S_b$  = superficie media del bacino;  $E$  = perdite complessive per evapotraspirazione e prelievi. Dividendo ambo i membri della (1) per  $S_s$  ed esplicitando  $P$  si ottiene:

$$(2) \quad D_h = (1 + R \cdot C) \cdot P - E$$

dove  $D_h$  = variazione di livello in un anno (calcolabile dalla differenza fra livelli misurati a distanza di un anno),  $R$  = rapporto medio (noto) fra superficie del bacino e superficie dello specchio. Per il periodo 1961 ÷ 1977 la (2) è leggermente diversa a causa dell'apporto dei bacini allacciati: la piovosità su questi è in media pari a  $1,2 \cdot P$  secondo quanto riportato in DEFFENU & DRAGONI, 1978. Esprimendo gli afflussi meteorici medi su vecchio bacino e su bacino aggiunto in funzione di  $P$  si ottiene, dal 1961 in poi, e arrotondando per eccesso un afflusso medio pari a  $1,1 \cdot P$ , di modo che per l'ultimo periodo la (2) diventa:

$$(2a) \quad D_h = P \cdot (1 + 1,1 \cdot R_n \cdot C_n) - E$$

dove  $R_n$  e  $C_n$  indicano rispettivamente il rapporto superficie del bacino attuale/superficie media dello specchio e il coefficiente di deflusso medio dell'attuale bacino. La (2)

e la (2a) assumono la stessa forma se il termine fra parentesi viene indicato con  $m$ :

$$(3) \quad D_h = m \cdot P - E \quad \text{dove si ha:}$$

$$(4) \quad m = 1 + R \cdot C$$

con  $R = 1,5$  nel 1921 ÷ 1943 e con  $R = 1,7$  nel 1950 ÷ 1958; mentre nel 1961 ÷ 1977 si ha:

$$(4a) \quad m = 1 + 1,1 \cdot R_n \cdot C_n \quad \text{con } R_n = 2,2.$$

I valori di  $R$  sono stati ottenuti dalle quote medie del lago nei tre periodi e dalla curva ipsografica (fig. 4).

Se  $m$  è noto la (4) e la (4a) permettono di calcolare i coefficienti di deflusso medi di ogni periodo. Ovviamente nella (3)  $D_h$  e  $P$ , espressi in millimetri, sono le variabili mentre  $m$  ed  $E$  nel loro valore medio si assumono come costanti almeno in prime approssimazioni. Tramite il metodo dei minimi quadrati sono state calcolate le rette di regressione rappresentate dalla (3), con anni idrologici a partire da ogni mese e solo negli anni in cui l'emissario sicuramente non ha funzionato. Le grandezze topografiche adottate sono riportate nella tab. 7.

TABELLA 7

GRANDEZZE TOPOGRAFICHE ADOTTATE NEL PRESENTE LAVORO (\*).

	( $S_s$ )		
area vecchio bacino + specchio	1921 ÷ 43	309	km <sup>2</sup>
	1950 ÷ 58	122	km <sup>2</sup>
area media specchio	1961 ÷ 78	115	km <sup>2</sup>
		121	km <sup>2</sup>
area bacino Tresa		25,20	km <sup>2</sup>
area bacino Riomaggiore		20,50	km <sup>2</sup>
area bacino Moiano e Maranzano		28,70	km <sup>2</sup>
area totale bacini immessi		74,40	km <sup>2</sup>

(\*) Le quote sono riferite alla nuova rete fondamentale IGM.

Le dodici rette di regressione ottenute per ogni periodo hanno coefficiente di determinazione in alcuni casi molto buoni (i migliori sono 0,97 dal 1921 al 1943, 0,93 dal 1950 al 1958 e 0,98 dal 1961 al 1978) ma i

valori del coefficiente di deflusso e delle perdite per evapotraspirazione dallo specchio sono piuttosto variabili anche all'interno di ogni singolo periodo. Inoltre non sempre gli anni idrologici iniziati a Settembre e a Ottobre hanno il coefficiente di determinazione più alto, come ci si aspetterebbe considerando l'andamento annuale medio delle precipitazioni e come riportato in DEFFENU & DRAGONI, 1978. Ciò che rimane praticamente costante, invece, è la pioggia critica, definita come piovosità annuale necessaria a bilanciare le perdite e calcolabile ponendo nella (3)  $Dh = 0$ . Questa corrispondenza dà a tale valore un significato preciso e accettabile. Tale grandezza assume i valori riportati nella tab. 8.

TABELLA 8  
VALORI ESTREMI E MEDI DELLA PIOGGIA CRITICA ( $P_c$ ) (\*).

periodo	valori estremi di $P_c$ (mm)	$P_c$ media (mm)
1921 ÷ 1943	800-812	807
1950 ÷ 1958	780-794	788
1961 ÷ 1977	705-711	709

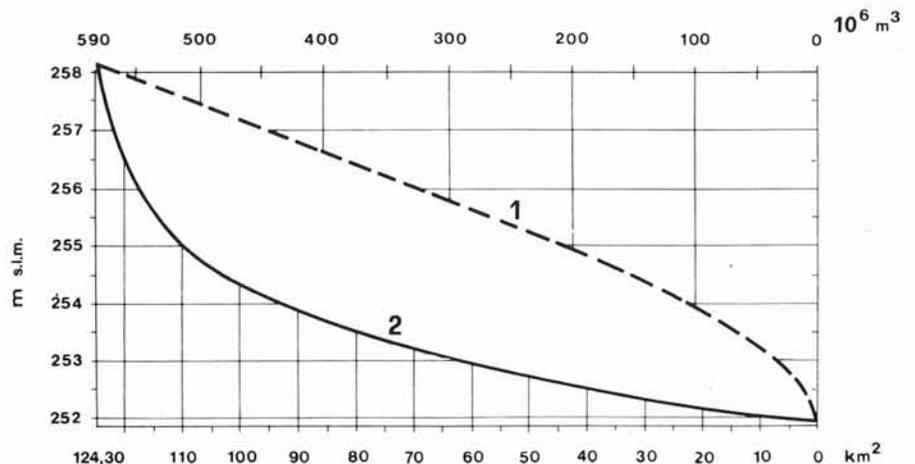
(\*) Ottenuti dalle correlazioni lineari fra variazioni di livello  $D_h$  e piovosità annuali  $P$ .

Al fine di scegliere per ogni periodo la migliore espressione della (3) sono state eseguite delle simulazioni. La (3) infatti può simulare le quote del lago scegliendo un anno di partenza di cui siano noti i 12 livelli il primo giorno di ogni mese; a questi si sommano algebricamente e progressivamente i dislivelli  $D_{hi}$  calcolati con la (3) tramite le piovosità annue a partire da ogni mese. In altri termini si ha:

$$(5) \quad L_{st} = L_{r0} + \sum_{i=0}^t D_{hi} \quad \text{dove:}$$

$L_{st}$  = livello simulato nell'anno  $t$  e  $L_{r0}$  = livello reale iniziale.

Fig. 4 - Curve ipsografiche delle superfici e dei volumi. 1) Curva dei volumi; 2) Curva delle superfici. Le quote sono riferite alla nuova fondamentale I.G.M. Si noti come fra le quote 258 e 255 diminuzioni di livello di 1,5 ÷ 2 m corrispondono a variazioni di volume comprese fra i cento e i duecento milioni di m<sup>3</sup>. Variazioni di livello di tali entità non sono eccezionali. (Modificato da CAROLLO, 1979).



Dato che la (3) è valida solo nei periodi con emissario non funzionante, ogni qual volta il livello reale ha superato la soglia di sfioro la simulazione è stata interrotta, per essere ripresa quando l'emissario ha cessato di funzionare: in questi casi ovviamente, si è ripartiti dal livello reale. Per ottenere le simulazioni i parametri  $E$  ed  $m$  della (3) sono stati fatti variare fra i termini estremi ottenuti dalle regressioni: il passo di variazione di  $E$  è stato di 1 mm, quello di  $m$  di 0,01. La tab. 9 riporta per ogni periodo, la relazione che ha dato il minimo errore quadratico medio, il valore di questo e i parametri associati ad ogni relazione.

TABELLA 9

MIGLIORI RELAZIONI LINEARI FRA VARIAZIONI DI LIVELLO ANNUALI E PIOVOSITÀ ANNUALI (\*).

periodo	relazione fra $D_h$ e $P$	pioggia critica (mm)	$C$	$R$	errore quadratico medio (mm)
1921÷43	$D_h = 2,06 P - 1649$	800	0,71	1,5	83,1
1950÷58	$D_h = 1,83 P - 1433$	783	0,49	1,7	63,1
1961÷77	$D_h = 2,20 P - 1562$	710	0,50	2,2	66,7

(\*) Scelte in base alle simulazioni con il minimo errore quadratico medio.  $D_h$  = variazioni di livello annuali (mm);  $P$  = piovosità annuali su bacino e specchio (mm);  $R$  = rapporto medio fra superficie del bacino e superficie dello specchio;  $C$  = coefficiente di deflusso medio annuo.

TABELLA 10

CONFRONTO FRA I VALORI DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO MEDIO ANNUO  $C$  E DELLE PERDITE MEDIE DALLO SPECCHIO  $E$  (\*).

	periodo	$C$	$E$ (mm)
metodo deterministico usato nel testo	1961÷77	0,50	1562
THORNTHWAITE	1971÷74	0,42	1360
TURC	1961÷77	0,24	1085
COUTAGNE	1961÷77	0,25	1100

(\*) Ottenute con metodi descritti nel testo, assumendo una superficie media del lago di 121 km<sup>2</sup>.

L'errore quadratico medio è accettabile se confrontato con l'ampiezza dell'errore nel rilevamento dei livelli reali e con l'inevitabile approssimazione delle cifre sulle piovosità ragguagliate. A puro titolo di curiosità e limitatamente al periodo 1961÷1977 sono state calcolate tutte le funzioni lineari che forniscono errori quadratici medi inferiori a 70 mm: esse sono ben 143, con perdite  $E$  comprese fra gli estremi di 1 624 mm e 1 507 mm, coefficienti di deflusso compresi fra 0,49 e 0,53, e pioggia critica compresa fra 708 e 713 mm. Vista l'approssimazione dei dati in ingresso i risultati delle 143 simulazioni possono essere considerati equivalenti: dato che i valori estremi di  $C$  e  $P_c$  praticamente coincidono

si può attribuire a tali parametri un valore attendibile. Per le perdite, invece, si deve ammettere un certo grado di incertezza, pari a circa 100 mm in più o in meno di quello riportato in tab. 9. È bene sottolineare che il parametro pioggia critica trovato sulla base delle simulazioni conferma il valore fornito dalle regressioni.

Si noti che i risultati ottenuti confermano le ipotesi espresse nel paragrafo 3.2. riguardo la costanza della evapotraspirazione. Il valore delle perdite più alto nel primo periodo è presumibilmente dovuto al deflusso attraverso gli « occhi » della diga e al prelievo (sospeso nel dopoguerra) di 200 l/s di acqua da parte della centrale termoelettrica di Pietrafitta (MINELLI, 1928), mentre rimane aperta la questione dell'alto coefficiente di deflusso (cf. DEFFENU & DRAGONI, 1978). Si è cercato di applicare il metodo ora descritto anche su base mensile ma i risultati non sono stati soddisfacenti: evidentemente, lavorando su un insieme di periodi brevi, è necessario tenere conto di fattori quali lo stato del suolo, le piogge precedenti il mese in esame, la loro intensità e durata.

La fig. 5 riporta i livelli reali e i livelli simulati. Per il periodo 1921÷1943 sono stati calcolati i livelli che il lago avrebbe avuto se, oltre la quota 257,66, non fosse entrato in funzione l'emissario: la curva dà un'idea dell'importanza che riveste l'emissario, pur con la soglia fissa, per il regime del lago. Per il periodo 1960÷1978 sono stati simulati i livelli che il lago avrebbe avuto se il bacino imbrifero non fosse stato ampliato. Tale simulazione è stata eseguita supponendo che le perdite e il coefficiente di deflusso siano rimaste uguali a quelle del periodo precedente: si vede chiaramente che, senza l'ampliamento del bacino, il lago non avrebbe mai raggiunto la quota di sfioro.

Il bilancio del lago può essere calcolato anche per via indiretta, adoperando per esempio le formule di THORNTHWAITE, di TURC e di COUTAGNE. La formula di THORNTHWAITE è stata usata nel lavoro del MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E FORESTE (1977). Il calcolo con le formule di TURC e di COUTAGNE, che dovrebbero fornire l'evapotraspirazione media reale in funzione della temperatura e della piovosità media annua, è stato eseguito nelle seguenti ipotesi: 1) bacino impermeabile; 2) temperatura media di Monte del Lago rappresentativa della temperatura media di tutto il bacino (tab. 5); 3) pioggia critica  $P_c$  pari a 710 mm (tab. 9).

In tal caso la formula (2) diventa:

$$(6) \quad (1 + R \cdot C) \cdot P_c - E = 0$$

dove l'unico termine incognito è  $E$ , dato che nelle ipotesi fatte il coefficiente di deflusso può essere facilmente calcolato quando è noto il valore della evapotraspirazione reale sul bacino. La tab. 10 riassume e mette a confronto i risultati forniti dai vari metodi, sempre con emissario non funzionante.

La tab. 10 mostra che esiste una discreta concordanza fra i valori calcolati precedentemente e il metodo THORNTHWAITE su base mensile, mentre negli altri casi la differenza è notevole. Ciò conferma che le formule di TURC e di COUTAGNE vanno usate con una certa cau-

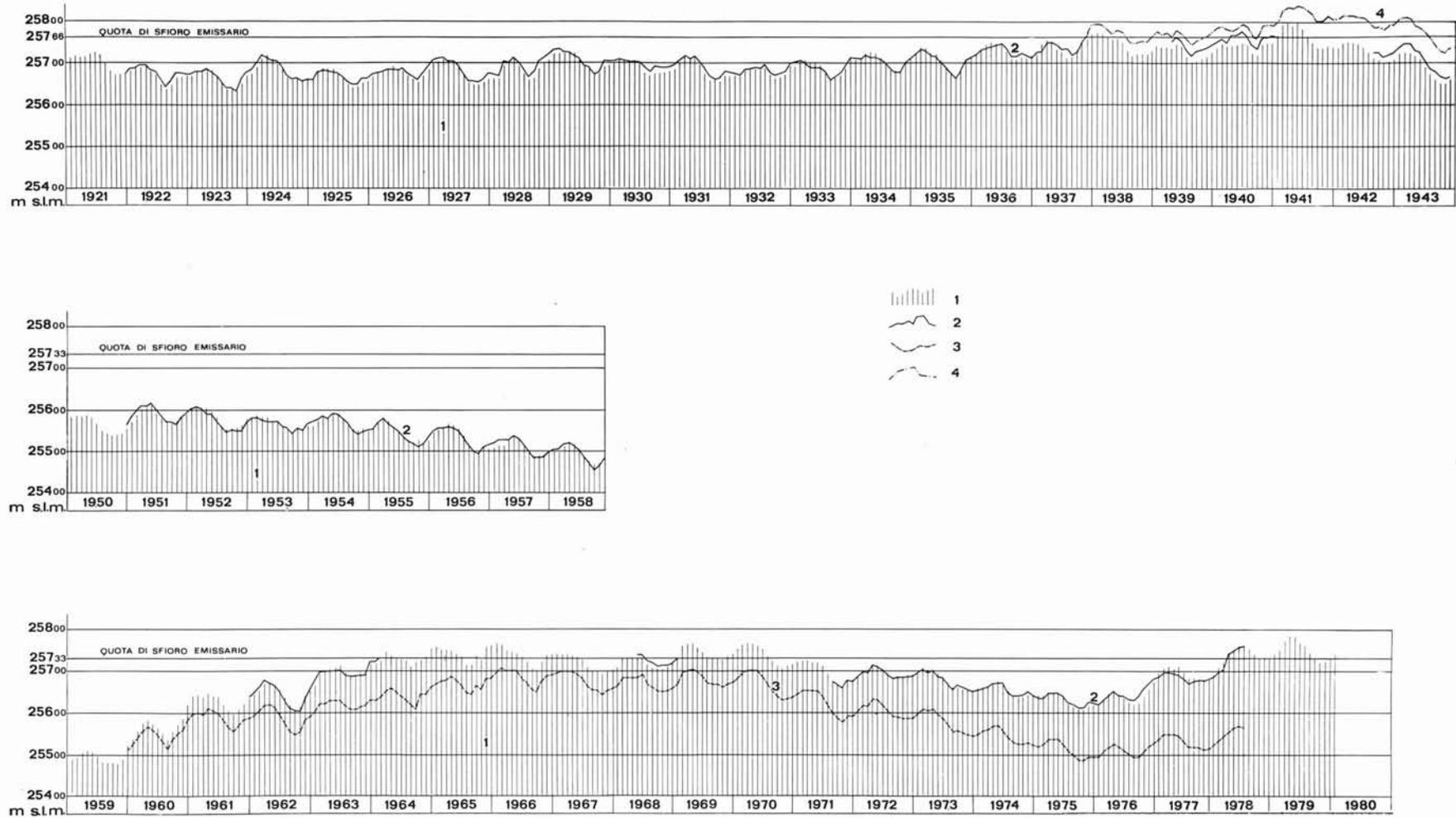


FIG. 5 - Livelli reali e livelli simulati del Lago Trasimeno dal 1921 al 1980. 1) Livelli reali; 2) Livelli simulati secondo  $D_n = 2,06 P - 1649$  (1921÷1943),  $D_n = 1,83 \cdot P - 1433$  (1950÷1959),  $D_n = 2,20 \cdot P - 1562$  (1962÷1978); 3) Livelli fra il 1961 e il 1978 nel caso non fosse avvenuto l'ampliamento del bacino (simulazione eseguita con  $D_n = 1,83 \cdot P - 1433$ ). Questa simulazione è ottimistica dato che si sono conservate le perdite del periodo 1950÷1959, mentre nella realtà queste risultano più alte: ciò nonostante senza i lavori di ampliamento l'emissario non avrebbe mai funzionato. Si noti come la curva simulata e la curva reale si allontanano man mano che fra il 1960 e il 1962 entrano in funzione gli allacciamenti e il loro riavvicinarsi quando l'emissario entra in funzione; 4) Livelli del lago fra il 1937 e il 1943 se alla fine del 1937 non fosse entrato in funzione l'emissario.

tela in situazioni particolari come quella in esame, dove l'evapotraspirazione dalla superficie liquida, senza dubbio influenza notevolmente la evapotraspirazione reale del bacino.

La fig. 6 riporta le piovosità annue dal 1921 al 1979 <sup>(2)</sup>; essa visualizza chiaramente il perché delle oscillazioni di livello pluriennali e mostra come anche con l'attuale pioggia critica ci si debba aspettare periodi di 3÷4 anni con apporto idrico insufficiente (DEF-FENU & DRAGONI, 1978).

#### 3.4. PERDITE DELLO SPECCHIO E DEFLUSSI SOTTERRANEI

Secondo i dati ufficiali i prelievi idrici autorizzati dal lago sono di circa 417 000 m<sup>3</sup>/anno, ma i prelievi abusivi sono molto al di sopra della realtà e di difficile controllo. In base alla estensione delle coltivazioni e ai tipi di coltura, i prelievi ufficiali vanno moltiplicati almeno per un fattore dieci. A ciò vanno aggiunti 300 000 m<sup>3</sup>/anno prelevati dal comune di Castiglione del Lago e 1·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/anno prelevati per uso industriale secondo quanto riportato dal MINISTERO AGRICOLTURA E FORESTE (1977). In totale quindi i prelievi dovrebbero essere intorno a 5,5·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/anno. Trasformando questo volume in altezza sullo specchio (ponendo l'area di questo pari a 121 km<sup>2</sup>) si ottengono 45 mm che sottratti alle perdite medie complessive del periodo 1961÷1978 danno 1 517 mm/anno di evapotraspirazione. Anche considerando l'ampio margine di incertezza insito in questa ultima cifra l'evapotraspirazione dello specchio del Lago Trasimeno supera di circa 200 mm all'anno quella degli altri laghi dell'Italia centrale, situati praticamente nella stessa posizione geografica: cf. FROSINI (1932), PERRONE (1908), TEATINI (1961), DEFFENU & DRAGONI (1978).

Ciò può essere spiegato dalla bassa profondità del lago, dall'intensità dei venti che spazzano la conca trasimena e soprattutto dalla grande estensione del canneto con conseguente alto valore della traspirazione. Va rilevato che il valore degli emungimenti artificiali rappresenta meno del 3 % delle perdite complessive.

È stato detto precedentemente che esiste una modesta falda che alimenta il lago. Nel bacino vi sono alcuni piezometri che indicano una certa regolarità nelle escursioni annuali della falda; la quota massima si raggiunge in primavera, la minima in Settembre-Ottobre. In un mese con piovosità nulla la variazione di livello mensile  $D_{hm}$  sarà data dalla differenza fra l'afflusso della falda  $F_m$  e l'evapotraspirazione mensile  $E_m$ . Si può scrivere, esprimendo tutto in mm:

$$(7) \quad D_{hm} = F_m - E_m$$

Nella (7) è noto solo il valore  $D_{hm}$ , che è misurato direttamente. Chiamando  $D_{ha}$  la sommatoria dei valori medi  $D_{hm}$  relativi ai 12 mesi dell'anno si ottiene:

$$(8) \quad D_{ha} = F_a - E$$

dove  $F_a$  è la sommatoria degli afflussi medi mensili della falda, ossia l'afflusso medio annuale ed  $E$  è il valore com-

pletivo delle perdite annuali per evapotraspirazione già calcolato e riportato nella tab. 9.

Se si riesce a dare un valore attendibile al termine  $D_{ha}$ , la (8) permette di calcolare l'ordine di grandezza dei deflussi annuali medi sotterranei verso il lago. Nella presente nota si è cercato il valore di  $D_{ha}$  solo relativamente al periodo 1950÷1958 quando le perdite sono state soltanto per evapotraspirazione (con il lago sempre sotto soglia e gli « occhi » della diga chiusi) e prima che il bacino fosse ampliato, dato che dai bacini allacciati proviene l'acqua in misura non trascurabile per vari giorni dalla fine delle precipitazioni. Per il periodo 1950÷1958 sono stati cercati tutti i periodi non piovosi (durata minima 10 giorni) preceduti da 5 giorni non piovosi, di modo che l'effetto degli afflussi superficiali fosse completamente trascurabile. Le variazioni di livello calcolate per differenza fra la quota all'inizio e alla fine di ogni periodo non piovoso, sono state ripartite fra il numero dei giorni compresi nel periodo stesso, attribuendo così un valore medio giornaliero agli abbassamenti del lago. Tale valore è stato moltiplicato per il numero dei giorni del mese in cui il periodo non piovoso in esame ricadeva, ottenendo così per ogni mese il valore medio di  $D_{hm}$  (cf. la 7), nel periodo 1950÷1959. I valori  $D_{hm}$ , sono stati mediati e poi sommati fra di loro ottenendo un valore arrotondato, pari a 1 100 mm; corrispondente al  $D_{ha}$  della (8). Infine si è calcolato il parametro  $F_a$ , pari a 350 mm, corrispondente a 40·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Nello stesso periodo sul bacino è caduto un volume medio annuo di pioggia di 146·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, di cui 73·10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, sono giunti al lago (tab. 9) di modo che ben il 55 %

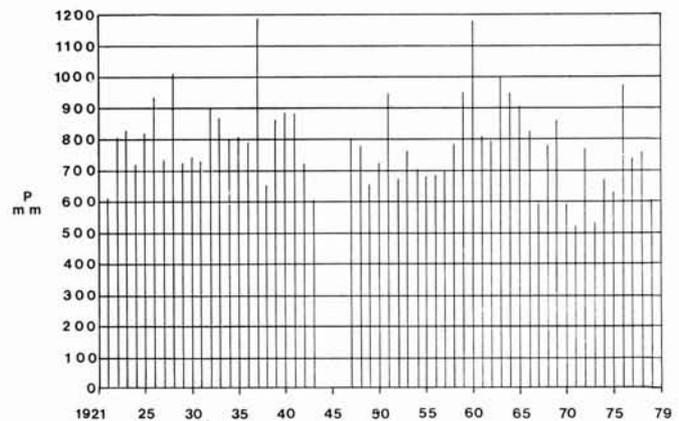


FIG. 6 - Pioggia critica e afflussi meteorici sul bacino del Trasimeno fra il 1921 e il 1979. Anni che superano le linee orizzontali rappresentanti una certa pioggia critica hanno bilancio positivo, anni al di sotto o uguali hanno rispettivamente bilancio negativo o in pareggio. La figura mostra come le ricorrenti crisi del lago siano legate alla distribuzione della piovosità. Dato che attualmente la pioggia critica è di circa 700 mm/anno e dato che il 74 % degli anni ha una piovosità più alta di tale cifra, a prima vista sembrerebbe che il lago riceva acqua in sovrabbondanza. In realtà nei periodi di alta piovosità entra prima o poi in funzione l'emissario e ciò impedisce l'immagazzinamento della quantità d'acqua momentaneamente in eccesso; inoltre la situazione è aggravata dal fatto che gli anni siccitosi tendono a essere raggruppati insieme.

<sup>(2)</sup> L'analisi spettrale della serie temporale degli afflussi annui, di cui si stanno studiando le principali caratteristiche statistiche, indica una ciclicità di circa 13 anni.

degli afflussi meteorici arrivati dal bacino al lago nel periodo 1950 ÷ 1958 vi sarebbe giunto per via sotterranea. Tale cifra sembra alta, a meno che la permeabilità e la porosità complessiva dei depositi alluvionali non siano maggiori di quanto riportato in letteratura e di quanto si può vedere in superficie. A dispetto di ciò l'ordine di grandezza è soddisfacente, specie se si considera la grossolanità del metodo adottato, e in linea di massima conferma i risultati ottenuti. Ulteriori indagini sull'argomento potrebbero forse chiarire il problema.

#### 4. CONCLUSIONI

##### 4.1. EFFETTO DI ULTERIORI AMPLIAMENTI DEL BACINO

Si è visto che l'assetto attuale del lago non garantisce da periodi con livelli bassi della durata di 2 ÷ 4 anni (fig. 6). In linea teorica la situazione potrebbe essere migliorata in vari modi: per esempio, il Trasimeno potrebbe essere collegato al Tevere (TEATINI, 1961), o potrebbe essere costruito un serbatoio artificiale che immagazzini le acque nei periodi con bilancio attivo per poi restituirle al lago nei periodi siccitosi. Il primo modo però è reso impossibile dalla costruenda diga di Montedoglio che prevede altri usi per l'acqua del Tevere. Il secondo modo sembra di difficile attuazione pratica dato il gran volume di acqua che dovrebbe essere immagazzinato per assicurare effetti sensibili per più anni sul volume del lago: dalla curva ipsografica (fig. 4) si ricava infatti che l'abbassamento del livello di 1 m (normale nei periodi di magra) corrisponde a circa  $100 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> d'acqua.

In realtà l'azione più semplice per limitare i periodi di magra è un ulteriore ampliamento del bacino imbrifero. Sulla base dei risultati sin qui ottenuti e della formula (3) si può in qualche modo calcolare l'effetto che avrebbe sulla pioggia critica e sul bilancio del lago un ulteriore ampliamento del bacino.

Il calcolo è stato eseguito nelle seguenti ipotesi:

a) Si è supposto che in media vi sia un legame fra le precipitazioni sul vecchio bacino e quelle ricadenti sui bacini minori limitrofi. Dato che il Trasimeno occupa una zona subcircolare a bassa piovosità rispetto le zone circostanti, e sulla base del rapporto esistente fra le precipitazioni sul vecchio bacino e quelli attualmente allacciati, si è supposto che gli afflussi sulle aree eventualmente da collegare siano in media 1,2 volte quelli ricadenti sul vecchio bacino.

b) Si è supposto che i coefficienti di deflusso dei bacini da collegare siano compresi fra 0,30 e 0,50. Tali estremi includono la media dei coefficienti comunemente accettati per la zona.

c) Si è supposto che in futuro intensità e distribuzione delle precipitazioni siano simili a quelle degli ultimi 50 anni.

d) Le perdite medie annue sono state arrotondate per eccesso a 1 600 mm annui, dato che tutto lascia pre-

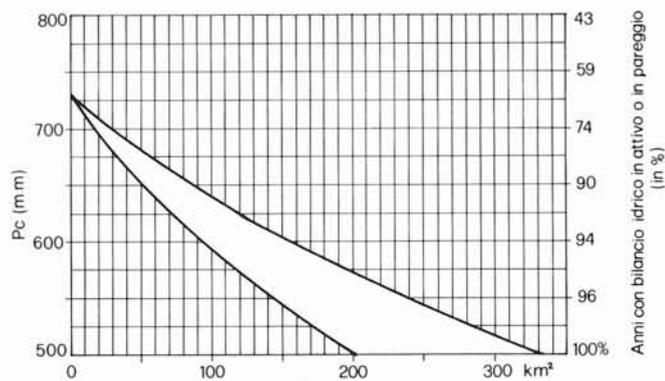


Fig. 7 - Effetti di ulteriori ampliamenti del bacino. Sulla ordinata, a sinistra, sono riportati i valori ( $P_c$ ) della pioggia critica sul vecchio bacino in funzione di eventuali nuovi ampliamenti dell'attuale bacino, riportati in ascissa. L'origine degli assi, corrispondente alla situazione attuale, ha un valore di 50 mm circa più alto della reale: è dovuto al fatto che in previsione di maggiori prelievi futuri le attuali perdite sono state arrotondate per eccesso a 1 600 mm/anno. I valori  $P_c$  hanno un certo grado di indeterminazione rappresentato dallo spessore della zona in bianco, il cui limite superiore presuppone per le superfici da aggiungere un coefficiente di deflusso medio annuo di 0,30, l'inferiore di 0,50. Sulla ordinata di destra è riportata la percentuale di anni con bilancio in pareggio o in attivo, corrispondente a una certa pioggia critica; il calcolo è stato eseguito sulla base degli afflussi annuali dal 1921 al 1978. Si noti il miglioramento che si otterrebbe allacciando al Trasimeno i bacini dei torrenti Esse e Mucchia, di circa 70 km<sup>2</sup>.

vedere un aumento dei prelievi dal lago; la superficie media dello specchio è stata fissata a 121 km<sup>2</sup>.

In tali condizioni il bilancio del lago è (cf. la 3):

$$(9) \quad D_h = 2,02 \cdot P + \frac{S_a}{S_s} \cdot 1,2 \cdot P \cdot C_a - 1\,600$$

dove  $C_a$  è il coefficiente di deflusso medio annuo del bacino da aggiungere,  $S_a$  la superficie,  $S_s$  la superficie dello specchio e  $P$  la pioggia sul vecchio bacino. Ponendo  $D_h = 0$  e  $C_a$  pari a 0,30 e 0,50, e calcolando il valore  $P$ , si ottiene il valore della pioggia critica in funzione dei vari valori di  $S_a$ . La fig. 7 riporta tali relazioni calcolate fino a raggiungere una pioggia critica di 500 mm. Nella zona in bianco, compresa fra le due curve, dovrebbe cadere il valore della pioggia critica sul vecchio bacino in funzione dei km<sup>2</sup> aggiunti. Dato che non è realistico pensare di poter ampliare il bacino oltre i 150 ÷ 200 km<sup>2</sup>, dalla figura si ottiene che con simile mezzo si può ottenere il bilancio in attivo circa nel 95 % degli anni contro gli attuali 74 %. Si noti che già l'allaccio dei torrenti Esse e Mucchia (circa 70 km<sup>2</sup>) produrrebbe un bilancio in attivo o in pareggio intorno al 90 % degli anni.

##### 4.2. CONSIDERAZIONI SULLA SITUAZIONE ATTUALE

Il presente lavoro non ha preso in considerazione gli aspetti chimici e biochimici del Trasimeno: se però si tiene presente che in pratica attualmente il lago è di tipo chiuso e che esiste un certo carico inquinante che viene immesso nelle acque e che in futuro tenderà ad aumentare, risulta chiaro che per il lago esistono altri

problemi oltre quello prettamente idrologico. È stato messo in evidenza come il contenuto in sali del lago, soprattutto in cloruri, sia già molto alto (TIBERI & *alii*, 1971) e, anche se la concentrazione delle sostanze inquinanti è oggi al di sotto dei limiti normalmente accettati, non si può aspettare passivamente che tali limiti vengano raggiunti e correre ai ripari solo quando la situazione si sarà definitivamente deteriorata, o, nella migliore delle ipotesi, i rimedi saranno lunghissimi ed estremamente costosi. In questa ottica è evidente la necessità di ricambiare in qualche misura le acque.

È stato precedentemente accennato alla importanza naturalistica del lago. Caratteristica fondamentale di questo ambiente è la variazione stagionale del livello, variazione che quindi va conservata. Tale esigenza potrebbe essere conciliata con quella del ricambio delle acque se fosse possibile disporre di tanta acqua da far funzionare sempre l'emissario durante il periodo invernale, e contemporaneamente giungere all'inizio dell'estate con il livello alla massima quota compatibile con le esigenze antropiche, e lasciando quindi che il lago scenda di livello nei mesi estivi solo per evapotraspirazione.

A questo proposito va detto chiaramente che bisogna preventivare un livello massimo normale e un livello massimo eccezionale: il primo può essere stabilito a priori esattamente, il secondo con buona approssimazione. Supponiamo che l'ente preposto alla gestione del lago decida di considerare la quota  $x$  come quota massima, intendendo con ciò che fino a che il lago non raggiunga tale livello nessuna azione debba essere intrapresa (cf. 1.3.). La massima precipitazione giornaliera sul bacino è stata dal 1921 ad oggi di 165 mm. Se un tale afflusso cadesse quando viene raggiunta la quota massima prefissata, ad emissario non funzionante, e il suolo fosse saturo per precipitazioni precedenti, in 24 ore verrebbe raggiunta la quota  $x + \text{cm } 17$ , che entro  $2 \div 3$  giorni diventerebbe  $x + \text{cm } 42$  per l'arrivo al lago degli afflussi caduti sul solo vecchio bacino imbrifero. In realtà entrerebbe in funzione l'emissario, ma con effetti scarsi, come è stato dimostrato dalle piene del 1978 e del 1979. Le continue variazioni di livello e di sezione della soglia fissa rendono difficile una stima dei deflussi attraverso l'emissario. Sulla base di ARREDI (1959) e CUCCARO (1978) si può ritenere che la massima portata della soglia sia attualmente di circa 2 mm nelle 24 ore, espressa in altezza sullo specchio. La massima portata del tunnel dell'emissario è di circa 8 mm nelle 24 ore. Tornando all'esempio precedente, sfruttando al massimo la capacità dell'emissario, tre giorni dopo la precipitazione massima il lago avrebbe una quota maggiore di  $35 \div 40$  cm circa della quota massima normale preventivata.

L'opportunità o meno di rischiare un simile evento va valutata in altra sede e sulla base di altre informazioni. Va però detto che l'accadimento prospettato è sicuramente eccezionale e che, per la particolare situazione del lago, il suo verificarsi può provocare solo danni valutabili in moneta e non la perdita di vite umane. In altri termini, se si reputa che la salvaguardia dell'ambiente la-

custre è un bene collettivo irrinunciabile o perlomeno prezioso, la collettività si dovrà anche accollare l'onere dei possibili danni che tale salvaguardia implica.

#### 4.3. CONCLUSIONI

Si riassumono qui di seguito i risultati ottenuti:

1) Attualmente il coefficiente di deflusso medio annuo di tutto il bacino del Trasimeno è intorno a 0,5 mentre le perdite medie annue, espresse in altezza sullo specchio, sono intorno a 1 500 mm; tale cifra comprende anche gli emungimenti artificiali che attualmente non superano i  $50 \div 60$  mm/anno.

2) La pioggia sul vecchio bacino, attualmente sufficiente a compensare le perdite, è di 710 mm/anno. Dato che tale afflusso viene raggiunto o superato solo nel 74 % dei casi circa, il bilancio del lago è in passivo nel 26 % degli anni. La situazione è aggravata dal fatto che gli anni siccitosi tendono ad essere raggruppati.

3) Dato che attualmente si possono controllare e gestire solo i deflussi dal lago (o lo si potrà quando sarà ripristinata la soglia mobile) nessun tipo di gestione può essere soddisfacente.

4) I periodi con bilancio passivo possono essere notevolmente diradati e accorciati ampliando ulteriormente il bacino imbrifero.

#### BIBLIOGRAFIA

- ARREDI F. (1959) - *Indagini idrologiche sul Lago Trasimeno*. Giorn. Genio Civ., Min. LL.PP., Roma, 97 (1), 3-26.
- BINACCHIELLA E. (1969) - *Il Lago Trasimeno e i suoi dintorni*. Associazione Amici del Trasimeno, Castiglione del Lago (PG). Tipo-lito Missioni Estere, Milano.
- CAROLLO A. (1969) - *Carta batimetrica e nota geomorfologica sul bacino del Lago Trasimeno*. Mem. Ist. It. Idrobiol., Pallanza, 25 (4), 141-159.
- CATANIA M. (1950) - *D'un caso semplice di Idrologia lacuale con importanti conseguenze nell'applicazione al Lago Trasimeno*. Giorn. Genio Civ., Min. LL.PP., Roma, 88 (1), 16-22.
- COLACICCHI R. (1974) - *Cenni geologici e idrografici sull'Umbria*. Riv. Idrobiol., Perugia, 13 (1), 19-29.
- CUCCARO A. (1978) - *Relazione preliminare sulla linea navigabile di 2ª classe Lago Trasimeno*. Regione Umbria. Uff. Dif. Suolo, Serv. Dif. Suolo Amb. Perugia.
- DALLAN NARDI L. & NARDI R. (1975) - *Structural pattern of the Northern Apennines*. In «Structural Model of Italy. Map and explanatory notes». Quad. «La Ricerca Scientifica», 90, Roma, 203-255.
- DEFFENU L. & DRAGONI W. (1978) - *Idrogeologia del Lago Trasimeno*. Geol. Appl. Idrogeol., Bari, 13, 11-67.
- DI GIOVANNI M. V. (1974) - *Vicende ecologiche del Lago Trasimeno*. Riv. Idrobiol., Perugia, 13, 57-74.
- ELTER P. (1973) - *Lineamenti tettonici evolutivi dell'Appennino Settentrionale*. Atti Conv.: «Moderne vedute sulla Geologia dell'Appennino» (Roma, 16-18 febbraio 1972) Quad. Acc. Naz. Lincei, 183, 97-118.
- FERRARIO M., MELONE F. & RINALDI S. (1980) - *Identificazione della dinamica del Lago Trasimeno*. XVII Conv. Idraul. Costr. Idraul., Palermo, Ottobre 1980.
- FROSINI P. (1932) - *Studi idrologici sul Lago Trasimeno*. Serv. Idrogr. Min. LL.PP., Sez. Roma, 309-320.

- FROSINI P. (1930) - *Sul regime idraulico del Lago Trasimeno*. Com. Serv. Idrogr. CNR. Boll. Comit. Naz. Ital. Geod.-Geofis., 21, 118-147.
- FROSINI P. (1958) - *Il Lago Trasimeno e il suo antico emissario*. Boll. Soc. Geogr. Ital., 11, 6-15.
- JACOBACCI A. & alii (1970) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia*. F.: 115 « Città di Castello », 122 « Perugia », 130 « Orvieto ». Serv. Geol. It.
- LUIGGI L. & UGOLINI G. (1928) - *Sul possibile miglioramento delle condizioni idrauliche agricole e sanitarie del Lago Trasimeno*. Ann. Min. LL.PP. 8, 677-709.
- MANNOCCHI F. & MELONE F. (1979) - *Modello di utilizzazione del Lago Trasimeno a scopo irriguo*. Ann. Fac. Agr. Univ. Perugia, 33.
- MENCHINI L. (1900) - *Costruzione del nuovo emissario*, Rel. Gen. Dir. Lav. Comit. Es. Cons. Trasimeno, Perugia.
- MERLA G. (1944) - *Il Tevere: monografia idrologica*. Vol. 1° - parte 2°. *Geologia e permeabilità del bacino* - Min. LL.PP., Roma.
- MINELLI A. (1928) - *Contributi a uno studio geografico sul Lago Trasimeno*. Suppl. Boll. Pesca Piscicoltura. Idrobiol. Mem. Scient. n. 2. Prov. Gen. Stato, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1955) - *Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921-1950. Bacini con foce al litorale tirrenico dal Fiora al Lago di Fondi*. Sez. Idrogr. Roma, 24, Ist. Poligr. Stato, Roma.
- MINISTERO DELL'AGRICOLTURA E DELLE FORESTE (1977) - *Studio per la tutela e la valorizzazione del patrimonio naturalistico del bacino del Trasimeno*, Roma.
- MORETTI G. P. & GIANNOTTI F. S. (1966) - *I pesci e la pesca nel Lago Trasimeno*. Ist. Zool. Idrobiol. Piscicoltura. Univ. Perugia.
- PERRONE E. (1908) - *Carta Idrografica d'Italia - il Tevere*. Min. Agr. Ind. Comm., Roma.
- PATELLA L. V. & PERARI R. (1967) - *Sulla distribuzione delle piogge nel bacino del Trasimeno: regime e isoiete*. Riv. Idrobiol., Perugia, 6 (1), 37-87.
- SACCHI DE ANGELIS M. E. (1968) - *Umbria*. CNR Bibliografie Geografiche delle Regioni Italiane, 12.
- STRABONE, trad. AMBROSOLI F. (1833) - *Della Geografia*. Libro V, P. A. Molina ed., Milano.
- TITO LIVIO (ediz. 1962) - *Le Storie*. Libro XXII - Soc. Dante Alighieri, Roma.
- TEATINI D. (1961) - *Il Trasimeno. Vicissitudini e funzioni idrologiche*. Rotary Club Perugia.
- TIBERI O., TATICCHI-VIGANÒ M. I. & DI GIOVANNI M. V. (1971) - *Ragguagli sulle condizioni fisiche, chimiche, planctonologiche e bentoniche del Lago Trasimeno*. Riv. Idrobiol. Perugia, 10 (3), 41-92.
- VELATTA M. (1968) - *Alcuni aspetti scientifico-tecnici del Trasimeno nella Storia e nella attualità*. Riv. St. Agric., 2, 19-35.