

Zeitschrift: Bollettino della Società ticinese di scienze naturali
Herausgeber: Società ticinese di scienze naturali
Band: 68 (1980)

Artikel: Bilancio termico del lago di Lugano
Autor: Bettinzoli, Francesco
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1003448>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

FRANCESCO BETTINZOLI

BILANCIO TERMICO DEL LAGO DI LUGANO

1. Introduzione

Lo studio del bilancio termico nei laghi e negli oceani è di capitale importanza per la molteplicità delle informazioni che da esso si possono trarre.

Dall'energia che una massa d'acqua acquista o perde attraverso gli scambi calorici con l'atmosfera soprastante dipende infatti tutto il complesso di fenomeni fisici che in essa si instaurano quali, ad esempio, l'idrodinamica lacustre e le strutture termiche che caratterizzano il bacino nei diversi periodi del ciclo stagionale.

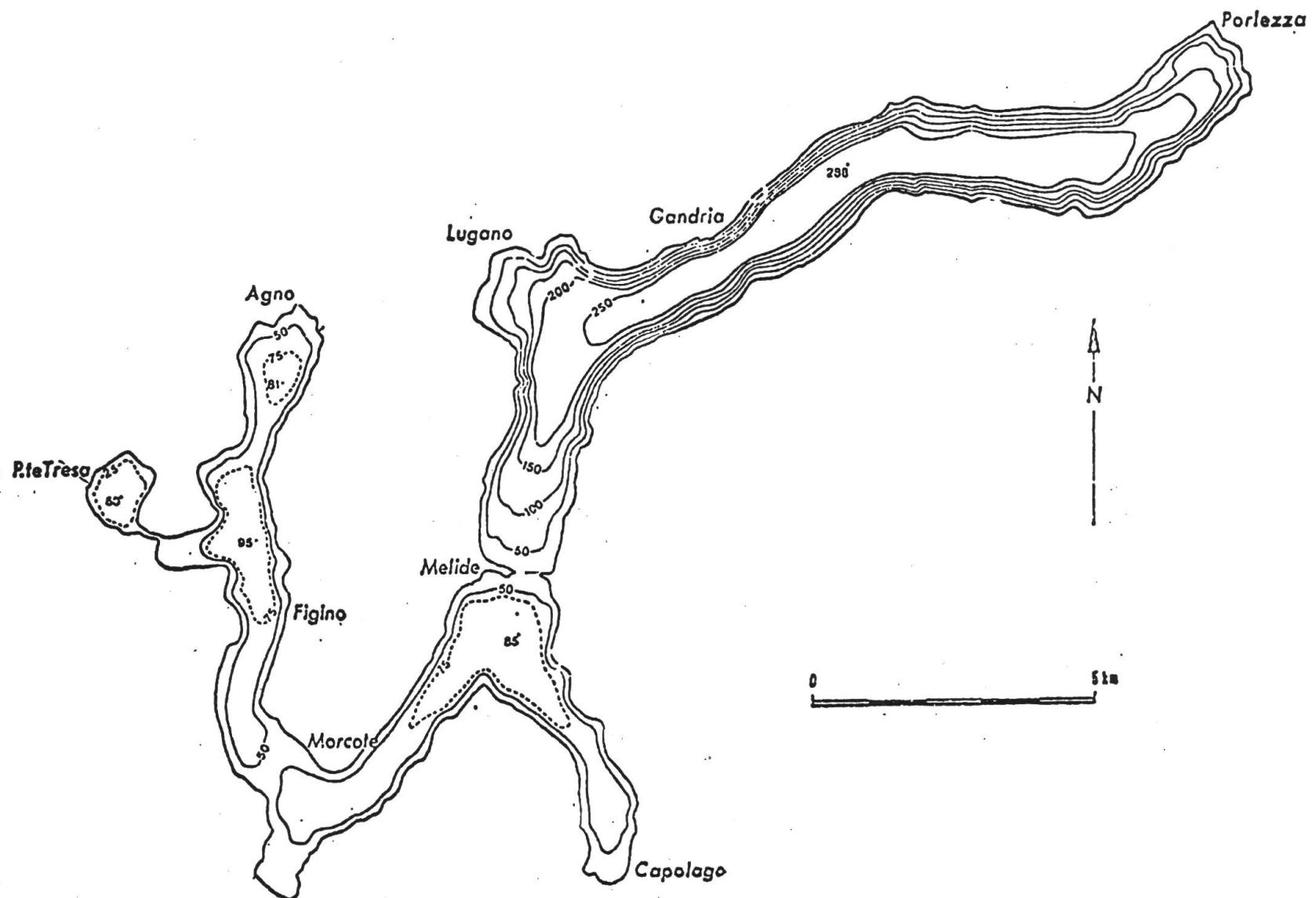
Ogni limnologo sa quale ruolo capitale rivestono tali fenomeni anche sui meccanismi vitali di un lago determinando, ad esempio, l'arricchimento di ossigeno nelle acque profonde e il riciclaggio dei sali nutritizi: in ultima analisi sono essi che maggiormente concorrono nel definire le condizioni ecologiche di un lago. Non si deve poi trascurare l'importanza climatologica di tali fenomeni, sintetizzabile nell'immagazzinamento di calore da parte di una massa d'acqua durante la stagione estiva e nella conseguente restituzione alla atmosfera nei mesi invernali. Nonostante tali innegabili prerogative le indagini sperimentali per la valutazione del bilancio energetico di un lago, pur non rivestendo carattere di novità, risultano ancora trascurate e ciò probabilmente per la complessità delle problematiche in gioco. Inoltre, per il concorrere di parametri diversissimi, è difficile anche trarre leggi e relazioni quantitative che possono essere generalmente accettate.

2. Analisi dei parametri morfometrici

Data la complessa morfologia che caratterizza il Lago di Lugano (fig. 1) si è ritenuto opportuno suddividerlo, ai fini della valutazione del bilancio energetico, in tre sottobacini:

- quello "Principale" che comprende la porzione più settentriionale del lago fino al ponte-diga di Melide;
- quello "Sud" che comprende la restante parte del lago fino alla strettoia di Lavena;
- quello di "Ponte Tresa" fino all'incile ove cioè ha inizio il corso del fiume Tresa.

Una tale suddivisione appare del tutto lecita anche in considerazione della loro omogeneità interna e della loro diversa morfologia. L'esame dei parametri morfometrici (raccolti nelle tab. 1,2,3,4) consente di rilevare notevoli differenze di profondità, superficie e volume. Mentre il bacino di Ponte Tresa presenta un volume modesto di soli 30,99 milioni di m³ pari allo 0,56% dell'intero lago, il bacino Sud con un volume di 1062,37 milioni di m³ rappresenta il 19,07% ed il bacino Principale, con un volume di 4448,33 milioni di m³ il 79,44%.



06

Fig.1 - Batimetria del Lago di Lugano.

Tab. 1 - Parametri morfometrici del bacino Principale

Area	km2	27,831
Profondità massima	m	288
Profondità di criptodepressione	m	17
Volume	m ³	4448,333. 10 ⁶
Profondità media	m	159,81
Sviluppo del volume		1,66

Tab. 2 - Parametri morfometrici del bacino Sud

Area	km2	20,007
Profondità massima	m	95
Profondità di criptodepressione	m	0
Volume	m ³	1062,37. 10 ⁶
Profondità media	m	53,09
Sviluppo del volume		1,67

Tab. 3 - Parametri morfometrici del bacino di Ponte Tresa

Area	km2	1,009
Profondità massima	m	50
Profondità di criptodepressione	m	0
Volume	m ³	30,990. 10 ⁶
Profondità media	m	30,71
Sviluppo del volume		1,84

Tab. 4 - Parametri morfometrici del Lago di Lugano

Area	km2	48,851
Profondità massima	m	288
Profondità di criptodepressione	m	17
Volume	m ³	5571,633. 10 ⁶
Profondità media	m	114,05
Sviluppo del volume		1,18

3. Bilancio energetico di un lago

In forma generale la quantità di energia acquistata o ceduta da una massa d'acqua in un determinato intervallo di tempo può essere rappresentata come un insieme di processi di riscaldamento e di raffreddamento.

Anche se difficilmente rappresentabili mediante semplici equazioni analitiche (COLACINO, 1969), si è preferito esprimere tali processi sotto forma di semplice uguaglianza, soprattutto per avere una visione chiara di tutti i termini che vi concorrono; in ciò ho fatto riferimento anche ai lavori di ANDERSON, 1969; TABATA, 1958; RODGERS & ANDERSON, 1959; SWERDRUP, 1946; BARBANTI, 1970 e altri ancora.

Il bilancio energetico di un determinato lago, per uno specifico intervallo di tempo è espresso come segue (fig.2)

$$Q_s - Q_r - Q_b - Q_e - Q_h \pm Q_v - Q_t = 0 \quad (1)$$

dove:

Q_s = radiazione solare globale incidente;

Q_r = radiazione solare riflessa;

Q_b = radiazione effettiva di ritorno;

Q_h = energia trasferita dall'acqua all'atmosfera come calore sensibile;

Q_e = energia utilizzata nei processi di evaporazione;

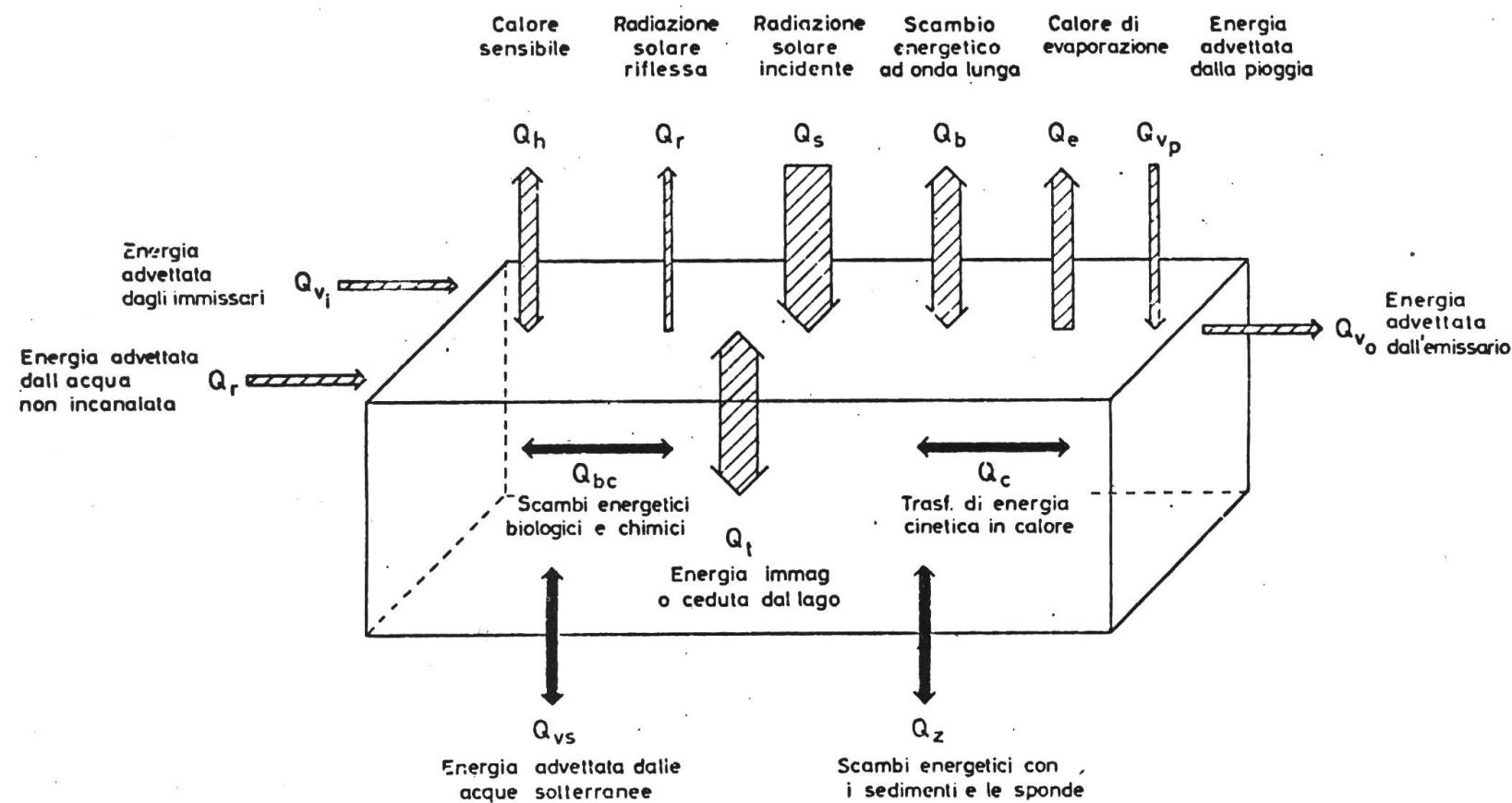


Fig.2 - Schematizzazione di un bilancio di calore.(da Barbanti 1976)

Q_v = netto di energia ricevuta o persa dal lago attraverso processi advettivi;

Q_t = calore immagazzinato o perso dal lago.

Ovviamente è necessario che queste quantità siano tutte espresse nella stessa unità di misura, che solitamente è rappresentata da cal/cm². giorno.

La precedente equazione non tiene alcun conto di altre possibili fonti di calore quali la trasformazione di energia cinetica in calore, il riscaldamento dovuto alla radioattività o all'attività chimica o biologica ed il trasporto di calore attraverso il fondo del lago. E' stato per altro largamente dimostrato che queste fonti sono in generale del tutto trascurabili rispetto a quelle considerate.

Nell'equazione (1) i valori di Q_s , Q_r , Q_b , Q_v , Q_t possono essere sperimentalmente ottenuti attraverso un'adeguata elaborazione dei dati meteorologici e limnologici lasciando come incognita ($Q_h + Q_e$). D'altra parte, da una relazione dovuta a BOWEN (1926), il rapporto $Q_h/Q_e = R$ può essere determinato in modo indipendente, e quindi introdotto nella (1); si completa in tal modo l'equazione del bilancio energetico, eludendo così l'ostacolo di Q_h , parametro di ardua valutazione. Ricordando quindi che $Q_h = R \cdot Q_e$, la (1) pertanto diventa:

$$Q_s - Q_r - Q_b - Q_e \cdot R - Q_t \pm Q_v = 0$$

ossia:

$$Q_s - Q_r - Q_b - Q_e (1+R) - Q_t \pm Q_v = 0$$

donde:

$$Q_e = \frac{Q_s - Q_r - Q_b - Q_t \pm Q_v}{(1+R)} \quad (2)$$

L'unica incognita dell'equazione resta pertanto il termine Q_e . E' possibile anche trasformare Q_e nella lama d'acqua evaporata introducendo al denominatore della (2) l'equazione di trasformazione del calore latente di evaporazione ($L=596-0,56 T$). Il bilancio energetico del Lago di Lugano sarà sviluppato con periodicità mensile; infatti è su questa scala che il metodo proposto offre i migliori risultati (ANDERSON 1954).

Nei prossimi paragrafi si discuteranno le modalità con cui ciascun termine dell'equazione del bilancio calorico è stato calcolato ed il loro significato fisico.

Radiazione solare (Q_s).

La radiazione solare può essere ottenuta con metodi indiretti, in termini cioè di altre quantità meteorologiche ed astronomiche facilmente misurabili e osservabili (MOSBY, 1963; KENNEDY, 1946) o direttamente attraverso l'impiego di strumentazioni idonee.

Stando però alle conclusioni di ANDERSON, il secondo metodo è di gran lunga preferibile al primo: in un suo lavoro (1954) egli ne valuta le singole portate riscontrando una differenza del 15% circa a favore del secondo. Ne consegue che una corretta valutazione del bilancio energetico dei laghi (o degli oceani) non può prescindere da una misura diretta della radiazione globale. Questa comprende sia l'energia proveniente direttamente dal sole, sia quella diffusa dal cielo.

Radiazione riflessa (Q_r).

La conoscenza della reflettività della superficie del lago è

indispensabile per gli studi di bilancio energetico, poichè la quantità di energia assorbita dal lago dipende non solo da quella incidente sulla sua superficie, ma anche dalla porzione di questa che viene rimandata verso l'atmosfera per riflessione. Normalmente però la radiazione riflessa non viene misurata direttamente con apposita apparecchiatura radiometrica, metodologia che, tra l'altro, non offre risultati soddisfacenti, ma si valuta con metodi indiretti seguendo la proposta di ANDERSON (1954), accettata successivamente anche da altri autori (HUTCHINSON, 1957; ROBINSON, NUNEZ & DAVIES, 1972; EDLER, BOYCE & DAVIES, 1974); la radiazione riflessa (Q_r), valutata come percentuale di quella solare incidente risulta dalla seguente formula:

$$Q_r = a \cdot s^b$$

essendo:

s = altezza media del sole in gradi;

a e b = costanti dipendenti dall'altezza e dal tipo di nubi e precisamente $a = 0,78$ e $b = -0,68$.

Per il Lago di Lugano la radiazione riflessa è stata calcolata con le stesse percentuali di radiazione solare incidente determinate per il Lago Maggiore da AMBROSETTI, BARBANTI & ROLLA, 1978; ciò è possibile tenuto conto che i due laghi sono ubicati all'incirca alla stessa latitudine.

Le percentuali mensili calcolate sulla base dell'espressione precedente, risultano le seguenti:

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
%	14	11	9	8	7	7	7	7	9	10	13	15

Radiazione effettiva di ritorno (Q_b).

La radiazione effettiva di ritorno viene definita come la differenza tra la radiazione ad onda lunga emessa dalla massa d'acqua lacustre e quella, sempre ad onda lunga, che proveniente dall'atmosfera viene assorbita dalla massa liquida.

La superficie del lago emette radiazioni ad onda lunga in funzione della quarta potenza della sua temperatura assoluta.

La maggior parte di questa viene assorbita dall'atmosfera che, in una certa misura, la irradia nuovamente verso il lago; una parte di essa riesce comunque a sfuggire attraverso la finestra dell'infrarosso. Questo processo è stato riferito come radiazione notturna. La terminologia è comunque ingannevole, poichè il processo si svolge con ugual meccanismo sia durante il giorno che nel corso della notte. La radiazione effettiva di ritorno è quindi una funzione della temperatura del lago, di quella dell'aria, della copertura del cielo e dell'altezza delle nubi. Poichè l'acqua emette radiazioni più come un corpo grigio piuttosto che come un corpo nero (infatti la massa d'acqua non può essere paragonata esattamente a un corpo nero), la radiazione ad onda lunga emessa dal lago può essere calcolata dalla legge di STEFAN - BOLTZMAN, correggendo il valore risultante con un fattore di emissività; l'espressione è la seguente:

$$Q_b = E_w \cdot d \cdot T_w^4 \quad (3)$$

dove:

Q_1 = radiazione ad onda lunga emessa dal lago in cal/cm². giorno;

E_w = fattore di emissività per l'acqua ($0,97 \pm 0,005$, indipendentemente dalla sua temperatura e composizione);

d = costante di STEFAN-BOLTZMAN ($1,175 \cdot 10^{-7}$ cal/cm². giorno);

T_w = temperatura assoluta dell'acqua in superficie in ($^{\circ}$ K).

Probabilmente lo studio più completo che mai sia stato effettuato per calcolare la radiazione ad onda lunga proveniente dall'atmosfera e diretta verso il lago è quello compiuto da ANDERSON (1952) e successivamente ripreso da altri; l'Autore trovò una relazione che lega il rapporto fra questo tipo di radiazione e quella di un corpo nero alla temperatura dell'aria. Tale formula semiempirica è la seguente:

$$\frac{Q_a}{d \cdot T_a} = a + b \cdot e_a \quad (4)$$

essendo:

Q_a = radiazione ad onda lunga in ingresso nel lago;

d = costante di STEFAN-BOLTZMAN;

T_a = temperatura assoluta dell'aria in $^{\circ}$ K;

e_a = tensione di vapore dell'aria in millibars;

a, b = costanti da porsi in relazione all'altezza di copertura delle nubi.

Questa è l'espressione che risulta dagli studi di ANDERSON sul Lago Hefner, ma che potrebbe non essere più valida per ambienti lenti dislocati in altri areali; comunque mancando di più complete informazioni in merito si è accettato come ipotesi di lavoro che le relazioni siano applicabili anche ai nostri laghi. Pertanto tenuto conto della percentuale (K) della radiazione ad onda lunga riflessa dalla superficie del lago si può scrivere:

$$Q_b = Q_1 - (1 - K) Q_a \quad (5)$$

ANDERSON ritiene che il valore di (K) possa essere uguale al 3% e pertanto l'espressione finale diventa

$$Q_b = 1,141 T_w^4 - T_a^4 (a + b e_a) 10^{-7} \quad (6)$$

$$a = 0,740 + 0,025 C e^{-0,06 h}$$

$$b = 0,0049 - 0,00054 C e^{-0,06 h}$$

essendo:

C = copertura del cielo in decimi;

h = altezza delle nubi in migliaia di piedi;

e = base neperiana dei logaritmi.

Calore di evaporazione e calore sensibile (Q_e) (Q_h). Il trasporto di calore sensibile (Q_h) che si stabilisce tra il lago e l'atmosfera è dipendente dal gradiente verticale di temperatura aria-acqua e dalla conduzione turbolenta degli strati superficiali del lago: esiste però ancora una mancanza di conoscenze dettagliate per quanto riguarda tale trasporto; per questa ragione (Q_h) viene calcolata assieme a Q_e , facendo uso della già ricordata formula di BOWEN (1926). Questa definisce

il cosiddetto "rapporto di BOWEN" (R), cioè il rapporto tra il calore trasportato dall'evaporazione e quello trasportato attraverso i fenomeni di conduzione, che è espresso dalla relazione:

$$R = \frac{Qh}{Qe} = \frac{T_w - T_a}{e_w - e_a} P_y$$

dove:

y = costante il cui valore è $6,1 \cdot 10^{-4}$;

P = pressione atmosferica in millibars;

T_w = temperatura dell'acqua superficiale in $^{\circ}\text{C}$;

T_a = temperatura dell'atmosfera in $^{\circ}\text{C}$;

e_w = pressione saturante di vapore alla temperatura dell'acqua (in millibars);

e_a = pressione di vapore dell'aria in millibars.

Secondo BOWEN i valori di y sono compresi fra 0,58 e 0,66 e sono dipendenti dallo stato dell'atmosfera; in condizioni atmosferiche normali tale valore è 0,61. Tutti questi parametri devono essere calcolati come valori medi mensili: è infatti su questa scala che secondo l'Autore, la formulazione offre i risultati più attendibili.

Per il calcolo del rapporto, oltre alla temperatura dell'aria e dell'acqua, dalle quali se ne ricavano le tensioni di vapore dell'aria e dell'acqua usando apposite tabelle, si è dovuto prendere in considerazione anche il valore dell'umidità relativa e quello della pressione atmosferica.

Energia advettata (Q_v).

Per valutare l'energia advettata diretta sia all'interno che verso l'esterno del lago è indispensabile una esatta conoscenza delle caratteristiche climatologiche e idrologiche, nonché della particolare posizione geografica in cui è collocata la massa d'acqua. Infatti le caratteristiche su indicate condizionano la temperatura dell'acqua in ingresso e in uscita dal lago oltre che il regime degli immissari ed emissari.

L'energia advettata è definita come il netto di energia che una massa d'acqua può assumere o perdere come conseguenza dei volumi di acqua in entrata e in uscita. Le vie attraverso le quali si può arrivare a definire un bilancio idrologico sono pertanto diverse: dall'afflusso di superficie, alla pioggia diretta sulla superficie del lago, dall'infiltrazione per via sotterranea, ai deflussi, all'evaporazione e alla condensazione. In alcuni casi si devono considerare tutti questi fattori, ma in generale alcuni di essi, di entità molto ridotta, possono essere trascurati.

Calore immagazzinato o perso dal lago (Q_t).

I corpi d'acqua posti alle nostre latitudini mostrano, nel tempo, notevoli variazioni di temperatura, segno evidente di un continuo mutamento delle quantità di calore immagazzinato. Grazie allo sviluppo di adeguati strumenti capaci di ottenere profili termici verticali delle acque, e disponendo nel contempo di una batimetria dei laghi è possibile valutare con sufficiente precisione questo termine del bilancio termico. Infatti, supponendo il lago in una situazione termica adiabatica, si può

calcolare il calore totale contenuto nella massa d'acqua in una certa situazione media mensile e, conoscendo quella del mese successivo (o di quello precedente), valutare mediante differenza, la quantità accumulata o persa dal lago in quel lasso di tempo (Qt).

Il parametro necessario per valutare Qt è evidentemente la temperatura dell'acqua ai vari livelli considerati. I metodi suggeriti per il calcolo dell'energia calorica immagazzinata o persa da una colonna d'acqua sono tutti riportabili alla formulazione di ANDERSON (1954):

$$Qt = \sum_{i=1}^n \rho c (T_i - T_b) \Delta h + C$$

essendo:

T_i = temperatura media di uno strato d'acqua di spessore h ;

T_b = temperatura di base (in generale uguale a 0 °C);

c = calore specifico dell'acqua;

C = quantità di energia calorica contenuta nello strato più profondo con spessore inferiore ad h ;

ρ = densità dell'acqua;

n = numero degli strati di spessore h in cui è stata suddivisa la colonna.

Una modifica di questo metodo, da me usata, è quella proposta da BUTTON & BRYSON (1962) secondo la quale i valori di temperatura misurati nei successivi strati della colonna d'acqua considerata di sezione unitaria e costante (1 cm²) vengano corretti in base alla curva ipsografica delle aree del lago (fig.3): questo alfine di tenere in giusto conto la svasatura della conca lacustre sempre più accentuata con la profondità, e conseguentemente i diversi volumi di acqua che si ritrovano nei successivi livelli. Dopo aver corretto le temperature ai vari livelli di profondità con i coefficienti di correzione (tab. 5,6,7) si è passati al calcolo dei valori energetici: tenendo conto che ogni grado di differenza lungo la colonna di acqua di 1 cm² di sezione corrisponde a 100 piccole calorie. Ogni valore di temperatura è stato cioè diviso per 100 e le somme cumulate di tutte le quantità di calore contenute in ogni singolo strato di spessore considerato, rappresentano le quantità di calore Qt che il lago contiene nel mese esaminato.

La differenza fra il calore contenuto in due mesi contigui consente infine di rendere conto delle variazioni intervenute, mese dopo mese, nelle quantità di calore presenti nel lago.

4. Bilancio termico del Lago di Lugano

Radiazione solare (Qs).

Non esistendo una stazione di rilevamento della radiazione solare sul Lago di Lugano si sono mediati i valori di Pallanza, ottenuti con pila solarimetrica modello G18 della Zip & Zonen, e quelli dell'Osservatorio di Locarno-Monti, misurati con solarografo Moll-Gorczynski (Annali dell'Osservatorio di Pallanza e Annali della Centrale Meteorologica Svizzera).

Il regime medio mensile per gli anni considerati è riportato in fig. 3a.

Dall'analisi di questa figura risulta come il massimo valore della radiazione solare incidente cada nel mese di luglio con

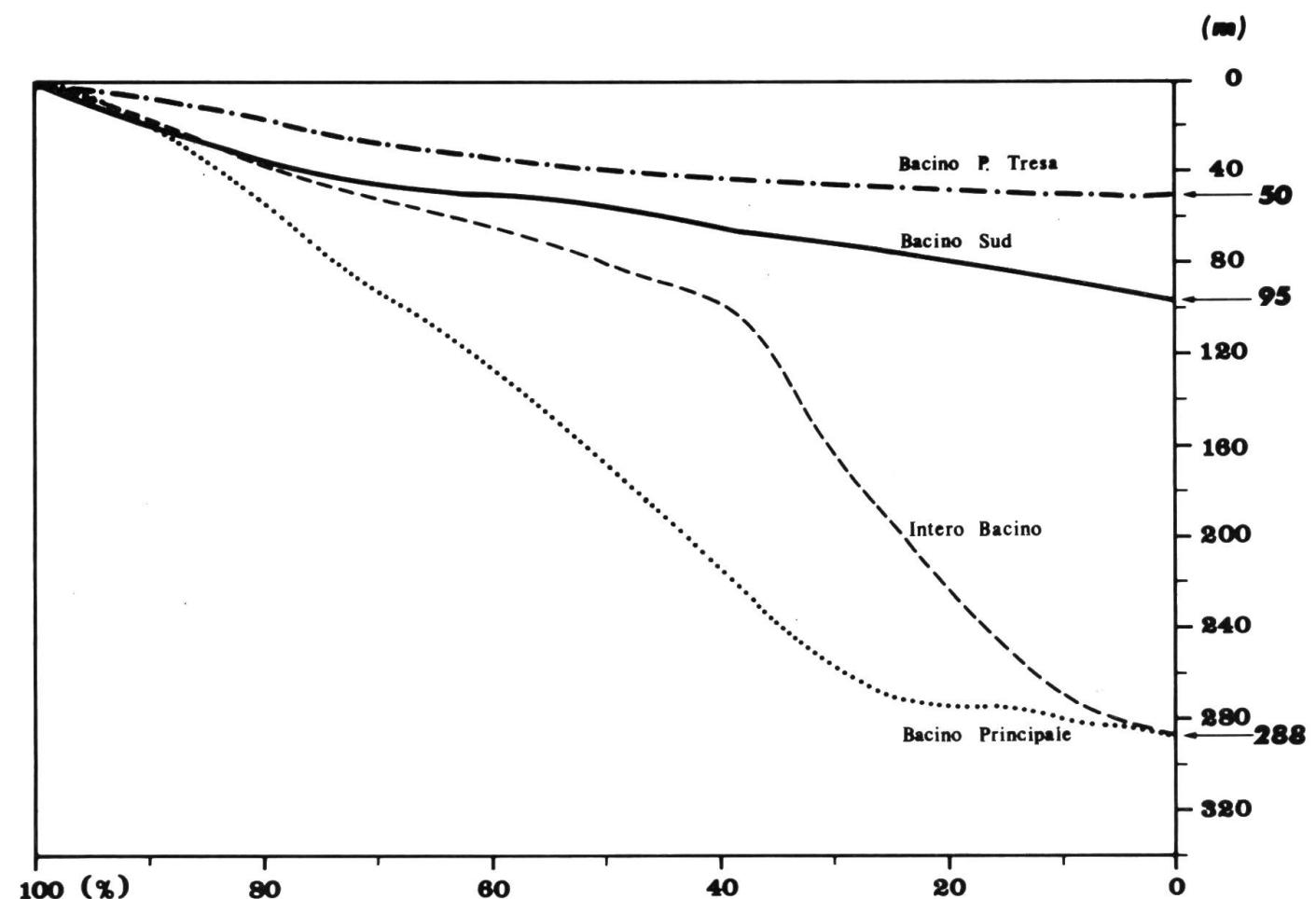


Fig.3 - Curva ipsografica delle aree dei tre bacini e dell'intero lago.

Tabb.5-6-7 - Coefficienti di correzione dei tre bacini.

bacino Principale		bacino Sud		bacino P. Tresa	
Prof. (m)	Coefficiente correzione	Prof. (m)	Coefficiente correzione	Prof. (m)	Coefficiente correzione
0	0.500	0	0.500	0	0.500
1	0.995	1	0.993	1	0.987
2	0.991	2	0.986	2	0.974
3	0.986	3	0.979	3	0.962
4	0.981	4	0.972	4	0.949
5	0.976	5	0.965	5	0.936
6	0.972	6	0.958	6	0.923
7	0.967	7	0.951	7	0.910
8	0.962	8	0.944	8	0.898
9	0.958	9	0.937	9	0.885
10	0.953	10	0.930	10	0.872
11	0.948	11	0.923	11	0.860
12	0.944	12	0.916	12	0.847
13	0.939	13	0.909	13	0.835
14	0.934	14	0.902	14	0.822
15	0.930	15	0.895	15	0.809
16	0.925	16	0.888	16	0.796
17	0.920	17	0.881	17	0.784
18	0.916	18	0.874	18	0.771
19	0.911	19	0.867	19	0.758
20	1.360	20	1.290	20	1.117
22	1.790	22	1.692	22	1.440
24	1.770	24	1.664	24	1.390
26	1.760	26	1.635	26	1.338
28	1.750	28	1.602	28	1.288
30	5.214	30	4.704	30	3.714
40	8.427	40	7.033	40	5.266
50	8.159	50	6.218	50	0.520
60	7.909	70	4.742		
70	7.659	90	9.780		
80	7.380				
90	7.074				
100	20.280				
150	27.050				
200	21.410				
250	14.008				

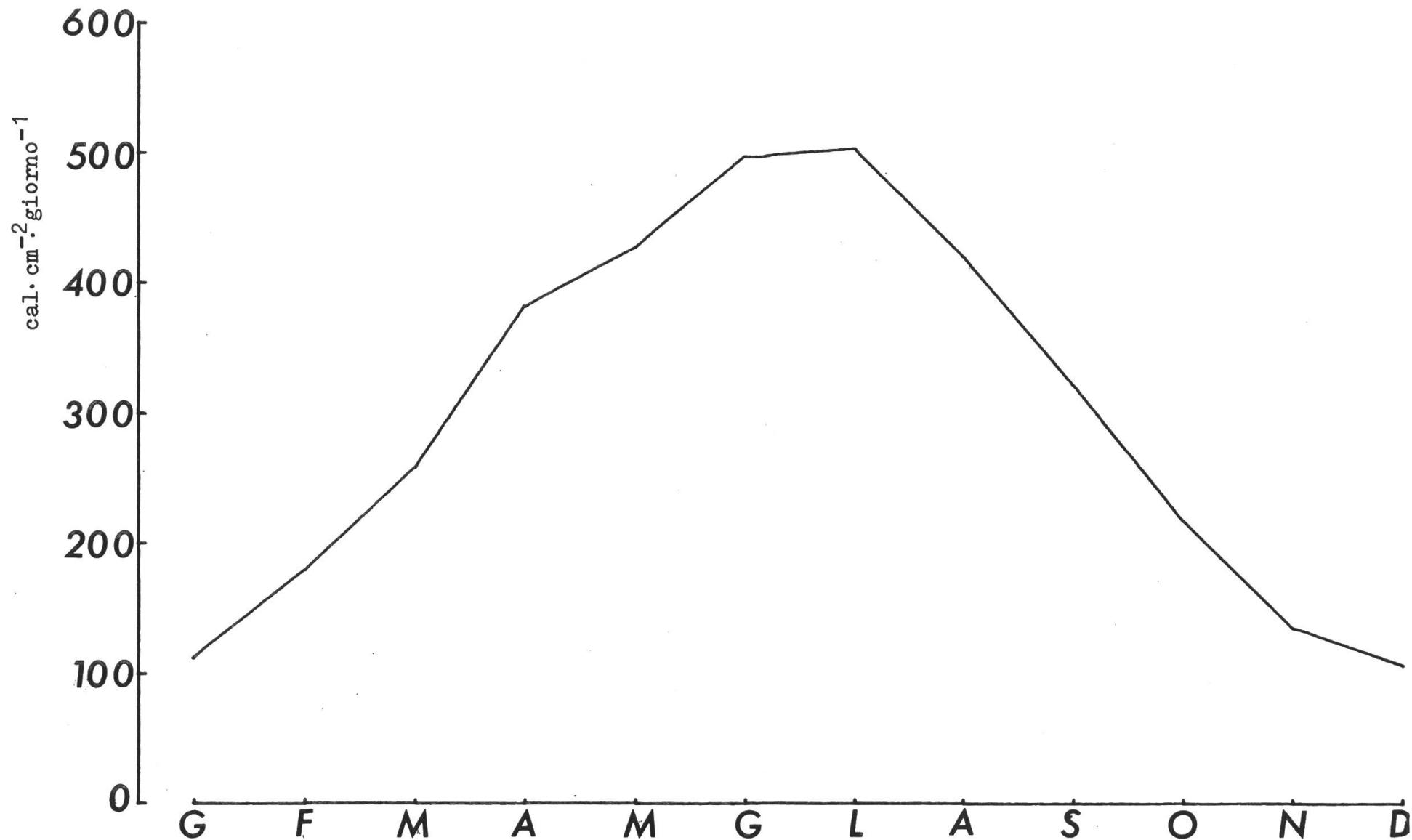


Fig. 3 a - Regime della radiazione solare (Qs).

un valore di 504 cal/cm². giorno e con minimi intorno a 100 cal/cm². giorno in gennaio-dicembre.

Radiazioni riflesse (Qr).

Per valutare la radiazione riflessa dalla superficie del lago si è applicata la già menzionata formula proposta da ANDERSON:

$$Qr = a s^b$$

In ogni caso conviene rilevare come questo termine del bilancio rappresenti una porzione molto modesta dello stesso con valori variabili da 16 cal/cm². giorno in dicembre a 35 cal/cm². giorno in luglio.

Radiazione solare effettiva (Qse).

Risulta dalla differenza fra la radiazione solare incidente (Qs) e quella riflessa (Qr). Le medie mensili per gli anni considerati sono rappresentate in fig.4.

L'andamento di questo parametro segue quello di Qs collocando il suo valore massimo nel mese di luglio (469 cal/cm². giorno) ed il minimo in dicembre (91 cal/cm². giorno).

Radiazione effettiva di ritorno (Qb).

Il netto fra lo scambio di radiazione ad onda lunga emessa dal lago e di quella, sempre ad onda lunga che, proveniente dall'atmosfera, viene assorbita dalla stessa massa liquida costituisce la Qb.

L'altezza e il tipo di nubi necessari per il calcolo del parametro in oggetto sono state raccolte all'aeroporto di Magadino e forniti dall'Osservatorio di Locarno-Monti. I valori mensili di questo parametro, per l'intero periodo, sono rappresentati graficamente nelle fig. 5,6,7, rispettivamente per il bacino Principale, Sud e Ponte Tresa.

Questa voce del bilancio presenta, lungo tutto il periodo 1973-1978 un andamento abbastanza simile nelle tre porzioni del lago, le tre curve relative presentano una doppia ciclicità con i massimi in dicembre (più pronunciato) ed in giugno e i minimi pressoché identici in marzo e agosto. I valori estremi si collocano tra 154 cal/cm². giorno e 103 cal/cm². giorno.

Radiazione netta (QN).

Questo parametro risulta dalla differenza tra la radiazione solare effettiva (Qse) ed il netto della radiazione ad onda lunga (Qb) per cui esso definisce il netto di energia radiante ricevuta dal lago. I valori sono rappresentati, come regime medio dei 6 anni considerati per i bacini Principale, Sud e Ponte Tresa nelle fig. 8,9,10.

La radiazione netta appare condizionata non tanto dalla Qb, la cui variabilità nel tempo risulta abbastanza contenuta (51 cal/cm². giorno escursione media annua nel bacino Principale), quanto da Qse che presenta tra il massimo estivo ed il minimo invernale una differenza di ben 378 cal/cm². giorno. Sono pertanto i bassi valori di Qse registrati nei mesi di novembre, dicembre e gennaio che caratterizzano negativamente la QN nel periodo invernale. A partire dalla primavera e per tutta l'estate fino ad autunno inoltrato, con l'incremento della radiazione solare effettiva, i valori di QN risultano sempre positivi raggiungendo il massimo come media degli anni dal 1973 al 1978 nel

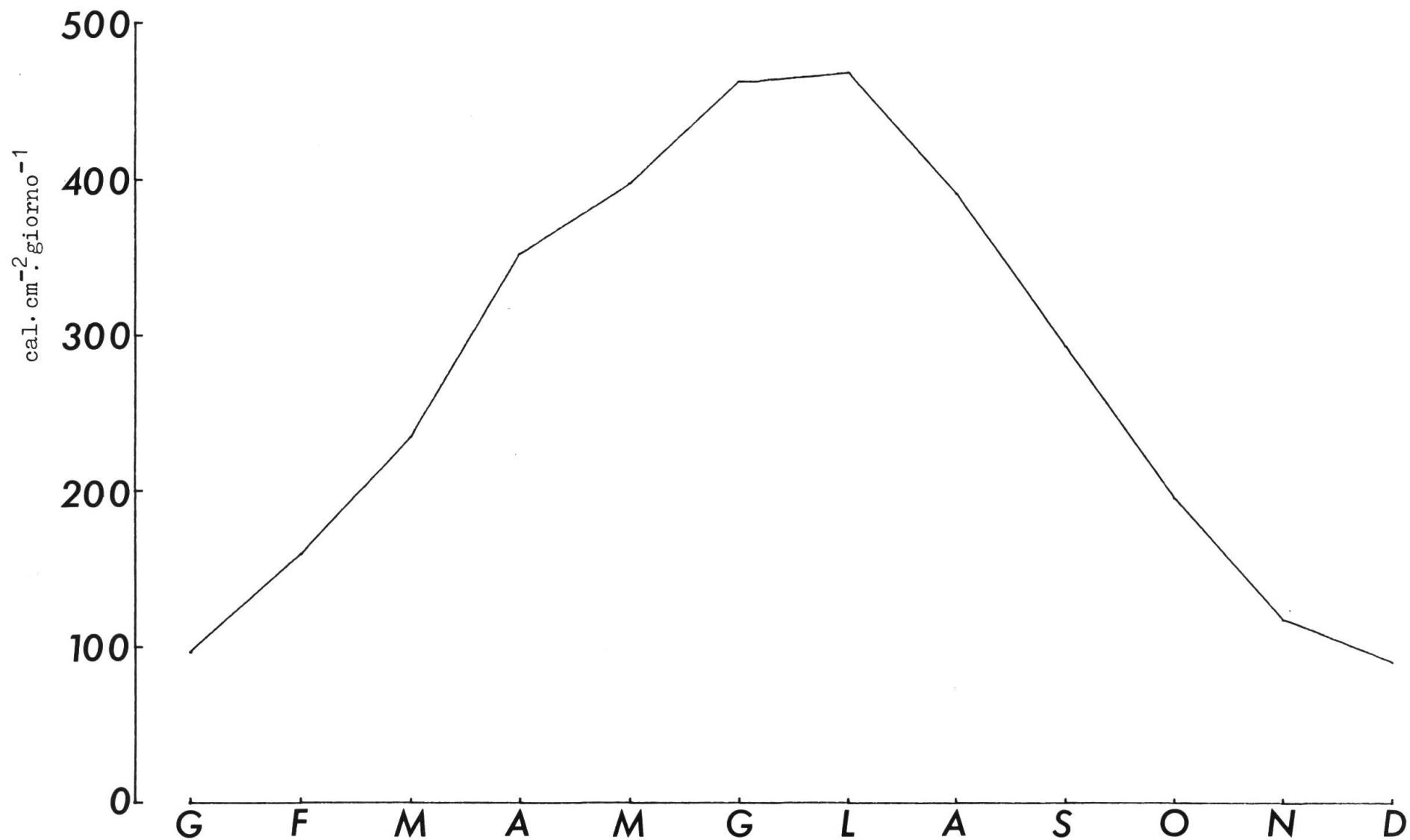
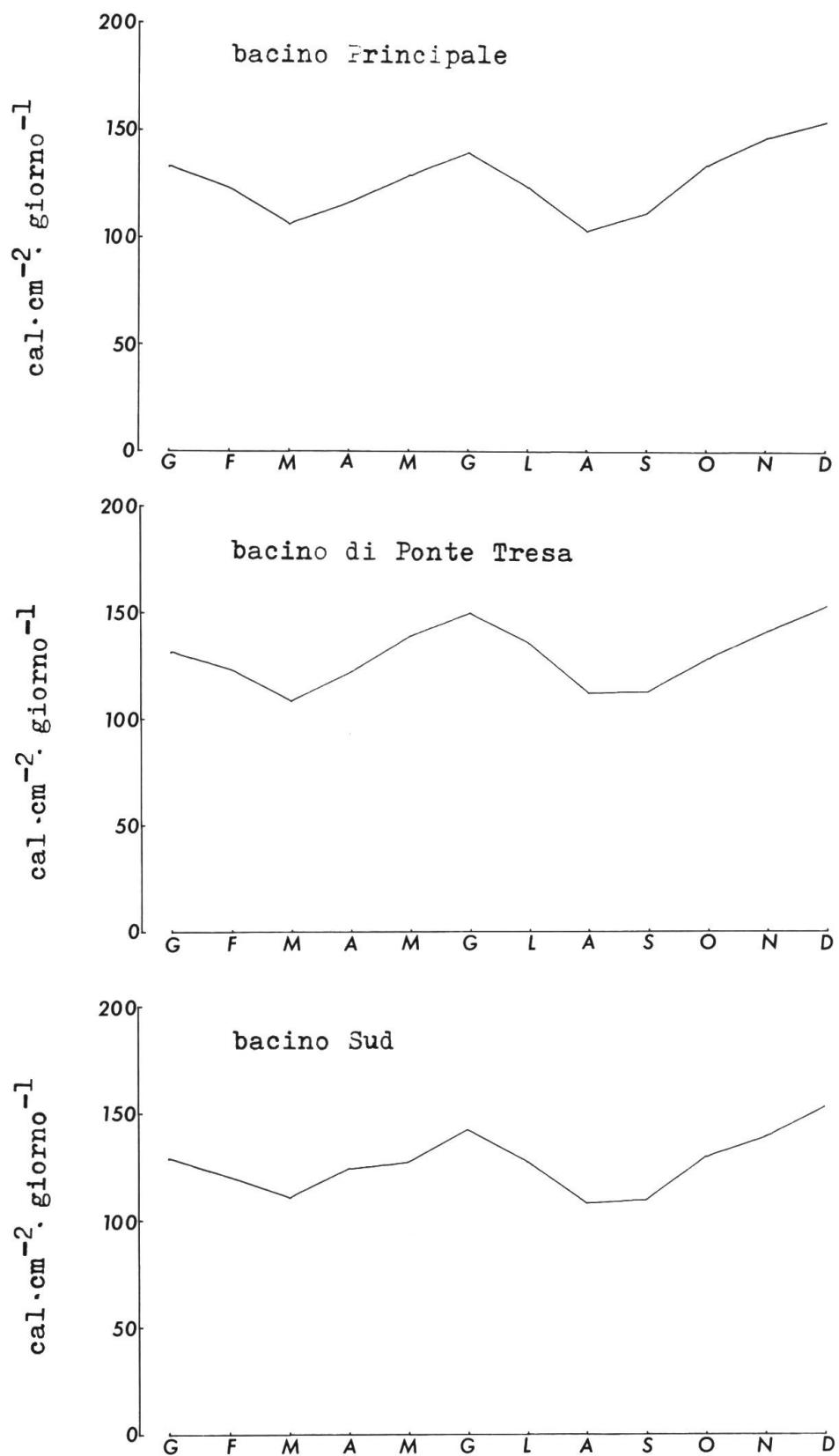
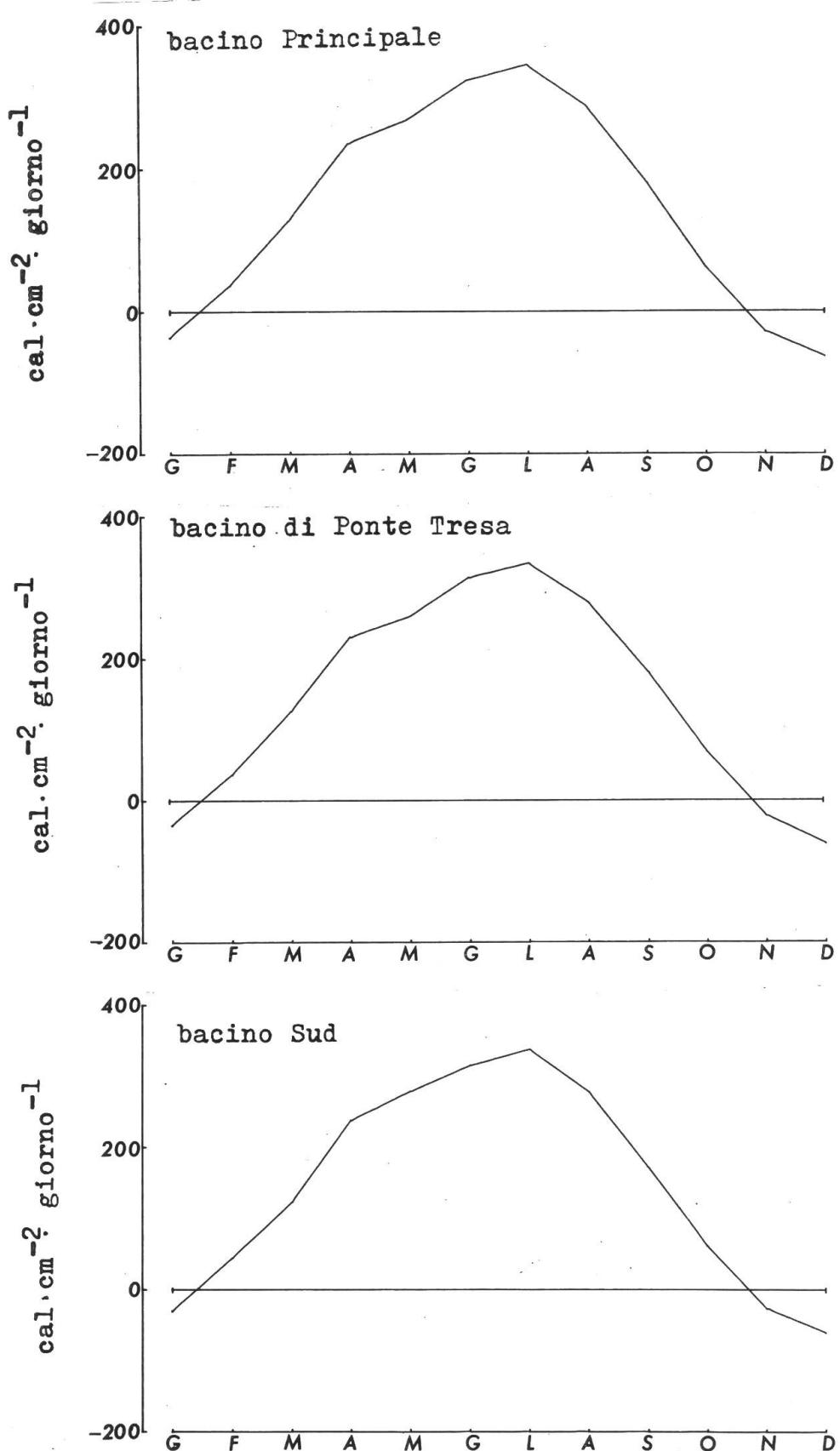


Fig. 4 - Regime della radiazione solare effettiva (Q_{se}).

Figg. 5-6-7 - Regime di (Q_b) .



Figg. 8-9-10. - Regime di (QN).

mese di luglio nei tre bacini. Devo anche sottolineare come Q_N , che segue durante il ciclo annuale un andamento assai regolare, rappresenti la principale sorgente di energia per il lago, sorgente dalla quale dipendono tutti i fenomeni di scambio calorico tra acqua ed atmosfera; al suo regime, per tanto, si deve in massima parte la definizione delle strutture termiche del lago.

Rapporto di BOWEN (R), calore sensibile (Q_h) e calore di evaporazione (Q_e).

I dati relativi a questo parametro, che come già si è detto consente la separazione di Q_h e di Q_e , sono riportati per i tre bacini nelle fig. 11, 12, 13.

Da rilevare che anzichè R sono rappresentati i valori di $1+R$ in quanto questo è il dato che entra nella formulazione.

Dall'analisi delle curve si può osservare anche in questo caso, una doppia ciclicità con il minimo più pronunciato nel mese di marzo per i bacini Principale e Sud (valori inferiori all'unità), ed in agosto (1,03) per il bacino di Ponte Tresa. Il massimo principale si verifica contemporaneamente nelle tre masse d'acqua, in dicembre con valori intorno a 1,5 e quello secondario in maggio-giugno intorno a 1,2.

Da rilevare che i valori di $1 + R$ superiori all'unità indicano un trasferimento di calore sensibile (Q_h) dall'acqua all'atmosfera mentre l'opposto si verifica per un valore inferiore all'unità.

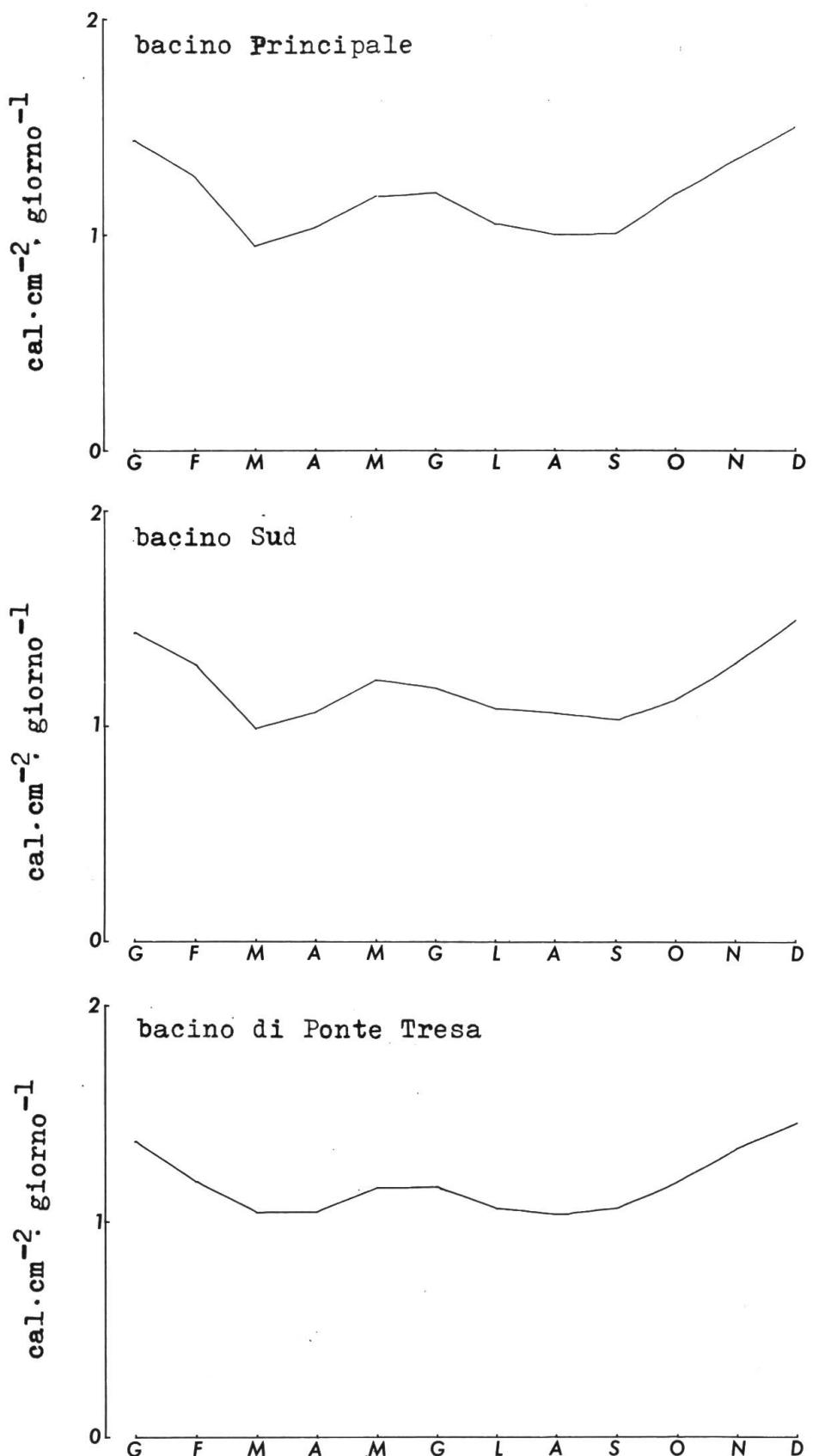
Per quanto concerne il calore sensibile (Q_h) i dati medi pluriannuali sono riportati nelle fig. 14, 15 e 16 relativamente ai bacini Principale, Sud e Ponte Tresa. Questo parametro segue abbastanza fedelmente l'andamento irregolare di $1 + R$ collocando i massimi nel periodo tardo autunnale e primo invernale (circa 30-40 cal/cm². giorno). I minimi si situano invece nel mese di marzo per i bacini Principale e Sud evidenziando valori negativi seppure di sole poche unità; nel bacino di Ponte Tresa il minimo (- 1 cal/cm². giorno) si raggiunge in agosto. I valori di Q_e sono rappresentati graficamente, come medie del periodo considerato, nelle fig. 17, 18 e 19 rispettivamente per il bacino Principale, Sud e Ponte Tresa.

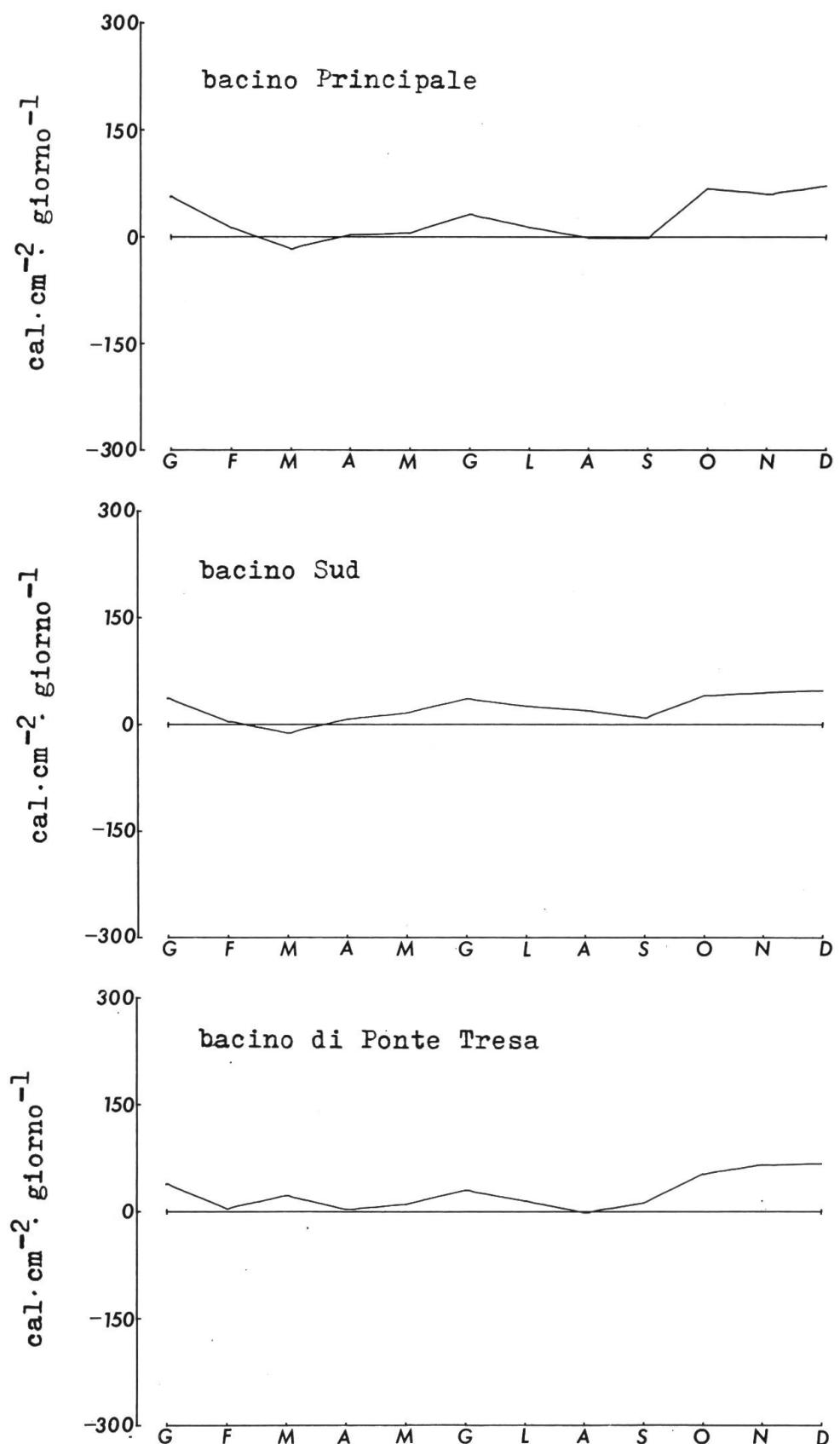
Com'era logico attendersi questo parametro raggiunge i suoi valori massimi nei mesi estivi poichè è in questa stagione che l'evaporazione si attua con la maggior intensità. Nel bacino Principale la Q_e raggiunge il suo valore massimo nel mese di settembre (283 cal/cm². giorno), nel bacino Sud questo si verifica nel mese di luglio (259 cal/cm². giorno) mentre nel bacino di Ponte Tresa il massimo calore latente di evaporazione si ha in agosto (266 cal/cm². giorno). Il minimo di Q_e rispettivamente si colloca per i tre bacini Principale, Sud e Ponte Tresa in gennaio-febbraio.

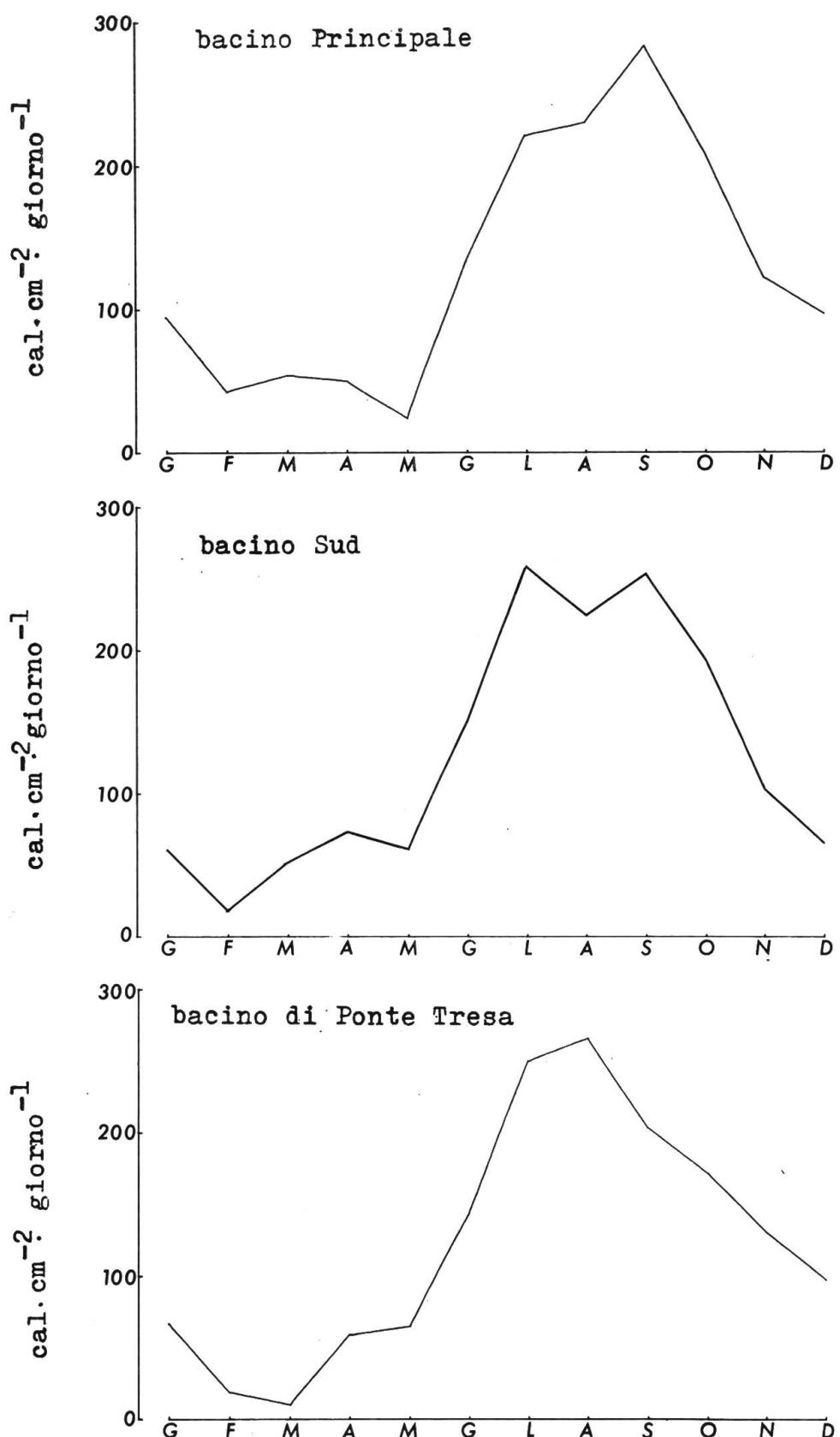
Da rilevare che questo parametro non sembra soddisfare pienamente alla regimazione tipica dell'evaporazione risultando valori troppo modesti nei mesi primaverili e troppo elevati in quelli autunnali. Evidentemente il metodo d'interpolazione a fine mese delle temperature dell'acqua non risulta il più adeguato per il calcolo di questo parametro.

Variazioni del contenuto calorico del lago (Q_t).

Dal confronto con la situazione termica mediamente riscontrata nel lago in un dato mese con quella del mese precedente, è pos-

Figg.11-12-13 - Regime di $I + R$.

Figg.14-15-16 - Regime di (Qh) .

Figg.17-18-19 - Regime di (Q_e).

sibile valutare la quantità di calore da esso accumulata o persa in questo intervallo di tempo. Tale valutazione è realizzabile se esiste la possibilità di definire una distribuzione media mensile delle temperature della massa d'acqua lungo la verticale. Nel mio caso la carenza o la parzialità di dati in alcuni periodi o in alcuni strati d'acqua ha richiesto un preventivo ed accurato lavoro di interpolazione.

Nel Lago di Lugano il regime di questo parametro, si vedano le tabelle 8,9,10, assume nel corso degli anni di ricerca l'andamento tipico che caratterizza i bacini lacustri alle medie latitudinari come è dimostrato anche dalle fig. 20,21,22, l'immagazzinamento massimo si riscontra in primavera e precisamente nel mese di maggio con valori che aggirano intorno alle 200 cal/cm². giorno. L'escursione annua risulta pertanto di circa 400 cal/cm². giorno.

Verso la fine di febbraio e tra la fine di agosto inizio di settembre si riscontrano due situazioni intermedie durante le quali i tre bacini perdono la stessa quantità di energia che immagazzinano per cui il bilancio risulta in parità. Si può affermare di conseguenza che il periodo di riscaldamento delle acque lacustri si estende da marzo ad agosto compreso, mentre quello di raffreddamento si verifica nei restanti mesi dell'anno con una stasi del processo nei mesi di febbraio-marzo e agosto-settembre. Nelle fig. 23, 24 e 25 sono rappresentati per gli anni considerati i regimi dei principali termini costituenti il bilancio calorico di ciascuno dei tre bacini del Ceresio, bilancio che risulta espresso secondo la formula sintetica:

$$Q_t = Q_N - (Q_e + Q_h)$$

In ciascuno dei tre grafici si riscontrano aree diversamente rappresentate: la superficie punteggiata, che per la massima parte è definita nell'area positiva ma che occasionalmente (marzo) si colloca anche nel dominio negativo, rappresenta la varianza del calore di conduzione (Q_h) che risulta quindi, per la massima parte dell'anno, diretto dal lago verso l'atmosfera.

Si tratta in ogni caso di valori abbastanza modesti nell'economia generale del bilancio, che assumono una certa importanza soltanto nei mesi tardo-autunnali e primo-invernali. L'area a colorazione bianca, delimitata verso l'alto dalla linea punteggiata che segue la somma algebrica di Q_e e di Q_h, rappresenta la quantità di energia spesa per i processi di evaporazione.

La variabilità di questo fenomeno nel corso dell'anno è sufficientemente marcata ma non del tutto regolare.

La linea continua, relativa alla regimazione dell'energia netta Q_N, e quella punteggiata (regime di Q_e + Q_h) delimitano due aree, nelle figure tratteggiate obliquamente, che rappresentano rispettivamente le quantità di calore che vengono immagazzinate dal lago (se Q_N è maggiore della somma Q_e + Q_h) e quelle da quest'ultimo cedute all'atmosfera (quando Q_N risulta inferiore a Q_e + Q_h). Constatando come l'energia netta risulti positiva per la maggior parte dell'anno (da febbraio a ottobre compresi), è da rilevare come nei primi mesi dell'anno (fino a maggio) i processi evaporativi si mantengono entro valori molto modesti (in tutti e tre i bacini). Ma col procedere della stagione più calda (giugno-settembre) essi tendono ad assumere un

Tab. 8 - Valori mensili di (Qt)
del bacino Principale in $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{giorno}^{-1}$.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1973	-173	-111	56	195	236	250	121	60	-147	-235	-208	-198
1974	-91	-24	95	215	258	161	122	27	-43	-307	-117	-165
1975	-205	25	58	198	241	175	112	95	-106	-218	-189	-199
1976	-202	16	123	207	310	91	91	46	-155	-198	-250	-205
1977	-158	27	93	196	195	180	83	-50	-49	-43	-121	-190
1978	-190	-27	84	93	204	161	168	182	-103	-147	-254	-290
Medie	-170	-15	85	184	241	170	116	60	-100	-191	-190	-208

Tab. 9 - Valori mensili di (Qt)
del bacino Sud in $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{giorno}^{-1}$.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1973	-148	24	67	183	196	159	72	31	-131	-149	-152	-154
1974	-45	-9	90	150	209	85	78	63	-75	-240	-152	-114
1975	-107	35	65	164	162	176	70	-12	-71	-185	-145	-139
1976	-141	6	112	174	213	128	8	3	-79	-132	-153	-190
1977	-126	37	97	150	180	168	50	-31	-37	-96	-131	-153
1978	-153	-2	59	93	166	120	64	199	-73	-115	-202	-199
Medie	-120	15	82	152	187	139	57	42	-78	-153	-156	-158

Tab. 10 - Valori mensili di (Qt)
del bacino di Ponte Tresa in $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{giorno}^{-1}$.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1973	-179	47	63	150	169	163	81	42	-153	-175	-154	-138
1974	-28	9	91	163	210	98	62	-26	-96	-156	-127	-121
1975	-122	30	86	176	222	222	97	27	-37	-212	-285	-186
1976	-123	5	71	145	154	79	6	-17	120	-7	-181	-259
1977	-166	20	173	252	281	199	146	44	-29	-176	-260	-315
Medie	-123	22	97	178	207	152	78	14	-39	-145	-202	-204

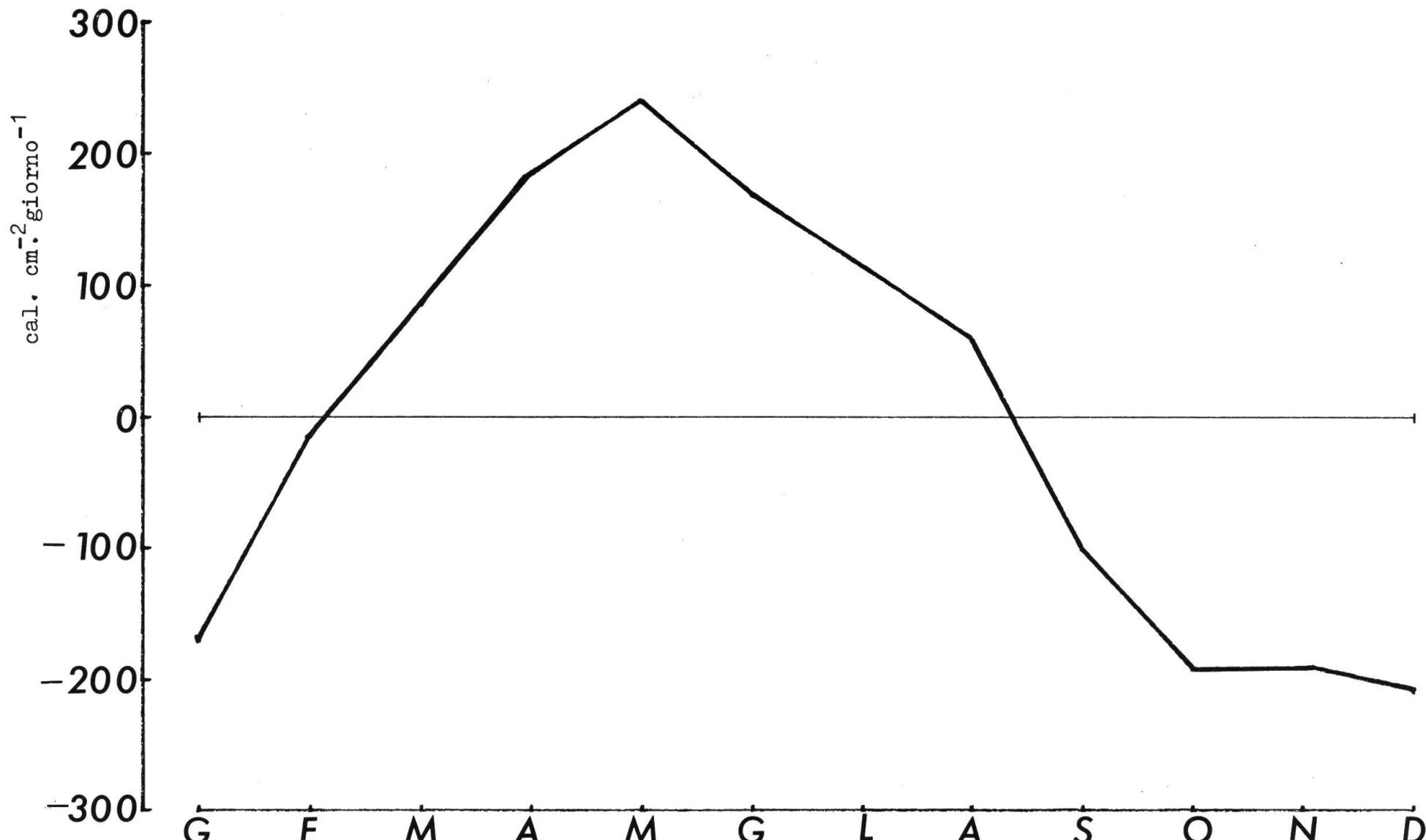


Fig.20 - Regime di (Qt) del bacino Principale.

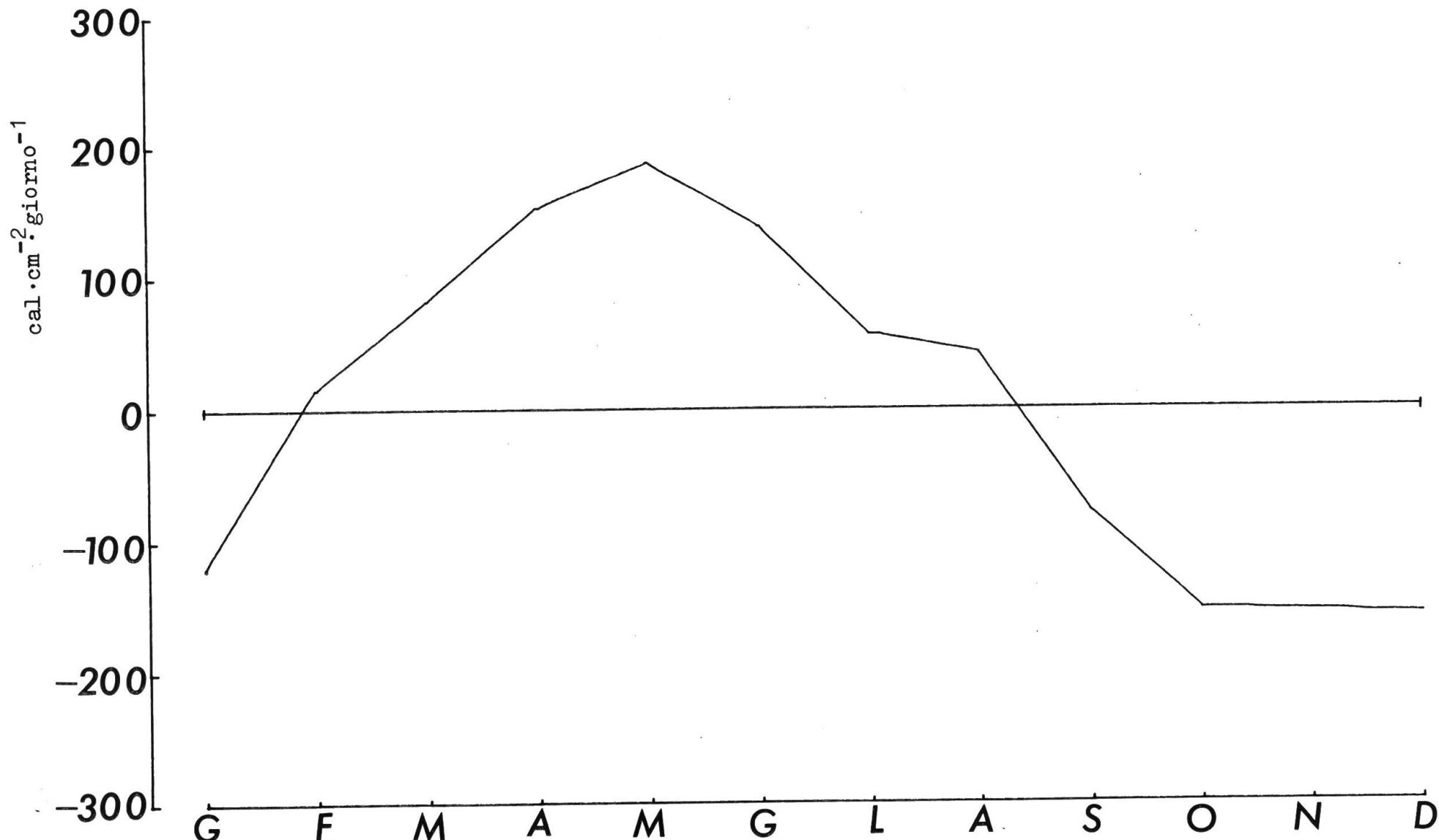


Fig. 21 - Regime di (Qt) del bacino Sud.

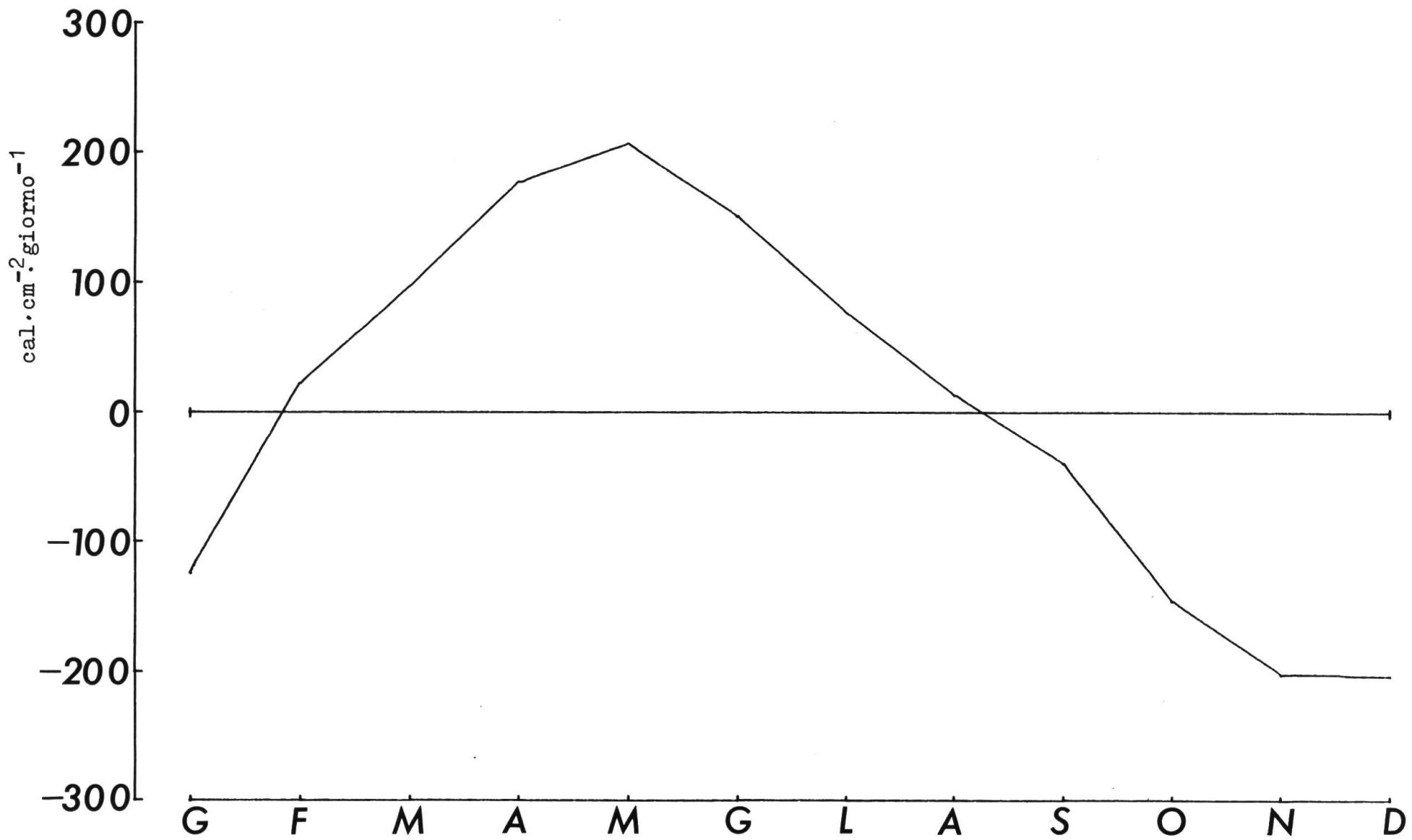


Fig. 22 - Regime di (Qt) del bacino di Ponte Tresa.

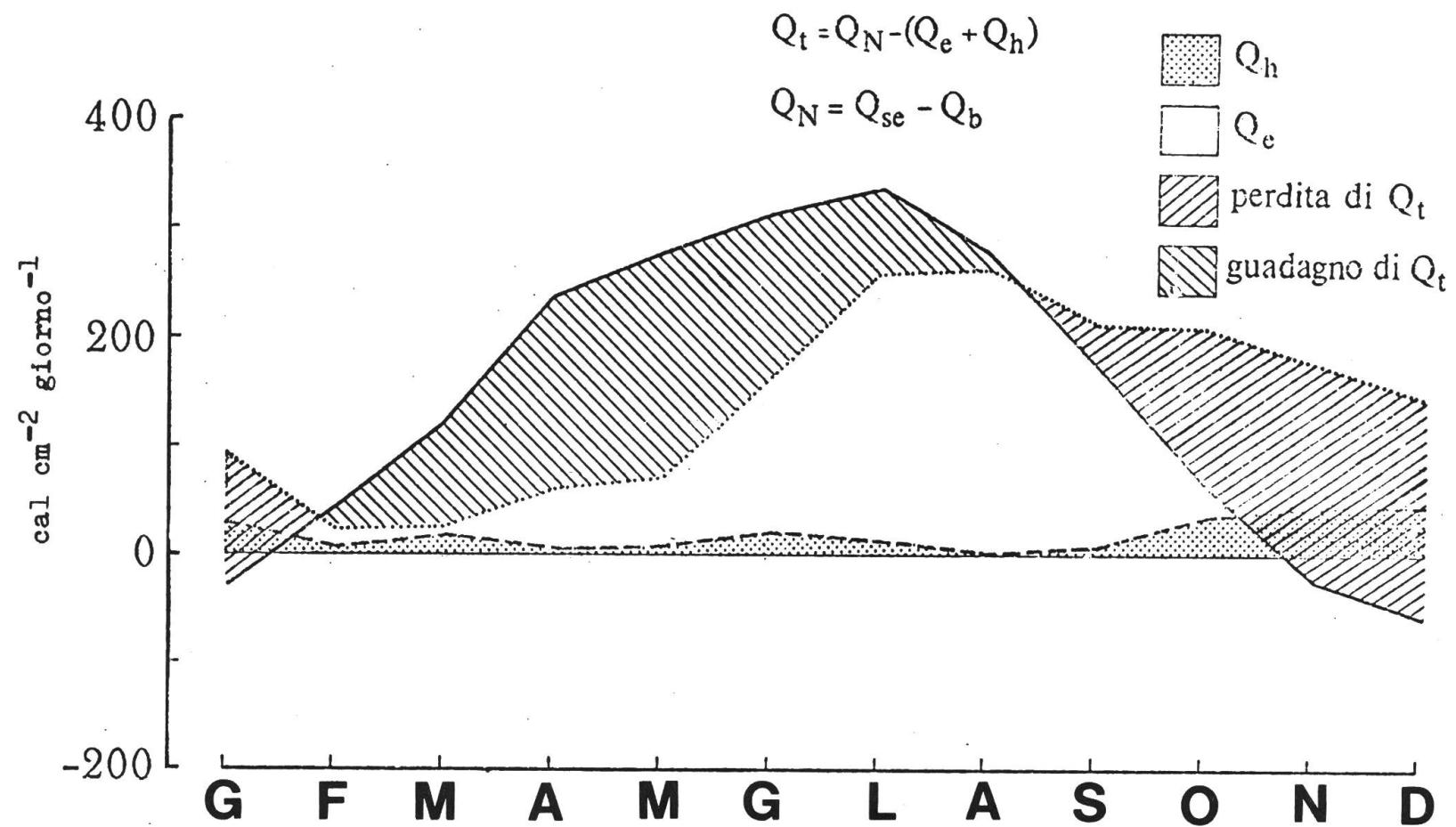


Fig.23 - Regime di $Q_h - Q_e - Q_t$ per il bacino Principale.

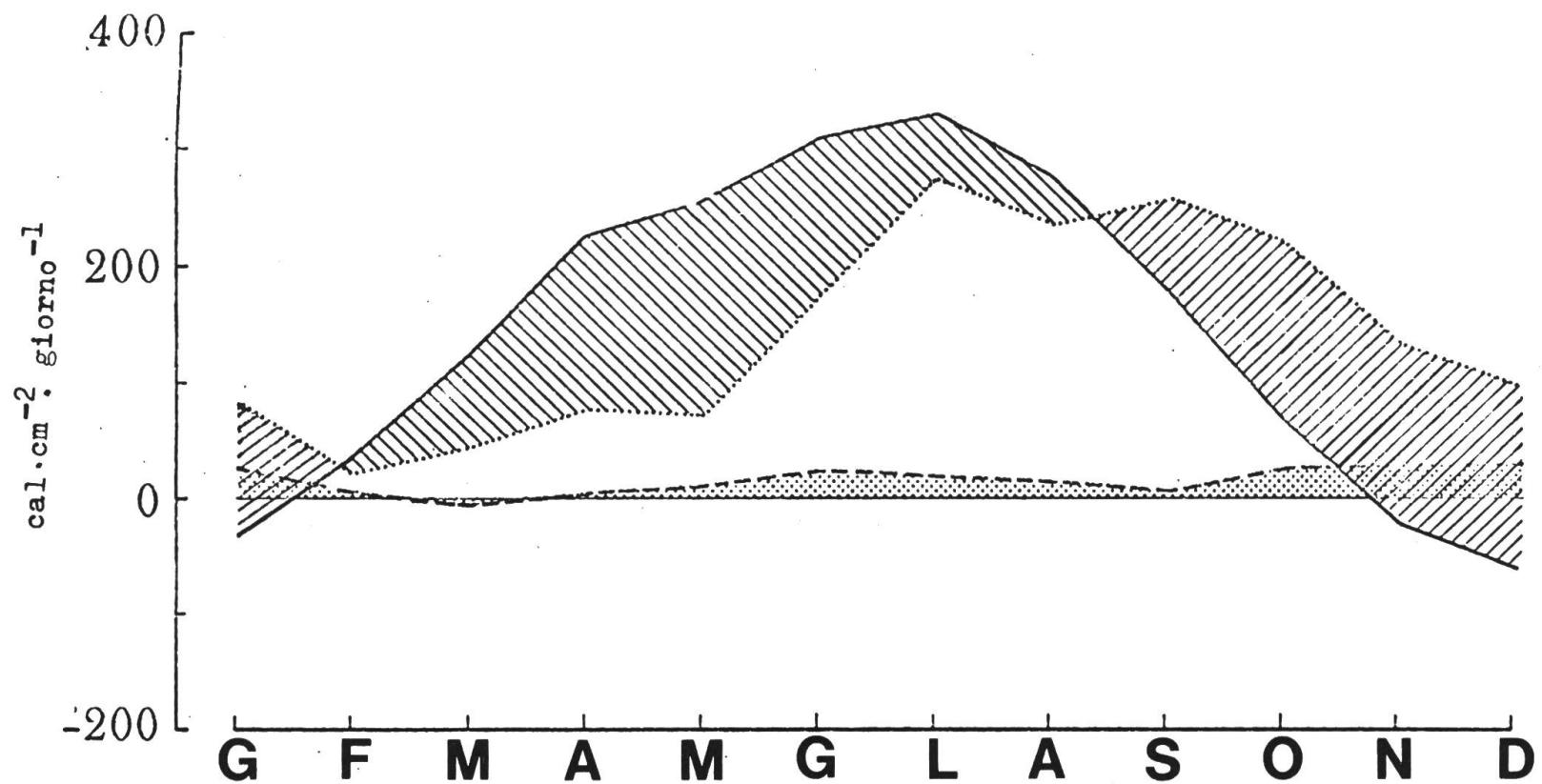


Fig.24 - Regime di Qh - Qe - Qt per il bacino Sud

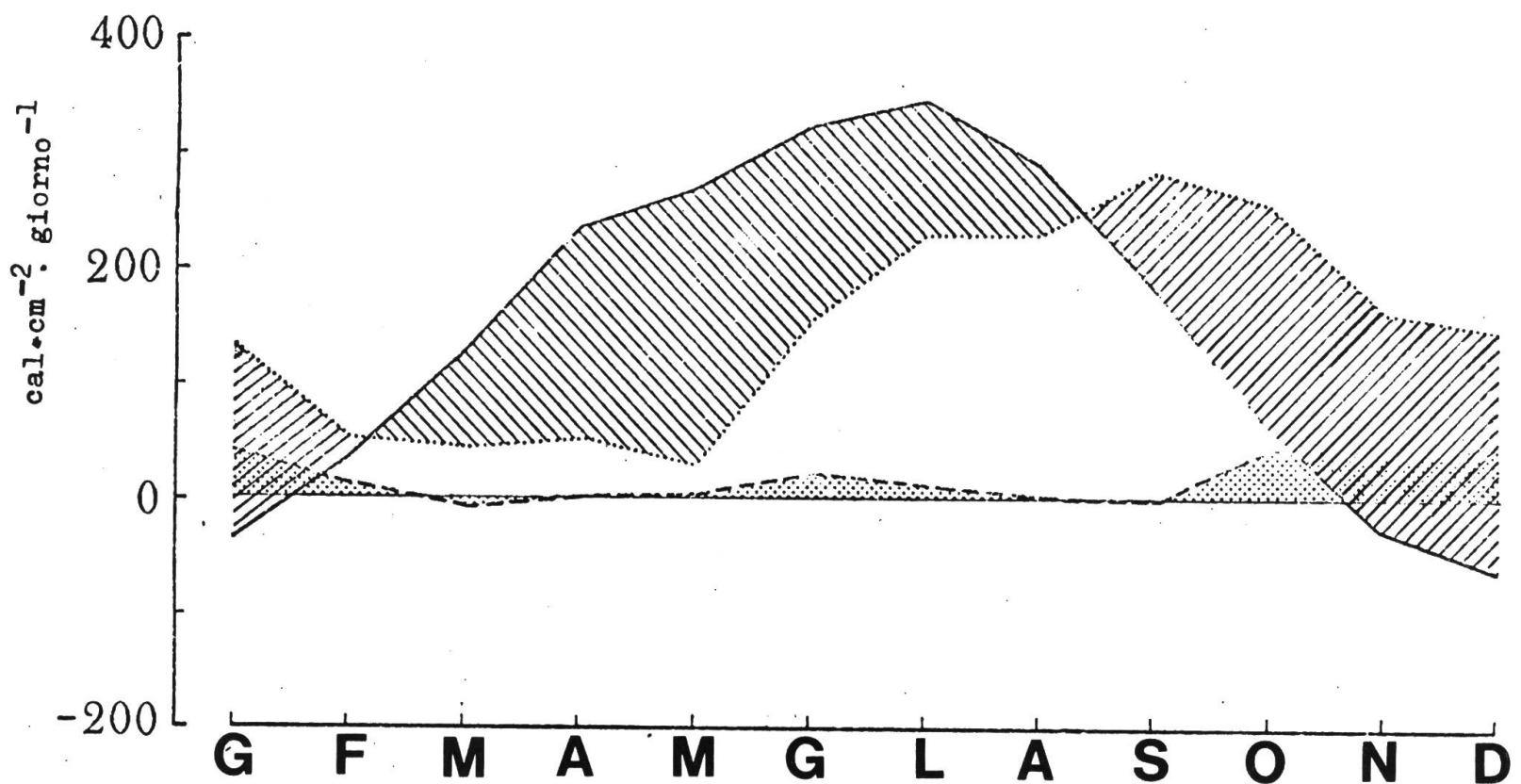


Fig.25 - Regime di $Q_h - Q_e - Q_t$ per il bacino di Ponte Tresa.

ruolo più importante sottraendo sempre maggiore energia calorica al lago finchè ad agosto contribuiscono a determinare l'inizio della fase di perdita di calore da parte del lago, fase che si protrarrà fino a febbraio.

E' da rilevare, anche alla luce di quanto riscontrato negli altri laghi, come i risultati non appaiono del tutto soddisfacenti, in particolare nelle stagioni intermedie e soprattutto in primavera. Il controllo della bontà del metodo ci viene offerto dal valore di Q_e , una delle incognite dell'equazione del bilancio; una semplice trasformazione consente di valutare la quantità di acqua evaporata la quale, come noto, segue un ciclo stagionale sufficientemente regolare anche se non esattamente definito quantitativamente soprattutto per la variabilità delle condizioni meteorologiche annuali.

Come appare nelle fig. 17, 18, 19 in tutti e tre i bacini la Q_e dei mesi primaverili presenta valori troppo modesti (soprattutto in maggio), al contrario di quanto avviene in autunno quando essi si mantengono piuttosto elevati. La spiegazione più probabile è da imputare al sistema di interpolazione lineare adottato per i dati termici dell'acqua che, per i periodi caratterizzati da notevole variabilità, non risulta del tutto adeguato. Anche in considerazione del troppo lungo intervallo di tempo intercorso tra le effettive misure di temperatura. Per quanto attiene ai dati relativi allo scambio di calore, quali risultano cioè dalla differenza fra la quantità minima e massima immagazzinata nei due estremi (tab. 11, 12, 13) si può rilevare quanto segue: il bacino Principale, per il volume di acqua che ospita, ha scambi energetici annui regolari con un valore medio dei 6 anni considerati intorno a 26700 cal/cm². Più modesti, per evidenti ragioni volumetriche, gli scambi negli altri due bacini con valori di circa 20850 cal/cm² in quello Sud e di 23700 cal/cm² in quello di Ponte Tresa. Per quest'ultimo però è necessaria una precisazione: teoricamente il bacino di più modeste proporzioni, a parità di condizioni climatiche, dovrebbe avere un bilancio annuo più basso; un fatto del genere non è stato verificato nel caso specifico. Tuttavia occorre tener conto della particolare situazione idrologica nella quale è collocato il bacino di Ponte Tresa. La sua alimentazione idrica è in massima parte dovuta alle masse d'acqua in uscita dal bacino Sud che possiedono temperature più elevate delle normali acque di deflusso superficiale e di quelle di pioggia in quanto emunte dai livelli superficiali delle porzioni a monte del lago.

Poichè inoltre il bacino di Ponte Tresa possiede un tempo di ricambio delle acque molto breve, le condizioni termiche interne risentono in maniera determinante dei flussi calorici legati alle più elevate temperature dell'acqua in transito: in tale situazione non è evidentemente trascurabile il termine legato all'energia advettata.

5. Flussi di calore

Nell'ipotesi, già avanzata all'inizio di questo lavoro, che non sussista scambio di energia con le pareti della conca lacustre, le differenze di calore accumulate dentro la massa d'acqua in tempi successivi definiscono i flussi di calore, po-

Tab.11 - Valori mensili dei contenuti di calore e differenze annue fra i valori estremi
 (cal·cm⁻²) per il bacino Sud

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Scambio calorico
1973	30749	31423	33494	38989	45052	49808	52050	53018	49088	44463	39915	35146	22269
1974	33754	33498	36291	40786	47262	49805	52233	54173	51915	44464	39893	36374	20675
1975	33056	34038	36043	40960	45982	51263	53433	53064	50925	45186	40830	36520	20377
1976	32163	32349	35835	41050	47661	51493	51750	51833	49474	45371	40775	34876	19670
1977	30969	31993	34989	39494	45064	50098	51655	50708	49586	46595	42671	37925	20686
1978	33178	33132	34959	37735	42870	46455	48442	54598	52411	48856	42810	36629	21466
Medie	32312	32739	35269	39836	45649	49820	51594	52899	50567	45823	41149	36245	20357

Tab.12 - Valori mensili dei contenuti di calore e differenze annue fra i valori estremi
 (cal·cm⁻²) per il bacino Principale.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Scambio calorico
1973	91253	88148	89898	95750	103081	110574	114339	116210	111793	104500	98264	92128	28062
1974	89309	88650	91602	98062	106075	110893	114670	115512	114236	104723	101206	96088	26862
1975	89734	90446	92258	98197	105664	110901	114385	117321	114148	107383	101700	95527	27587
1976	89277	89746	93546	99748	109347	112091	114898	116321	111684	105553	98055	91690	27044
1977	86790	87536	90434	96303	102340	107737	110300	108740	107271	105931	102294	96397	23510
1978	90500	89757	92375	95162	101492	106321	111514	117154	114072	109530	101905	92910	27397
Medie	89477	89047	91686	97204	104667	109753	113351	115210	112201	106270	100571	94123	26744

Tab. 13 - Valori mensili dei contenuti di calore e differenze annue fra i valori estremi
 (cal·cm⁻²) per il bacino di Ponte Tresa.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Scambio calorico
1973	16342	17661	19624	24135	29387	34267	36776	38078	33487	28072	23462	19196	21736
1974	18316	18580	21403	26305	32809	35752	37675	36864	33981	29154	25333	21570	19359
1975	17788	18632	21298	26586	33453	40099	43092	43939	42842	36264	27709	21944	26151
1976	18145	18280	20474	24831	29590	31959	32142	31630	35232	35022	29591	21547	17087
1977	16408	16981	22352	29921	38636	44617	49151	50525	49666	44196	36385	26632	34117
Medie	17400	18027	21030	26356	32775	37339	39767	40207	39042	34542	28496	22178	23690

sitivi o negativi, attraverso l'interfaces aria-acqua. Suddividendo il lago in strati orizzontali, in modo da delimitare volumi sempre maggiori d'acqua, è possibile anche valutare i flussi di calore attraverso i successivi livelli di profondità. L'elaborazione dei dati dal 1973 al 1978 ha consentito di definire la distribuzione spazio-temporale che risulta evidenziata per ciascun bacino dalle isoline tracciate nelle figure 26, 27 e 28. Da rilevare la diversa scala delle profondità che caratterizza ognuna di esse. Le aree tratteggiate indicano quegli strati d'acqua nei quali si verifica un flusso negativo, vale a dire una perdita di calore, mentre le aree bianche rappresentano le zone a flusso positivo.

Risulta così evidente il progredire del riscaldamento e/o del raffreddamento del lago nei successivi strati di profondità con l'evolversi delle stagioni. Si noti il periodo a flusso calorico nullo che nei tre bacini si colloca all'inizio di febbraio. L'isolinea zero dà inizio in questo caso alla fase di riscaldamento del lago che interessa soprattutto gli strati d'acqua più superficiali ma, almeno fino ad aprile, si spinge fino in profondità. In questo mese infatti la stratificazione termica non si è ancora perfettamente formata con un termoclinio vero e proprio, per cui il vento, abbastanza frequente in questo periodo dell'anno, può determinare un trascinamento di calore in profondità, mescolando strati d'acqua la cui stabilità è ancora modesta. Nei mesi successivi l'aumentata forza di galleggiamento per densità degli strati epilimnici impedisce a quella meccanica di mescolamento di agire in profondità con conseguente isolamento delle masse d'acqua ipolimnichiche che possono ricevere soltanto un limitato apporto di calore dagli strati sovrastanti. La presenza nel bacino Principale da maggio a giugno di una limitata area ipolimnica a flusso negativo (fig. 26) indica anzi che queste acque sono in fase di raffreddamento, anche se modesto. Al raffreddamento profondo in questo periodo contribuiscono anche i volumi d'acqua in entrata attraverso i tributari che hanno basse temperature, in quanto derivanti in massima parte dalla fusione delle nevi, che si inseriscono, per il gioco delle densità, nei livelli più profondi. Tale fenomeno non si manifesta negli altri bacini, essendo questi notevolmente meno profondi, per cui l'apporto di calore dalla superficie, anche se ridotto per la presenza del termoclinio, è sufficiente a riscaldare una massa d'acqua di volume relativamente modesto. Nel periodo estivo, nonostante la presenza di un termoclinio ben pronunciato, la penetrazione di calore verso gli strati più profondi si ripete, seppure con valori più modesti.

A partire da agosto nei tre bacini il flusso degli strati più superficiali diventa negativo, il che evidenzia l'inizio della fase di dissipazione di calore da parte del lago, fase che raggiungerà il suo massimo in dicembre. Da rilevare nel bacino Principale la presenza di una vasta area a flusso calorico positivo centrata nel mese di novembre negli strati al di sotto dei -20 m. Il fenomeno non è certamente legato al progressivo approfondimento del termoclinio collocato intorno ai 10-15 m ma piuttosto, seppur con differente effetto, all'energia advettata da parte degli immissari: le masse d'acqua da questi veicolate sono caratterizzate in questo periodo da temperature ab-

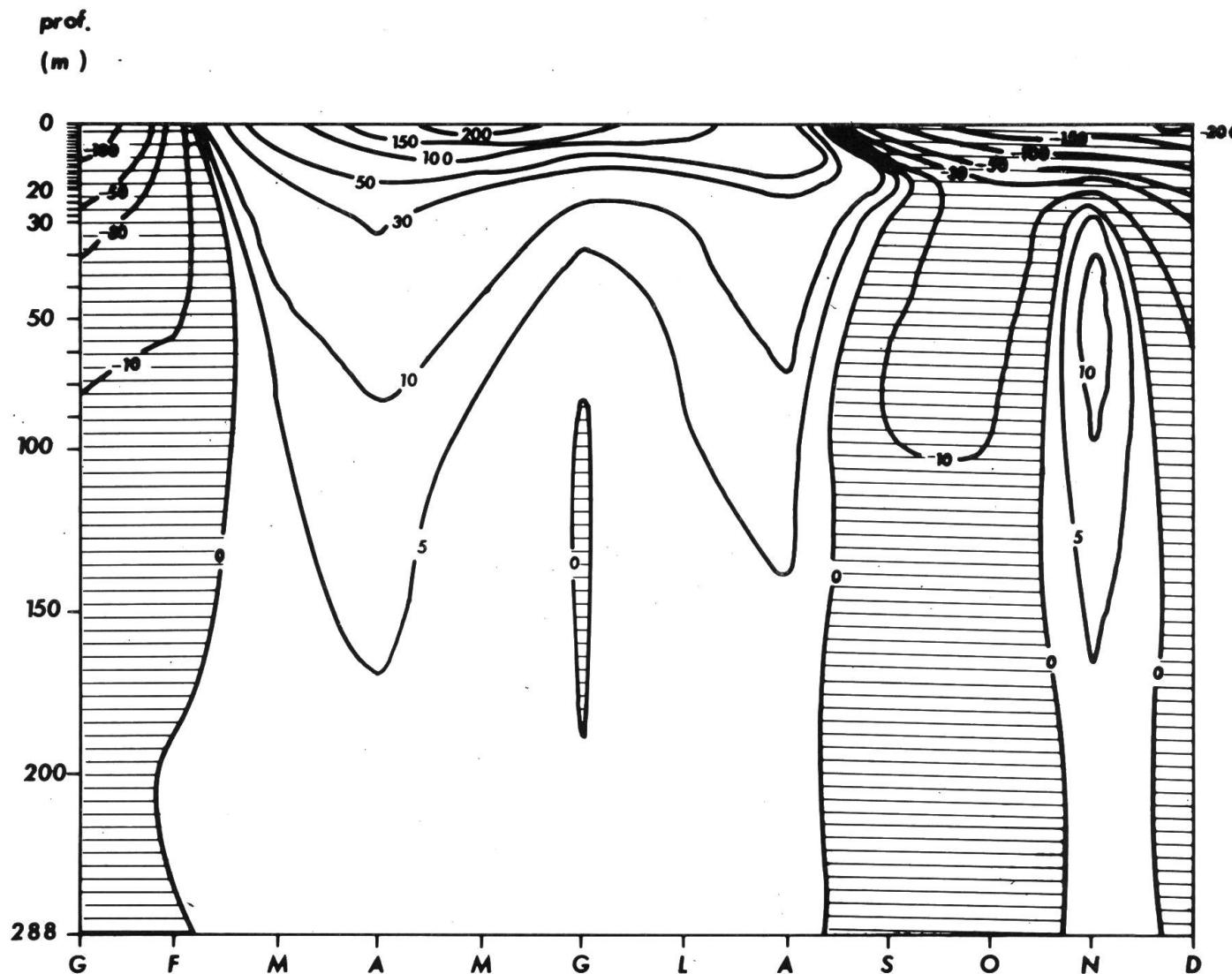


Fig.26 - Regime dei flussi di calore per il bacino Principale.

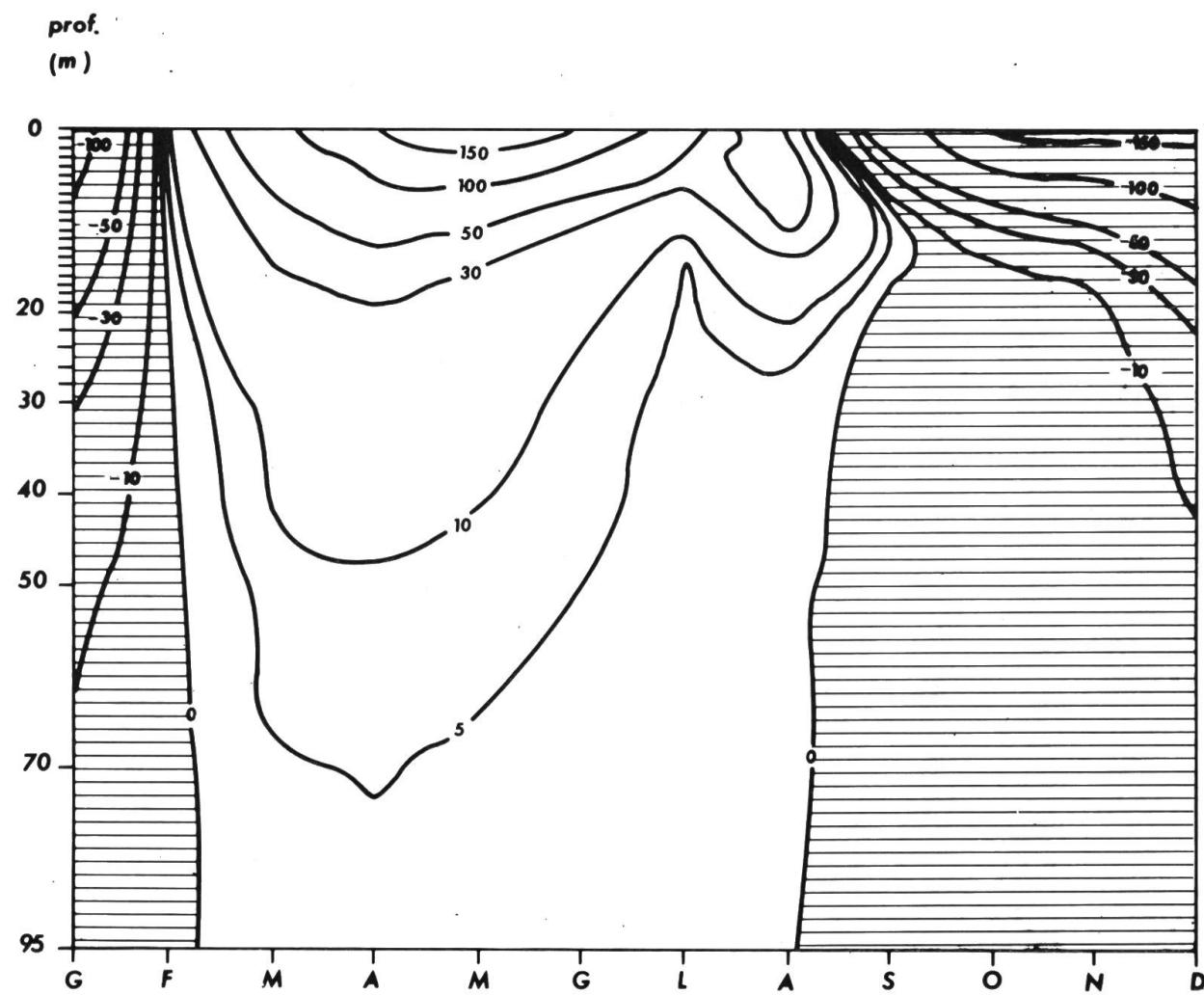


Fig.27 - Regime dei flussi di calore per il bacino Sud

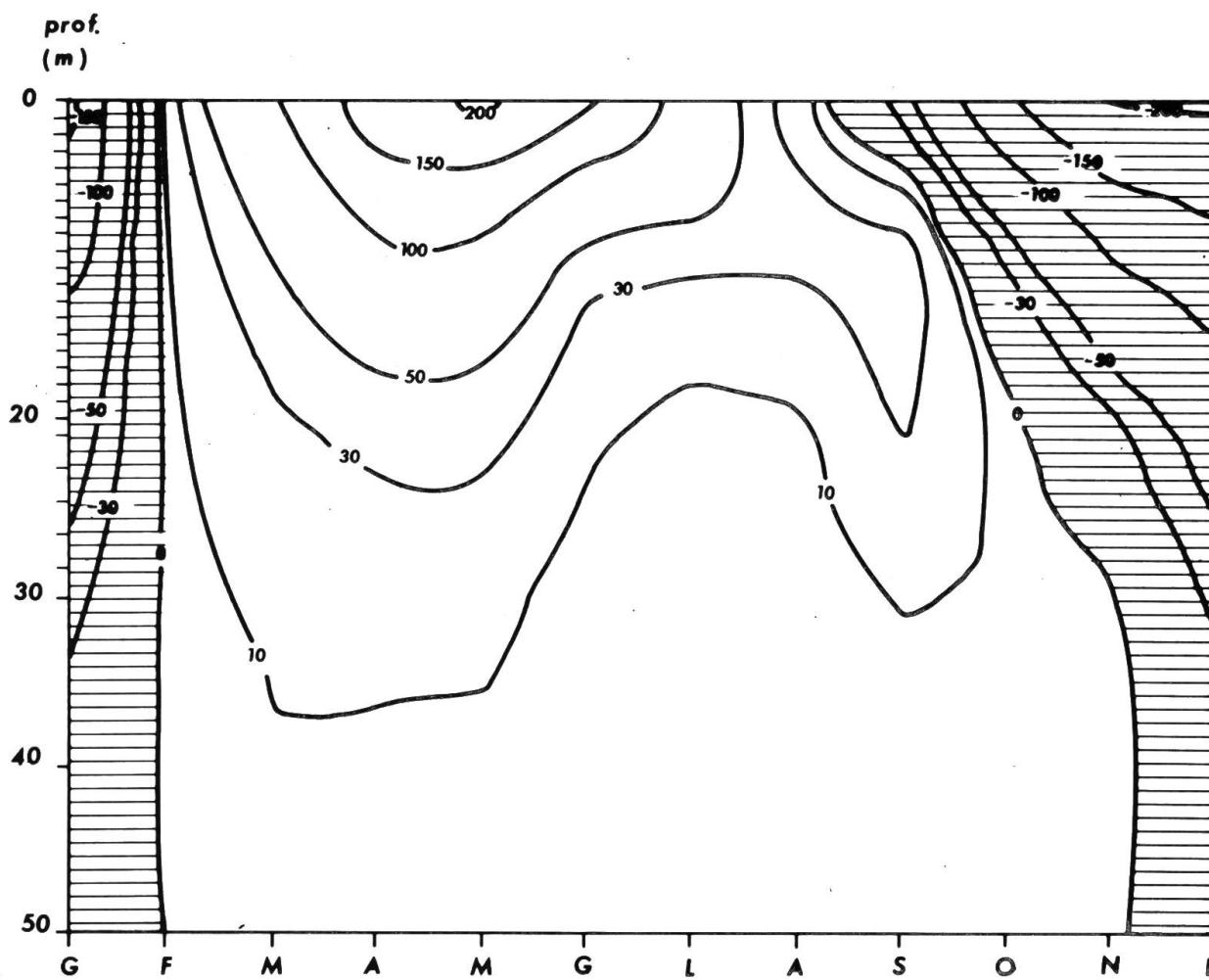


Fig.28 Regime dei flussi di calore per il bacino di Ponte Tresa.

bastanza elevate ma tali da consentire il loro inserimento ancora al di sotto del salto termico apportando in tal modo calore alle acque ipolimniche. L'inserimento dei tributari, relativamente caldi, in profondità è facilitato altresì dal fatto che le loro acque sono caratterizzate da una notevole densità determinata dal carico in sospensione ed in soluzione.

6. Energia advettata

Secondo alcuni autori (RODGERS & ANDERSON, 1951; ELDER BOUCE & DAVIES, 1975; BOLSENKA, 1975) questo parametro non sembra incidere sensibilmente sul bilancio energetico dei laghi, ma questa affermazione non è evidentemente generalizzabile. Un tentativo in tal senso nel Lago di Lugano presuppone la conoscenza del suo bilancio idrologico.

Bilancio idrologico.

Per il calcolo del bilancio idrologico di un lago ci si può avvalere come unità di misura tanto dei volumi d'acqua interessati al gioco degli apporti e delle perdite quanto delle variazioni delle altezze idrometriche riferite al livello medio della superficie lacustre. La conversione degli uni negli altri valori si ottiene facilmente una volta nota la superficie del lago. Il bilancio idrologico del Lago di Lugano è stato calcolato uniformemente ai volumi in gioco ed applicando la seguente equazione:

$$A = E \pm \Delta h + D \quad (1)$$

essendo:

A = la quantità d'acqua pervenuta al lago per il tramite degli immissari e delle piogge dirette sulla superficie lacustre;

E = quantità d'acqua persa dal lago attraverso i processi di evaporazione;

Δh = variazioni positive o negative della quantità di acqua presente nel bacino lacustre;

D = quantità di acqua defluita dal lago attraverso l'emissario.

In questa equazione non compaiono altri parametri di difficile valutazione consuetamente trascurati nel calcolo del bilancio idrologico dei laghi quali per esempio le immissioni o le perdite di acqua per via sotterranea. Il calcolo dei singoli termini costituenti l'equazione (1), tutti espressi in m^3 e riferiti ad intervalli di tempo mensili, è stato condotto come segue.

- Le variazioni dei livelli idrometrici Δh risultano dalle differenze positive o negative fra le altezze del lago lette all'inizio e alla fine di ogni mese all'idrometro di Melide (Annali Idrologici Svizzeri). Queste altezze (positive o negative) moltiplicate per la superficie del lago ci danno i volumi d'acqua immagazzinati o persi dal lago (tab. 14).
- L'evaporazione è stata trascurata alla luce dei modesti valori che essa assume nei confronti degli altri parametri del bilancio. Una riprova in tal senso si è ottenuta applicando al Lago di Lugano i dati relativi al Lago Maggiore.
- L'afflusso totale di acqua al lago (A) risulta dalla somma delle precipitazioni cadute direttamente sullo specchio li-

Tab.14 - Variazioni positive o negative della quantità di acqua presente nel bacino lacustre in $m^3 \cdot 10^6$.

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Sett.	Ott.	Nov.	Dic.
1973	-4.40	-5.37	-1.46	+7.33	+5.86	+10.26	+0.49	-0.98	+5.37	-8.79	-5.37	+10.26
1974	-4.88	+4.88	+4.88	-4.40	-0.98	+7.33	-12.21	+2.44	-1.46	-1.95	+10.75	-9.77
1975	+5.37	0	+0.48	+4.40	+4.40	-0.98	-12.21	+3.91	-0.49	-3.91	+13.68	-4.40
1976	-14.17	0	-4.88	+14.17	-4.40	-7.33	+2.44	+14.65	+29.80	+10.75	-45.43	-4.88
1977	-4.40	+23.94	-13.68	+17.59	-17.10	0	+24.42	+7.33	-23.94	+1.95	-3.91	+2.44

quido (A') misurate al pluviografo della stazione meteorologica di Lugano e delle quantità di acqua veicolate al lago attraverso i tributari (A''). Disponendo delle portate dei due immissari (Torrente Cassarate e Torrente Breccia) e conoscendo le aree delle superfici dei singoli bacini afferenti al lago (tab. 15) si sono valutate per analogia e tenendo conto delle diverse precipitazioni riscontrate in ciascuna di esse le portate degli altri immissari e i contributi degli altri areali non drenati da corsi d'acqua importanti e afferenti direttamente al lago. Per analogia deve intendersi soprattutto quella di carattere geomorfologico riscontrabile attraverso il confronto delle curve ipsografiche dei singoli bacini. I valori complessivi degli afflussi sono riportati in tab. 16.

Il deflusso dell'acqua attraverso l'emissario (Fiume Tresa) è stato di facile valutazione essendo note le portate dello stesso misurate alla stazione di Ponte Tresa (Annali Idrologici Svizzeri): i valori sono riportati in tab. 17.

I deflussi calcolati attraverso l'equazione del bilancio e i corrispondenti valori misurati dal Servizio idrologico Svizzero sono in massima parte simili, il che mi conforta per il lavoro svolto nel calcolo degli afflussi al lago che saranno impiegati nella valutazione dell'energia advettata.

Energia advettata (Qv).

Nel computo delle quantità di energia in gioco nel termine advettato si è assunta come temperatura dell'emissario quella media dell'acqua del bacino di Ponte Tresa nei primi due metri di profondità, mentre si sono attribuite agli immissari le temperature misurate negli stessi periodi nel Torrente Giona, un corso d'acqua affluente del Lago Maggiore che drena un territorio molto prossimo e geomorfologicamente non molto dissimile dall'areale imbrifero del Lago di Lugano. Per la temperatura dell'acqua di pioggia si è tenuto conto dei valori del bulbo bagnato dello psicometro mediate per i singoli giorni piovosi.

Nella tab. 18 sono riportati i valori energetici in ingresso e in uscita ed il loro netto. Come si può osservare, si tratta di valori relativamente modesti se rapportati agli altri termini del bilancio calorico, addirittura trascurabili (meno di 10 cal/cm².giorno) nei mesi da novembre a maggio con un valore massimo di poco meno di 50 cal/cm².giorno in maggio.

L'aver trascurato questo termine nel computo del bilancio calorico del Lago di Lugano non ha comportato pertanto alcun inconveniente per la maggior parte dei mesi, con la sola eccezione di maggio e anche giugno e settembre.

Mi sento in dovere di ringraziare i signori: W. Ambrosetti, L. Barbanti e A. Rolla dell'Istituto Italiano di Idrobiologia che mi hanno coadiuvato nello svolgimento di questa ricerca.

Tab. 15 - Aree delle superfici dei singoli bacini afférenti al Lago di Lugano.

Cuccio	km ²	53.99
Dal Cuccio al Cassarate	km ²	50.26
Cassarate	km ²	72.69
Dal Cassarate alla diga di Melide	km ²	9.44
Lagadone	km ²	27.63
Dal Lagadone al Telo	km ²	10.66
Telo	km ²	30.64
Dal Telo alla diga di Bissone	km ²	14.36
Totale Bacino Principale	km ²	269.67
		47.69%
Dalla diga allo Scairolo	km ²	7.31
Scairolo	km ²	9.65
Dallo Scairolo al Vedeggio	km ²	13.32
Vedeggio	km ²	96.04
Dal Vedeggio alla Magliasina	km ²	11.46
Magliasina	km ²	34.41
Dalla Magliasina alla stretta di Laverna	km ²	1.31
Da Bissone al Mara	km ²	1.38
Mara	km ²	14.83
Dal Mara al Laveggio	km ²	10.83
Laveggio	km ²	32.22
Dal Laveggio al Poiana	km ²	5.38
Del Poiana al Brivio	km ²	8.82
Brivio	km ²	19.89
Dal Brivio al Trallo compreso	km ²	16.26
Dal Trallo alla stretta di Laverna	km ²	7.11
Totale Bacino Sud	km ²	290.22
		51.32%
Dalla stretta di Laverna al Tresa nord	km ²	2.74
Dalla stretta di Laverna al Tresa sud	km ²	2.87
Totale Bacino di Ponte Tresa	km ²	5.61
		0.99%
Totale bacino imbrifero del Lago di Lugano	km ²	565.50
		100%
Superficie del Lago	km ²	48.85
Superficie del bacino imbrifero più il Lago	km ²	614.35

Tab. 16 - Totale del volume d'acqua in ingresso al lago ($m^3 \cdot 10^6$).

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
1973	38.56	23.59	15.76	18.97	62.24	53.63	117.6	37.83	24.36	64.76	26.02	27.04
1974	38.55	76.44	56.79	79.51	74.45	36.59	51.26	29.20	37.87	32.20	50.94	31.57
1975	34.16	30.92	92.31	160.29	142.0	109.9	44.24	23.06	66.15	55.09	59.79	54.82
1976	36.12	17.53	23.53	27.17	36.79	18.8	13.62	16.37	131.5	299.5	256.9	48.99
1977	54.56	69.39	167.8	102.0	233.9	73.74	53.18	226.3	110.6	91.7	25.6	32.88
Medie	40.39	43.57	71.24	77.58	109.88	58.53	55.98	66.55	74.09	108.7	83.80	39.06

Tab.17 - Totale del volume d'acqua in uscita dal lago ($m^3 \cdot 10^6$).

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
1973	39.37	29.27	20.57	24.08	53.84	75.17	81.15	40.71	37.32	66.42	24.86	38.03
1974	49.01	87.44	77.44	68.42	70.71	34.47	41.78	20.70	35.25	20.70	39.40	32.14
1975	35.35	29.99	84.10	128.6	144.4	104.2	42.85	22.85	63.50	56.78	55.47	57.85
1976	38.30	22.06	20.81	27.73	42.85	27.73	9.34	15.69	133.7	297.3	241.0	47.94
1977	62.14	70.16	160.4	80.87	212.4	79.05	52.49	196.6	111.2	106.6	33.44	32.41
Medie	44.80	47.79	72.67	65.93	118.02	64.12	45.52	59.25	76.20	109.4	78.84	41.67

Tab. 18 - Valori energetici medi mensili in ingresso e in uscita dal lago ed il loro netto.

Totale dell'energia in uscita dal lago con l'emissario (cal.cm⁻².giorno⁻¹).

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
Media	15.74	20.19	38.10	51.20	129.68	93.85	67.90	81.93	91.72	97.04	51.05	19.12

Totale dell'energia in entrata al lago (cal. cm⁻².giorno⁻¹).

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
Media	11.36	15.39	33.26	39.70	80.90	54.99	52.31	65.92	60.67	77.42	41.36	13.36

Netto di energia che viene veicolata fuori dal lago dall'emissario (Qv) in cal.cm⁻².giorno⁻¹.

	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
Media	4.38	4.80	4.84	11.5	48.78	38.86	15.59	16.01	31.05	19.62	9.69	5.76

BIBLIOGRAFIA

- Ambrosetti W., Barbanti L., Rolla A., 1978, Bilanci, flussi e variazioni pluriennali del contenuto calorico nel Lago Maggiore. Mem. Ist. Idrobiol. Pallanza, 36 :331-382
- Anderson E.R., 1954, Energy-budget studies. U.S. Geol. Survey Prof. Paper, n. 269 :71-119
- Anderson L.Y., 1954, Instrumentation for mass-transfert and energy-budget studies. U.S. Survey Prof. Paper, n. 269 :35-45
- Annali dell'Osservatorio Meteorologico di Pallanza, 1973-1974-1975-1976-1977-1978
- Annali dell'Osservatorio Meteorologico di Locarno-Monti, 1973-1974-1975-1976-1977-1978
- Annuaari Idrografici della Svizzera, 1973-1974-1975-1976-1977
- Barbanti L., Drago E., 1971, Bilancio termico e flussi di calore nel Lago di Mergozzo. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 27 :279-316
- Bolsenga S.J., 1975, Estimating energy budget components to determine Lake Huron evaporation, Water Resovr. Rev., 11 :661-666
- Bowen L. S., 1926, The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. Phys. Rev., 27 :779-787
- Colacicino M., Rossi E., 1969, Alcuni esempi di bilancio termico per il Mar Tirreno (Maggio 1969), I.F.A., Roma SR n. 29 :68pp.
- Commissione delle Comunità Europee, 1973-1974-1975-1976-1977-1978, Studio sull'eutrofizzazione del Lago di Lugano
- Davies J.A., Robinson P.J., Numez M., 1971, Field determination of surface emissivity and temperature for Lake Ontario, J. Appl. Meteor., 10 :811-819
- Dutton A., Bryson A.H., 1962, Heat flux in Lake Mendota. Limnol. Oceanogr., 7 :80-97
- Elder F.C., Boyce F.M., Davies J.A., 1974, Preliminary energy budget of Lake Ontario for the period May through November, 1974, (IFYGL), Proc. 17th Conf. Great Lake Res. :713-724
- Koberg G.E., 1958, Energy budget studies, Water-loss investigation, Lake Studies, U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 298 :1-100
- Schmidt W., 1915, Strahlung und Verdunstung in Freien Wasserflächen; ein Beitrag zum Wärmehaushalt des Weltmeers und zum Wasserhaushalt der Erde. Ann. Hydrogr. Berl., 43 :169-178
- Sverdrup H.U., 1940, On the annual and diurnal variation of the evaporation from the oceans, J. Mar. Res., 3 :93-104
- Tabata S., 1958, Budget of the water in the vicinity of Triple Island, British Columbia, J. Fisch. Res. Bd. Can., 15 :429-451