

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO

3.1. Limnologia fisica

Le caratteristiche fisiche dell'ecosistema Lago Maggiore nel corso del 2007 sono state analizzate, in prosecuzione e in continuità con quanto svolto negli anni precedenti, attraverso l'esame dei principali parametri fisici delle sue acque. Ciò consentirà di verificare gli aspetti più importanti dell'idrodinamica lacustre e, in particolare: 1) sarà possibile accertare la profondità raggiunta dalla circolazione tardo-invernale, 2) definire i meccanismi della stratificazione e della destratificazione termica e 3) valutare la dinamica del riscaldamento delle acque superficiali e profonde.

Infatti, come già rilevato nei precedenti Rapporti CIPAS, l'aspetto idrodinamico più importante dei grandi laghi della fascia temperata come il Maggiore è il mescolamento verticale delle loro acque alla fine dell'inverno limnologico. Questo mescolamento è attivato in primis dai moti convettivi a cui si affiancano sempre più frequentemente anche eventi idrometeorologici particolari: tutto il complesso di questi moti circolatori contribuisce all'ossigenazione delle acque ipolimnetiche profonde.

Lo studio di queste problematiche è stato possibile grazie alla disponibilità di serie complete di misure ambientali, distribuite cioè nei cicli stagionali, riguardanti in particolare le caratteristiche fisiche e chimico-fisiche delle acque lacustri lungo l'intera colonna d'acqua.

I dati raccolti nel 2007 saranno confrontati con quelli pregressi e riguardano:

- le fluttuazioni del livello del lago;
- la trasparenza delle acque, quale indice fisico del grado di produttività algale;
- l'andamento nel ciclo annuale della temperatura delle acque lacustri superficiali e profonde;
- la distribuzione lungo tutta la colonna d'acqua dell'ossigeno disciolto;
- il bilancio calorico della massa d'acqua e i flussi di calore tra i diversi strati del lago;
- la profondità raggiunta dal mescolamento tardo-invernale.

3.1.1. Livello del lago

	2007 (m s.l.m.)		1952-2006 (m s.l.m.)	
livello medio annuo	193,69		193,87	
livello minimo	192,68	31 Dic	192,38	18 Mar 1956
livello massimo	194,92	16 Giu	197,86	17 Ott 2000
livello medio invernale	194,17		193,90	
livello medio primaverile	193,33		193,85	
livello medio estivo	194,03		193,87	
livello medio autunnale	193,67		193,83	
escursione massima giornaliera	193,35	13-14 Nov	194,11	31 Ott 1 Nov 2006
escursione massima mensile	1,24	Mag	4,04	Set 1981
escursione massima annua	2,25		5,14	2000

Nel corso del 2007 l'altezza idrometrica media del Lago Maggiore è stata di 193,69 m s.l.m. cioè 18 cm al di sotto del valore medio pluriennale (193,87 m s.l.m.), tale valore si colloca su valori medio bassi di livello del lago. La diminuzione rispetto al

periodo 1952-2006 è risultata: in primavera di 52 cm e in autunno di 16 cm, solo in parte compensata dal valore positivo invernale (27 cm) ed estivo (16 cm).

Quanto alla regimazione mensile del parametro, la figura 3.1.1 evidenzia per il 2007 rispetto al periodo di riferimento, scostamenti negativi da Marzo a Maggio e negli ultimi tre mesi dell'anno: particolarmente consistenti sono stati gli scarti negativi in Dicembre (-97cm), Maggio (-81 cm), Aprile (-70 cm) e Novembre (-65 cm). Per contro valori al di sopra della media di una certa rilevanza hanno riguardato Giugno (+35 cm), Gennaio (+27 cm) e Settembre (+26 cm).

Il livello medio del lago nel corso del 2007 che, come si è detto, si è mantenuto su livelli medio bassi ha evidenziato la presenza di due periodi di magra, avendo considerato come limite la quota idrometrica di 193,0 m s.l.m. Il primo evento si è verificato dal 22 Aprile al 4 Maggio ed ha toccato il livello minimo il 2 Maggio con 192,87 m s.l.m., mentre il secondo, dal 19 al 31 Dicembre, ha visto la quota idrometrica scendere a 192,68 m s.l.m. nell'ultimo giorno dell'anno e proseguire anche nella fase iniziale del 2008.

Il livello più elevato dell'anno si è verificato il 16 Giugno con 194,92 segnando così un'escursione annua di 2,24 m, un valore per altro molto più basso di quelli registrati in passato.

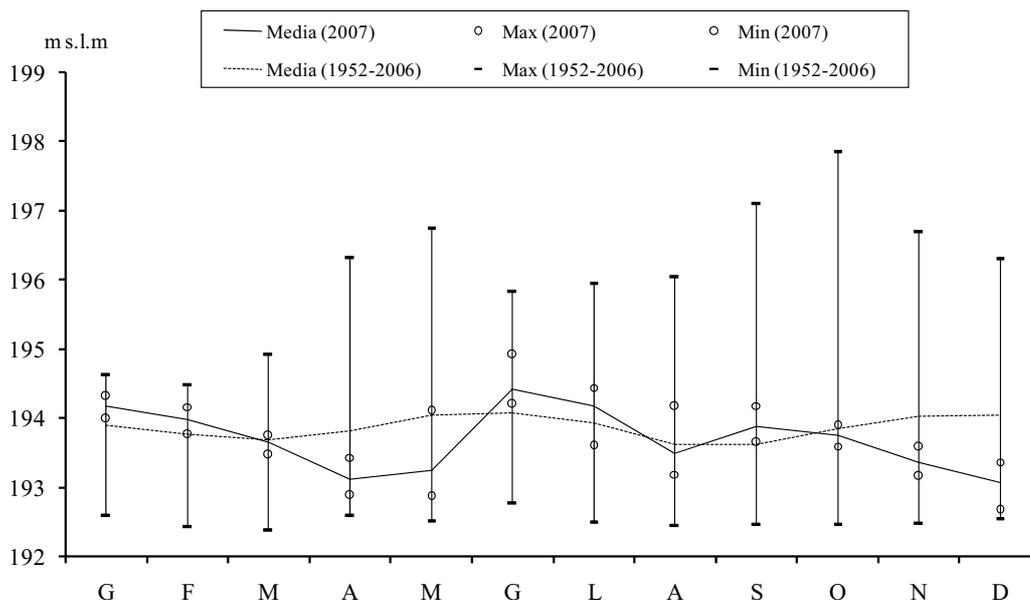


Fig. 3.1.1. Regimi mensili dei livelli del Lago Maggiore: valori medi ed estremi del 2007 e del periodo 1952-2006.

3.1.2. Trasparenza delle acque lacustri

Il quadro annuale riguardante la trasparenza delle acque del Lago Maggiore è stato definito, come di consueto, sulla base dei dati rilevati dalla scomparsa del disco di Secchi, misure eseguite nel punto centrale del lago con cadenza all'incirca decadica (Fig. 3.1.2).

La variazione di detto parametro nell'arco annuale segue abbastanza fedelmente quello che è il suo andamento normale che, com'è noto, è essenzialmente legato al ciclo

di produzione algale. I massimi valori di profondità della scomparsa del disco si sono raggiunti a Gennaio (11 m), e tra la fine di Febbraio e l'inizio di Marzo (9 m). Le profondità di questo periodo di fine inverno-inizio primavera sono per altro inferiori al valore massimo del 2006 (17,0 m): se ne deduce una maggiore produzione algale nell'ultimo anno rispetto al precedente, anche a causa dell'aumento di radiazione solare riscontrato in questi mesi.

I valori minimi, compresi tra 5 e 5,5 m, si sono avuti in estate e sono evidentemente indicativi dell'aumento dell'intensità produttiva del lago in questo periodo.



Fig. 3.1.2. Andamento della trasparenza (disco di Secchi) nel Lago Maggiore durante il 2007.

3.1.3. Temperatura delle acque lacustri

3.1.3.1. Acque superficiali

Le isoterme tracciate in figura 3.1.3.1 si riferiscono alla situazione riscontrata nelle acque del Lago Maggiore nel corso del 2007 nel suo strato più superficiale (0-20 m). Rispetto all'anno precedente si deve rilevare come la massa d'acqua abbia subito, nel periodo invernale e d'inizio della primavera, un generale riscaldamento quantizzabile mediamente in 1,5-2,0 °C. Nel mese di Febbraio, infatti, le isolinee indicano un'omogeneizzazione termica dello strato 0-20 m a 7,7 °C temperatura che è più elevata di oltre 1,0 °C anche rispetto alla media storica 1952-2006.

Nei mesi successivi, fino a Settembre, in confronto con il 2006, si è notata una graduale diminuzione termica in tutto lo strato; in particolare, in Agosto a -10 m si sono riscontrati 18 °C contro i 22 °C dell'anno precedente e l'isoterma 15 °C si è collocata a -15 m, mentre nel 2006 alla stessa profondità era visibile quella quotata 16,5 °C. Durante Ottobre tutto lo strato ha mostrato una fase di riscaldamento protrattasi sino alla fine dell'anno, in questi mesi il raffreddamento è evidenziato dal passaggio dall'isoterma 14 °C a quella di 12 °C, mentre nello stesso periodo nel 2006 erano presenti rispettivamente le isolinee 12 °C e 10 °C.

La temperatura massima del 2007 è stata raggiunta in superficie in Agosto (23,0 °C) con la conseguente formazione di un epilimnio nei primi cinque metri di profondità: la

suddetta temperatura è più bassa rispetto agli anni precedenti quando si erano superati anche 25 °C.

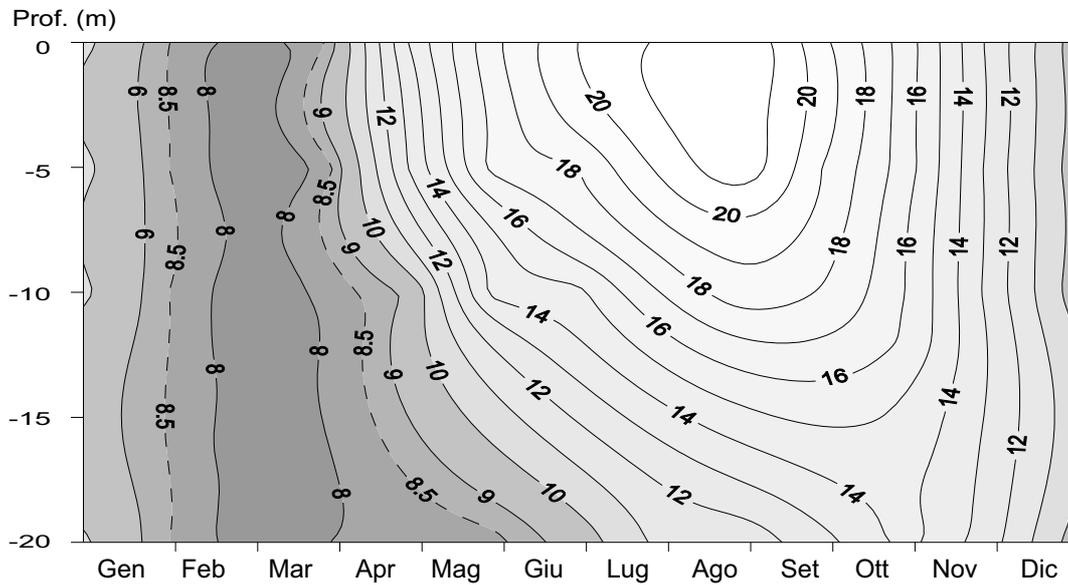


Fig. 3.1.3.1. Andamento delle isoterme nello strato superficiale del Lago Maggiore nel 2007 (°C).

3.1.3.2. Acque profonde

In figura 3.1.3.2 è rappresentata l’elaborazione grafica dei dati di termica lacustre profonda raccolti nel 2007 nel corso dei sopralluoghi effettuati con frequenza all’incirca decadica nella porzione centrale del lago, in località Griffa, dove il fondale raggiunge 370 m.

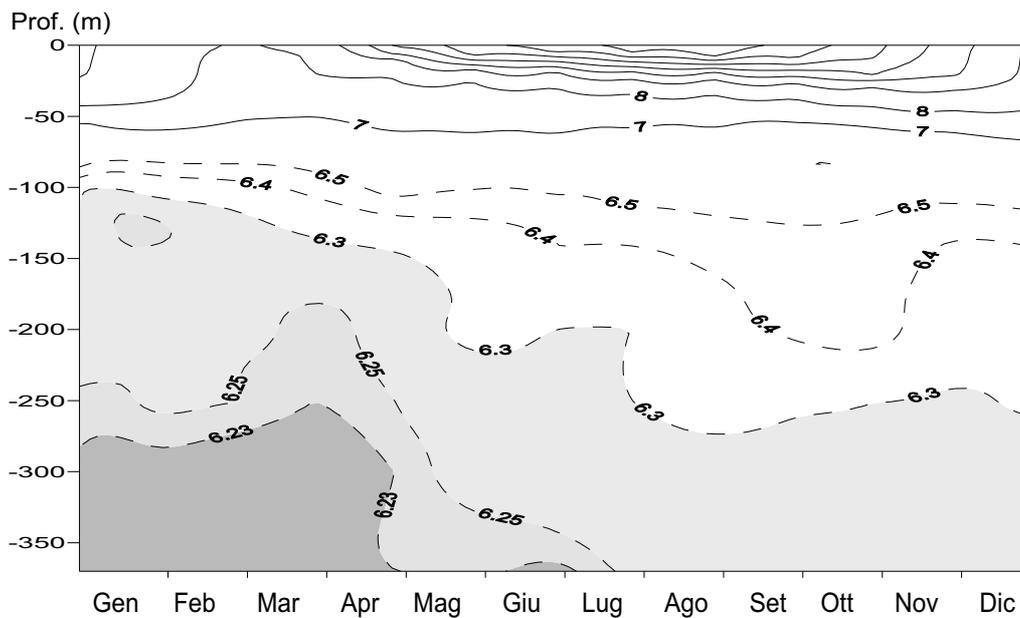


Fig. 3.1.3.2. Andamento delle isoterme lungo l’intera colonna d’acqua del Lago Maggiore nel 2007 (°C).

La considerazione più importante che si ricava dal suo esame riguarda il netto riscaldamento, rispetto al 2006, di tutta la massa d'acqua che, iniziando nel periodo invernale è proseguito poi nello strato ipolimnico per gran parte dell'anno. L'isolinea 7,0 °C è già presente a Gennaio alla profondità di 50 m mentre nell'anno precedente compariva solamente a Marzo; quella quotata 6,4 °C scende a -200 (nel 2006 non superava i 120 m). L'isolinea 6,3 °C, mentre nel Febbraio dell'anno precedente non superava i -100 m, nel Gennaio del 2007 si spinge sino a -250 metri, a profondità maggiori la 6,25 °C scompare a Luglio e la 6,23 è presente fino a Maggio.

La situazione dei mesi tardo invernali pone anche in evidenza (come si vedrà con maggior dettaglio in seguito) come la profondità di mescolamento verticale sia stata quest'anno piuttosto modesta, di poco superiore ai 50 m di profondità, bloccata dallo scarso raffreddamento superficiale che ha determinato la presenza di un seppur modesto gradiente termico, del tutto inusuale per questo periodo, tra 50 e 100 metri di profondità.

3.1.4. Ossigenazione delle acque profonde

Nel corso delle operazioni di campagna condotte sul Maggiore al largo di Ghiffa, si è provveduto anche alla raccolta di campioni d'acqua lungo tutto il profilo verticale per la determinazione delle concentrazioni di ossigeno disciolto: questi dati sono qui utilizzati esclusivamente come indicatori dei processi di idrodinamica lacustre e, in particolare, per quanto attiene al mescolamento verticale tardo invernale.

Le linee di ugual concentrazione di O₂ tracciate per il 2007 (Fig. 3.1.4) pongono in evidenza una buona ossigenazione dell'acqua ipolimnica con valori solo raramente inferiori a 8 mg l⁻¹, un'eredità evidentemente lasciata dalla precedente situazione invernale.

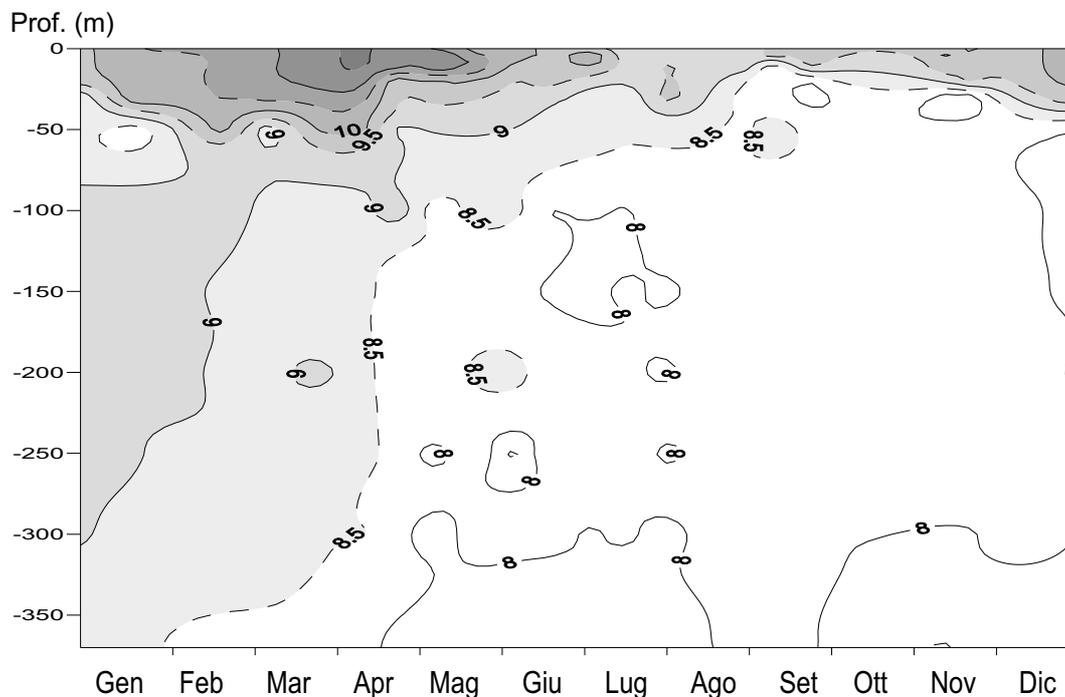


Fig. 3.1.4. Andamento delle concentrazioni di ossigeno disciolto lungo l'intera colonna d'acqua nel Lago Maggiore nel 2007 (mg l⁻¹).

Prescindendo dagli strati più superficiali, ove le fluttuazioni sono legate alle produzioni algali, nei livelli più profondi l'ossigeno ha mostrato comunque una consistente diminuzione rispetto al 2006, dovuta alla limitata circolazione verticale che nell'anno in corso non ha interessato gli strati ipolimnici. Infatti, da valori che nel recente passato erano sempre stati superiori a 9,0 mg l⁻¹ in tutta la massa d'acqua profonda, le concentrazioni di ossigeno si sono gradualmente ridotte e da Marzo si sono misurati valori stabilmente inferiori a 8,0 mg l⁻¹ di Dicembre.

3.1.5. Bilancio termico

Come negli anni precedenti il bilancio termico 2007 del Lago Maggiore è stato valutato su base mensile con la metodica già adottata in passato [2] e con le singole componenti espresse in unità energetiche per unità di superficie (cal cm⁻² d⁻¹).

L'equazione adottata è la seguente:

$$Q_s - Q_r - Q_b - Q_e - Q_h \pm Q_t = 0$$

dove:

Q_s = radiazione solare globale;

Q_r = radiazione solare riflessa;

Q_b = netto dello scambio energetico ad onda lunga;

Q_e = calore utilizzato nei processi evaporativi;

Q_h = calore sensibile di conduzione;

Q_t = calore immagazzinato o perso dal lago.

I valori mensili di questi parametri per il 2007, unitamente a quelli relativi alla radiazione solare effettiva ($Q_{se} = Q_s - Q_r$), alla radiazione netta ($Q_N = Q_s - Q_r - Q_b$) e al Rapporto di Bowen ($R = Q_h/Q_e$), sono riportati nella tabella che segue (Tab. 3.1.5).

Tab. 3.1.5. Lago Maggiore 2007. Quantità energetiche del bilancio calorico (cal cm⁻² d⁻¹).

	Q_s	Q_r	Q_{se}	Q_b	Q_N	Q_t	Q_e	Q_h	R
Gen	122	14	105	156	-51	-148	67	30	0,44
Feb	180	11	161	148	12	-112	109	15	0,13
Mar	304	9	276	116	160	40	172	-51	-0,30
Apr	442	8	406	114	292	190	167	-65	-0,39
Mag	437	7	407	102	305	215	95	-4	-0,05
Giu	469	7	436	54	382	93	314	-25	-0,08
Lug	594	7	553	113	440	171	322	-53	-0,17
Ago	431	7	401	82	319	85	230	4	0,02
Set	364	9	331	121	210	-37	222	25	0,11
Ott	233	10	210	169	41	-31	59	13	0,22
Nov	138	13	120	170	-50	-191	101	41	0,40
Dic	138	15	117	197	-80	-215	88	48	0,55

Rispetto ai valori corrispondenti degli anni precedenti si costata come nei mesi di Luglio e Dicembre del 2007 Q_{se} abbia raggiunto i nuovi massimi mensili del periodo 1963-2006, rispettivamente con 553 cal cm⁻² d⁻¹ (contro 540 cal cm⁻² d⁻¹ del 1984) e 117

cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ (contro 116 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ del 2001); ma anche negli altri mesi si riscontrano valori vicini ai massimi assoluti.

Per quanto riguarda Q_b sono da segnalare i minimi assoluti di Giugno (50 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ contro 77 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ del 1986) e di Agosto (82 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ contro 102 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ del 1966) mentre tra i valori più alti si colloca quello di Dicembre (197 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) che si avvicina al massimo assoluto del 1991 (208 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$).

La radiazione netta assorbita dalla massa d'acqua, fatta eccezione per il massimo assoluto di Luglio (440 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ contro 424 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ del 2006), presenta valori tutti compresi entro i limiti già riscontrati in passato; la stessa cosa va detta per Q_h e per Q_e , anche se quest'ultimo presenta valori elevati nel periodo estivo. Nei primi due mesi dell'anno la perdita di energia da parte del lago (Q_t) è stata piuttosto contenuta, così come ad Ottobre (-31 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ contro, per esempio, -127 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ del 1989), mentre molto sotto alla media risulta anche quella assorbita dal lago in Giugno (93 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ contro 139 cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ del 1988).

Dall'esame del bilancio termico del 2007, rappresentato in figura 3.1.5a, è possibile rilevare come l'energia netta assorbita dalla massa d'acqua (Q_N) sia stata positiva, secondo il normale ciclo annuale, da Febbraio ad Ottobre, pur con una leggera flessione a Maggio. L'immagazzinamento di calore nel lago (Q_t) si è protratto da Marzo a Settembre, caratterizzato, come già si è detto, da una inusuale diminuzione in Giugno. Da rilevare è anche la riduzione in Ottobre del calore legato ai fenomeni evaporativi e conduttivi.

Il contenuto di calore minimo annuale della massa d'acqua, riscontrato in Febbraio, è stato di 119.517 cal cm^{-2} mentre quello massimo è stato raggiunto in Agosto con 143.787 cal cm^{-2} ; per cui il bilancio 2007 risulta di 24.270 cal cm^{-2} valore simile a quello del 2006. Alla fine di Dicembre il calore contenuto nelle acque del lago è stato di 129.316 cal cm^{-2} , in aumento rispetto all'anno precedente.

L'evolversi del ciclo stagionale dei flussi di energia termica e il loro andamento in profondità è rappresentato in figura 3.1.5b dalle isolinee (cal $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) con le fasi di raffreddamento e di riscaldamento nei singoli strati del lago indicate rispettivamente con aree scure e chiare.

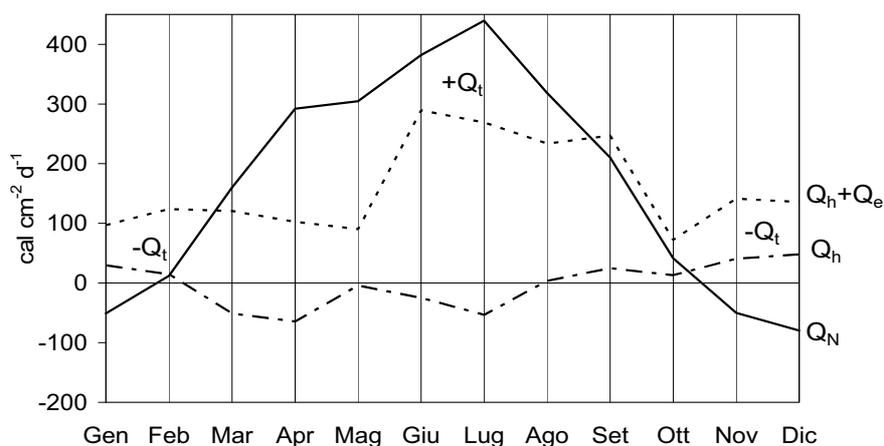


Fig. 3.1.5a. Bilancio termico 2007 del Lago Maggiore.

Le perdite di calore invernali sono limitate agli strati superficiali nei primi tre mesi dell'anno, mentre al di sotto di 50 metri di profondità è presente una fase positiva di acquisizione di calore. Del tutto normale è invece la fase di riscaldamento da Aprile ad Ottobre e quella successiva del raffreddamento autunnale, caratterizzata dalla discesa in profondità del termoclino.

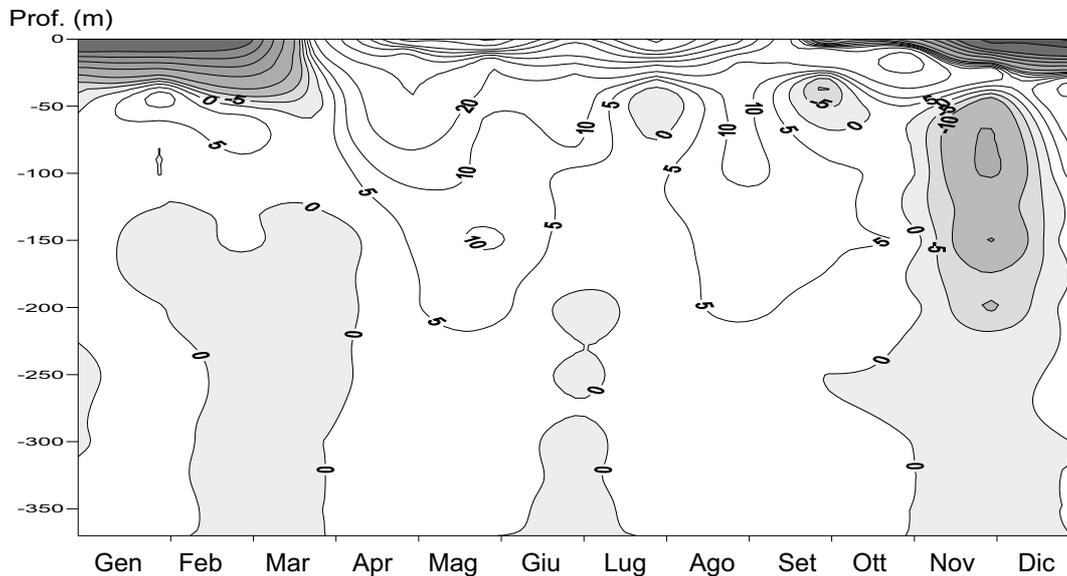


Fig. 3.1.5b. Flussi di calore nel Lago Maggiore nel 2007. Le isolinee sono quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$.

3.1.6. Profondità del mescolamento verticale

Nel tardo inverno del 2007 il mescolamento verticale nel Lago Maggiore, che si verifica con l'innesto dei moti convettivi invernali, non ha superato i 100 m di profondità. Si è in un certo senso tornati a quella "consuetudine" che aveva caratterizzato gli anni dal 1971 al 1998 quando questi processi idrodinamici si sono manifestati con continuità solo in modo parziale, senza cioè raggiungere la massima profondità. Tale parzialità è stata confermata non solo dall'analisi dei dati di temperatura e di ossigeno disciolto rilevati lungo la colonna d'acqua nel punto di massima profondità del lago, ma anche attraverso l'applicazione della formulazione del così detto coefficiente M, già diffusamente specificata nei precedenti Rapporti CIP AIS e in Ambrosetti *et al.* [3]: secondo questi ultimi calcoli il mescolamento invernale del 2007 si è limitato alla profondità di 86,8 m.

Le cause di ciò vanno ricercate nella ridotta perdita di calore del lago nei primi mesi dell'anno, di cui si è detto, e nel succedersi di condizioni meteo-climatiche sfavorevoli alla circolazione verticale che hanno caratterizzato i tre mesi invernali: scarsa ventosità, radiazione solare elevata e temperatura dell'aria che, nei suoi valori minimi, è stata la più elevata degli ultimi 50 anni.