

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO

3.1. Limnologia fisica

L'analisi dei principali parametri fisici che hanno caratterizzato le acque del Lago Maggiore durante il 2005 consentirà di verificare, in prosecuzione ed in continuità con quanto svolto negli anni precedenti, gli aspetti più importanti dell'idrodinamica lacustre; in particolar modo sarà possibile accertare la profondità raggiunta dal mescolamento tardo invernale, valutare le conseguenze di eventi idrologici rilevanti e definire i meccanismi di stratificazione e destratificazione termica delle acque. Verranno valutati anche il bilancio termico della massa lacustre su scala mensile, nonché i flussi di calore attraverso le singole superfici isobatimetriche.

Tutte queste problematiche hanno potuto essere affrontate grazie alla disponibilità dei dati, completi nell'intero ciclo stagionale, riguardanti le caratteristiche fisiche e chimico-fisiche delle acque lacustri, con riferimento particolare alle variazioni di temperatura lungo l'intera colonna d'acqua, alla distribuzione verticale della concentrazione di ossigeno disciolto ed alla variazione nel tempo del livello del lago, utilizzato questo ultimo come parametro di sintesi idrologica. Tutto questo complesso di dati è stato considerato anche alla luce delle caratteristiche meteorologiche locali, soprattutto per quanto attiene agli elementi che con maggiore efficacia intervengono nell'idrodinamica lacustre; si veda a questo proposito quanto riportato nel capitolo 2.

3.1.1. Livello del lago

	2005 (m s.l.m.)		1952-2004 (m s.l.m.)	
livello medio annuo	193,47		193,88	
livello minimo	192,59	g.d. Dic	192,38	18 Mar 1956
livello massimo	194,37	1 Gen	197,86	17 Ott 2000
livello medio invernale	194,27		193,91	
livello medio primaverile	193,80		193,86	
livello medio estivo	193,37		193,89	
livello medio autunnale	193,03		193,84	
escursione massima giornaliera	0,26	2-3 Ago	1,89	30 Nov – 1 Dic 2003
escursione massima mensile	0,82	Lug	4,04	Set 1981
escursione massima annua	1,78		5,14	2000

Nel 2005 l'altezza idrometrica del Lago Maggiore (193,47 m s.l.m.) si è mantenuta nettamente al di sotto della media (193,88 m s.l.m.), il che significa che sono venuti a mancare, rispetto alla norma, circa 87 milioni di metri cubi d'acqua. Al di là del fatto che il lago è sottoposto al suo incile a regolazione idraulica e che nel suo bacino imbrifero siano presenti numerosi serbatoi artificiali, il cui rilascio avviene in tempi e con modalità diverse da bacino a bacino comportando alterazioni nell'afflusso e nel deflusso naturale dell'acqua, è evidente che la magra del 2005 è stata determinata essenzialmente dalla scarsità di precipitazioni che hanno interessato tutto il bacino versante. Il ridotto afflusso meteorico del 2005 (1.265 mm a Pallanza) ha lasciato un'impronta molto netta sul regime idrometrico del Maggiore: infatti il valore

dell'ultimo anno rappresenta la quota media più bassa mai raggiunta dal lago dopo quella di 193,41 m s.l.m. del 1965. I dati medi stagionali hanno evidenziato una progressiva diminuzione delle quote idrometriche a partire dalla fine del periodo invernale (+ 36 cm): altezze chiaramente inferiori alla norma si sono avute soprattutto in estate (- 52 cm) e in misura ancora maggiore in autunno (- 81 cm), mentre più contenuto è risultato il divario dalla media in primavera (- 6 cm).

A livello mensile, come risulta dalla figura 3.1.1 dopo i primi due mesi durante i quali il lago si è mantenuto al di sopra della media si è assistito nel secondo semestre ad un drastico e progressivo abbassamento del livello (salvo una leggera ripresa in Ottobre): le medie idrometriche mensili hanno sfiorato i minimi assoluti, da Luglio a Novembre mentre a Dicembre con 192,65 m s.l.m. si è scesi sotto i 192,66 m s.l.m. del 1986 che costituiva il minimo storico precedente per questo mese.

A livello giornaliero il valore più basso si è avuto negli ultimi tre giorni dell'anno con 192,59 m s.l.m. minimo assoluto del mese, ed è stato inferiore negli ultimi 50 anni solo a quello del Dicembre 1965 (192,69 m s.l.m.). Quanto all'escursione annua è risultata di 1,78 m valore molto contenuto in rapporto agli analoghi degli anni precedenti.

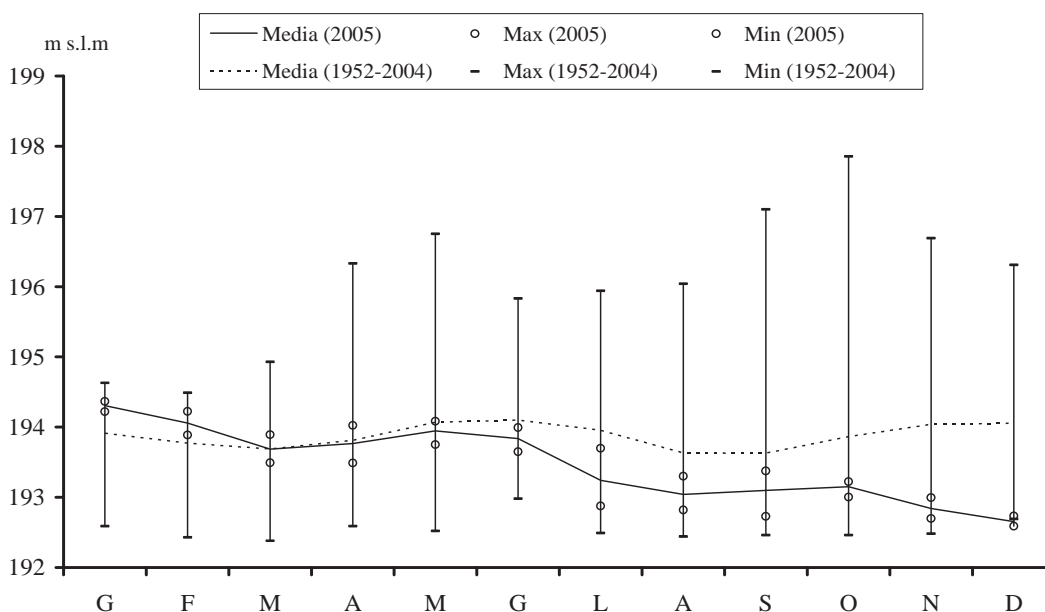


Fig. 3.1.1. Lago Maggiore 2005. Regimi mensili dei livelli, valori estremi di ciascun mese e confronto con il periodo 1952-2004.

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 di rilevamenti di scomparsa del disco di Secchi, eseguiti con cadenza circa decadici. La variazione di detto parametro nell'arco annuale segue, per grandi linee, quello che è il suo andamento normale, essenzialmente legato, come è noto, al ciclo di produzione algale. La massima profondità della scomparsa del disco si è raggiunta il 14 Marzo con 19,5 m (Fig. 3.1.2), una profondità abbastanza

ragguardevole che non si riscontrava dalla metà degli anni ottanta e che è probabilmente legata alla scarsa produzione algale, dovuta alle basse temperature dell'aria di questo mese e allo scarso apporto di materiale in sospensione per la secca invernale dei fiumi. I valori minimi compresi tra 4,5 e 4,8 m si sono avuti in primavera e nella tarda estate probabilmente legati all'aumento dell'intensità produttiva del lago.

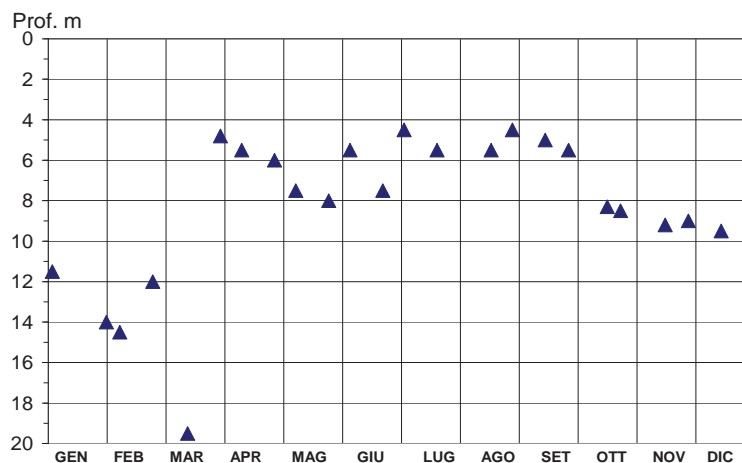


Fig. 3.1.2. Lago Maggiore 2005. Andamento della trasparenza (disco di Secchi).

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 superficiali (0-20 m) nel corso del 2005. Rispetto all'anno precedente si deve rilevare che lo strato superficiale ha subito nel periodo invernale un generale raffreddamento, quantizzabile mediamente in 0,1–0,2 °C. Nei mesi successivi si verifica invece un graduale aumento termico entro quasi tutti i 20 metri di lago: in particolare le isoterme 11°C e 12°C scendono sotto i -20 metri con un mese di anticipo mentre la 13°C che nel 2004 si fermava a -16 m nel corso di questo anno si porta sotto i 20 metri già ad Agosto. Al termine dell'anno l'incremento termico dello strato superficiale è ancora evidente: infatti a Dicembre è ancora presente l'isoterma 10°C totalmente assente nel 2004.

La temperatura più elevata è stata misurata in superficie il 23 Giugno con 24,6°C e l'isoterma 23°C, che superava i -5 m nel 2004, nell'ultimo anno viene sostituita da quella quotata 22°C. Da rilevare infine che da un confronto delle temperature rilevate nell'anno qui considerato rispetto a quelle medie del periodo 1963-2004 si nota, nei primi tre mesi, un lieve raffreddamento entro tutto lo strato superficiale mentre nel resto dell'anno le isolinee mostrano una buona coincidenza, cioè non si riscontrano evidenti differenze.

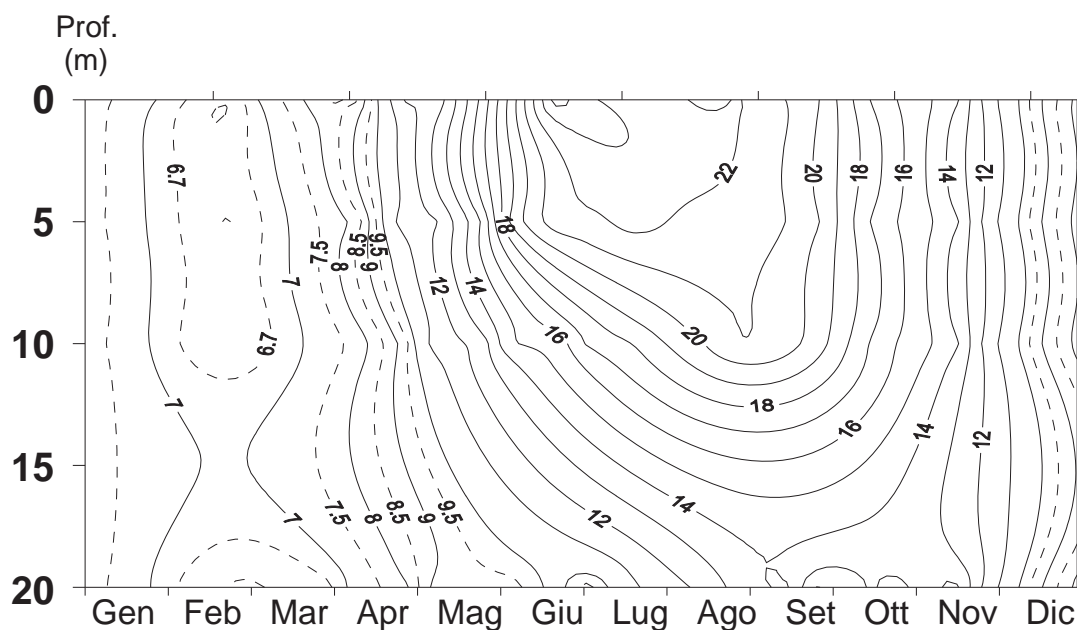


Fig. 3.1.3.1. Lago Maggiore 2005. Isotherme nello strato superficiale (°C).

3.1.3.2. Acque profonde

Nella figura 3.1.3.2 è rappresentato l'andamento dei dati di termica lacustre raccolti durante i sopralluoghi effettuati con frequenza all'incirca decadica nella porzione centrale del lago, al largo di Ghiffa dove il fondale raggiunge i 370 m.

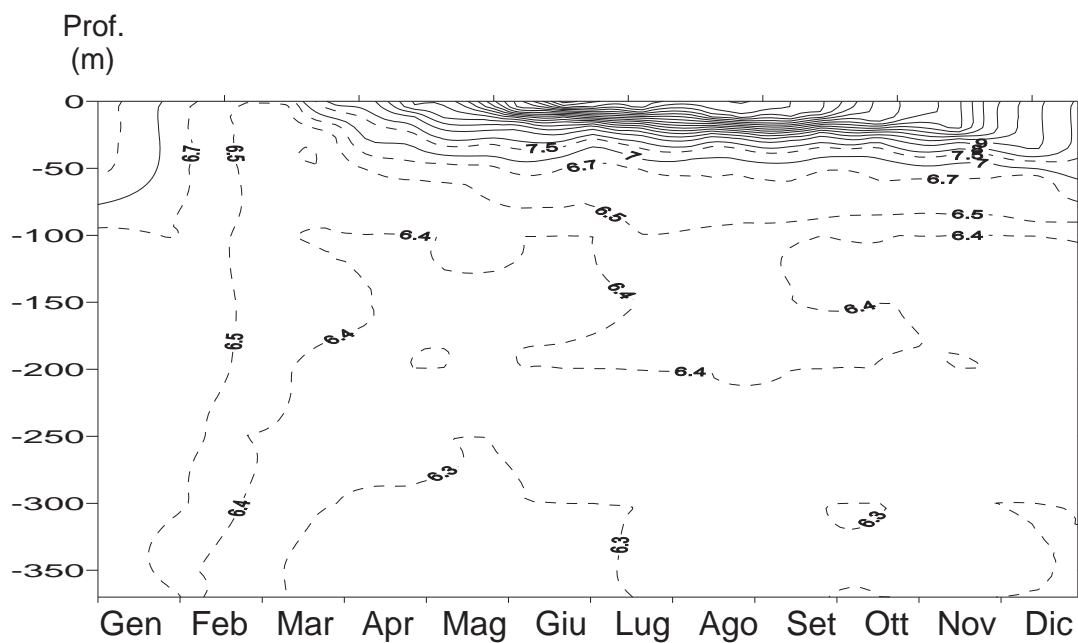


Fig. 3.1.3.2. Lago Maggiore 2005. Isotherme lungo l'intera colonna (°C).

La considerazione più importante che si ricava dall'analisi della figura riguarda il fatto che l'intera massa ipolimnica ha subito nel 2005, rispetto agli anni precedenti, un netto raffreddamento. Infatti l'isoterma 6,5°C, appena accennata sul fondo del lago nel 2004, da Febbraio sino a Dicembre si situa al di sopra di 100 metri di profondità e le isoterme 6,3 e 6,4°C assenti nel 2004, vanno ad occupare un ampio volume di acqua ipolimnica. Da rilevare che il 31 Marzo di questo anno si sono misurati sotto i 300 metri di profondità 6,25°C valori che non si rilevavano dal 1991. Il cospicuo raffreddamento delle acque ipolimniche del lago nel 2005 è chiaramente dovuto, come sottolineato nel capitolo riguardante la meteorologia, alle basse temperature atmosferiche della prima decade di Marzo che hanno contribuito alla discesa di acqua fredda negli strati più profondi del lago (vedi 3.1.6).

3.1.4. Ossigenazione delle acque profonde

Durante le operazioni di campagna condotte 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 presenti nella massa lacustre, valori che qui sono utilizzati esclusivamente come indicatori di processi relativi all'idrodinamica lacustre, in particolare quelli riguardanti il mescolamento verticale tardo invernale.

Le linee di ugual concentrazione di O₂ tracciate per il 2005 (Fig. 3.1.4) pongono in evidenza, al termine dell'inverno limnologico, una notevole ossigenazione d'acqua ipolimnica.

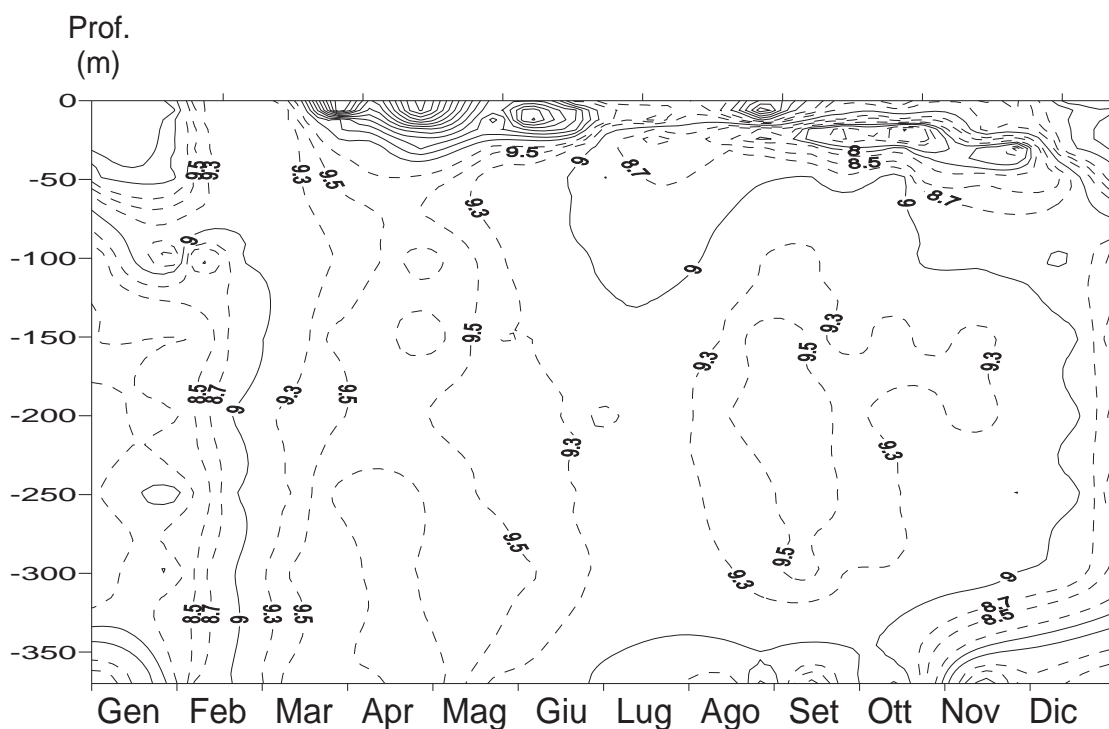


Fig. 3.1.4. Lago Maggiore 2005. Andamento delle concentrazioni di ossigeno disciolto lungo l'intera colonna (mg l^{-1}).

Da Gennaio a circa metà Febbraio sotto i 100 metri di profondità persisteva una concentrazione di ossigeno compresa tra 8,0 e 8,5 mg^l⁻¹ che, nello spazio di poco più di un mese, sino a metà Marzo, ha raggiunto una concentrazione su tutta la colonna di 9,5 mg^l⁻¹ per poi mantenersi all'incirca sugli stessi livelli per tutto l'anno, tranne che sotto i -300 metri nei mesi di Novembre e Dicembre dove si è trovata una concentrazione di O₂ attorno agli 8,5 mg^l⁻¹. La distribuzione di ossigeno nel Lago Maggiore nel 2005 fa supporre l'avvenuto mescolamento completo delle sue acque anche se non accompagnato da una omogeneizzazione termica su tutta la colonna.

3.1.5. Bilancio termico

Il bilancio calorico su base mensile del lago Maggiore nel 2005 è stato determinato, come di consueto, con la metodica usuale [1] già descritta nei precedenti rapporti annuali. Essa elabora i dati meteorologici raccolti nella stazione di Pallanza, nonché quelli limnologici misurati direttamente in lago nel punto di massima profondità attraverso l'equazione generale del bilancio espressa come segue:

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

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 di questi parametri per il 2005 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 ed a R =Q_h / Q_e (rapporto di Bowen) sono riportati, nella tabella che segue.

Tab. 3.1.5. Lago Maggiore 2005. 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	160	22	137	183	-46	-214	111	58	0,52
Feb	207	23	184	173	11	-182	142	51	0,36
Mar	307	28	279	111	168	-43,9	303	-91	-0,30
Apr	340	27	313	80	233	148	148	-63	-0,43
Mag	496	35	461	97	365	330	49	-14	-0,29
Giu	558	39	519	107	412	220	201	-8	-0,04
Lug	530	37	493	120	373	131	257	-15	-0,06
Ago	457	32	425	117	308	82,8	218	7	0,03
Set	306	28	278	104	174	31,7	125	17	0,13
Ott	171	17	154	155	-0,4	-174	100	74	0,74
Nov	125	16	109	197	-88	-159	51	20	0,39
Dic	109	16	92	196	-103	-286	110	73	0,66

Rispetto ai corrispondenti valori degli anni precedenti è possibile verificare come Q_{se} nel mese di Gennaio abbia raggiunto, con $137 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ il, nuovo massimo assoluto del mese per il periodo 1963-2004 superando le $134 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ registrate nel 1968; in Giugno invece con $519 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ si è avvicinato il massimo assoluto del 1976 ($554 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$). I dati degli altri mesi leggermente al di sopra o al di sotto della media rientrano nei valori già registrati in precedenza. Il netto dello scambio di radiazione ad onda lunga presenta un nuovo minimo assoluto in Settembre ($104 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ contro le $108 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 1999), mentre in Novembre si avvicina con $197 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ di molto al valore massimo di $198 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 1978. Come per le quantità energetiche analizzate in precedenza i valori di Q_b nei restanti mesi dell'anno rientrano nei limiti già rilevati in precedenza. Per quanto riguarda Q_N vanno rilevate le quantità di Gennaio, Marzo, Maggio e Settembre che si avvicinano ai massimi assoluti e in particolare quella di Giugno che con $412 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ si colloca subito dopo le $458 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 2001. Per contro al di sotto della media risultano gli ultimi tre mesi dell'anno.

Infine da rilevare alti immagazzinamenti di calore, in Maggio e Settembre (mese solitamente negativo) che sfiorano i massimi assoluti mentre perdite di energia inferiori alla media si sono avute in Novembre soprattutto perchè i processi evaporativi e di conduzione sono risultati in questi mesi alquanto ridotti (Fig. 3.1.5a). Per contro l'energia persa dal lago è risultata alquanto elevata in Febbraio e soprattutto in Marzo, quando con $-44 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ si è quasi raggiunto il minimo assoluto di $-48 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 1986 e evidentemente questo per le condizioni meteorologiche che si sono instaurate sull'areale lacustre in questo mese e di cui si è detto nel capitolo riguardante la meteorologia.

Le perdite di calore (Q_t) sono su valori medio alti in Gennaio, Febbraio e Marzo che hanno portato il contenuto entro tutta la colonna d'acqua alla fine di quest'ultimo mese a $115.131 \text{ cal cm}^{-2}$ valore inferiore di $3.703 \text{ cal cm}^{-2}$ a quello minimo dell'anno precedente ($118.834 \text{ cal cm}^{-2}$).

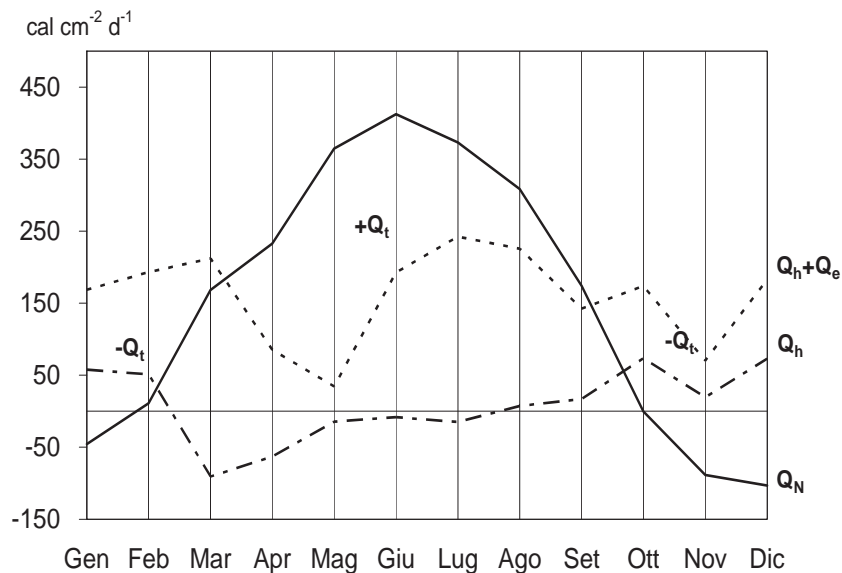


Fig. 3.1.5a. Lago Maggiore 2005. Bilancio termico.

Dopo gli elevati immagazzinamenti in Maggio e quelli ridotti in Luglio e Agosto il contenuto totale entro la massa d'acqua ha raggiunto il suo massimo in Settembre con $143.962 \text{ cal cm}^{-2}$, valore di 540 cal cm^{-2} inferiore al massimo di Agosto del 2004 e di $9.512 \text{ cal cm}^{-2}$ al di sotto di quello assoluto del 1998 ($153.474 \text{ cal cm}^{-2}$). Le perdite nei mesi successivi, piuttosto contenute, hanno portato l'immagazzinamento energetico alla fine di Dicembre a $124.939 \text{ cal cm}^{-2}$ valore che non si verificava dal 1991. Il bilancio termico dell'anno è risultato di $28.832 \text{ cal cm}^{-2}$, quasi identico alla media del periodo 1963-2004.

Il quadro di sintesi dei flussi di calore che hanno attraversato, durante l'anno ciascun piano batimetrico del lago è rappresentato in figura 3.1.5b; l'immagazzinamento è come al solito rappresentato da aree a fondo chiaro, mentre quelle scure sono indice di perdita di calore. Il predominare delle seconde nella prima parte dell'anno evidenzia come al di sotto dei 100 m di profondità sia stata prevalente la perdita di energia, almeno sino alla fine di Aprile facilitando così una quasi completa circolazione della massa d'acqua per moti convettivi. Nella norma invece gli accumuli e le perdite di calore nella seconda parte dell'anno.

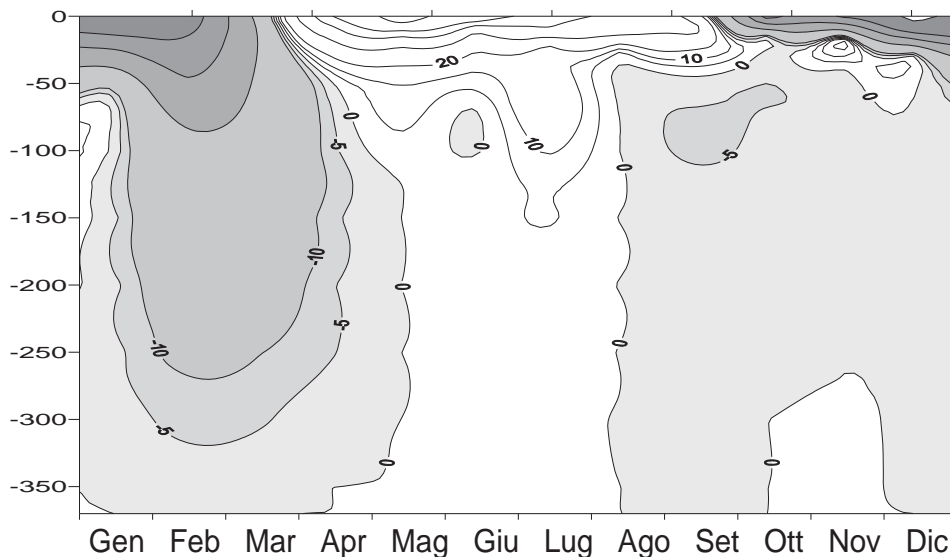


Fig. 3.1.5b. Lago Maggiore 2005. Flussi di calore. Le isolinee sono quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

3.1.6. Profondità di mescolamento

I dati raccolti nel 2005 lungo l'intera colonna d'acqua nei sopralluoghi a Ghiffa hanno consentito di seguire il graduale approfondimento dello strato mescolato sino al termine dell'inverno limnologico. Alla fine di Gennaio aveva raggiunto una profondità di 100 metri: infatti al termine di questo mese esisteva ancora tra i 100 e i 150 metri un gradiente termico di $0,13^\circ\text{C}$ ed una netta differenziazione di concentrazione di O_2 .

Alla fine di Febbraio la stratificazione termica differenziava ancora abbastanza nettamente lo strato sino a 200 m ($6,48^\circ\text{C}$) da quello sottostante ($6,40^\circ\text{C}$) mentre la concentrazione di ossigeno lungo la colonna presentava solo una leggera diminuzione nella sua parte centrale.

In seguito alle rigide temperature d'inizio Marzo, di cui si è detto nel capitolo riguardante la meteorologia, lo strato mescolato si è ulteriormente approfondito raggiungendo, secondo la distribuzione termica verticale, una profondità di almeno 250 m. Le concentrazioni di ossigeno rilevate il 14 e il 31 Marzo danno invece una quasi completa omogeneizzazione entro tutta la colonna verticale con un lieve aumento al di sotto dei 250 m di profondità.

A nostro avviso non si è trattato di un circolazione verticale per moti convettivi di tutta la massa lacustre ma è presumibile che acqua fredda, di provenienza fluviale o litorale spinta dal vento sia scesa nella parte più depressa del lago durante la prima decade di Marzo ed abbia ossigenato gli strati più profondi anche perché alla termine di questo mese troviamo tra 300 e 370 m temperature di 6,25°C nettamente differenziate da quelle soprastanti.

Le modalità di approfondimento dello strato mescolato è confermato anche dai valori di stabilità del lago, che rappresenta la quantità di energia necessaria per omogeneizzare l'intera massa d'acqua. Qui è calcolata secondo Walker [2] e non viene considerata la pressione idrostatica che aumenterebbe ulteriormente i suoi valori per effetto della profondità. Il valore totale entro l'intera colonna il 31 Gennaio è di 668,3 Jm⁻², il 24 Febbraio 171,2 Jm⁻² e risale il 14 Marzo a 212,8 Jm⁻², valori che stanno ad indicare la non completa isotermità lungo l'intera colonna, in concomitanza della quale il valore di stabilità totale sarebbe zero.

Dall'analisi delle curve verticali di figura 3.1.6 ove sono rappresentate le stabilità metro per metro dalla superficie al fondo del lago, appare quanto segue: nella prima curva, quella di Gennaio, è presente una resistenza a -100 metri che si oppone ai moti convettivi verticali, mentre in quella di Febbraio lo stesso ostacolo lo troviamo a -200 metri. La curva di fine Marzo mostra invece che il mescolamento ha raggiunto almeno 250 metri mentre al di sotto dei 300 m si osserva una diminuzione di stabilità dovuto all'inserimento di acqua più fredda.

L'andamento del processo di destratificazione nel 2005 è confermato, sino alla fine di Febbraio anche dall'applicazione della formulazione del coefficiente M [3], che tiene conto delle condizioni meteorologiche che si sono riscontrate nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio, con riguardo particolare ad alcune variabili atmosferiche quali temperatura, radiazione solare e vento: il modello indica che alla fine di Febbraio lo strato mescolato ha raggiunto una profondità di 180 m.

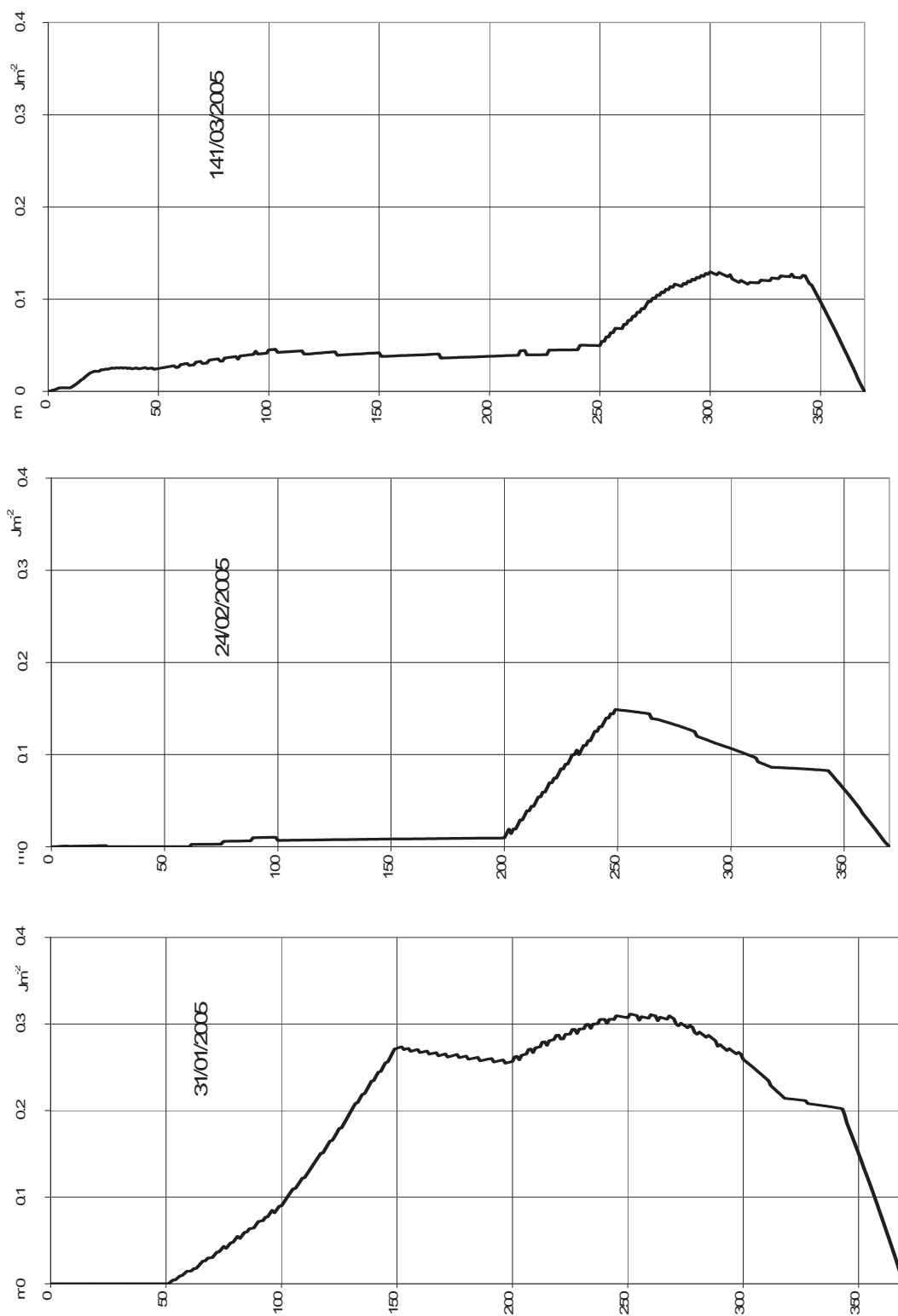


Fig. 3.1.6. Curve verticali della stabilità ($J m^{-2}$) del lago calcolate metro per metro dalla superficie al fondo del lago.