

**Commissione Internazionale  
per la protezione delle acque italo-svizzere**

**Ricerche  
sull'evoluzione del Lago di Lugano**

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003-2007

**Campagna 2007  
e  
Rapporto quinquennale 2003-2007**

Ufficio Protezione e Depurazione Acque  
Sezione Protezione Aria, Acqua e Suolo  
Dipartimento del Territorio - Cantone Ticino

I dati riportati nel presente volume possono essere utilizzati purchè se ne citi la fonte come segue:

**Ufficio Protezione e Depurazione Acque (UPDA), 2008:** *“Ricerche sull’evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2007 e rapporto quinquennale 2003-2007.”*  
Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 114 pp.

## **RIASSUNTO**

Questo volume presenta i dati limnologici sul Lago di Lugano raccolti dall'Ufficio Protezione e Depurazione Acque del Cantone Ticino durante la campagna 2007, nell'ambito dell'attività di ricerca della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere svolta a partire dal 1978. Trattandosi dell'ultimo rapporto del quinquennio 2003-2007 è stato inoltre presentato e discusso l'andamento limnologico del lago sul lungo periodo. Le informazioni ottenute nel corso del 2007 permettono di aggiornare le serie storiche disponibili per i principali parametri limnologici e di descrivere le tendenze evolutive del Lago in relazione agli interventi di collettamento e depurazione sinora realizzati.

Durante l'anno è proseguita l'analisi dettagliata dei carichi esterni di fosforo ai due bacini principali, in modo da verificare in quale misura le opere di risanamento contribuiscano al recupero del corpo idrico. Rispetto al quinquennio precedente (1998-2002) gli apporti risultano in diminuzione del 30% nel bacino nord e del 25% in quello sud. Il Bolletta, con  $7.4 \text{ t P a}^{-1}$ , è il corso d'acqua che ha convogliato a lago il carico maggiore di fosforo totale e che presenta il peggiore apporto areale per la maggioranza dei parametri antropici.

Il bacino sud ha confermato una leggera crescita del tenore di fosforo totale con un valore medio annuo sulla colonna di  $46 \text{ mg P m}^{-3}$ . Nel bacino nord la destratificazione dell'inverno 2004-2005 aveva ridotto la concentrazione media annua a  $115 \text{ mg P m}^{-3}$ ; dopo il successivo, completo, rimescolamento dell'inverno 2005-2006 i valori sono nuovamente calati per assestarsi nel 2007 a  $88 \text{ mg P m}^{-3}$ . In questo bacino lo stato d'ossigenazione delle acque profonde è peggiorato in seguito ad un inverno 2006-2007 molto mite, che ha portato il limite anossico a risalire fino a 60 m a fine 2007. Tuttavia, dal 2004 al 2007 nel bacino nord il saldo d'ossigeno complessivo è diventato positivo, con un aumento di oltre  $14'000 \text{ t O}_2$ . Nel medesimo periodo la temperatura media dell'ipolimnio profondo (100 m – fondo) è diminuita di  $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ , anche se nell'ultimo biennio si sta assistendo ad un nuovo incremento con un'intensità superiore a quella precedente le due circolazioni.

A livello del popolamento planctonico, il quadro del 2007 è caratterizzato da un ulteriore ribasso dei valori di biomassa fitoplanctonica nel bacino sud, dove si sono toccati i minimi dell'intero periodo d'indagine, ed una stabilizzazione degli stessi nel bacino nord, dove all'inizio del periodo vegetativo il tenore dei

nutrienti algali è risultato ancora molto elevato. Per quanto riguarda lo zooplancton, si registra un leggero calo della componente erbivora in tutto il lago, ed un incremento di quella carnivora nelle stazioni del bacino sud.

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso del 2007 si può affermare che il Lago di Lugano, nonostante i miglioramenti mostrati, si trova tuttora in uno stato d'elevata eutrofia, con un tenore di sostanze nutrienti in progressiva e costante evoluzione. Il miglioramento qualitativo delle acque lacustri, lentamente avviato nel corso degli anni '80 grazie al progressivo completamento delle misure di risanamento, si è parzialmente stabilizzato nel corso del decennio successivo: lo stato limnologico attuale è ancora caratterizzato da una certa variabilità e instabilità, pur risultando sicuramente più accettabile e fruibile rispetto al periodo di massima eutrofizzazione (negli anni '70-'80). L'eccezionale evento di destratificazione delle acque del bacino nord, occorso nel corso dell'inverno 2004-2005 ed il successivo completo rimescolamento del 2005-2006 hanno segnato due tappe decisive sulla via del completo recupero del lago, soprattutto in considerazione degli effetti sullo stato d'ossigenazione e sul tenore di fosforo delle acque profonde.

In questa delicata fase del processo di risanamento risulta quanto mai opportuno adottare ogni ulteriore misura volta a ridurre il carico esterno, monitorandone gli effetti sull'ecosistema lacustre, tenuto conto anche della mutata disponibilità e distribuzione dei nutrienti all'interno del corpo lacustre.

## **SUMMARY**

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during 2007 by the Ufficio Protezione e Depurazione Acque of Cantone Ticino, in the frame of the research program promoted since 1978 by the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. As this is the last year of the five-year period 2003-2007 the limnological trend over the long period has been presented and discussed. Information obtained in 2007 contributed to update the long term records available for the different limnological parameters and to describe the trend of lake trophic evolution with respect to the recovery programme realised until now.

During the last year emphasis was given to the detailed analysis of phosphorus loads from the main sub-basins, in order to detect to what extent already realised sewage treatment plants contributed to improve the lake situation. With respect to the last five-year period (1998-2002) phosphorus load has decreased of 30 % in northern basin and of 25 % in the southern. River Bolletta has conveyed to the lake the largest total phosphorus load:  $7.4 \text{ t P a}^{-1}$  and has shown the worst areal load for most of the anthropogenic parameters. In southern basin total phosphorous concentration has slightly increased to  $46 \text{ mg P m}^{-3}$ . In the northern one 2004-2005 winter destratification has reduced phosphorus concentration down to  $115 \text{ mg P m}^{-3}$ . After the complete overturn of winter 2005-2006 total phosphorus has decreased again to the current  $88 \text{ mg P m}^{-3}$ . In this latter basin the oxygenation state of hypolimnic water has worsened owing to the extremely mild 2006-2007 winter, which contributed to rise the anoxia threshold up to 60 m. Nevertheless, from 2004 to 2007 in northern basin the oxygen balance has become positive, with a net increase of  $14'000 \text{ t O}_2$ . During the same period the mean temperature of the deep hypolimnion (100 m - bottom) has decreased of  $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ , although in the last biennium values have begun to rise again with higher intensity.

The planktonic community has shown during 2007 a further decrease of phytoplankton biomass in southern basin, where the lowest values of the whole investigation period were recorded. On the contrary in northern basin, where nutrients concentrations remain still very high, algae biomass has stabilised. With respect to zooplankton a slight decrease of the herbivorous component has been observed in both basins, whereas the carnivorous species have increased in both stations of the southern basin.

Considering the results obtained in 2007 it can be affirmed that, notwithstanding the observed improvement, Lake Lugano is still highly eutrophic, with nutrient

concentrations in progressive and steady development. The qualitative improvement of its waters, started in the eighties as a consequence of the recovery measures undertaken, has partially stabilised during the successive decade: present limnological state is still characterised by a certain degree of variability and instability, although more acceptable and usable with respect to the period of highest eutrophication (the seventies and the eighties).

The observed destratification of the northern basin occurred in winter 2004-2005 and its following complete mixing represent two important steps toward the complete recovery of Lake Lugano, on account of their effects on oxygenation state and phosphorus concentration in deep hypolimnion.

In this delicate phase of the recovery process it is essential to evaluate all further measures to reduce the residual external load, strictly monitoring the limnological trend of the lake ecosystem, also considering the changes in nutrients availability and distribution within the water body.

## INDICE

	pagina
1. <u>INTRODUZIONE</u>	9
1.1. Prefazione	9
1.2. Simbologia e unità di misura	10
1.3. Caratteristiche morfometriche e ideologiche del Lago di Lugano	11
1.4. Ubicazione delle stazioni di prelievo e misura	12
2. <u>CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'AREALE LACUSTRE</u>	15
2.1. Radiazione solare globale	15
2.2. Temperatura atmosferica	16
2.3. Precipitazioni	16
2.4. Intensità e direzione del vento	16
3. <u>CARATTERISTICHE IDROLOGICHE</u>	21
3.1. Regime dei corsi d'acqua	21
3.2. Regime del livello lacustre	21
4. <u>APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI</u>	23
4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari	23
4.2. Carichi chimici	33
4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto	37
5. <u>CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E CHIMICO- FISICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	39
5.1. Trasparenza	39
5.2. Torbidità	39
5.3. Temperatura dell'acqua	40
5.4. Ossigeno disciolto	40
5.5. Valore pH ed alcalinità	40
5.6. Conducibilità elettrica specifica	41
5.7. Composti del fosforo	41
5.8. Composti dell'azoto	42
5.9. Silice	43
5.10. Metano	43
5.11. Ferro disciolto	44
5.12. Manganese disciolto	44
6. <u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	63
6.1. Struttura dei popolamenti	63
6.2. Variazioni della biomassa	64
6.3. Clorofilla	65
6.4. Produzione primaria	67
7. <u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	77
7.1. Densità dei popolamenti	77
7.2. Biomassa zooplanctonica	78

8.	<u>ANDAMENTO LIMNOLOGICO SUL LUNGO PERIODO</u>	83
8.1.	Meteorologia	83
8.2.	Andamento termico nei fiumi e nel lago	84
8.3.	Qualità chimica dei corsi d'acqua	85
8.4.	Stato d'ossigenazione delle acque lacustri	85
8.5.	Concentrazione del fosforo totale nel lago	86
8.6.	Concentrazione dei composti azotati nel lago	87
8.7.	Modello di bilancio	88
8.8.	Popolamento planctonico delle acque lacustri	89
8.9.	Produzione primaria e strato trofogeno delle acque lacustri	90
9.	<u>CONCLUSIONI</u>	107
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	110
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	113



## 1. INTRODUZIONE

### 1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante la campagna d'indagine del 2007, anno che conclude il sesto quinquennio di ricerche limnologiche sul Lago di Lugano, promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

Questo volume presenta gli elementi indispensabili per descrivere l'andamento limnologico del Lago di Lugano, che, a motivo della sua particolare configurazione, risulta suddiviso in tre corpi d'acqua ben distinti (Fig. 1.2.) ognuno con caratteristiche morfologiche, idrologiche, fisiche, chimiche e biologiche proprie. Questa situazione ha determinato, nel corso degli anni, la necessità di approntare strategie di risanamento diverse per i singoli bacini lacustri. Attualmente le indagini si concentrano sui due bacini principali (bacino nord e bacino sud), nei quali vengono mantenuti, da oltre 25 anni, tre punti d'osservazione e di misura.

Nell'ottavo capitolo si fa riferimento all'andamento dei quinquenni precedenti come base di confronto per i rilevamenti effettuati nel 2007. Questo fatto, oltre a conferire un fondamento più solido alla discussione dei dati, permette di evidenziare il forte influsso esercitato dai fattori meteorologici e climatici sui parametri biologici nelle attuali condizioni trofiche del lago, nonché gli effetti positivi legati alla riduzione del carico esterno di nutrienti. I dati pregressi sono stati pubblicati nei relativi rapporti annuali, editi dalla Commissione [1+2].

Particolare cura è stata prestata nel garantire i criteri di qualità e di continuità, sia per quanto riguarda la gestione dell'attività di campagna, sia nell'ambito della produzione dei dati analitici, sia nella fase di elaborazione ed interpretazione dei risultati. L'ampio patrimonio di conoscenze limnologiche a tutt'oggi disponibile su questo corpo idrico, costituito da una delle serie temporali d'indagine sui laghi profondi sudalpini fra le più lunghe e complete, rappresenta un'occasione privilegiata per affrontare anche in futuro la gestione delle problematiche ambientali dell'ecosistema lacustre.

La prosecuzione dell'attività di monitoraggio limnologico secondo le attuali direttive dalla Commissione risulta quindi indispensabile per seguire in modo appropriato l'evoluzione dei carichi eutrofizzanti (esterni ed interni) nei singoli sottobacini, e per valutarne l'effetto sulla biocenosi lacustre, che attualmente si presenta ancora in condizioni di elevata instabilità.

Tutti i risultati analitici relativi alla campagna di prelievo e di misure del 2007 sono depositati presso la Segreteria della Commissione.

## 1.2. Simbologia e unità di misura

### CHIMICA E FISICA

prof. :	profondità	[m]
m s.l.m. :	metri sul livello del mare	[m]
h :	ora	[h]
d :	giorno	[d]
m :	mese	[-]
a :	anno	[a]
Q :	portata	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
T :	temperatura	[°C]
torb :	torbidità	[FTU]
trasm :	trasmittanza luminosa	[%]
$\chi$ :	conducibilità elettrica specifica a 20°C	[ $\mu$ S cm <sup>-1</sup> ]
O <sub>2</sub> :	ossigeno disciolto	[g m <sup>-3</sup> ]
BOD <sub>5</sub> :	richiesta biochimica d'ossigeno	[g m <sup>-3</sup> ]
pH :	valore pH	[-]
ALC :	alcalinità totale	[eq m <sup>-3</sup> ]
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> :	alcalinità da carbonati	[eq m <sup>-3</sup> ]
C <sub>in</sub> :	carbonio inorganico totale	[g m <sup>-3</sup> ]
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P :	fosforo reattivo disciolto	[mg m <sup>-3</sup> ]
PT :	fosforo totale	[mg m <sup>-3</sup> ]
SiO <sub>2</sub> -Si :	silicati reattivi	[g m <sup>-3</sup> ]
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N :	azoto nitroso	[mg m <sup>-3</sup> ]
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N :	azoto nitrico	[g m <sup>-3</sup> ]
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N :	azoto ammoniacale	[g m <sup>-3</sup> ]
NT :	azoto totale	[g m <sup>-3</sup> ]
Fe <sup>2+</sup> :	ferro disciolto	[mg m <sup>-3</sup> ]
S <sup>2-</sup> :	solfo disciolto	[mg m <sup>-3</sup> ]
Mn <sup>2+</sup> :	manganese disciolto	[mg m <sup>-3</sup> ]
CH <sub>4</sub> :	metano	[g m <sup>-3</sup> ]
DOC :	carbonio organico disciolto	[g m <sup>-3</sup> ]
POC :	carbonio organico particellato	[g m <sup>-3</sup> ]

### FITOPLANCTON

	densità	[cellule l <sup>-1</sup> ]
	biomassa (peso fresco)	[g m <sup>-3</sup> ]
	biomassa (peso secco)	[g m <sup>-2</sup> ]
a :	clorofilla <i>a</i>	[mg m <sup>-3</sup> ]
	produttività primaria sul volume	[mg C m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> ]
	produzione primaria areale	[mg C m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]
	produzione giornaliera	[g C m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]
	produzione annua	[g C m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ]
PAR :	radiazione fotosintetica (400-700 nm)	[ $\mu$ E m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ] *)
	radiazione fotosintetica giornaliera	[E m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ] *)
$\epsilon$ :	coefficiente d'estinzione della luce nello strato trofogeno	[m <sup>-1</sup> ]
	trasparenza	[m]

### ZOOPLANCTON

	densità dei crostacei	[individui m <sup>-2</sup> ]
	biomassa dei crostacei (peso secco)	[g m <sup>-2</sup> ]

### STATISTICA

%ile:	percentile
d.s:	deviazione standard

### ABBREVIAZIONI

BN:	bacino nord
BS:	bacino sud

\*) 1E (Einstein)  $\equiv$  1mole di fotoni PAR s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>; 4.6  $\mu$ mol s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> (PAR) = 1 W m<sup>-2</sup> (PAR)

1.3. Caratteristiche morfometriche e idrologiche del Lago di Lugano

BACINO:		NORD	SUD	P. TRESA
Area bacino imbrifero	km <sup>2</sup>	269.7	290.3	5.6
Area bacino lacustre	km <sup>2</sup>	27.5	20.3	1.1
Area bacini a monte	km <sup>2</sup>	-	297.2	607.8
Area totale bacino imbrifero	km <sup>2</sup>	297.2	607.8	614.5
Volume bacino lacustre	km <sup>3</sup>	4.69	1.14	0.03
Deflusso annuo emissario	km <sup>3</sup>	0.38	0.77	0.78
Tempo teorico di ricambio	anni	12.3	1.4	0.04
Profondità media	m	171	55	33
Profondità massima	m	288	95	50

AREE E VOLUMI DEI BACINI LACUSTRI PRINCIPALI					
NORD			SUD		
Profondità m	area km <sup>2</sup>	volume km <sup>3</sup>	profondità m	area km <sup>2</sup>	volume km <sup>3</sup>
0	27.5		0	20.3	
0-5		0.136	0-5		0.0979
5	27.0		5	19.2	
5-10		0.270	5-10		0.1928
10	26.6		10	18.7	
10-15		0.402	10-15		0.2848
15	26.2		15	18.1	
15-20		0.532	15-20		0.3737
20	25.8		20	17.5	
20-30		0.786	20-30		0.5432
30	25.1		30	16.4	
30-50		1.273	30-50		0.8482
50	23.6		50	14.1	
50-100		2.353	50-70		0.9302
100	19.7		70	7.7	
100-150		3.244	70-93		1.1366
150	16.0		93	1.2	
150-200		3.963			
200	12.8				
200-250		4.476			
250	7.9				
250-286		4.682			
286	1.9				

POPOLAZIONE INSEDIATA NEL BACINO DEL LAGO DI LUGANO *)						
	Bacino sud		Bacino nord		Totale lago	
	abitanti equivalenti	%	abitanti equivalenti	%	abitanti equivalenti	%
Lombardia (I)	40'951	21	64'023	85	104'974	39
Ticino (CH)	149'877	79	11'208	15	161'085	61
TOTALE	190'828	72	75'231	28	266'059	100

\*) Si evidenzia espressamente che la città di Lugano, naturalmente gravante sul bacino nord, recapita i suoi scarichi nel bacino sud.

#### 1.4. Ubicazione delle stazioni di prelievo e misura

I punti di prelievo sui corsi d'acqua (Fig. 1.1.) e nei bacini lacustri (Fig. 1.2.) sono rimasti invariati rispetto a quelli stabiliti all'inizio delle ricerche sul Lago di Lugano. Nel frattempo sono state potenziate le stazioni di misura idrologiche e sono stati installati alcuni impianti per il prelievo automatico dei campioni d'acqua sui fiumi più importanti (Veduggio, Cassarate, Laveggio e Tresa).

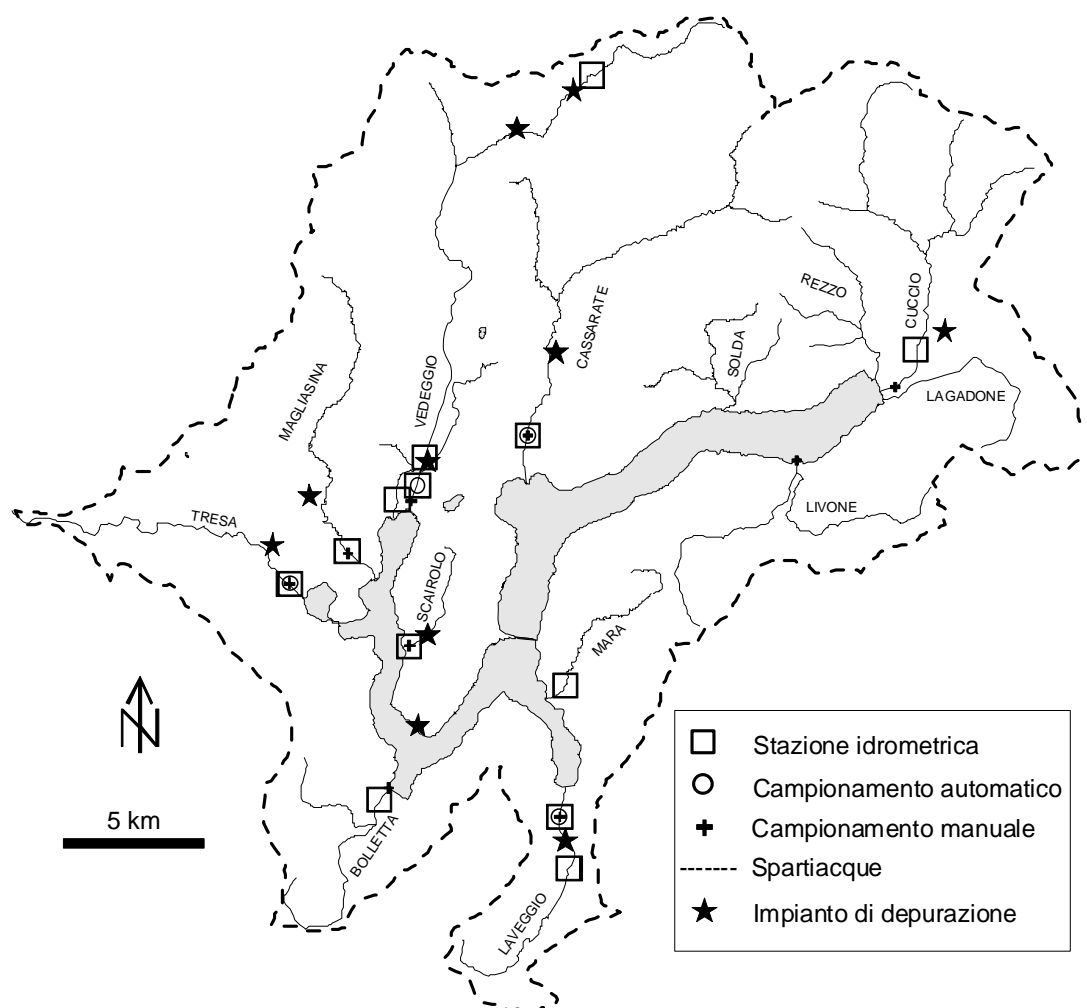


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

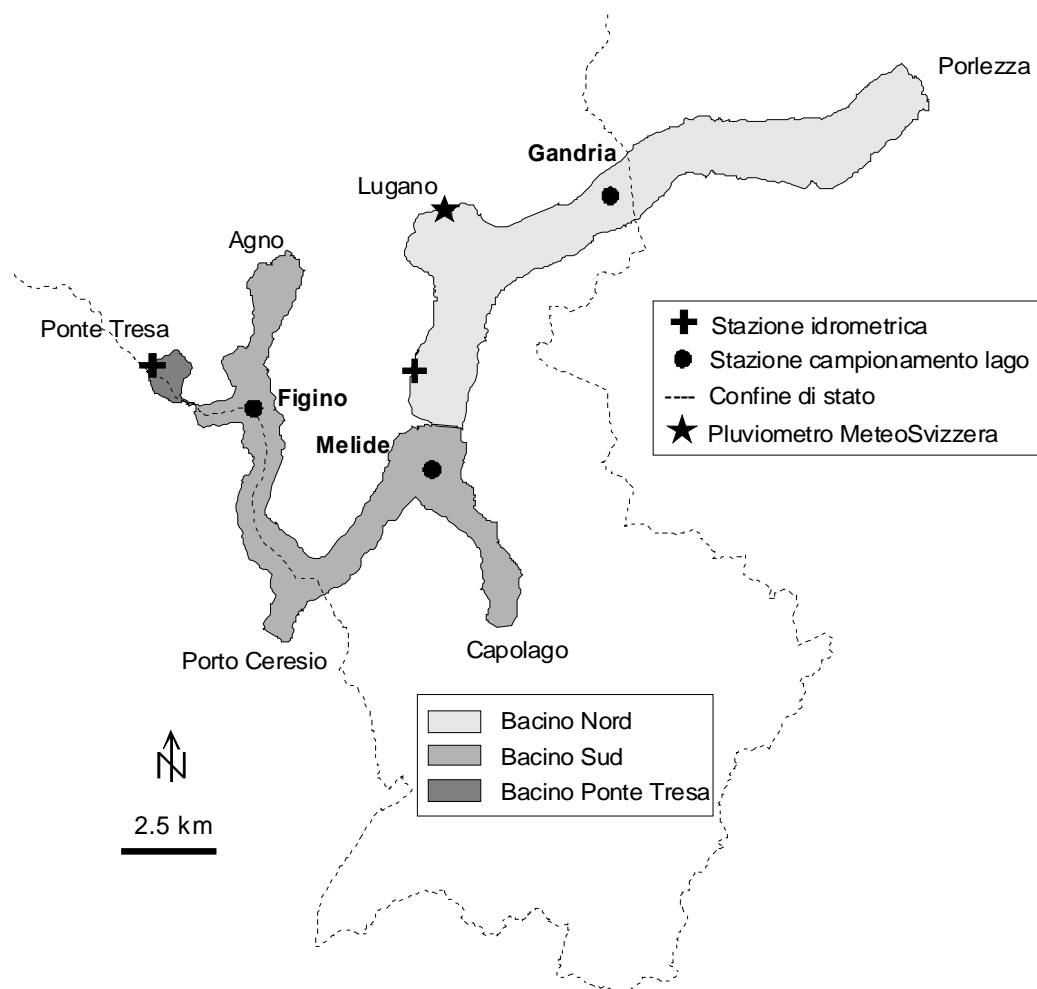


Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

STAZIONE	Longitudine	Latitudine	Longitudine	Latitudine
	CH		WGS84	
GANDRIA	722 219	96 234	9° 0' 56.35"	46° 0' 23.77"
MELIDE	717 735	88 919	8° 57' 24.44"	45° 56' 29.79"
FIGINO	712 855	90 653	8° 53' 39.45"	45° 57' 28.93"



## 2. CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'AREALE LACUSTRE

I dati utilizzati per la descrizione dell'andamento meteorologico del bacino del Lago di Lugano sono forniti dall'Ufficio Federale di Meteorologia e Climatologia MeteoSvizzera ([www.meteosvizzera.ch](http://www.meteosvizzera.ch)), e vengono registrati presso la Biblioteca Cantonale di Lugano. In particolare sono stati presi in considerazione quei parametri che risultano più strettamente legati alle vicende limnologiche del corpo lacustre, ed in particolare:

- la radiazione solare globale,
- la temperatura atmosferica,
- le precipitazioni,
- l'intensità e la direzione dei venti.

I dati relativi all'andamento mensile del 2007 sono stati confrontati, come di consueto, con i valori del periodo climatologico di riferimento 1961-90 [3] per quanto concerne i parametri della temperatura atmosferica e delle precipitazioni, mentre per la radiazione solare il confronto viene effettuato con la media del periodo 1980-2005. Per quanto riguarda l'andamento dell'intensità e della direzione dei venti si propone invece il confronto con il ventennio 1986-2005, in quanto le misurazioni degli anni precedenti hanno evidenziato alcuni errori.

A livello generale, al sud delle Alpi, il 2007 è risultato tra i più caldi dall'inizio delle misurazioni sistematiche (1864), situandosi al secondo posto dietro al 2003. Considerando l'apporto dell'autunno 2006, a metà anno si è potuto archiviare il periodo di 12 mesi consecutivi (giugno 2006-maggio 2007) nettamente più caldo di ogni precedente primato. Le precipitazioni sono risultate tra le 10 più scarse della statistica, ed il soleggiamento abbondante [4].

### 2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2007	5073 MJ m <sup>-2</sup>
Radiazione - media periodo 1980-2005	4328 MJ m <sup>-2</sup>

Il dato annuo della radiazione solare ha fatto registrare nel 2007 il massimo dell'intero periodo d'osservazione, con un incremento rispetto alla media di ben 745 MJ m<sup>-2</sup> (+ 17%). Come illustrato dalla grafica dell'andamento dei valori (Fig. 2.1), tutti i mesi, tranne febbraio, hanno presentato valori superiori alla media: i maggiori incrementi si sono registrati in marzo e luglio, mentre febbraio ed agosto hanno presentato valori molto vicini alla media. Sotto quest'aspetto, pertanto, anche quest'anno, come nel 2006, durante l'intero periodo d'attività vegetativa (marzo-ottobre) si sono verificate favorevoli condizioni di crescita per il fitoplancton.

## 2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2007	13.6 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	12.0 °C

La temperatura media annua del 2007 a Lugano ha raggiunto il secondo valore più elevato dell'intero periodo d'osservazione, inferiore unicamente a quello rilevato nel 2003. Fondamentale è risultato il contributo del primo semestre dell'anno, che ha fatto rilevare notevoli incrementi termici, compresi tra +1°C (giugno) e +4.4°C (aprile). Gli unici mesi che presentano un leggero deficit sono stati agosto (-0.3°C) e settembre (-0.6°C). Da sottolineare il fatto che, come per l'anno precedente, le temperature miti degli ultimi mesi dell'anno hanno rallentato la fase di raffreddamento delle acque lacustri, indebolendo, di conseguenza, il processo di circolazione invernale delle acque.

Il valore di temperatura più elevata è stata raggiunta il 19 di luglio (31.8°C), mentre quello più basso è stato misurato il 18 dicembre (-2.6°C).

## 2.3. Precipitazioni

Precipitazioni - totale 2007	1143 mm
Precipitazioni - media periodo 1961-1990	1606 mm

Con il 2007 ammontano a 5 gli anni in cui il totale annuo delle precipitazioni si è mantenuto nettamente al di sotto della norma. Di fatto solo due valori mensili sono risultati superiori alla media (giugno: +77 mm; agosto: 1135 mm), mentre tutti i rimanenti hanno presentato deficit compresi tra -19 mm (gennaio) e -145 mm (aprile).

La distribuzione cronologica delle piogge ha presentato un andamento molto irregolare, concentrandosi su due periodi (23 maggio–22 giugno; 7-23 agosto), durante i quale sono stati raccolti rispettivamente un terzo ed un quarto del totale annuo. La punta massima giornaliera si è avuta il 21 agosto, con 90.4 mm.

## 2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2007	5.82 km h <sup>-1</sup>
Intensità dei venti - media periodo 1986-2005	6.53 km h <sup>-1</sup>

L'intensità dei venti nel 2007 è risultata complessivamente modesta, con un valore annuo tra i più bassi del periodo di confronto, molto simile all'anno precedente. L'andamento dei valori mensili (Fig. 2.4.1) mette in evidenza un'attività eolica elevata unicamente nel mese di marzo, tradizionalmente molto ventoso, con un incremento di 0.6 km h<sup>-1</sup> rispetto alla media. In questo mese hanno predominato le correnti da nord, che hanno fatto registrare i valori giornalieri più elevati dell'anno (20 marzo: 24 km/h<sup>-1</sup>; 21 marzo: 22 km/h<sup>-1</sup>) anche se con raffiche relativamente contenute (65-71 km/h<sup>-1</sup>). Un'intensità



superiore alla norma si riscontra inoltre unicamente nei mesi di settembre (+0.4 km h<sup>-1</sup>) e novembre (+0.2 km h<sup>-1</sup>), mentre particolarmente calmi sono risultati febbraio (-2 km h<sup>-1</sup>), con giugno e agosto (-1.6 km h<sup>-1</sup>): proprio in quest'ultimo mese, a fronte di una media giornaliera decisamente bassa (4.6 km/h<sup>-1</sup>), il giorno 20 è stata comunque misurata la punta massima annua (91 km/h<sup>-1</sup>) in occasione dell'improvvisa irruzione di un fronte temporalesco da SSW (tra le 17:00 e le 18:00). La seconda punta annua (NNE, 84 km/h<sup>-1</sup>) è stata invece registrata il 18 settembre, durante una giornata caratterizzata da correnti favoniche e da un'intensità media di vento nettamente più elevata (14.3 km/h<sup>-1</sup>).

Riguardo all'andamento della direzione di provenienza dei venti, sempre nella figura 2.4.a è riportato il valore medio mensile, costituito dall'angolo (0-360°) risultante dalla somma vettoriale delle singole osservazioni. Per facilitare la lettura del valore angolare, sulla scala delle ordinate è riportata la sigla del settore della rosa dei venti ad esso corrispondente.

Durante il 2007 la **direzione media mensile** del vento si è situata per 8 mesi attorno ai settori N/NW (gennaio, giugno-dicembre), e per i restanti 4 attorno al settore W (febbraio-maggio): il fatto che durante i mesi primaverili la distribuzione si discosti dal quadro dei rilevamenti pluriennali, caratterizzato da medie mensili orientate sul settore E/NE, sembra da mettere in relazione con il marcato incremento delle correnti dal settore sud osservato in questo periodo. La **distribuzione annua** delle percentuali di frequenza della direzione dei venti, suddivisa negli otto settori principali del quadrante, è riportata nella figura 2.4.2. Il grafico del 2007 presenta un allineamento ancor più marcato lungo l'asse nord-sud rispetto agli anni precedenti, dovuto alla crescita del settore S ed al progressivo ravvicinamento dei valori da NW, W e SW. Si conferma così, anche quest'anno, lo spostamento dell'orientamento delle direzioni prevalenti, che fino al 2001, presentava un orientamento lungo la direttrice NW-SE. Valutazioni più ponderate riguardo ad un reale cambiamento del regime di direzione dei venti nel corso degli ultimi anni potranno comunque essere formulate unicamente sulla base di un più ampio periodo di confronto.

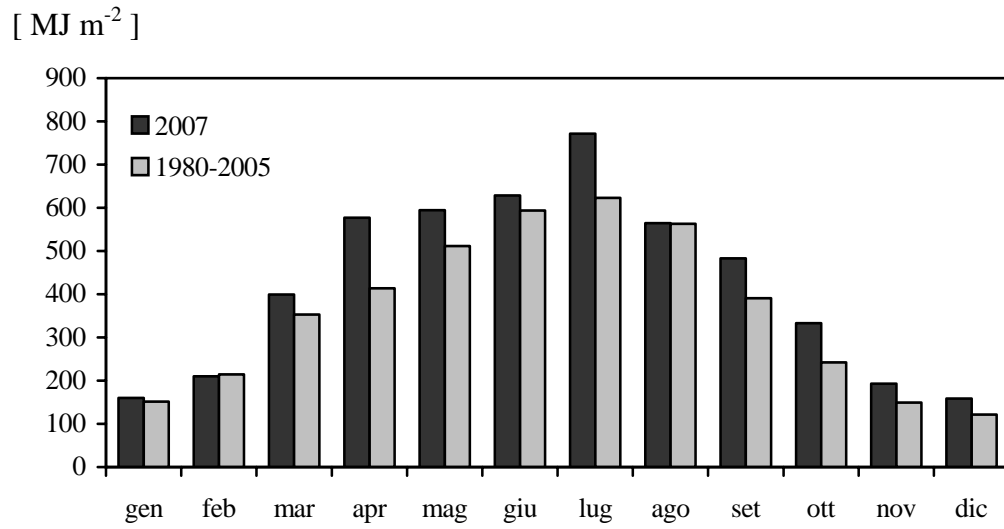


Fig. 2.1 Regime mensile della radiazione globale rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

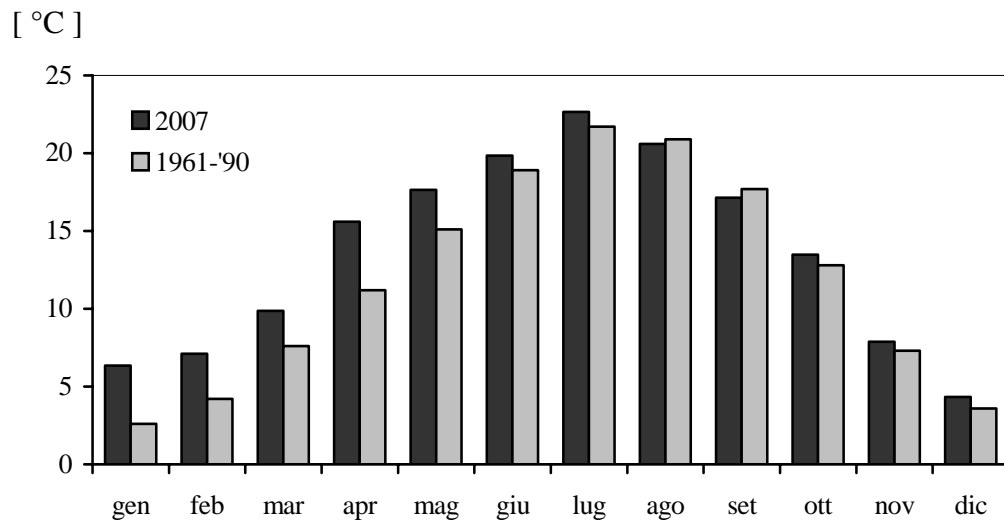


Fig. 2.2 Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

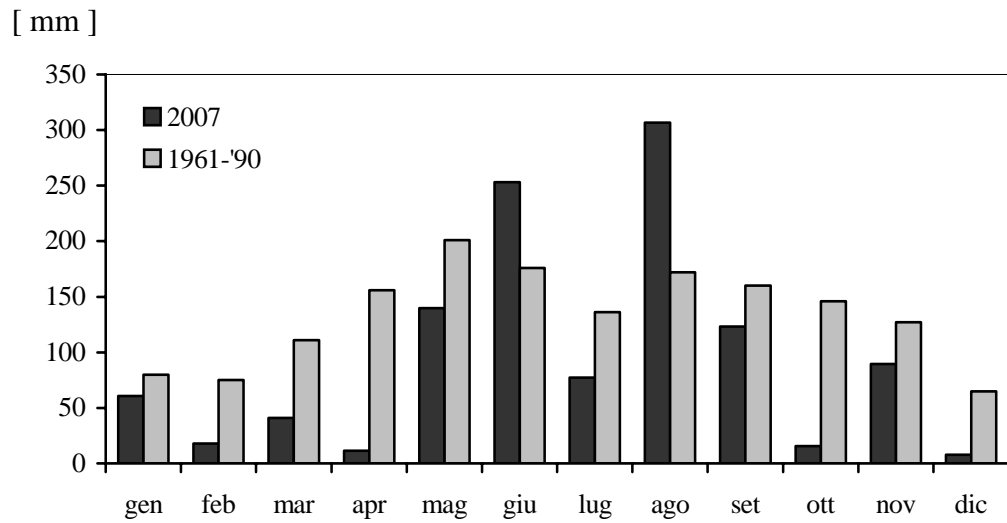


Fig. 2.3 Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

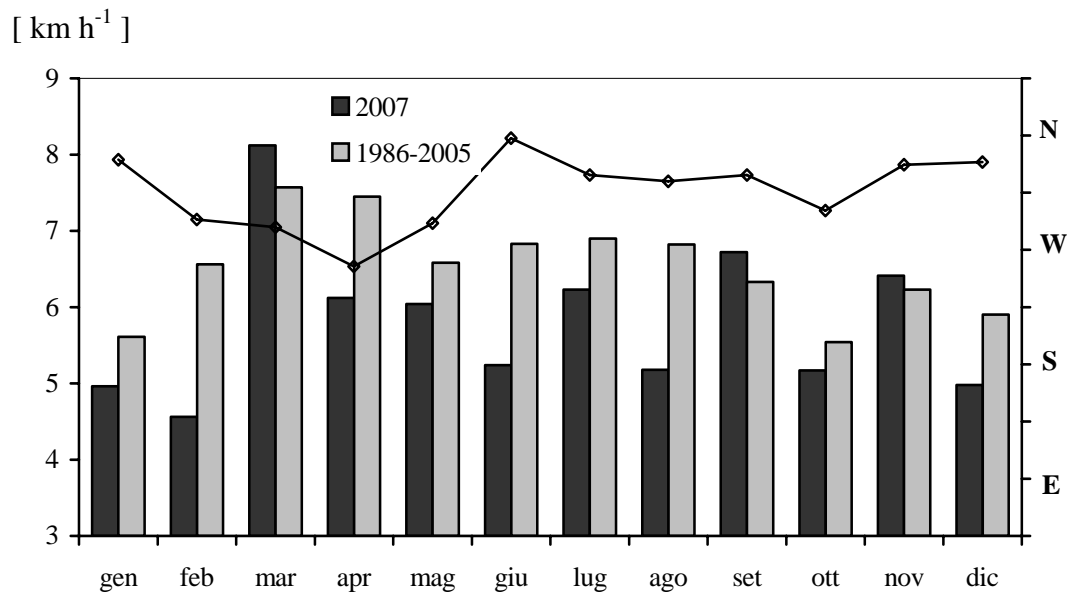


Fig. 2.4.1: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media (linea), rilevato presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

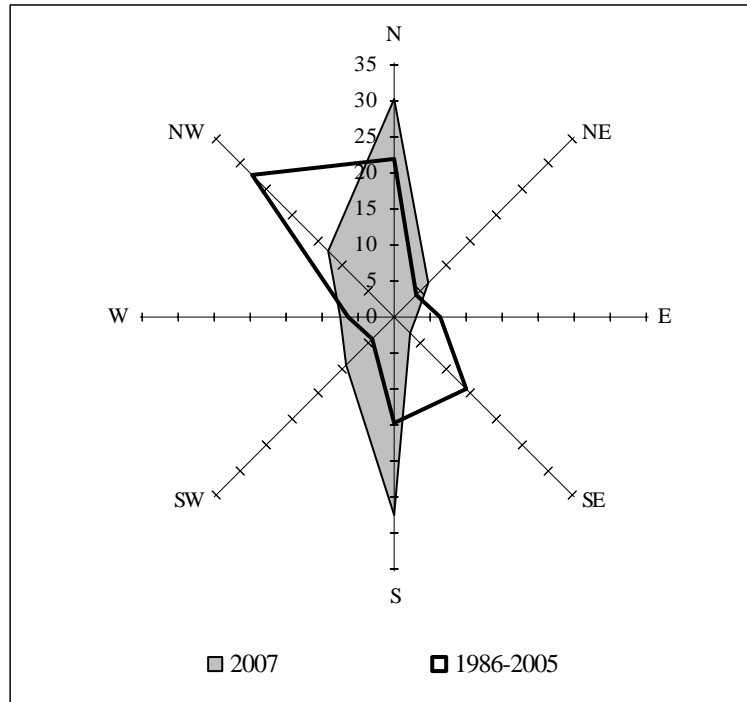


Fig. 2.4.2: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

### 3. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

#### 3.1. Regime dei corsi d'acqua

La tabella 3.1. presenta i valori di deflusso (medie mensili e annue) degli otto corsi d'acqua controllati, relativi all'anno 2007 ed ai corrispondenti periodi di confronto.

Come riferito nel capitolo precedente, il 2007, al pari del 2006, è stato un anno povero di precipitazioni, per cui le portate hanno segnato una riduzione del 30-50% rispetto alle medie pluriennali di riferimento. Lo scarto maggiore è stato rilevato sul Tresa, con una perdita complessiva annua del 48%. Il mese più deficitario è risultato maggio, in cui nei tributari è defluito il 60-85% d'acqua in meno rispetto alla norma. Nei quattro mesi di giugno, luglio, agosto e settembre è per contro scorso il 50% del volume complessivo annuo.

Tab. 3.1. Portate medie mensili, annue e pluriennali dei corsi d'acqua controllati nel bacino imbrifero del Lago di Lugano [ $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ].

Corso d'acqua	Periodo	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
Bolletta	2007	0.44	0.36	0.33	0.31	0.33	0.53	0.22	0.88	0.53	0.35	0.41	0.31	0.42
	1986-2007	0.56	0.48	0.54	0.97	0.92	0.68	0.47	0.37	0.53	0.86	0.91	0.59	0.66
Cassarate	2007	1.19	0.90	0.80	0.72	1.03	3.46	1.67	2.80	1.74	1.07	1.09	0.79	1.44
	1963-2006	1.31	1.35	2.07	3.51	4.29	3.31	2.16	1.85	2.46	3.01	3.08	1.66	2.51
Cuccio	2007	1.12	1.00	1.01	1.03	1.19	3.16	1.77	1.95	1.37	1.17	0.90	0.71	1.37
	1986-2007	1.18	1.13	1.36	2.24	2.96	2.54	2.00	1.43	1.75	2.45	2.43	1.48	1.91
Laveggio	2007	0.66	0.59	0.61	0.57	0.67	1.22	0.86	1.03	1.00	0.71	0.79	0.64	0.78
	1978-2006	0.93	0.90	1.10	1.49	1.59	1.22	0.90	0.71	0.86	1.21	1.22	0.92	1.09
Magliasina	2007	0.55	0.44	0.42	0.37	0.37	1.67	0.59	1.08	0.68	0.45	0.46	0.37	0.62
	1980-2006	0.66	0.58	0.85	1.72	2.10	1.54	0.91	0.58	1.13	1.72	1.57	0.80	1.18
Scairolo	2007	0.14	0.10	0.09	0.07	0.11	0.29	0.11	0.40	0.23	0.14	0.20	0.13	0.17
	1982-2006	0.25	0.22	0.23	0.35	0.41	0.33	0.25	0.21	0.26	0.36	0.37	0.24	0.29
Vedeggio	2007	2.14	1.63	1.56	1.50	1.89	5.90	3.17	4.27	3.08	2.29	2.00	1.56	2.59
	1979-2003	2.19	1.90	2.70	5.06	6.96	5.40	3.57	2.48	3.79	5.24	4.66	2.57	3.88
Tresa	2007	11.52	10.31	8.24	7.48	6.28	25.95	12.96	22.05	12.13	11.64	8.70	10.56	12.32
	1923-2006	15.30	13.80	18.00	28.40	37.40	32.30	22.60	17.40	21.10	27.20	30.80	20.40	23.80

#### 3.2. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre nel 2007 è stata di m 270.40 m s.l.m. risultando di 8 cm inferiore a quella del periodo di riferimento (1965-2006: 270.48 m s.l.m.). Il minimo assoluto è stato toccato l'1 settembre con 270.21 s.l.m., mentre la punta massima, pari a 270.86 s.l.m., è stata raggiunta il 23 agosto per cui l'escursione massima per il 2007 è stata di 65 cm (Fig. 3.2.).

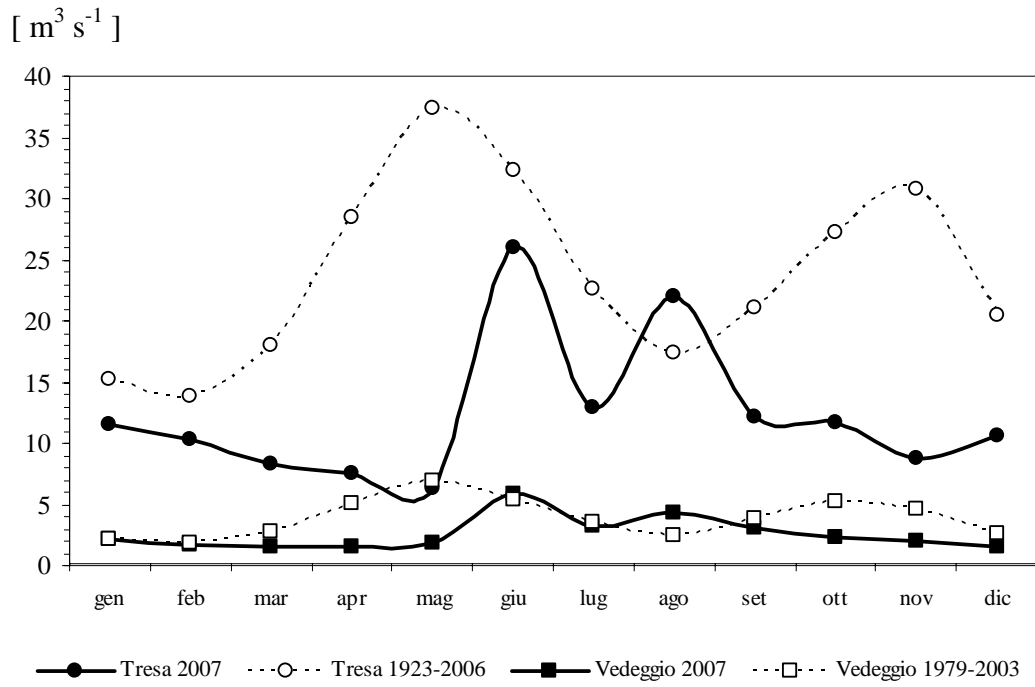


Fig. 3.1. Regime mensile di deflussi dei fiumi Tresa (emissario) e Vedeggio (principale immissario) nel 2007 e nel periodo di riferimento.

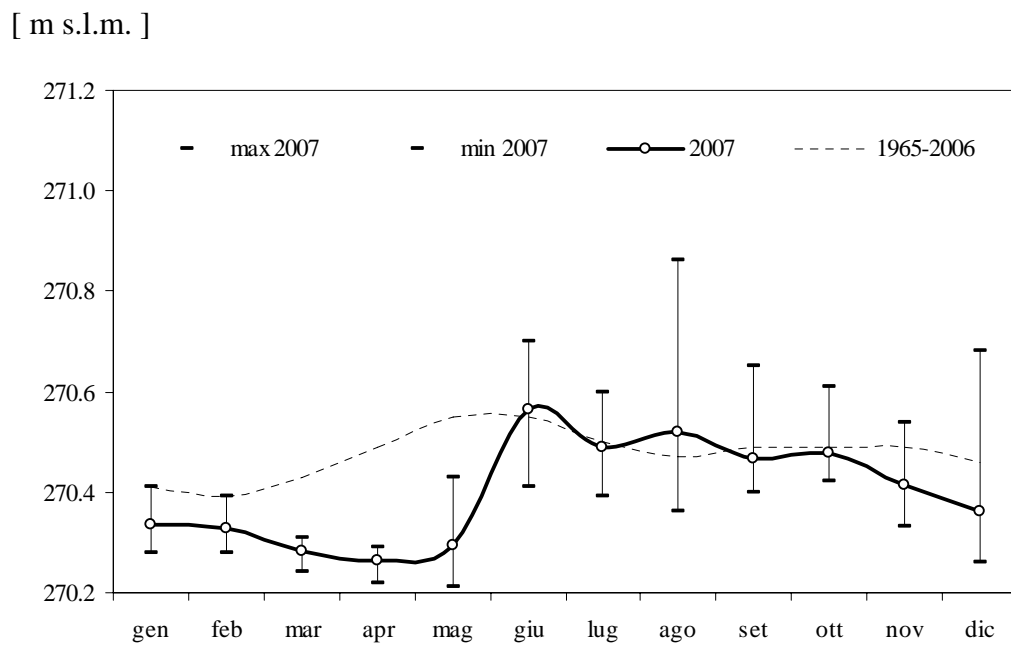


Fig. 3.2. Lago di Lugano, 2007: regime mensile (o) e valori estremi (-) del livello lacustre, e confronto con periodo di riferimento.

#### 4. APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI

##### 4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari

Nelle figure 4.1.3a.-e. sono rappresentati graficamente i principali valori statistici (mediana, 25%ile, 75%ile, massimo e minimo) per tutti i parametri indagati sui nove tributari, nel corso del 2007.

La distribuzione dei valori di deflusso per i diversi corsi d'acqua, rilevati al momento del campionamento, mostra che i 15 prelievi sono rappresentativi del regime idrologico annuale (Fig. 4.1.3a.); la buona corrispondenza è confermata dal confronto tra la curva di frequenza delle portate misurate sul Tresa durante i 15 prelievi e quella dei valori giornalieri annui (Fig. 4.1.1.; dati UFAM: [www.hydrodaten.admin.ch](http://www.hydrodaten.admin.ch)). Durante i campionamenti su questo fiume sono stati rilevati la mediana più alta ( $9.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) ed il massimo annuale, raggiunto a fine agosto ( $39.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Vedeggio e Cuccio hanno fatto segnare valori mediani compresi tra  $1.0$  e  $2.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  mentre per i rimanenti fiumi i valori si sono mantenuti inferiori a  $1.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

I valori di temperatura nel 2007 hanno mostrato forti escursioni (Fig. 4.1.3a.) legate all'andamento stagionale della temperatura dell'aria (cfr. paragrafo 2.2.), anche se meno marcate rispetto al 2006. Su Tresa e Scairolo lo scarto tra valore massimo e minimo è stato di  $17^\circ\text{C}$ , mentre sugli altri tributari l'escursione termica è risultata compresa tra i  $9^\circ\text{C}$  del Vedeggio e i  $15^\circ\text{C}$  della Magliasina. La temperatura mediana più elevata è stata misurata sul Tresa con  $16.2^\circ\text{C}$ . La punta massima è stata rilevata ad inizio giugno sullo Scairolo ( $24.7^\circ\text{C}$ ), mentre il minimo assoluto è stato misurato in dicembre sulla Magliasina ( $3.4^\circ\text{C}$ ). Le misurazioni dell'UFAM effettuate sul Tresa a Ponte Tresa riportano un massimo per il 2007 di  $27.7^\circ\text{C}$  il 20 luglio (Fig. 4.1.2.).

Per quanto concerne la conducibilità elettrica (Fig. 4.1.3a.) il Laveggio presenta la mediana più elevata ( $688 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), seguito dai tributari Bolletta, Scairolo e Livone, con valori compresi tra  $400$  e  $580 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Nei rimanenti cinque fiumi, le mediane sono oscillate tra  $120$  e  $270 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Il massimo annuale è stato rilevato in maggio sul Laveggio ( $841 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Su questo tributario, ma soprattutto sul Bolletta, si sono osservate le maggiori variazioni di conducibilità: rispettivamente  $320$  e  $430 \mu\text{S cm}^{-1}$  tra massimo e minimo annuale.

I valori d'alcalinità più elevati, con mediane comprese tra  $3.1$  e  $4.2 \text{ eq m}^{-3}$ , sono stati misurati su Laveggio, Livone e Bolletta (Fig. 4.1.3b.), fiumi che drenano bacini costituiti prevalentemente da rocce calcaree. Le alcalinità più basse ( $<1.2 \text{ eq m}^{-3}$ ) sono state registrate per contro negli affluenti Cassarate, Vedeggio, Cuccio e Magliasina, che raccolgono l'acqua da aree caratterizzate da rocce cristalline. Scairolo e Tresa occupano una posizione intermedia, con valori mediani pari a rispettivamente  $2.63 \text{ eq m}^{-3}$  e  $1.77 \text{ eq m}^{-3}$ . Le variazioni più marcate sono state osservate sul Bolletta che presenta un'escursione annua di  $2.1 \text{ eq m}^{-3}$ .

Il valore pH mostra un andamento simile all'alcalinità (Fig. 4.1.3b.): il Tresa ha fatto registrare la mediana più elevata, pari a  $8.60$  unità, seguito da Livone e Laveggio ( $8.49$  e  $8.47$ ), mentre sul Vedeggio è stato riscontrato il valore più basso ( $7.58$ ). I rimanenti tributari presentano mediane pH comprese tra  $7.8$  e  $8.2$ . I minimi ed i massimi annuali sono stati rilevati rispettivamente in febbraio e maggio sul Vedeggio ( $7.49$ ), e in luglio sul Tresa ( $9.04$ ). Su quest'ultimo fiume,

l'elevata variabilità annuale (escursione di 1.08 unità) è fortemente influenzata dall'attività fotosintetica nell'epilimnio lacustre, mentre per lo Scairolo le variazioni (0.94) potrebbero essere riconducibili agli apporti dell'impianto di depurazione situato circa 700 m più a monte.

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.3b.) ha mostrato concentrazioni regolarmente superiori a  $8.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ , ad eccezione del Bolletta che a fine aprile ed inizio maggio ha fatto registrare tenori d'ossigeno rispettivamente di  $7.60$  e  $6.87 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ . Nel loro insieme i fiumi risultano quindi ben ossigenati durante tutto l'anno.

Più critiche, sotto il profilo qualitativo, si confermano le concentrazioni dei composti azotati disciolti (Fig. 4.1.3c.).

Per quanto concerne l'azoto nitroso, nel Bolletta sono stati misurati valori estremi per la mediana ed il massimo annuale, con rispettivamente  $90$  e  $200 \text{ mg N m}^{-3}$  (maggio), mentre negli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane si sono mantenute tra  $4 \text{ mg N m}^{-3}$  (Cuccio e Cassarate) e  $14 \text{ mg N m}^{-3}$  (Scairolo). Sul Vedeggio è stata osservata una forte escursione dei valori annui, pari a  $115 \text{ mg N m}^{-3}$ , dovuta in larga misura alle elevate concentrazioni riscontrate nei primi cinque mesi dell'anno e riconducibili all'immissione delle acque trattate (parziale nitrificazione) dall'impianto di depurazione di Bioggio.

Per l'azoto nitrico i fiumi Scairolo e Laveggio mostrano mediane molto elevate rispetto agli altri tributari, rispettivamente di  $9.8$  e  $9.3 \text{ g N m}^{-3}$ . Il valore massimo è stato misurato nello Scairolo con  $13.33 \text{ g N m}^{-3}$  a fine aprile. Gli altri fiumi hanno mostrato mediane comprese tra  $0.94$  (Tresa) e  $3.90 \text{ g N m}^{-3}$  (Vedeggio).

Nel caso dell'azoto ammoniacale il Bolletta è risultato il fiume più problematico con una mediana di  $0.37 \text{ g N m}^{-3}$ , mentre sugli altri corsi d'acqua i valori si sono mantenuti compresi tra  $0.02$  (Livone) e  $0.06 \text{ g N m}^{-3}$  (Magliasina). Il massimo annuale è stato misurato sul Vedeggio ad inizio aprile con  $2.27 \text{ g N m}^{-3}$ . Su questo tributario, al pari dell'azoto nitroso, è evidente la forte oscillazione dei valori ( $2.26 \text{ g N m}^{-3}$ ).

La situazione dell'azoto totale (Fig. 4.1.3d.) coincide con quella dell'azoto nitrico che ne costituisce la componente principale; i valori più elevati di azoto totale sono stati registrati nello Scairolo e nel Laveggio con mediane di rispettivamente  $12.90$  e  $11.53 \text{ g N m}^{-3}$ . Seguono Bolletta e Vedeggio con  $6.40$  e  $5.82 \text{ g N m}^{-3}$ , mentre i rimanenti 5 fiumi hanno mostrato valori compresi tra  $1.3$  e  $3.7 \text{ g N m}^{-3}$ . Sullo Scairolo è stata inoltre registrata la concentrazione massima:  $19.20 \text{ g N m}^{-3}$  a fine aprile.

I tenori più elevati di fosforo reattivo (Fig. 4.1.3d.) sono stati misurati nel Bolletta (mediana:  $337 \text{ mg P m}^{-3}$ ; massimo annuale assoluto a fine aprile:  $871 \text{ mg P m}^{-3}$ ) e nel Livone (mediana di  $96 \text{ mg P m}^{-3}$ ). I valori mediani degli altri sei tributari si sono situati al di sotto di  $40 \text{ mg P m}^{-3}$ .

Per quanto riguarda il fosforo totale (Fig. 4.1.3d.), il valore ammissibile nei tributari è stato calcolato partendo dai carichi critici dei due bacini lacustri [5] e dai valori di deflusso. Nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata, pari a  $537 \text{ mg P m}^{-3}$ , valore che supera di 19 volte quello auspicato per il bacino sud ( $29 \text{ mg P m}^{-3}$ ); sia in questo tributario che nel Livone (mediana di  $121 \text{ mg P m}^{-3}$ ) le concentrazioni di fosforo totale hanno superato i limiti in occasione di tutti i prelievi. Gli altri affluenti hanno presentato mediane superiori ai rispettivi valori



di riferimento, ad eccezione di Cassarate e Tresa. Il massimo assoluto dell'anno ( $1'069 \text{ mg P m}^{-3}$ ) è stato misurato a fine aprile nel Bolletta.

I valori medi di carbonio organico disciolto (DOC; Fig. 4.1.3e.) si sono sempre mantenuti sotto i  $3.0 \text{ g C m}^{-3}$ . Il Bolletta, oltre a presentare la mediana più elevata ( $2.70 \text{ g C m}^{-3}$ ) ha mostrato le escursioni più marcate:  $3.1 \text{ g C m}^{-3}$  tra massimo e minimo. Sempre su questo tributario in febbraio è stato riscontrato il massimo assoluto, pari a  $4.97 \text{ g C m}^{-3}$ . I valori medi degli altri fiumi sono risultati compresi tra  $0.95$  (Cuccio) e  $2.32 \text{ g C m}^{-3}$  (Scairolo).

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno sui cinque giorni ( $\text{BOD}_5$ ; Fig. 4.1.3e.), si evidenzia ancora il Bolletta per la mediana elevata ( $4.17 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ ), il massimo assoluto ( $9.10 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$  in dicembre) e la maggiore escursione ( $7.4 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ ). Le mediane degli altri tributari hanno presentato consumi inferiori a  $1.8 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ , con forti oscillazioni su Magliasina ( $7.3 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ ) e Veduggio ( $6.1 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ ).

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.3e.) sono state registrate nello Scairolo (mediana:  $4.29 \text{ g Si m}^{-3}$ ) il cui bacino imbrifero è costituito prevalentemente da porfiriti. Su questo affluente è stato misurato in gennaio anche il massimo annuale ( $7.28 \text{ g Si m}^{-3}$ ). Le concentrazioni più basse di silice sono state rilevate nell'emissario Tresa (mediana:  $0.46 \text{ g Si m}^{-3}$ ), in seguito alla sua costante assimilazione da parte delle diatomee fitoplanctoniche nell'epilimnio lacustre. I valori medi degli altri tributari sono risultati compresi tra  $2.25$  (Livone) e  $4.19 \text{ g Si m}^{-3}$  (Veduggio).

Gli andamenti settimanali di alcuni parametri fisico-chimici e chimici sono stati monitorati anche con dei campionatori automatici, installati su Cassarate, Veduggio, Tresa e Laveggio. I campioni vengono raccolti in continuo tramite prelievo automatico proporzionale alla portata e i dati raccolti hanno evidenziato forti escursioni di valori (Fig. 4.1.4.), non rilevabili con i soli campionamenti istantanei. In particolare forti precipitazioni provocano repentini e considerevoli aumenti nelle concentrazioni d'azoto e fosforo totali nei fiumi, come si è verificato a metà giugno ed a fine agosto. Nei corsi d'acqua a carattere torrentizio, come Cassarate e Veduggio, questa dinamica è particolarmente evidente, soprattutto per il fosforo totale, che è un parametro, a differenza dell'azoto totale, prettamente antropico. I campionamenti settimanali hanno inoltre consentito di rilevare brevi episodi di carico eccessivo di nutrienti provenienti, ad esempio, da industrie, scaricatori di piena o impianti di depurazione, come pure di ridimensionare punte estemporanee registrate durante i campionamenti istantanei.

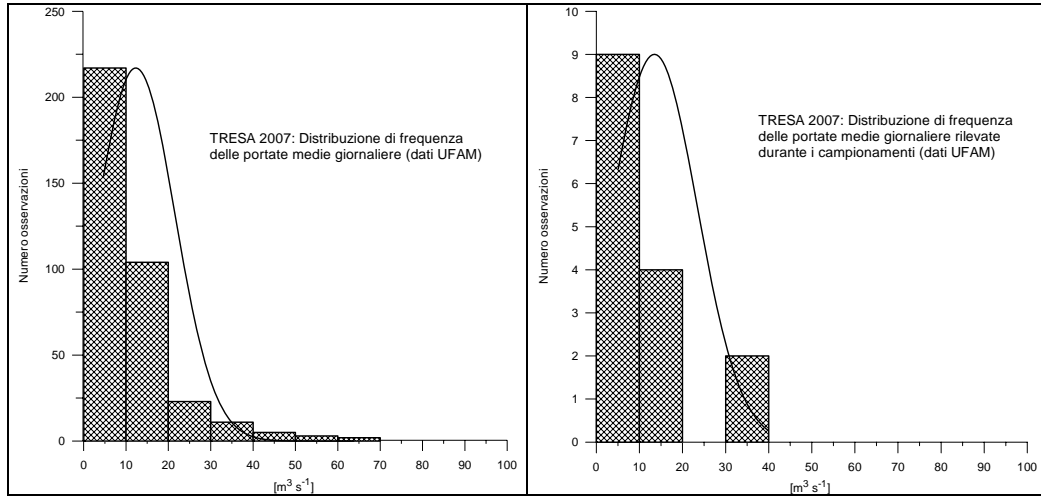


Fig. 4.1.1. Lago di Lugano, 2007: curve di frequenza delle portate medie giornaliere sul fiume Tresa; confronto tra l'intero set di dati annuale (a sinistra) e le 15 portate rilevate durante i campionamenti (dati UFAM).

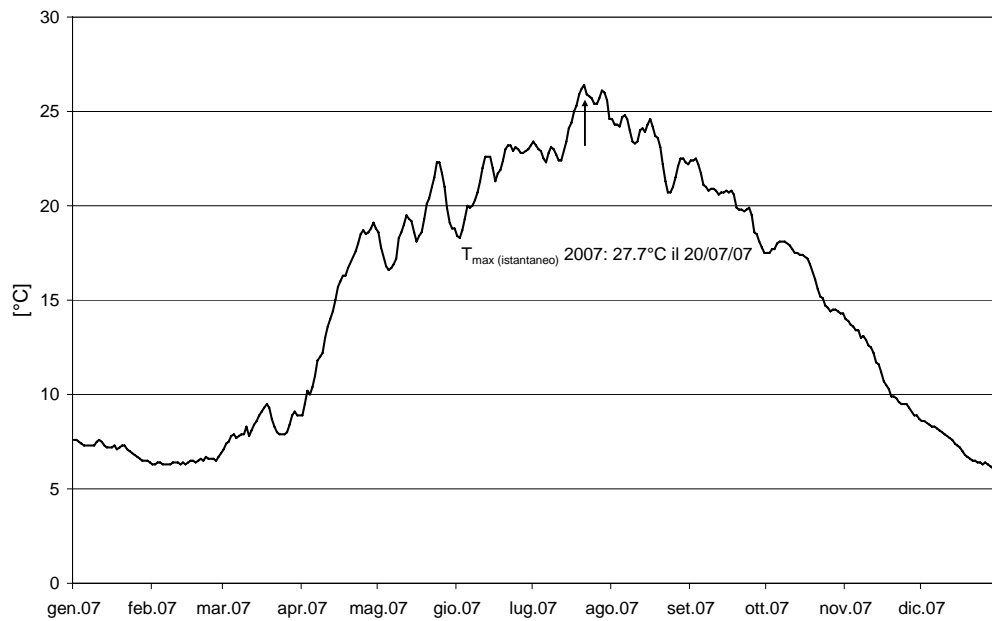


Fig. 4.1.2. Lago di Lugano, 2007: andamento della temperatura media giornaliera nel fiume Tresa a Ponte Tresa, località Rocchetta (dati UFAM).

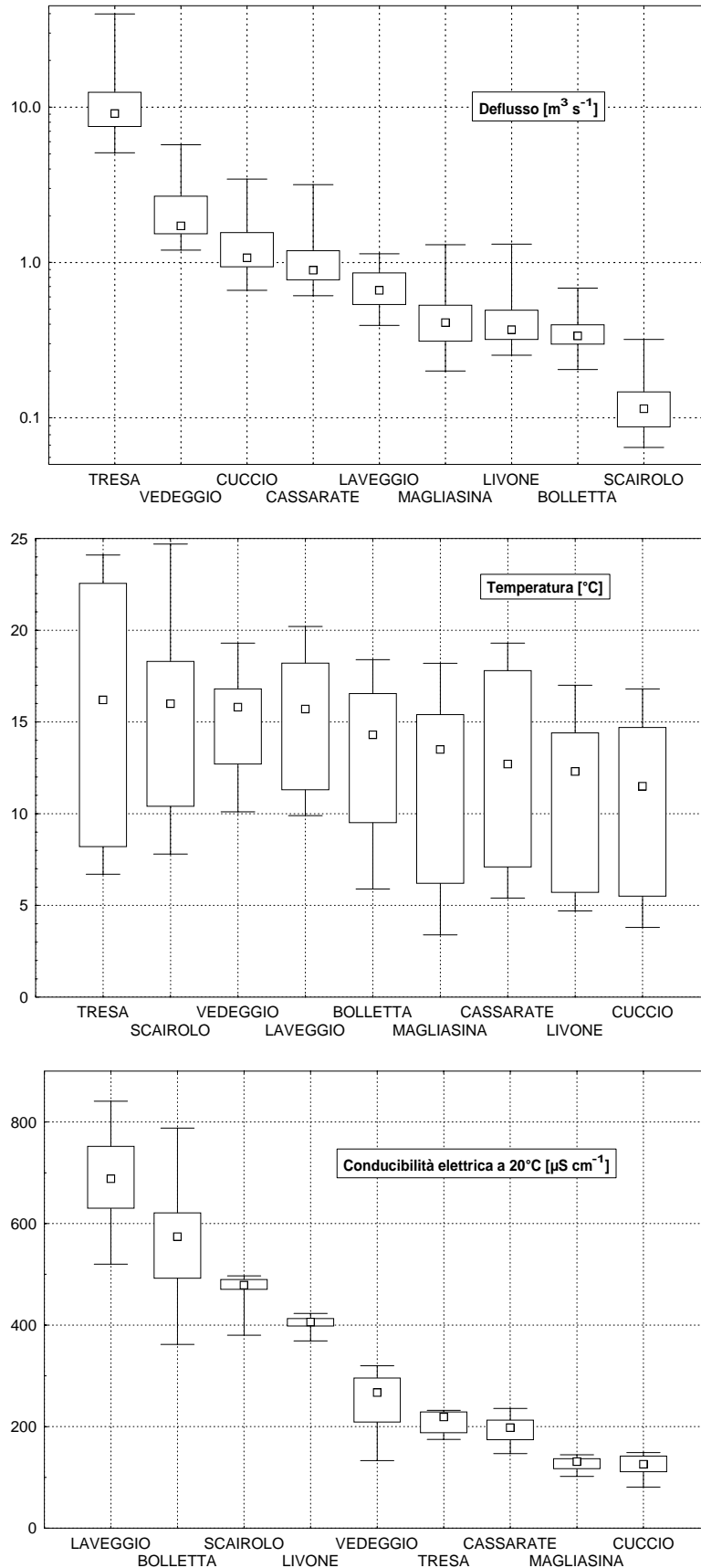


Fig. 4.1.3a. Lago di Lugano, 2007: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

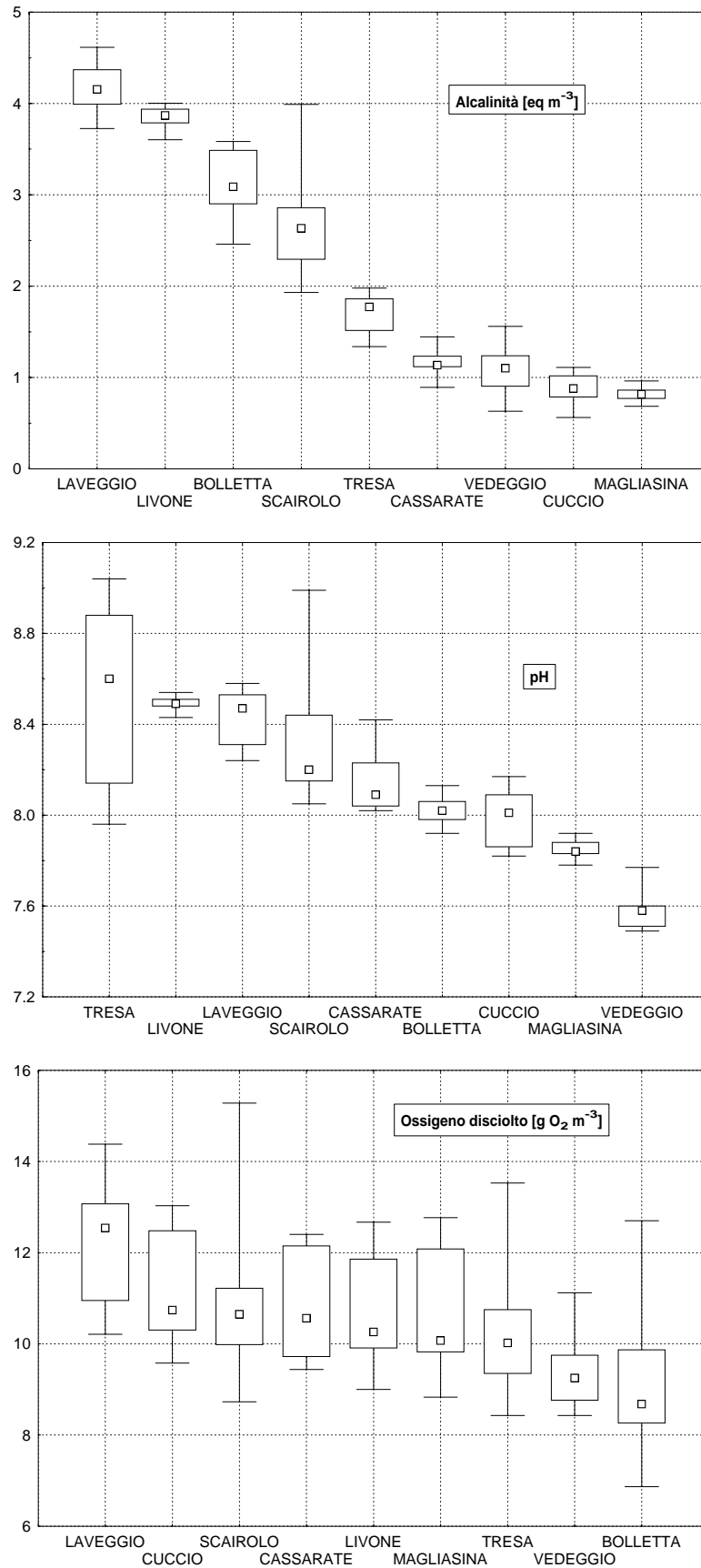


Fig. 4.1.3b. Lago di Lugano, 2007: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

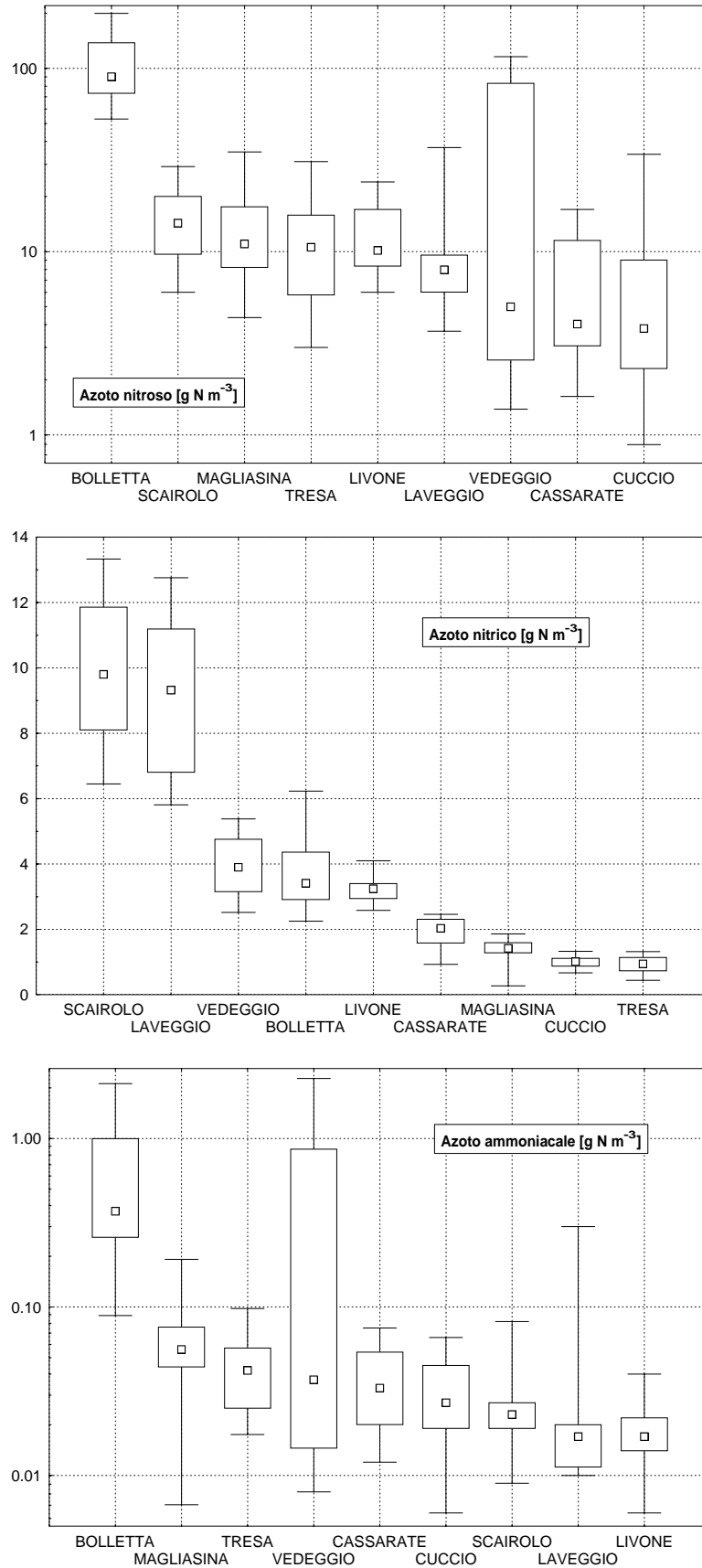


Fig. 4.1.3c. Lago di Lugano, 2007: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

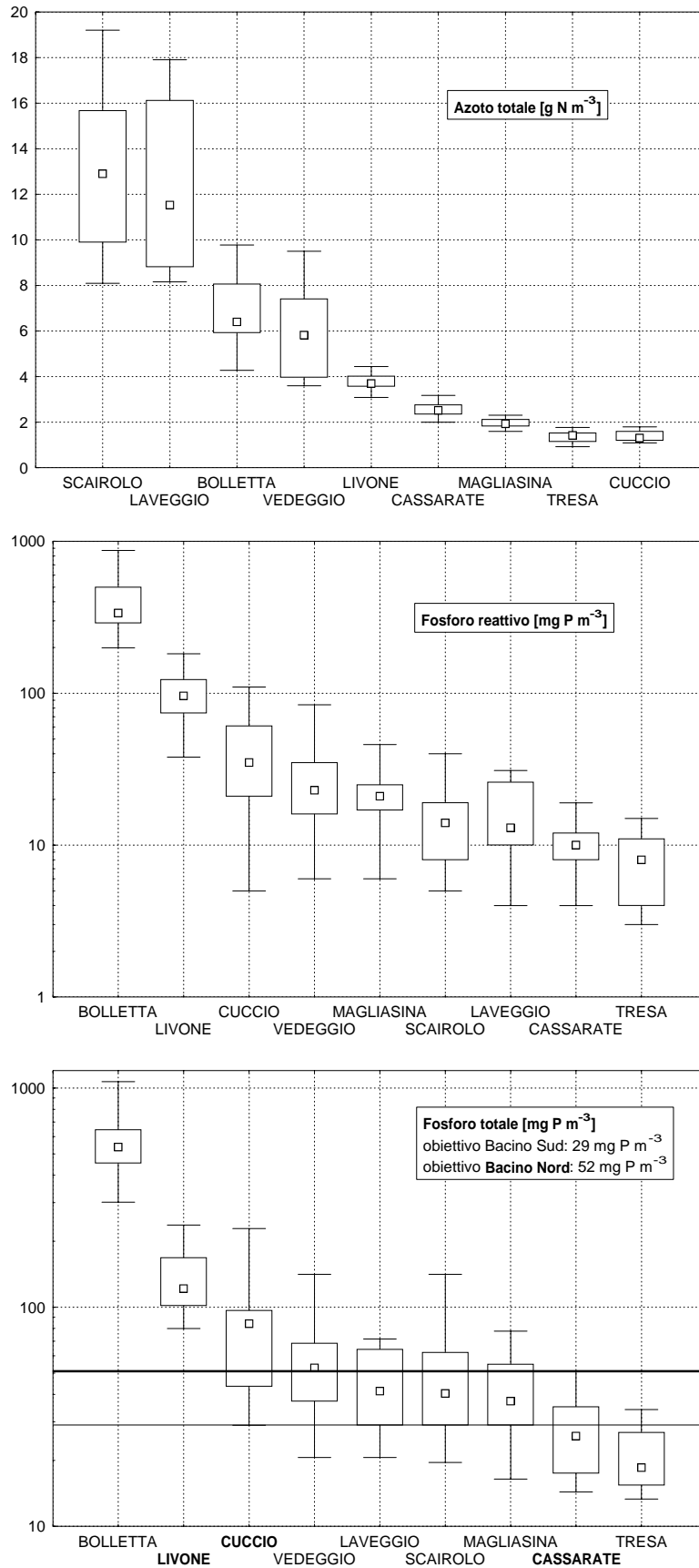


Fig. 4.1.3d. Lago di Lugano, 2007: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

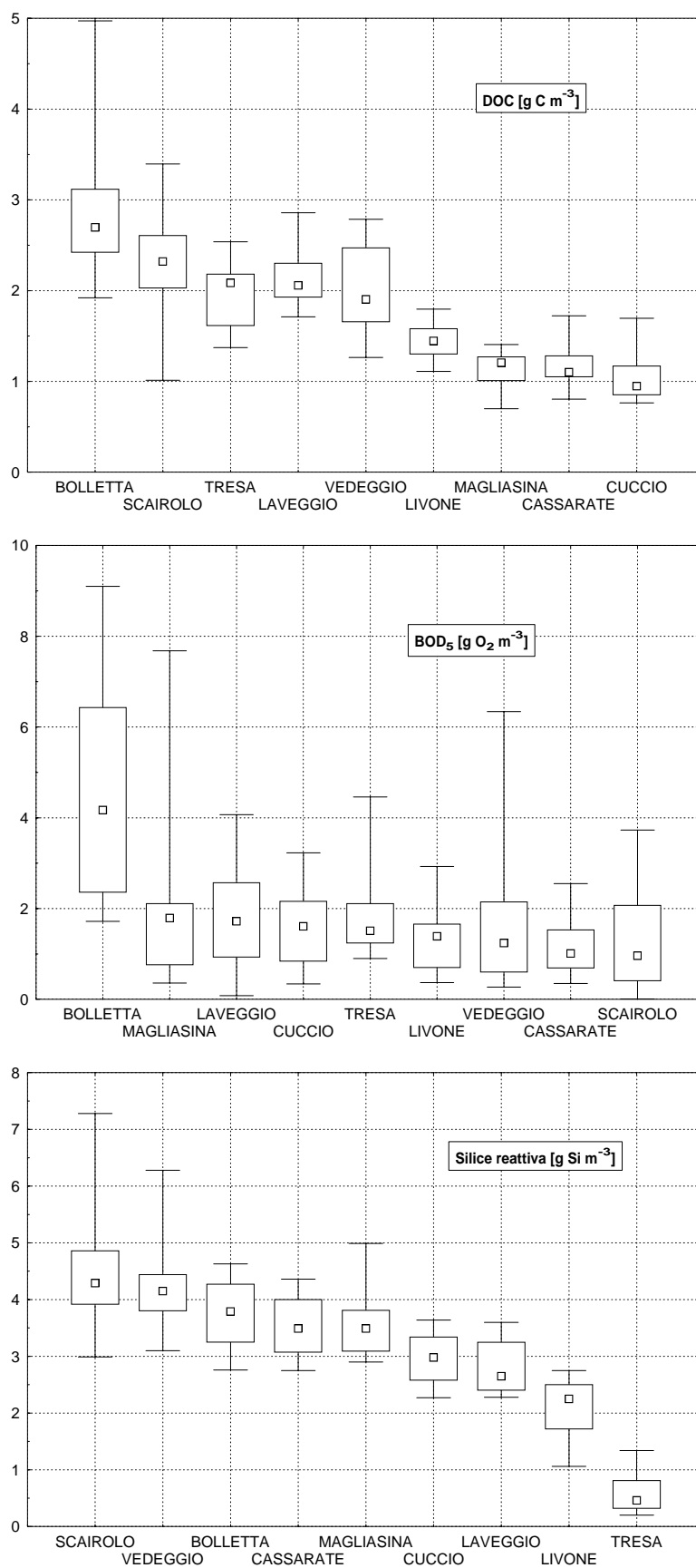


Fig. 4.1.3e. Lago di Lugano, 2007: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

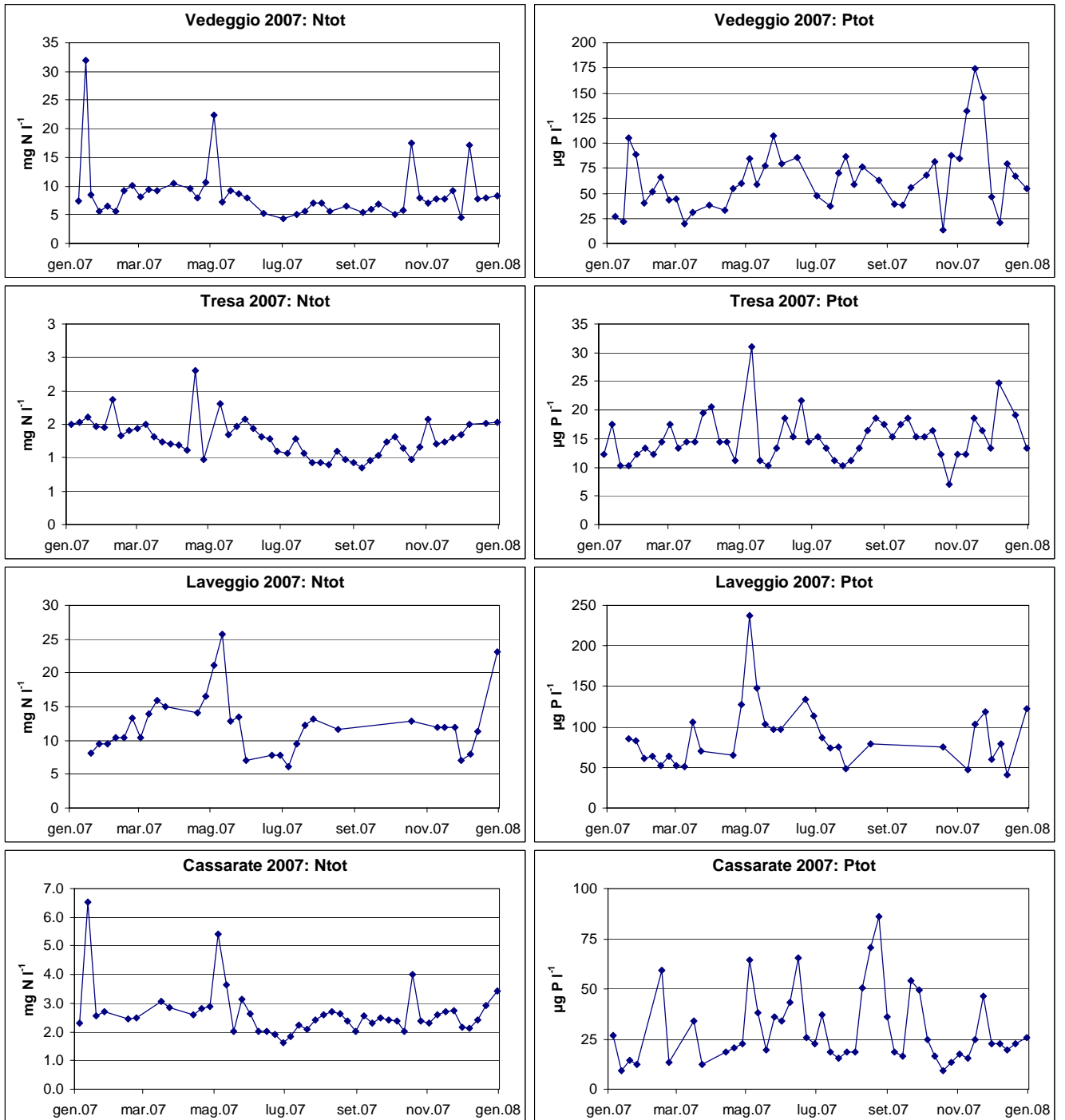


Fig. 4.1.4.: Lago di Lugano, 2007: andamento settimanale delle concentrazioni di azoto e fosforo totali nei fiumi Vedeggio, Tresa, Laveggio e Cassarate (campionamento in continuo).



## 4.2. Carichi chimici

Per gli affluenti principali, nonché per gli emissari del bacino nord (diga di Melide) e sud (fiume Tresa), gli apporti annuali dei singoli parametri sono stati stimati utilizzando i valori istantanei di concentrazione e quelli del deflusso giornaliero (media ponderata; Tab. 4.2.1. e Fig. 4.2.1.).

Tra gli immissari, il Bolletta ha convogliato a lago i carichi più elevati di fosforo ortofosfato e totale (5.2 risp. 7.4 t P a<sup>-1</sup>), mentre dal Laveggio è giunto il maggiore apporto di carbonio inorganico (1'241 t C a<sup>-1</sup>). Il Vedeggio ha costituito la principale fonte di carico dei rimanenti parametri, ovvero azoto nitroso (1.8 t N a<sup>-1</sup>), azoto nitrico (288 t N a<sup>-1</sup>), azoto ammoniacale (27.5 t N a<sup>-1</sup>), azoto totale (395 t N a<sup>-1</sup>), silicati reattivi (335 t Si a<sup>-1</sup>), ossigeno disciolto (765 t O<sub>2</sub> a<sup>-1</sup>) e consumo biochimico d'ossigeno (155 t O<sub>2</sub> a<sup>-1</sup>).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti consente una valutazione più qualitativa sullo stato dei corsi d'acqua (Tab. 4.2.2. e Fig. 4.2.2.). Rispetto alla tabella 4.2.1. sul Vedeggio si registra solo un massimo per la silice (3.6 g Si m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), che è un parametro terrigeno e quindi naturale. Per contro dal Laveggio provengono i maggiori contributi areali per carbonio inorganico (42.0 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), azoto nitrico (7.4 g N m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), azoto totale (9.9 g N m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>) e ossigeno (10.2 g O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>). Dal Bolletta si confermano gli apporti più elevati di fosforo reattivo e totale (266 e 378 mg P m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), a cui si aggiungono i massimi per azoto nitroso (73 mg N m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), azoto ammoniacale (0.39 g N m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>) e richiesta biochimica d'ossigeno (3.0 g O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>).

Per il fosforo totale, i carichi areali ammissibili stimati per il recupero del Lago di Lugano sono stati largamente (di 10 volte) superati sul Bolletta.

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2007: carichi per corso d'acqua [ $t a^{-1}$ ]

	C <sub>in</sub>	PO <sub>4</sub> -P	PT	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NT	SiO <sub>2</sub> -Si	O <sub>2</sub>	BOD <sub>5</sub>
Cassarate	602	0.5	1.4	0.2	78	1.6	112	164	476	50
Cuccio	419	1.5	2.9	0.2	40	1.1	57	129	462	58
Livone <sup>1</sup>	867	1.8	2.4	0.2	58	0.3	69	42	195	22
Diga Melide	4464	2.2	4.9	0.5	14	1.1	66	55	1826	-
Bolletta	481	5.2	7.4	1.4	49	7.7	92	50	119	59
Laveggio	1214	0.4	1.0	0.2	213	0.8	286	70	296	40
Magliasina	182	0.4	0.7	0.2	26	1.3	37	71	201	31
Scairolo	186	0.1	0.3	0.1	48	0.1	65	23	57	6
Vedeggio	968	1.7	4.2	1.8	288	27.5	395	335	765	115
Tresa	7469	3.3	8.4	6.1	319	17.5	494	200	3860	636

<sup>1</sup> valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2007: carichi areali per corso d'acqua [ $g m^{-2} a^{-1}$ ; (\*)  $mg m^{-2} a^{-1}$ ].

	C <sub>in</sub>	PO <sub>4</sub> -P	PT	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NT	SiO <sub>2</sub> -Si	O <sub>2</sub>	BOD <sub>5</sub>
Cassarate	8.1	(*) 7	(*) 19	(*) 3	1.1	0.02	1.5	2.2	6.4	0.7
Cuccio	7.8	28	53	5	0.7	0.02	1.1	2.4	8.6	1.1
Livone <sup>1</sup>	28.3	57	78	8	1.9	0.01	2.3	1.4	6.4	0.7
Diga Melide	15.0	7	17	2	0.0	0.00	0.2	0.2	6.1	-
Bolletta	24.7	266	378	73	2.5	0.39	4.7	2.5	6.1	3.0
Laveggio	42.0	13	35	8	7.4	0.03	9.9	2.4	10.2	1.4
Magliasina	5.3	11	20	7	0.8	0.04	1.1	2.1	5.9	0.9
Scairolo	19.1	9	26	7	5.0	0.01	6.7	2.4	5.8	0.6
Vedeggio	10.4	18	45	19	3.1	0.30	4.2	3.6	8.2	1.2
Tresa	12.2	5	14	10	0.5	0.03	0.8	0.3	6.3	1.0

<sup>1</sup> valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

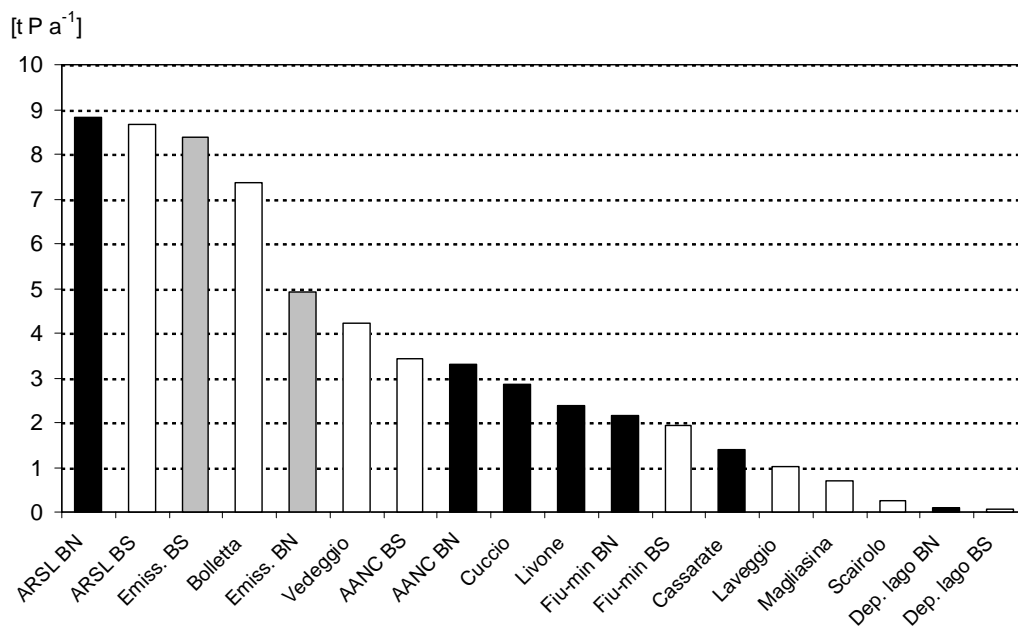


Fig. 4.2.1. Lago di Lugano, 2007: apporti al lago di fosforo totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

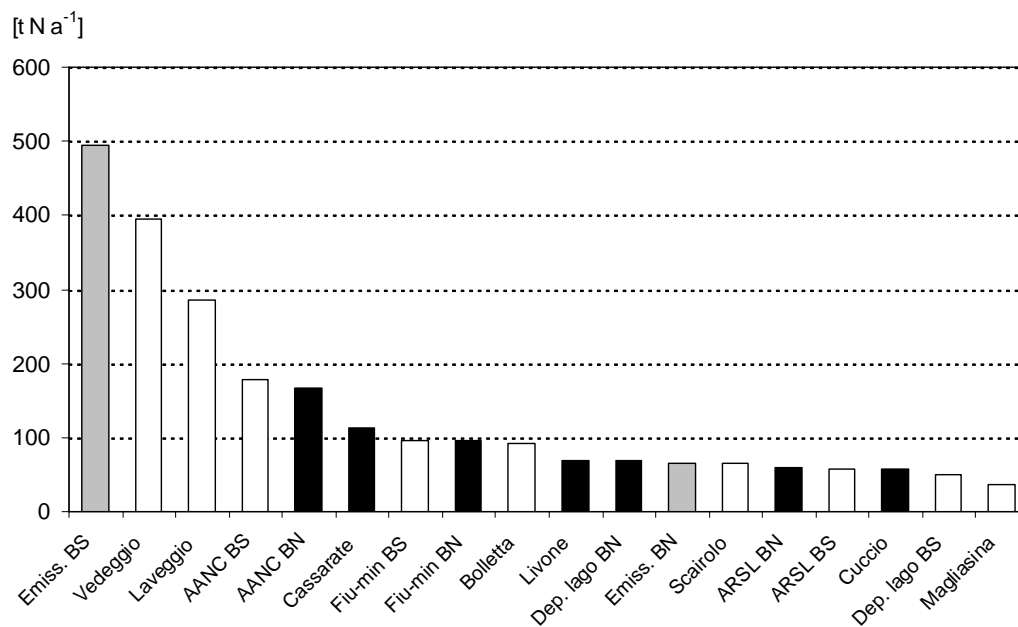


Fig. 4.2.2. Lago di Lugano, 2007: apporti al lago d'azoto totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

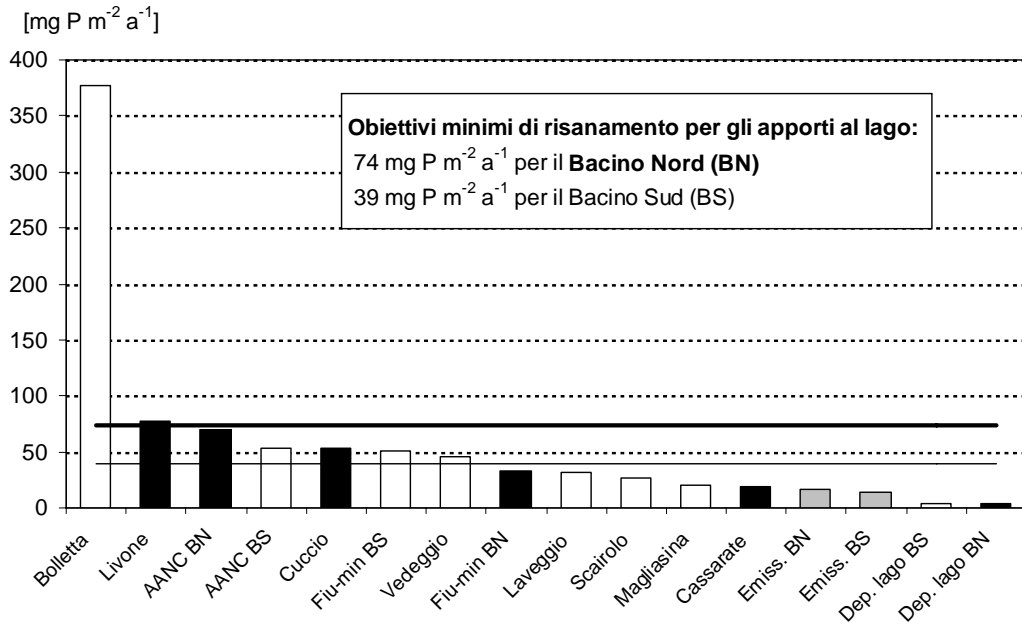


Fig. 4.2.3. Lago di Lugano, 2007: carichi areali di fosforo totale.  
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

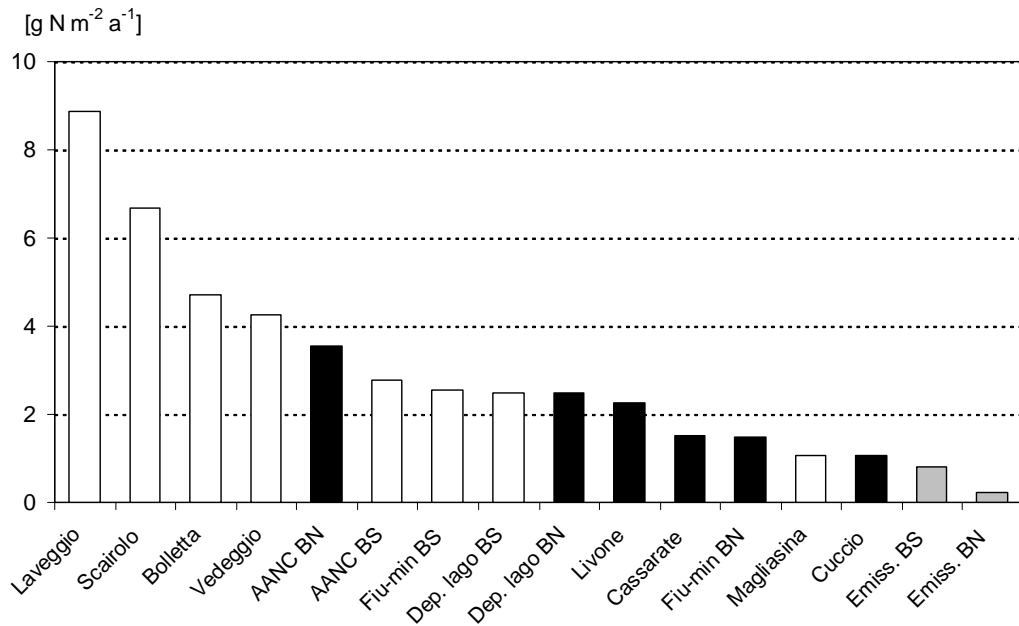


Fig. 4.2.4. Lago di Lugano, 2007: carichi areali d'azoto totale.  
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori, Dep.lago: deposizioni sul lago).

#### 4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto

Per il calcolo dei bilanci di massa dei principali nutrienti algali (azoto e fosforo), oltre alle fonti di carico riportate nel capitolo 4.2., sono stati considerati gli apporti originati dall'area non campionata, dagli abitanti rivieraschi e dagli scaricatori di piena a lago (ARSL), e dalle deposizioni atmosferiche (Tab. 4.3; Fig. 4.2.1).

L'apporto complessivo di fosforo totale equivale a 21.0 t P a<sup>-1</sup> per il bacino nord ed a 32.6 t P a<sup>-1</sup> per il bacino sud: questi due valori sono inferiori di circa il 30% in confronto alla media dell'ultimo quinquennio (1998-2002). Durante il 2007 gli apporti provenienti da scaricatori di piena a lago e abitanti rivieraschi (ARSL), e dalle aree campionate hanno convogliato il medesimo carico di fosforo (ciascuno 8.8 t P a<sup>-1</sup>), mentre nel bacino sud il maggior contributo è provenuto dal Bolletta (7.4 t P a<sup>-1</sup>). Il carico esportato nel 2007 dall'emissario Tresa (8.4 t P a<sup>-1</sup>) ha raggiunto un valore pari al 30% della media pluriennale.

Gli apporti d'azoto sono risultati inferiori alla media quinquennale, con 629 t N a<sup>-1</sup> (-24%) nel bacino nord, e 1'323 t N a<sup>-1</sup> (-21%) nel bacino sud. I carichi più rilevanti sono provenuti dal Cassarate (112 t N a<sup>-1</sup>) per il bacino nord, e dal Vedeggio (395 t N a<sup>-1</sup>) per il bacino sud.

Le aree campionate del bacino nord rappresentano il 37% dell'intero bacino imbrifero: da esse sono provenuti il 42% degli apporti di fosforo ed il 53% degli apporti d'azoto complessivi. Della quota rimanente, un contributo equivalente è fornito, per il fosforo, dagli ARSL della rete fognaria, e per l'azoto dalle aree non campionabili (27%).

Nel bacino sud viene controllato direttamente l'86% dell'area del bacino imbrifero, dalla quale viene convogliato al lago il 63% del fosforo e ed il 78% dell'azoto. Le quote rimanenti provengono prevalentemente dagli ARSL per il fosforo (27 %), e dalle aree non campionabili per l'azoto (13%).

Nella tabella 4.3. sono riportati inoltre, per i fiumi Cassarate, Vedeggio, Laveggio e Tresa, i carichi di fosforo totale ed azoto totale calcolati in base alle concentrazioni misurate nei campioni settimanali cumulati, raccolti con i campionatori automatici (vedi capitolo 4.1.). Questi campioni, denominati "CAut" consentono una stima qualitativamente più realistica dei carichi e fungono da controllo dei dati provenienti dal campionamento istantaneo ("CIst"). Quest'ultimo consente infatti una valutazione più qualitativa dello stato del corso d'acqua. Dal confronto tra i valori dei carichi calcolati sulla base dei dati relativi ai due tipi di campionamento emergono alcune differenze di rilievo, in particolare per quanto concerne il fosforo: su Cassarate e Vedeggio il carico "CAut" è superiore del 15-20%, mentre sul Laveggio risulta doppio. Sul Tresa il carico "CAut" è per contro inferiore del 25% rispetto al "CIst", differenza spiegabile con le elevate portate misurate in occasione dei prelievi di fine giugno ed agosto. Per l'azoto vi è un'ottima coincidenza tra i due valori di stima su Cassarate, Laveggio e Tresa, mentre sul Vedeggio i carichi "CIst" risultano sottostimati del 35% rispetto a quelli "CAut". Il forte divario per la stima degli apporti, in particolare del fosforo, risiede in alcuni singoli eventi campionati col metodo automatico che sono invece sfuggiti ai campionamenti manuali.

Tab. 4.3. Lago di Lugano, 2007: bilancio dei carichi dell'azoto totale [t N a<sup>-1</sup>] e del fosforo totale [t P a<sup>-1</sup>] nei bacini nord (BN) e sud (BS).

	CARICO AZOTO		CARICO FOSFORO	
	BN	BS	BN	BS
Cassarate	112 (113) <sup>4</sup>	-	1.4 (1.6) <sup>4</sup>	-
Cuccio	57	-	2.9	-
Livone <sup>1</sup>	69	-	2.4	-
Vedeggio	-	395 (600) <sup>4</sup>	-	4.2 (5.0) <sup>4</sup>
Magliasina	-	37	-	0.7
Laveggio	-	286 (293) <sup>4</sup>	-	1.0 (2.1) <sup>4</sup>
Bolletta	-	92	-	7.4
Scairolo	-	65	-	0.3
Apporto da BN	-	66	-	4.9
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	334	1'036	8.8	20.4
Area non campionata <sup>2</sup>	168	178	3.3	1.9
Totale areale emerso	501	1'214	12.1	23.8
ARSL <sup>3</sup>	59	58	8.8	8.7
Deposizioni sul lago	69	51	0.1	0.1
Totale bacino imbrifero	629	1'323	21.0	32.6
Carichi in uscita	66	494 (495) <sup>4</sup>	4.9	8.4 (6.2) <sup>4</sup>

<sup>1</sup> valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

<sup>2</sup> carico estrapolato dai fiumi minori

<sup>3</sup> apporti rivieraschi e contributo scaricatori di piena a lago

<sup>4</sup> carichi misurati con i campionatori automatici in continuo

## 5. CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E FISICO-CHIMICHE DELLE ACQUE LACUSTRI

Le indagini chimiche sull'ambiente pelagico sono state svolte nelle stazioni di Gandria per il bacino nord, e di Melide e Figino per il bacino sud: la loro scelta è stata effettuata in considerazione delle diversità geomorfologiche ed idrochimiche esistenti nel lago e sul suo bacino imbrifero. Rispetto agli anni precedenti sono state omesse le figure concernenti il solfuro che non è mai stato rilevato.

### 5.1. Trasparenza

A Gandria la trasparenza delle acque (Fig. 5.1.) a fine gennaio è risultata elevata (13.7m). I valori sono poi progressivamente diminuiti a partire da febbraio in concomitanza con l'inizio del periodo vegetativo, raggiungendo un minimo di 4.4 m in aprile. In maggio si è verificata una fase di chiarificazione delle acque favorita dall'attività dello zooplancton erbivoro che ha temporaneamente fatto aumentare la trasparenza a 8.2 m. Dopo un costante calo culminato con il minimo annuale in agosto (3.5 m) i valori sono gradualmente aumentati per toccare a dicembre il livello massimo (14.5 m).

Per quanto riguarda il bacino sud, l'andamento della trasparenza è stato simile nelle due stazioni, anche se a Melide le fluttuazioni sono risultate leggermente più marcate. In questa stazione sono stati rilevati i valori estremi di questo parametro: massimo di 13.0 m in dicembre e minimo di 2.7 m ad inizio agosto. Durante il periodo di chiarificazione delle acque (maggio) la trasparenza ha raggiunto 8.9 m a Melide e 8.4 m a Figino.

Il valore medio annuo del 2007, calcolato su 24 osservazioni, è stato di 7.6 m a Gandria, 6.7 m a Melide, e 6.0 m a Figino. L'escursione annua della trasparenza ha raggiunto 11.0 m a Gandria, 10.3 m a Melide e 8.2 m a Figino.

### 5.2. Torbidità

Nella figura 5.2. è riportata graficamente la distribuzione spazio-temporale dei valori della torbidità espressi in FTU (Formazine Turbidity Units).

Nello strato epilimnico l'andamento della torbidità nei tre siti è simile, e si distinguono le punte legate allo sviluppo stagionale del fitoplancton (cfr. Fig. 6.3.1.). Il picco di fine marzo, mette in evidenza la presenza di diatomee nei primi metri della colonna d'acqua, mentre nei mesi successivi sono soprattutto le cloroficee a determinare forti torbidità più in profondità (cfr. Fig. 6.2.1.). A Gandria al di sotto di 220-250 m si riconferma l'elevata torbidità generata dalla presenza di materiale fine in sospensione di origine alloctona.

Variazioni significative sono state rilevate anche a Figino ed in misura minore a Melide, dove negli strati sovrastanti il sedimento (fino a circa 10 m dal fondo) la torbidità presenta un costante aumento nel corso del secondo semestre, parallelamente allo sviluppo dell'anossia (cfr. Fig. 5.4.).

### 5.3. Temperatura dell'acqua

Nella figura 5.3. sono rappresentate le isoterme ottenute in base alle misurazioni quindicinali effettuate ogni metro con la sonda multiparametrica.

In seguito all'inverno particolarmente mite, il primo dopo due inverni molto rigidi, il rimescolamento delle acque ha coinvolto solamente i primi 30-40 m di profondità in tutto il lago. Nel bacino nord è opportuno notare come l'isoterma di 5.5 °C sia progressivamente sprofondata dai 75 m di marzo ai 200 m di dicembre, indice di una ripresa del riscaldamento degli strati profondi, interrottosi dopo il rimescolamento completo dell'inverno 2005-2006. Parimenti è rilevabile a partire dal sedimento, sempre visibile tramite l'isoterma di 5.5 °C, un riscaldamento di probabile origine geotermica. I minimi dell'anno a 0.4m di profondità sono stati misurati in febbraio (6.80 °C a Gandria, 6.99 °C a Melide e 6.95 °C a Figino), risultando superiori di 1.5-2.0 °C rispetto al 2006. La fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio è iniziata a in marzo ed è proseguita fino a luglio, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno: 23.51 °C a Gandria, 23.16 °C a Melide e 22.79 °C a Figino. La successiva fase di raffreddamento si è svolta in modo regolare fino a dicembre, con gradienti di temperatura meno forti rispetto al periodo di riscaldamento.

### 5.4. Ossigeno disciolto

La figura 5.4. riporta l'andamento della concentrazione d'ossigeno disciolto rilevato con la sonda multiparametrica, i cui valori sono stati regolarmente confrontati con quelli di laboratorio (metodo di Winkler), ottenendo una buona corrispondenza tra le due serie di dati ( $\pm 5\%$ ).

Nel bacino nord a differenza del 2006 non sono state rilevate concentrazioni critiche d'ossigeno all'interno dell'epilimnio. Il massimo assoluto dell'anno è stato misurato a fine maggio a 10 m di profondità ( $11.5 \text{ g m}^{-3}$ ). L'isolinea corrispondente al valore di  $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ , sotto la quale le condizioni d'ossigenazione sono considerate critiche (area in grigio), si è stabilizzata a 50 m durante tutto l'anno.

L'incompleto rimescolamento invernale delle acque del bacino sud ha fatto sì che già in marzo si riscontrassero condizioni anossiche sul fondo. L'isolinea di  $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ , localizzata in gennaio a 60 m a Melide e a 40 m a Figino, ha raggiunto la profondità di 30 m in dicembre. Durante il periodo vegetativo, le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, fino a toccare il valore massimo a luglio a 5 m di profondità ( $13.90 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$  a Melide e  $15.43 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$  a Figino). Il minimo metalimnico è stato rilevato in settembre-ottobre ed ha portato ad un'ossigenazione critica intorno ai 15 m.

### 5.5. Valore pH ed alcalinità

In tutto il lago le maggiori variazioni del valore pH (Fig. 5.5.1.) e dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.) sono state rilevate all'interno dello strato trofogeno, e sono legate all'andamento dall'attività fotosintetica. Un gradiente verticale dei valori pH sulla colonna d'acqua si è instaurato già a partire da marzo, mentre l'alcalinità,



essendo un parametro più conservativo, ha iniziato a ridursi significativamente solo in maggio.

Nel bacino nord, il valore più alto di pH dell'anno è stato pari 9.03 unità (maggio), mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.6 e 7.8. L'alcalinità ha raggiunto il mese successivo un minimo annuo di  $1.72 \text{ eq m}^{-3}$  in superficie. Sotto i 30 m di profondità i valori si sono mantenuti compresi tra a 2.3 e  $2.5 \text{ eq m}^{-3}$  in assenza di gradienti di rilievo.

Per quanto concerne l'epilimnio del bacino sud i valori massimi di pH e minimi d'alcalinità sono stati misurati in luglio nella stazione di Figino, con rispettivamente 9.32 e  $1.30 \text{ eq m}^{-3}$ . A partire da giugno, nell'ipolimnio del bacino sud si sono instaurati deboli gradienti verticali di pH e d'alcalinità, con valori compresi rispettivamente tra 7.5 e 7.9 unità, e tra 2.1 e  $2.3 \text{ eq m}^{-3}$ .

### 5.6. Conducibilità elettrica specifica

L'andamento della conducibilità (Fig. 5.6.) presenta analogie con quello dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.). In febbraio i valori sono risultati omogenei sull'intera colonna, a riprova della completa circolazione delle acque:  $240 \mu\text{S cm}^{-1}$  nel bacino nord ed  $245 \mu\text{S cm}^{-1}$  nel bacino sud.

Nell'epilimnio di Gandria, a partire da aprile, l'assimilazione dei nutrienti e del carbonio inorganico da parte del fitoplancton ha progressivamente fatto scendere i valori della conducibilità che, a 0.4 m di profondità, è passata da 230 ai  $184 \mu\text{S cm}^{-1}$  di settembre. Dalla profondità di 20 m fino al fondo i valori sono risultati compresi tra 230 e  $250 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Nell'epilimnio del bacino sud la conducibilità si è gradualmente ridotta dai  $240 \mu\text{S cm}^{-1}$  di marzo fino a toccare in luglio un minimo a Melide di  $174 \mu\text{S cm}^{-1}$  e a Figino di  $170 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Da giugno, i valori ipolimnici del bacino sud hanno mostrato un leggero aumento che ha portato, sul fondo, a valori intorno a  $260 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

### 5.7. Composti del fosforo

L'andamento stagionale del fosforo nei tre siti campionati è caratterizzato da un forte calo delle concentrazioni epilimniche a partire da marzo, in concomitanza con lo sviluppo dei popolamenti fitoplanctonici.

Nel bacino nord la parziale circolazione invernale ha portato in marzo a concentrazioni omogenee di fosforo totale (Fig. 5.7.2) intorno a  $70 \text{ mg P m}^{-3}$  all'interno dei primi 30 m. Tra i 50 m ed i 200 m di profondità le concentrazioni sono oscillate tra 100 e  $110 \text{ mg P m}^{-3}$ , mentre al di sotto dei 200 m sono diminuite probabilmente a causa del suo adsorbimento al materiale colloidale riscontrato sotto i 250 m (cfr. paragrafo 5.2.). Il massimo annuale, pari a  $176 \text{ mg P m}^{-3}$  è stato rilevato in luglio a 200 m di profondità, Nell'epilimnio l'attività algale ha progressivamente ridotto le concentrazioni di questo nutriente dai  $70 \text{ mg P m}^{-3}$  di marzo al minimo annuo di luglio ( $12 \text{ mg P m}^{-3}$ ). Sotto i 50m il fosforo ortofosfato (Fig. 5.7.1.) costituisce l'80-90% del fosforo totale, mentre negli strati superiori il suo contributo percentuale si riduce fino a meno del 10%, in seguito alla produzione di biomassa algale (fosforo particellato). Parimenti

sotto i 250 m una percentuale significativa del fosforo (50-70 %) è presente in forma particellata o colloidale.

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto, in marzo, valori omogenei fino a circa 30 m di profondità:  $40 \text{ mg P m}^{-3}$  a Melide e  $30 \text{ mg P m}^{-3}$  a Figino. Il consumo della frazione disciolta da parte del fitoplancton è stato accompagnato, anche nell'epilimnio di questo bacino, da una progressiva riduzione dei valori di fosforo totale, il cui minimo annuale è stato registrato in luglio a Melide ( $7 \text{ mg P m}^{-3}$ ). Negli strati profondi, il rilascio del fosforo dai sedimenti anossici durante la fase di stagnazione è stato mitigato in marzo e aprile dalla parziale circolazione, risultando comunque più marcato a Melide rispetto a Figino. Le concentrazioni massime di fosforo totale sono state misurate a due metri dal fondo, in gennaio a Melide ( $354 \text{ mg P m}^{-3}$ ) e in dicembre a Figino ( $131 \text{ mg P m}^{-3}$ ). Nell'epilimnio del bacino sud la percentuale di fosforo reattivo sul totale durante è passata dal 60-70 % di febbraio a meno del 20 % durante il periodo vegetativo. Sotto i 30 m la quota di ortofosfato è risultata compresa tra 70 e 90 %. Tuttavia a Figino durante il secondo semestre al di sotto degli 80 m il fosforo particellato è aumentato fino a costituire il 40 % del totale, probabilmente in seguito all'adsorbimento del fosforo disciolto agli idr/ossidi di ferro manganese precipitati all'altezza dell'interfaccia redox.

#### 5.8. Composti dell'azoto

Tra le forme d'azoto presenti nelle acque lacustri, quelle inorganiche (nitrico: Fig. 5.8.1.; nitroso: Fig. 5.8.2.; ammoniacale: Fig. 5.8.3.) costituiscono una frazione importante nell'ipolimnio (40-60%), mentre negli strati superficiali, quando l'azoto è presente soprattutto in forma particellata (biomassa algale) può scendere sotto il 10%. Le maggiori fluttuazioni quantitative dell'azoto totale dipendono in particolare dall'andamento delle concentrazioni delle componenti nitrica ed ammoniacale.

Nel bacino nord l'azoto nitrico è stato rilevato a concentrazioni sempre inferiori a  $0.4 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ , mentre quello ammoniacale era presente solo nell'ipolimnio anossico, sotto i 250 m. In estate nei primi 10 m il primo si è ridotto al di sotto dei limiti di detezione in seguito alla sua assimilazione da parte del fitoplancton, mentre il secondo ha mantenuto gradienti verticali crescenti verso il fondo (da  $0.1$  a  $0.4 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$ ). Concentrazioni significative di azoto nitroso sono state rilevate sporadicamente a diverse profondità, con valori inferiori a  $15 \text{ mg NO}_2\text{-N m}^{-3}$ .

Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale nel bacino nord (Fig. 5.8.4.) riflettono la dinamica delle sue due componenti principali: nell'epilimnio le concentrazioni estive scendono sotto i  $0.3 \text{ g N m}^{-3}$  in seguito all'assimilazione dell'azoto nitrico, mentre nello strato di fondo il rilascio dell'azoto ammoniacale dal sedimento ha contribuito ad aumentare i valori di azoto totale portandoli ad un massimo di  $0.92 \text{ g N m}^{-3}$  in marzo.

Il bacino sud presenta in marzo, al termine della circolazione, tenori d'azoto nitrico quasi uniformi sull'intera colonna ( $0.9\text{-}1.0 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ ). Da aprile ad agosto si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici, con un minimo in luglio di  $0.14 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$  a Melide. Con il consolidamento della stratificazione termica e l'instaurarsi di condizioni d'anossia nell'ipolimnio, a

partire da giugno anche negli strati in prossimità del sedimento si osserva una progressiva diminuzione dei valori di questo ione, legata presumibilmente ai processi di denitrificazione che avvengono all'altezza dell'interfaccia ossido-riducente [6]. In agosto, a Melide, l'azoto nitrico ha fatto segnare la concentrazione più bassa ( $0.07 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ ) a due metri dal fondo. All'interno dello strato anossico, le isolinee dell'azoto ammoniacale presentano un andamento pressoché complementare a quelle della frazione nitrica. Le punte di ammonio sono state misurate nei punti di massima profondità, in novembre a Melide ( $0.70 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$ ) e in ottobre a Figino ( $0.67 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$ ). L'azoto nitroso, prodotto intermedio della nitrificazione, è stato riscontrato in quantitativi di un certo rilievo a partire da maggio a Melide sotto i 65 m, dove la concentrazione massima è stata rilevata in luglio ( $711 \text{ mg NO}_2\text{-N m}^{-3}$ ).

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, nello strato epilimnico si osservano, da maggio a novembre, variazioni di rilievo, determinate in larga misura dai processi d'assimilazione algale della componente nitrica; i tenori d'azoto totale più bassi sono stati misurati a Melide nel campione superficiale di settembre ( $0.62 \text{ g N m}^{-3}$ ). Il massimo d'azoto totale, pari a  $1.95 \text{ g N m}^{-3}$ , è stato rilevato in ottobre in corrispondenza del minimo metalimnico (20 m di profondità).

### 5.9. Silice

Le concentrazioni dei silicati reattivi del bacino nord (Fig. 5.9.) hanno raggiunto in febbraio una concentrazione di  $0.8\text{-}0.9 \text{ g Si m}^{-3}$  nei primi 30 m. I valori epilimnici sono poi calati nel corso del mese successivo in seguito al rapido sviluppo del popolamento di diatomee (cfr. Fig. 6.2.1.) per poi toccare in novembre, in superficie, il livello minimo:  $0.12 \text{ g Si m}^{-3}$ . Negli strati profondi le concentrazioni sono rimaste sostanzialmente stabili, con valori crescenti verso il fondo compresi tra  $1.2$  e  $2.0 \text{ g Si m}^{-3}$ . La concentrazione massima dell'anno ( $2.23 \text{ g Si m}^{-3}$ ) è stata misurata in agosto a 2 m dal sedimento.

Nel bacino sud, tra febbraio e marzo la distribuzione delle concentrazioni è risultata uniforme fino a 30 m di profondità ( $0.7\text{-}0.8 \text{ g Si m}^{-3}$  a Melide e  $1.3\text{-}1.4 \text{ g Si m}^{-3}$  a Figino). In seguito si è verificato un forte consumo epilimnico da parte delle diatomee, che ha fatto scendere progressivamente le concentrazioni ai minimi annui ( $0.11 \text{ g Si m}^{-3}$  a Melide e  $0.18 \text{ g Si m}^{-3}$  a Figino, in agosto). Da maggio a novembre, il graduale rilascio di silice dal sedimento ha lentamente incrementato le concentrazioni dell'ipolimnio profondo, fino a giungere in estate ai massimi annui ( $2.85 \text{ g Si m}^{-3}$  a Melide in novembre;  $2.30 \text{ g Si m}^{-3}$  a Figino in agosto).

### 5.10. Metano

Il metano si riscontra nelle acque lacustri solamente in condizioni di marcata anossia (Fig. 5.10.).

A Gandria, nel corso del 2007, il metano è stato riscontrato costantemente a profondità superiori a 200 m con valori in progressiva crescita verso il fondo (da  $0.1$  a  $0.7 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$ ). La concentrazione più elevata ( $1.30 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$ ) è stata misurata nel corso del mese di marzo, in prossimità del sedimento

Nel bacino sud la presenza di questo gas disciolto è stata rilevata all'interno dello strato anossico, dapprima ancora in gennaio e quindi nel corso del secondo semestre. La diffusione di metano dai sedimenti lacustri ha portato le concentrazioni dei campioni di fondo ad un massimo in novembre a Melide ( $1.39 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$ ) ed in ottobre a Figino ( $1.48 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$ ).

#### 5.11. Ferro disciolto

Nel bacino nord il ferro disciolto è risultato presente in concentrazioni rilevanti a fine marzo e durante il secondo semestre sotto i 250 m di profondità, in situazioni di marcata anossia (Fig. 5.11.). Le concentrazioni più elevate sono state rilevate in novembre, con un massimo di  $581 \text{ mg Fe m}^{-3}$ .

Nel bacino sud la presenza di ferro disciolto è stata rilevata in quantità significative solo a Figino a partire da giugno e al di sotto di 80 m di profondità. In questo periodo il rilascio di questo ione dai sedimenti ha portato le concentrazioni a toccare i massimi annuali in settembre e novembre ( $52 \text{ mg Fe m}^{-3}$ ).

#### 5.12. Manganese disciolto

Nel bacino nord il manganese disciolto (Fig. 5.12.) è stato rilevato all'interno dello strato anossico sotto i 220 m di profondità ed ha mostrato un forte gradiente di concentrazione verticale, la cui intensità è però scemata a partire da maggio. Il massimo annuale ( $0.59 \text{ g Mn m}^{-3}$ ) è stato misurato in gennaio a due metri dal fondo.

Nel bacino sud il manganese è stato rilevato in concentrazioni rilevanti a partire da maggio, sotto i 60 m: esso presenta un andamento simile in entrambe le stazioni campionate, e concentrazioni più elevate rispetto al bacino nord. A Melide il valore massimo è stato toccato in gennaio ( $1.62 \text{ g Mn m}^{-3}$ ), mentre a Figino è stato raggiunto in agosto ( $0.91 \text{ g Mn m}^{-3}$ ), entrambi nei campioni di fondo.

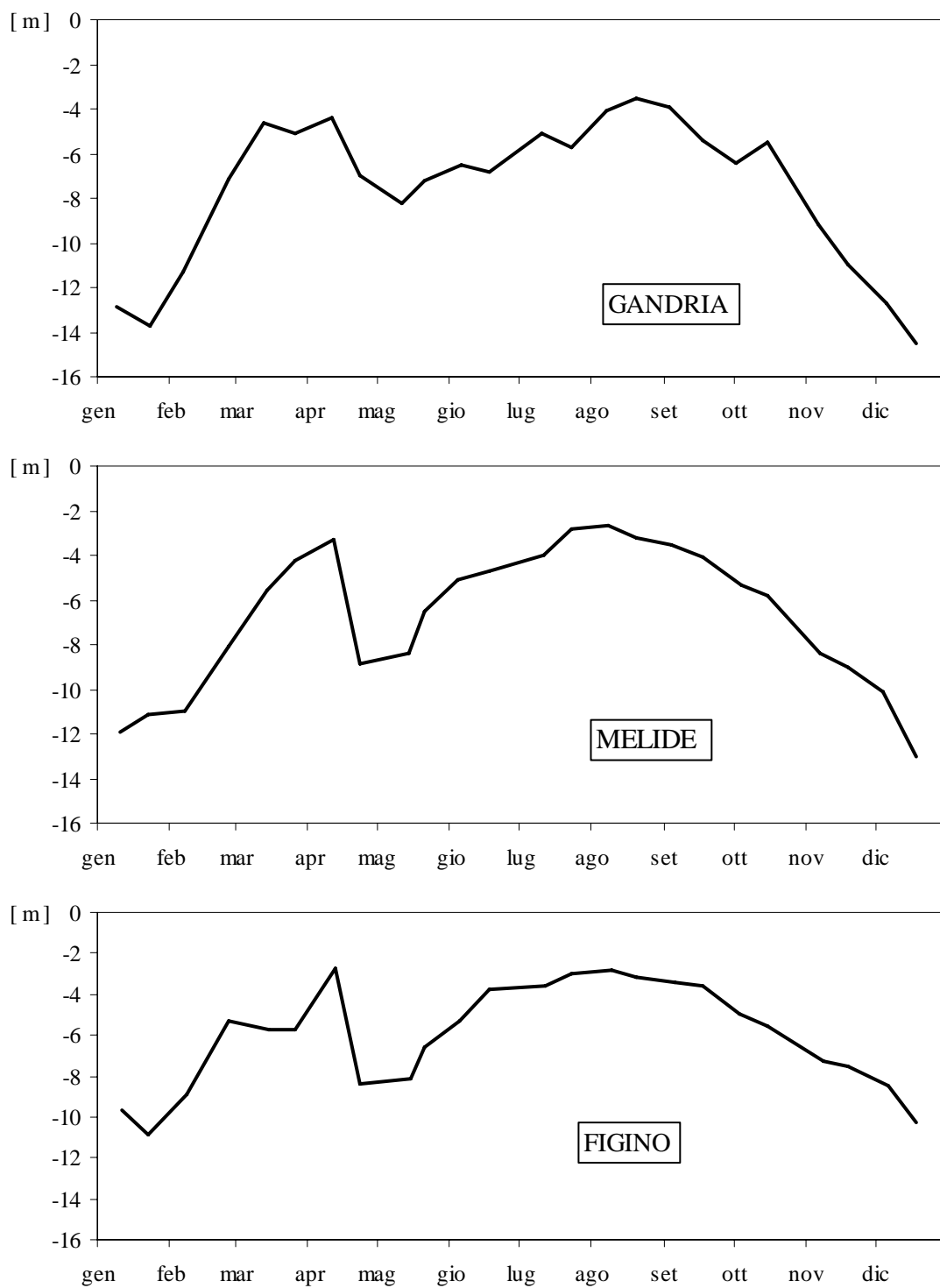


Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2007: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.

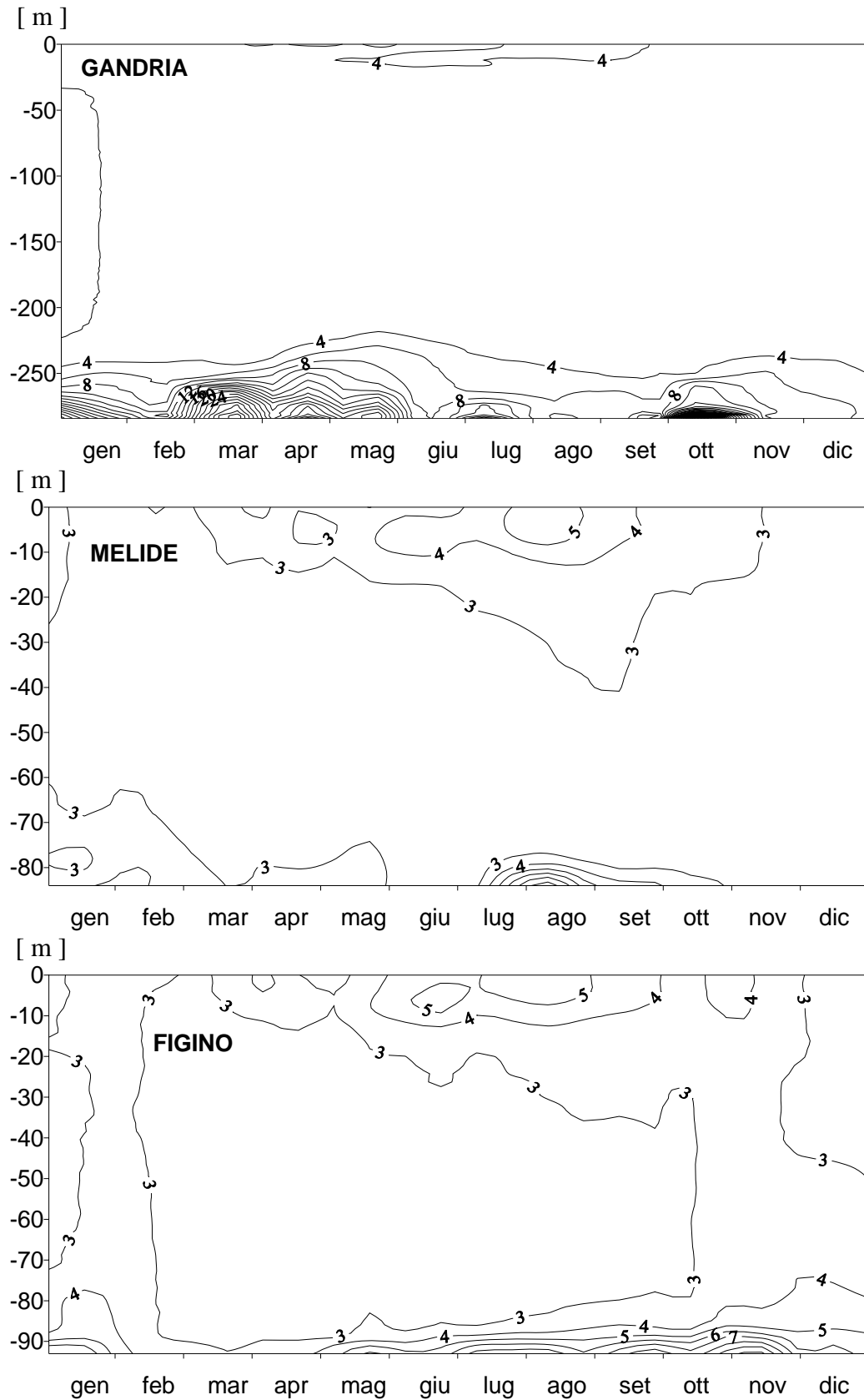


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2007: andamento della torbidità rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica.

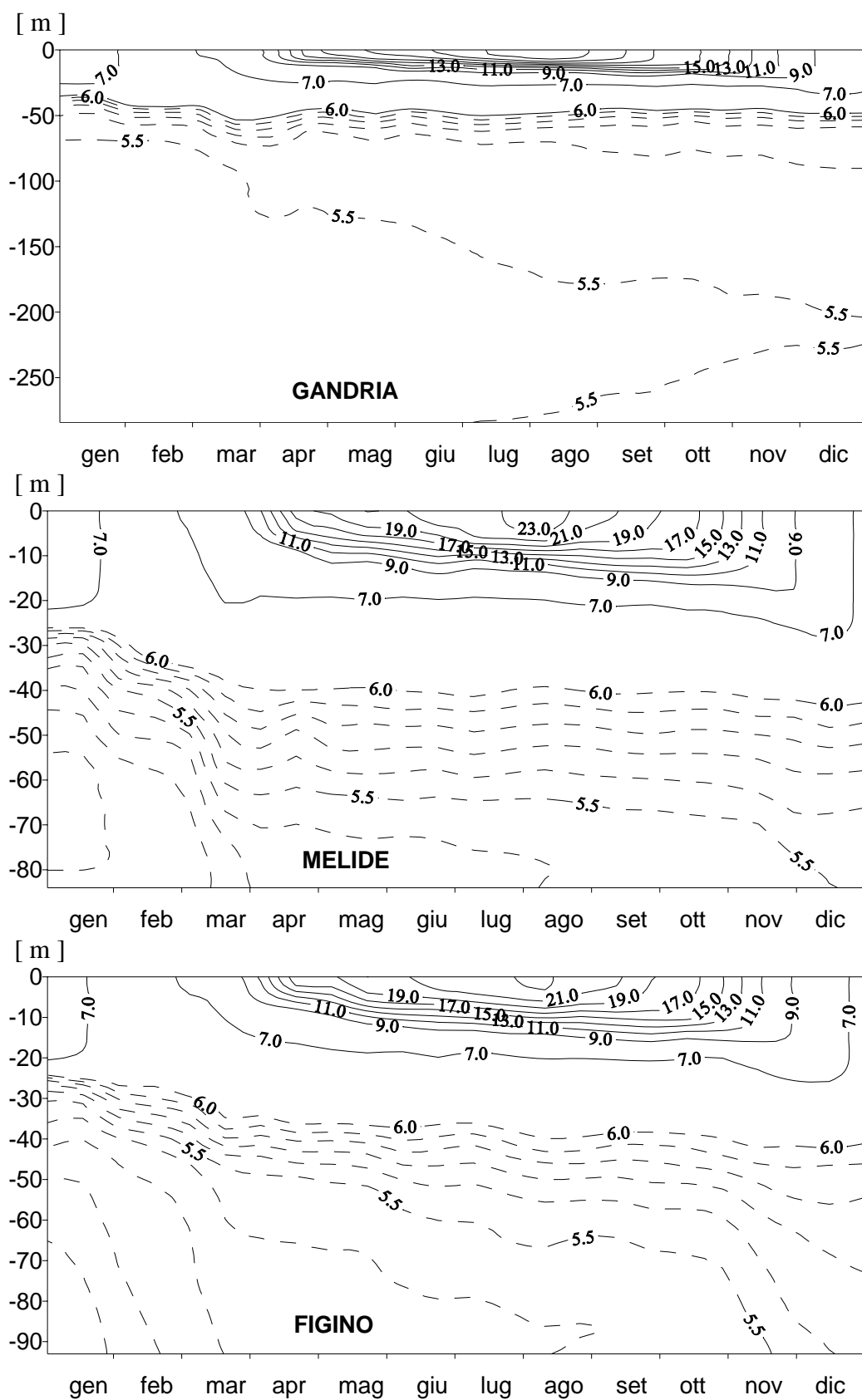


Fig. 5.3. Lago di Lugano, 2007: andamento della temperatura rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [°C].

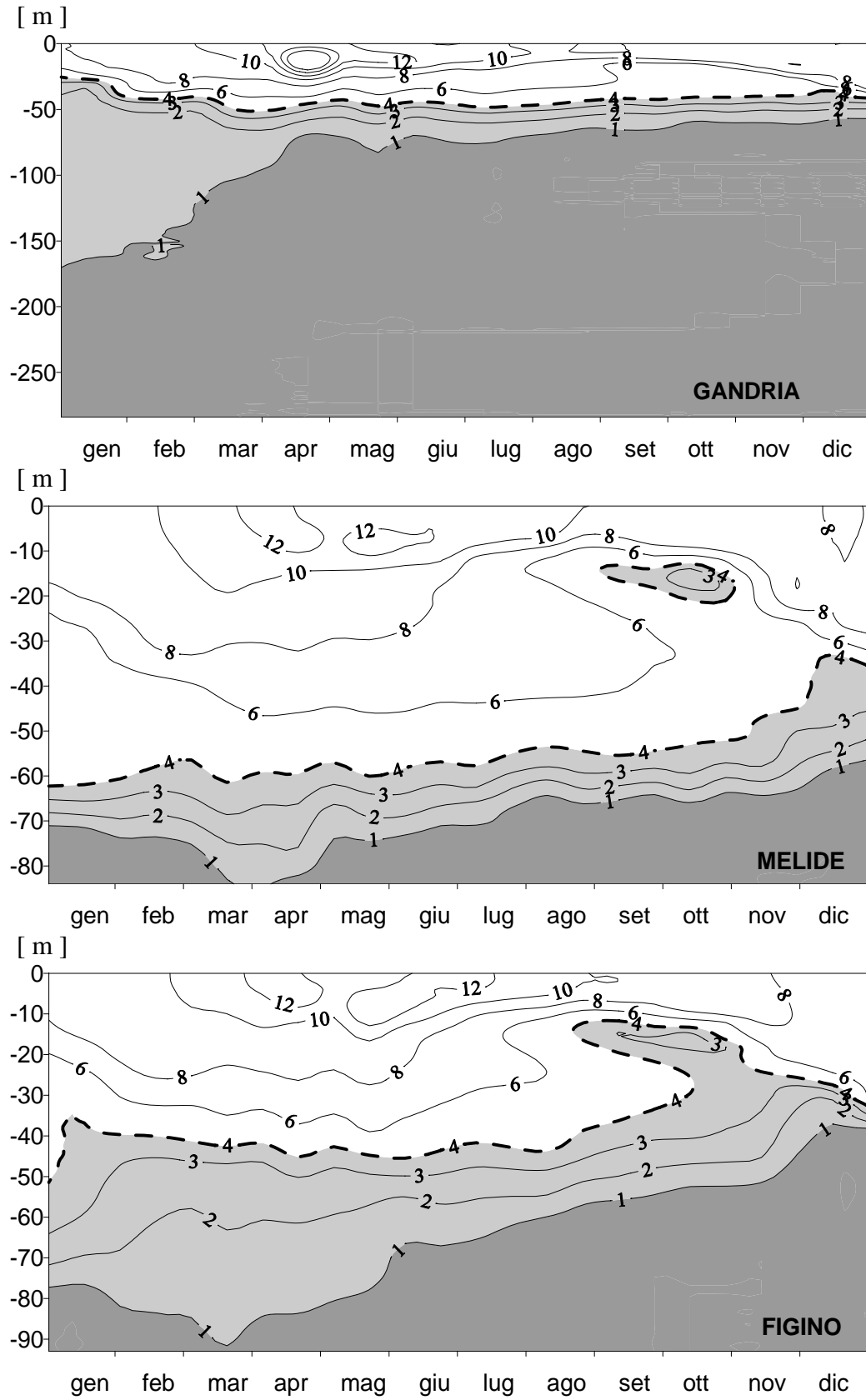


Fig. 5.4. Lago di Lugano, 2007: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [ $\text{g m}^{-3}$ ].



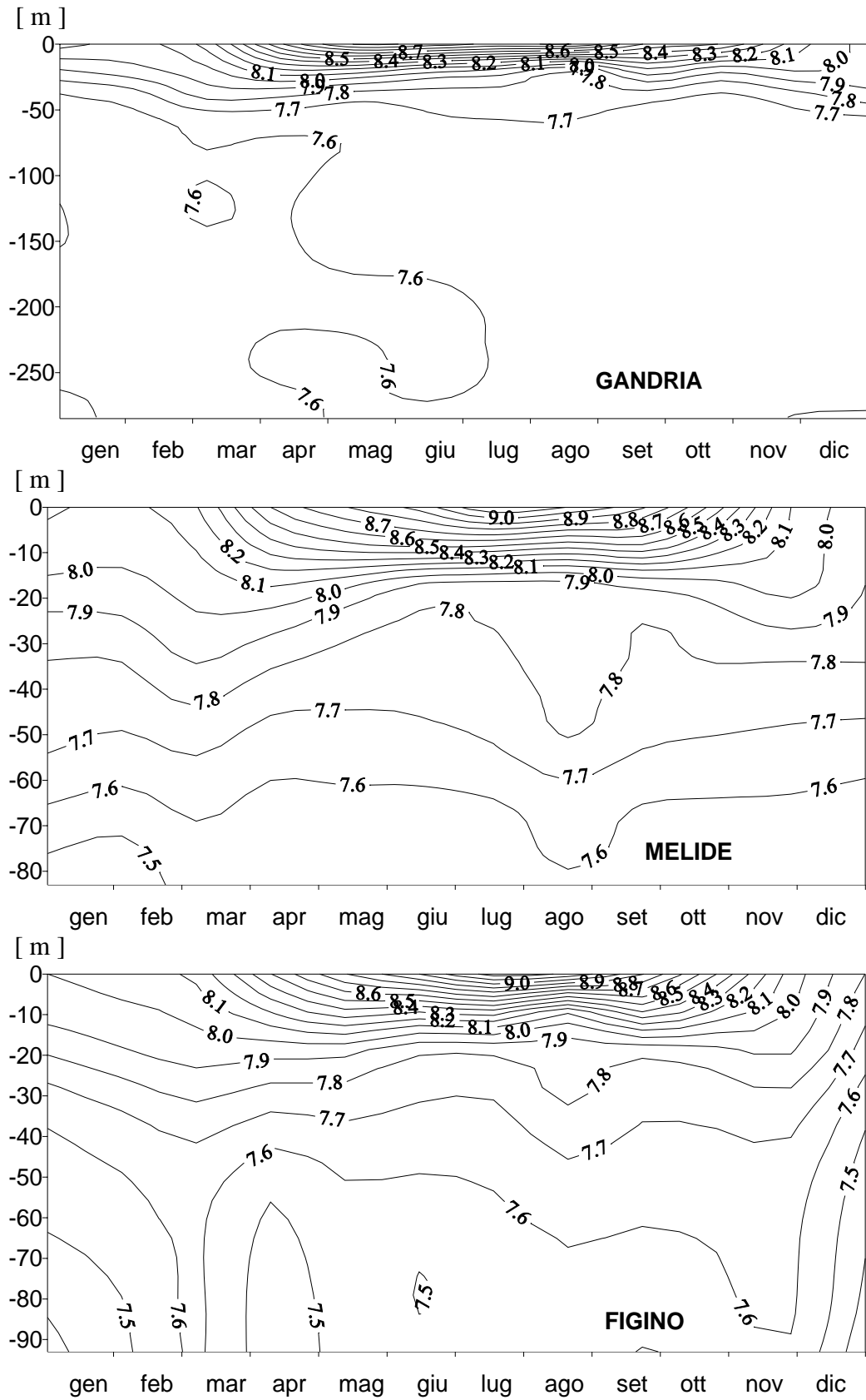


Fig. 5.5.1. Lago di Lugano, 2007: andamento del valore pH.

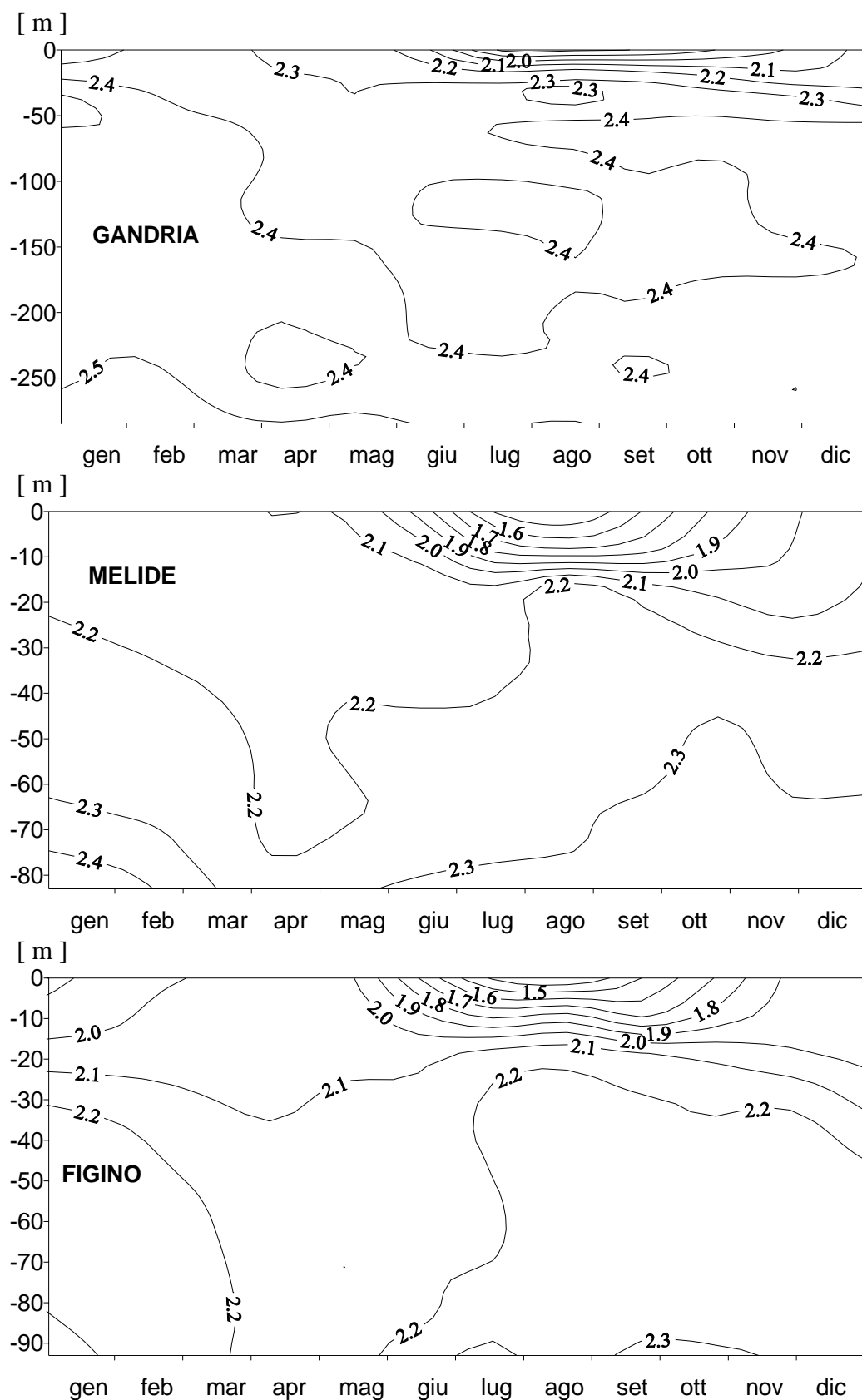


Fig. 5.5.2. Lago di Lugano, 2007: andamento dell'alcalinità [eq m<sup>-3</sup>].

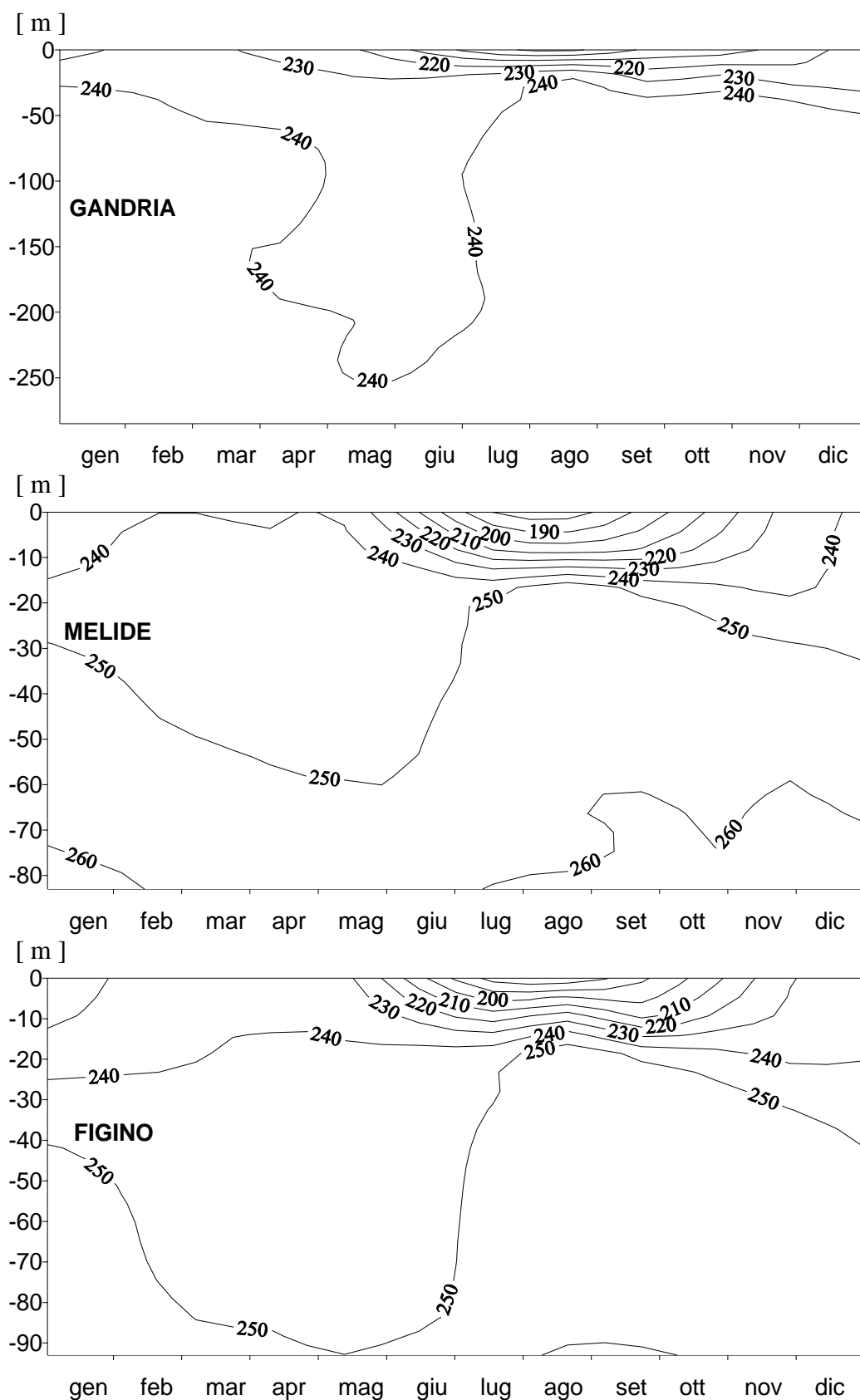


Fig. 5.6. Lago di Lugano, 2007: andamento della conducibilità elettrica [ $\mu\text{S cm}^{-1}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ].

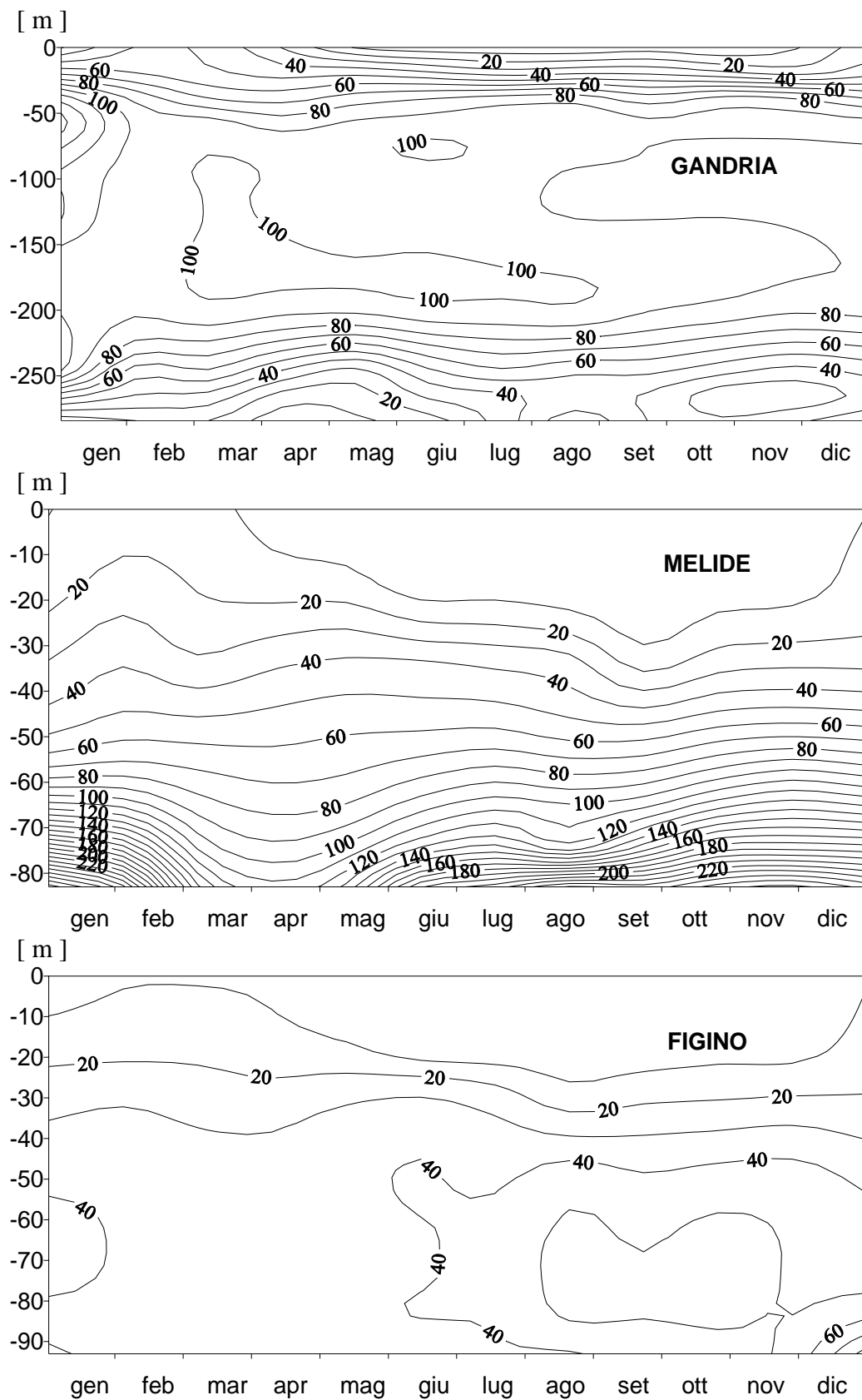


Fig. 5.7.1. Lago di Lugano, 2007: andamento del fosforo ortofosfato [ $\text{mg P m}^{-3}$ ].

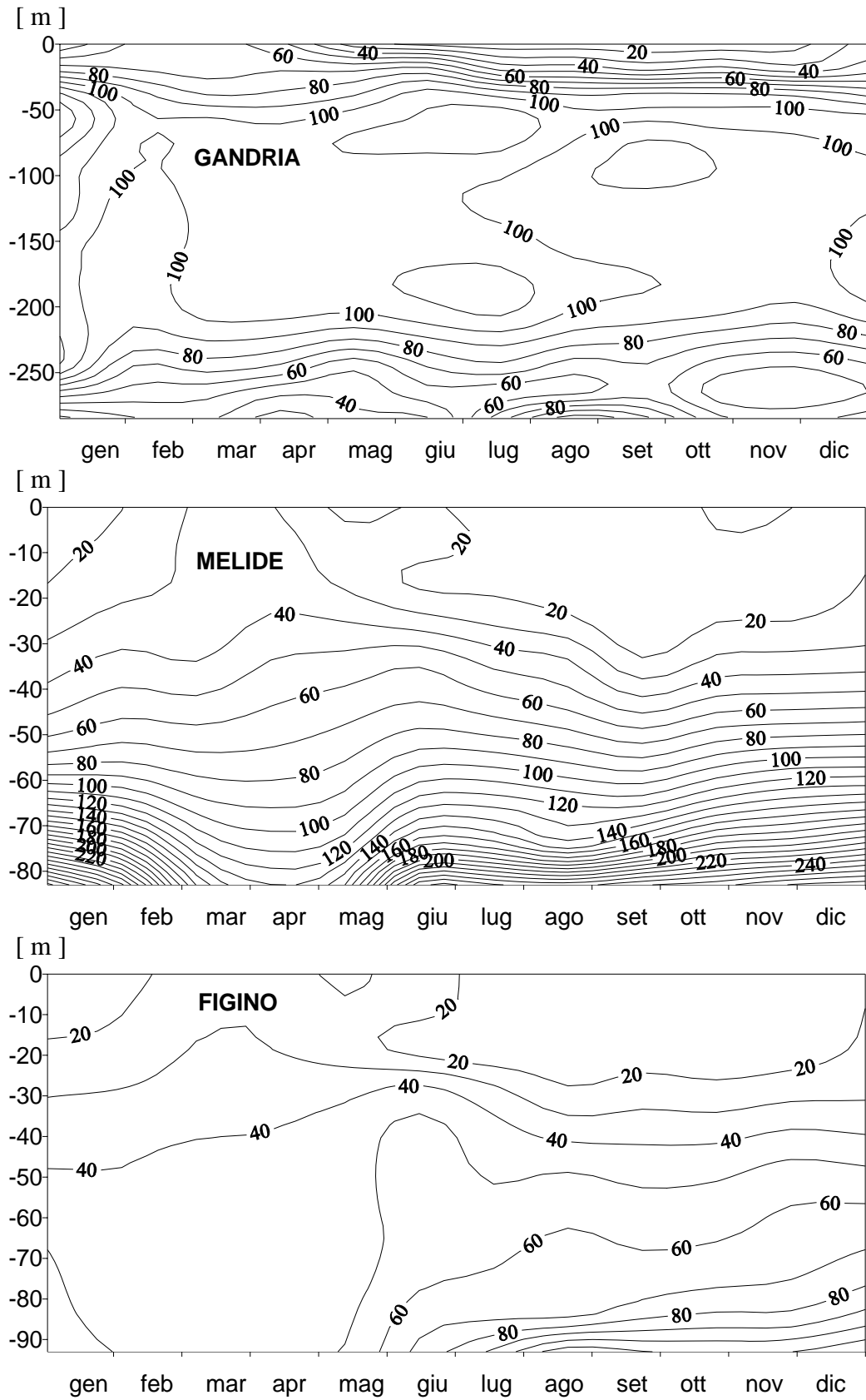


Fig. 5.7.2. Lago di Lugano, 2007: andamento del fosforo totale [ $\text{mg P m}^{-3}$ ].

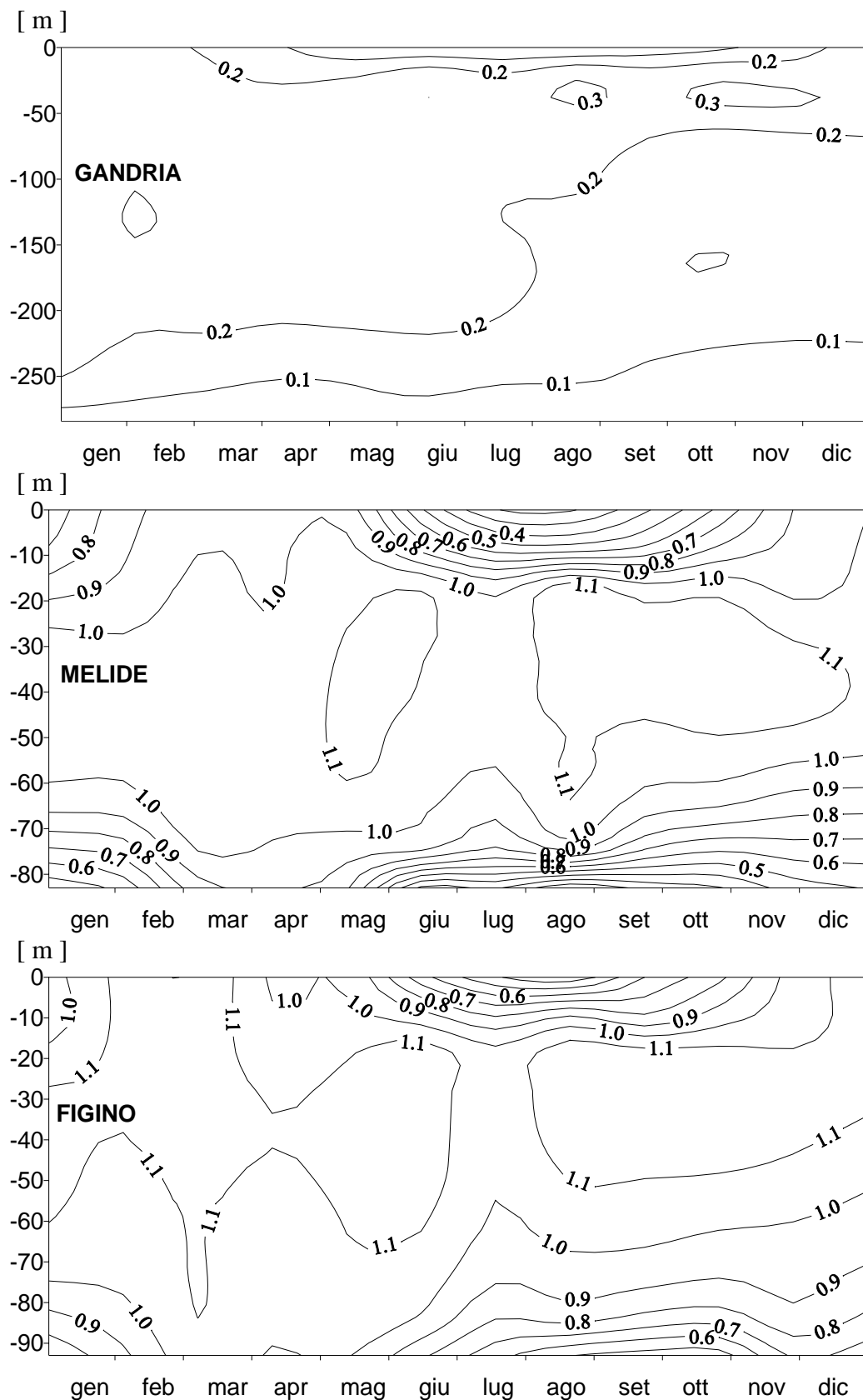


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2007: andamento dell'azoto nitrico [ $\text{g N m}^{-3}$ ].

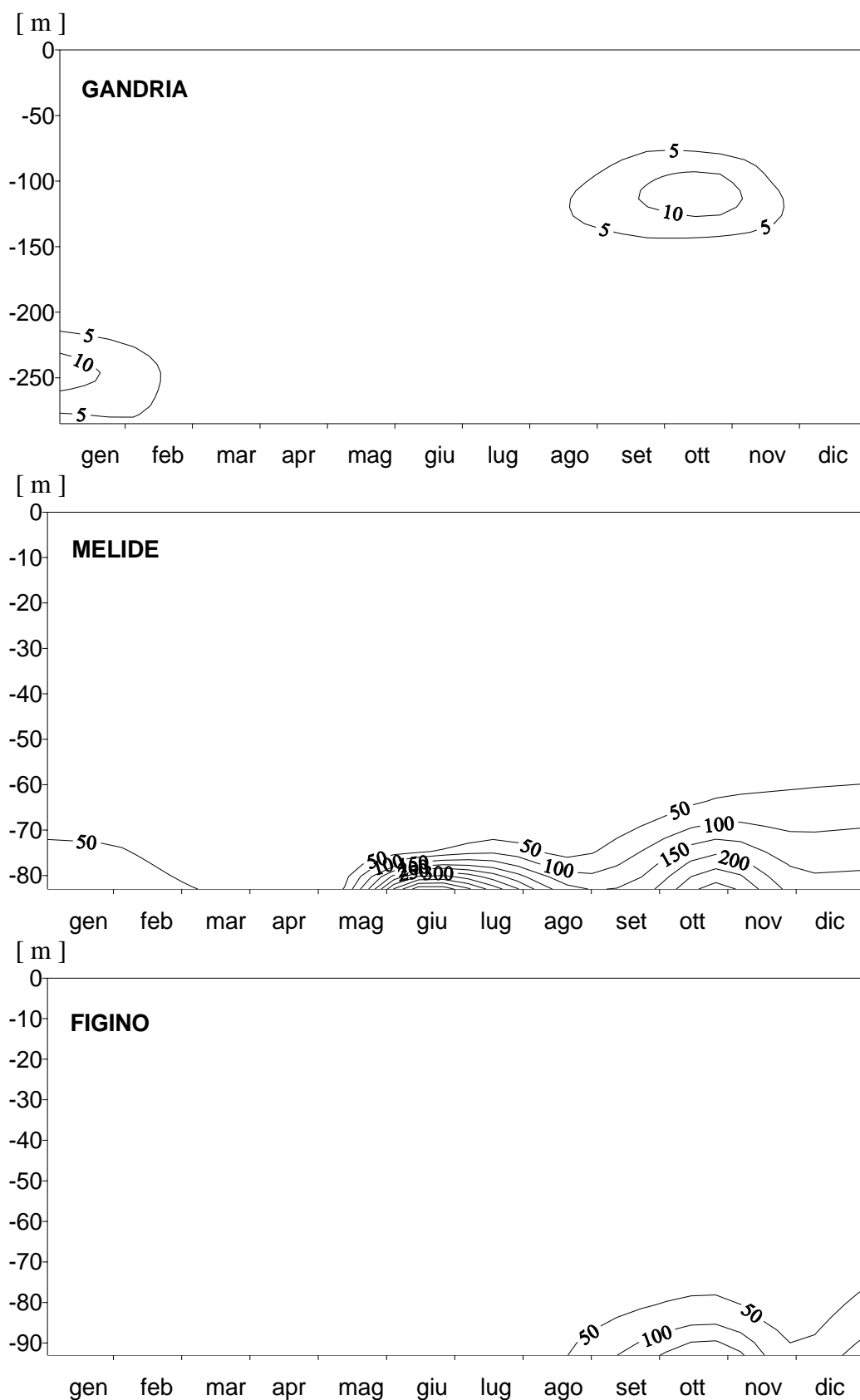


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2007: andamento dell'azoto nitroso [ $\text{mg N m}^{-3}$ ].

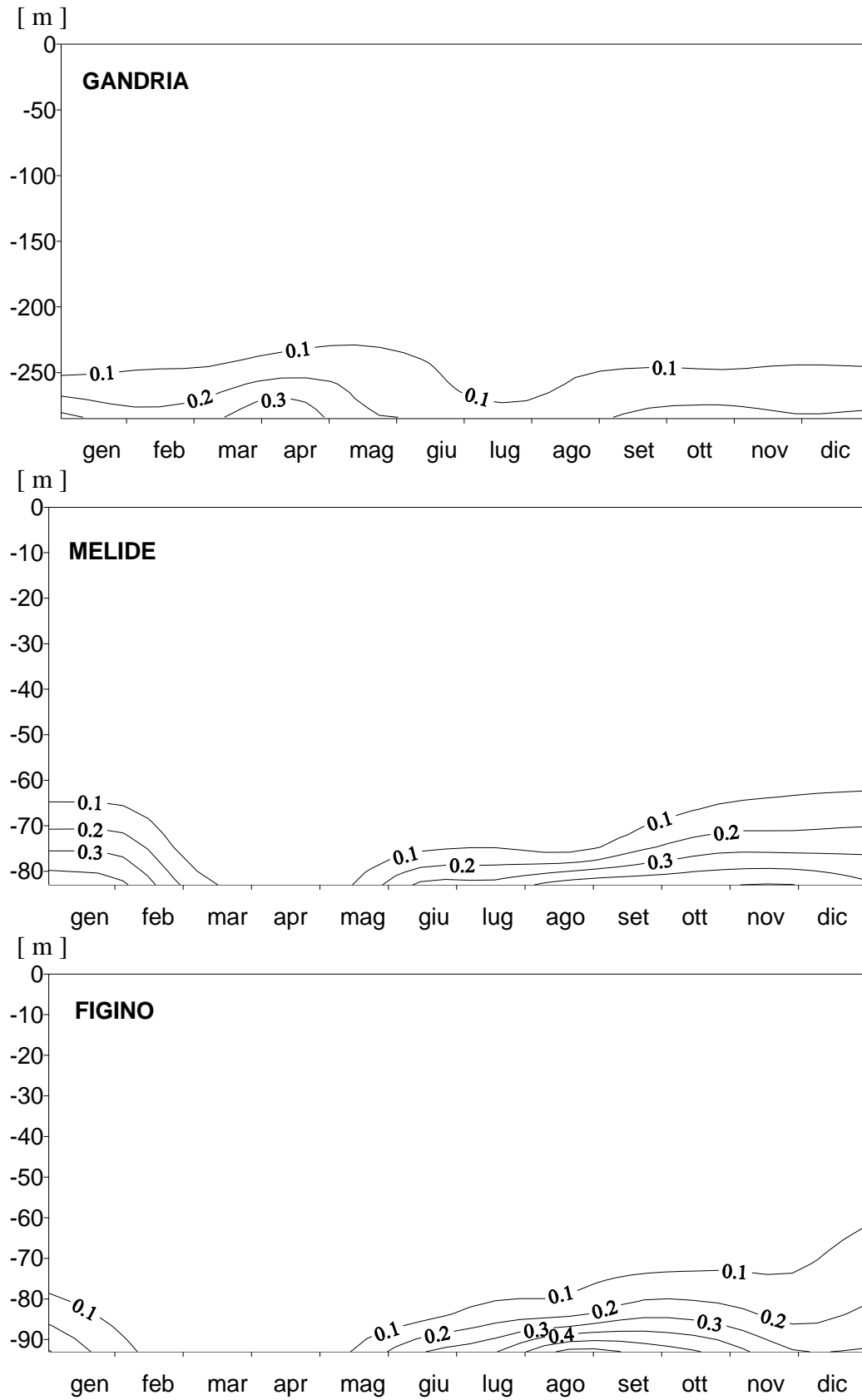


Fig. 5.8.3. Lago di Lugano, 2007: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m<sup>-3</sup>].



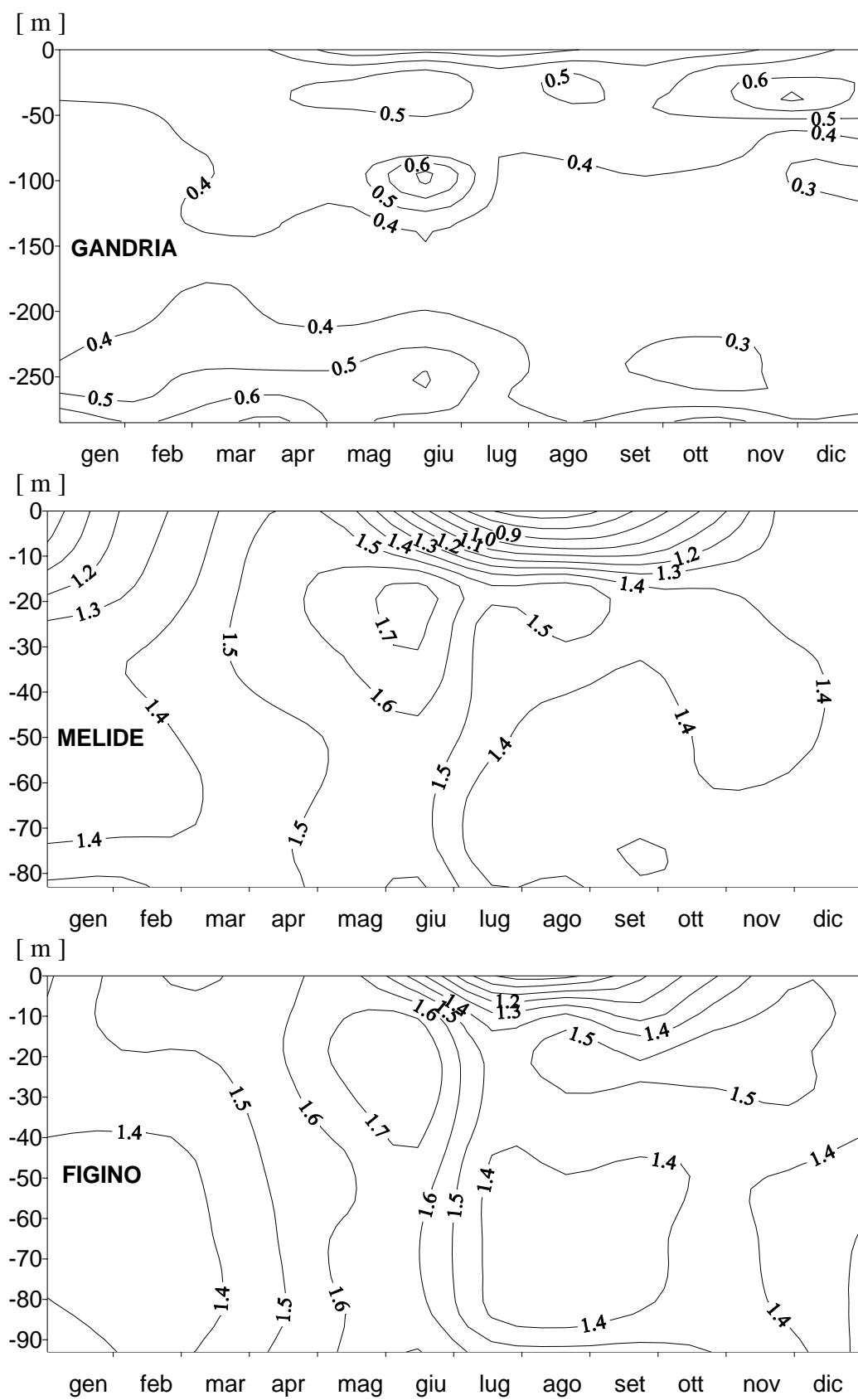


Fig. 5.8.4. Lago di Lugano, 2007: andamento dell'azoto totale [ $\text{g N m}^{-3}$ ].

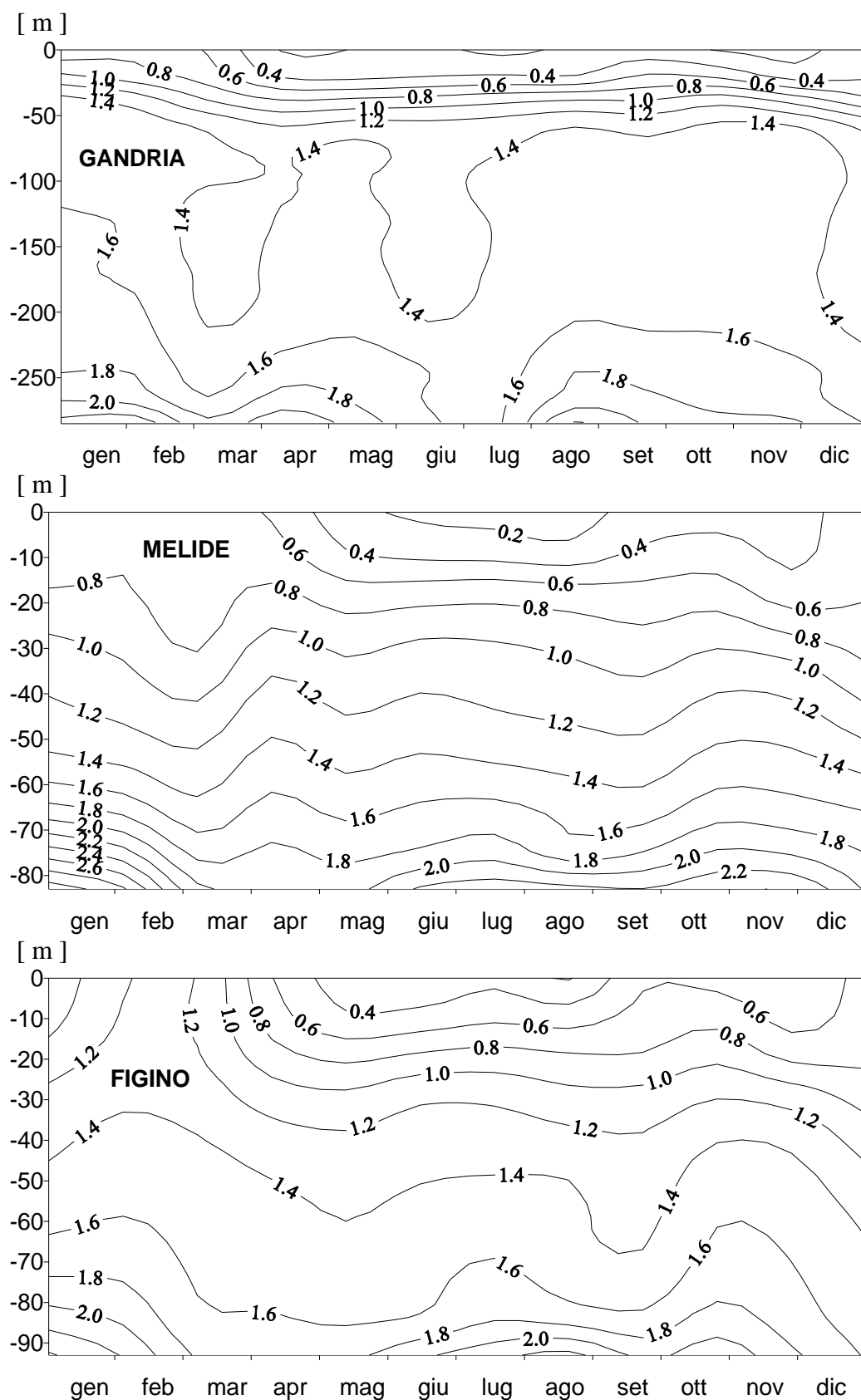


Fig. 5.9. Lago di Lugano, 2007: andamento dei silicati reattivi [ $\text{g Si m}^{-3}$ ].

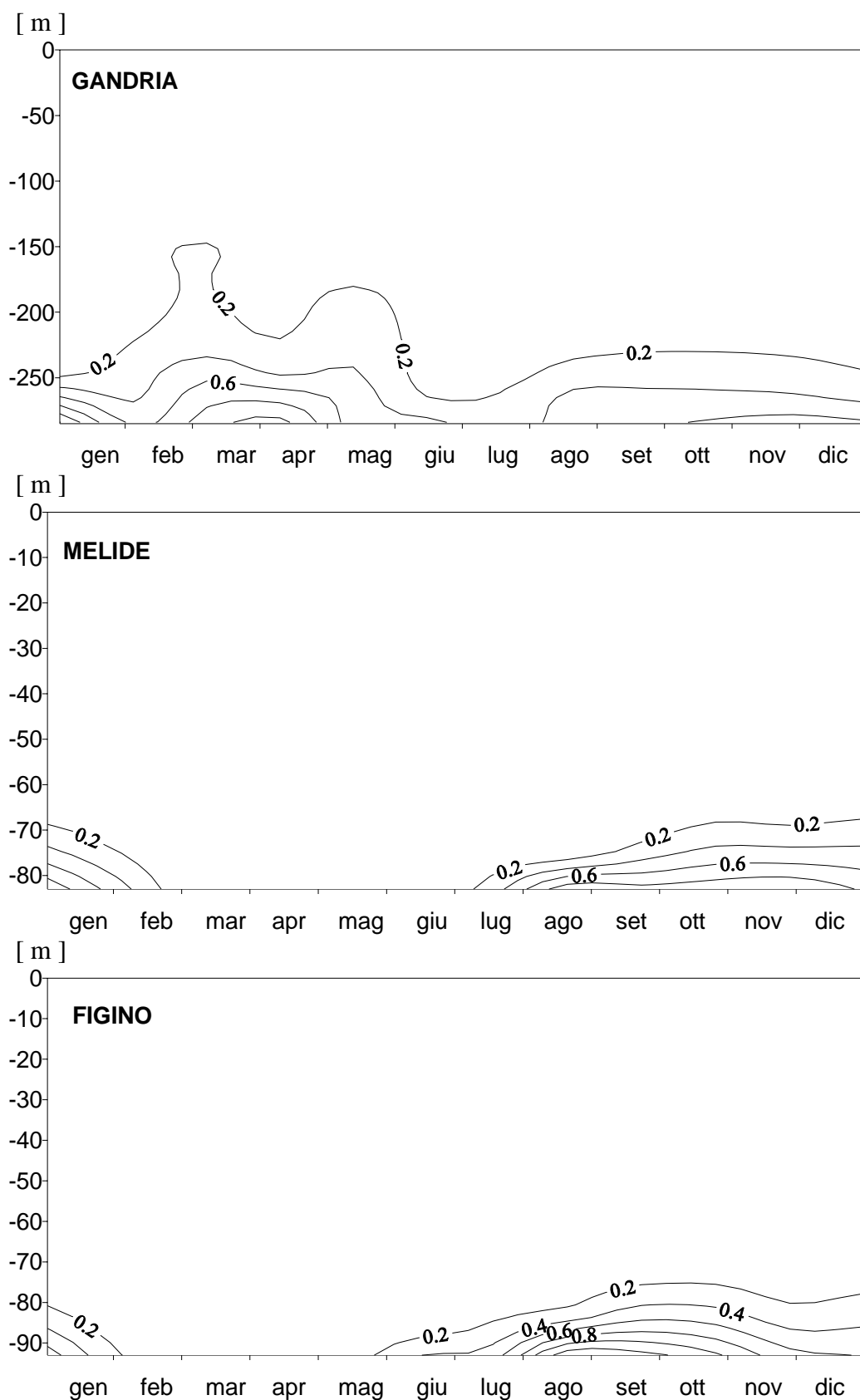


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2007: andamento del metano [ $\text{g m}^{-3}$ ].

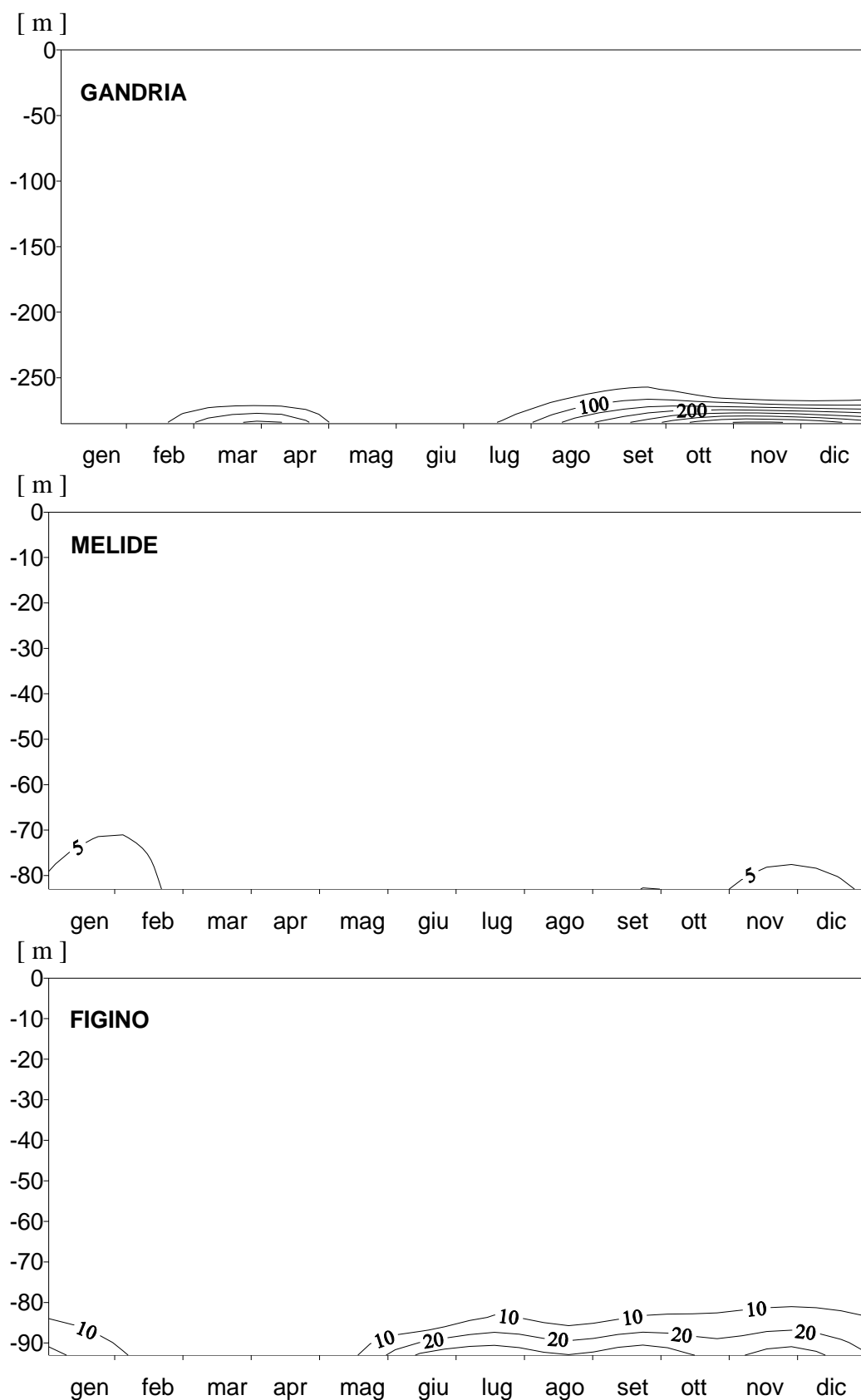


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2007: andamento del ferro disciolto [ $\text{mg m}^{-3}$ ].

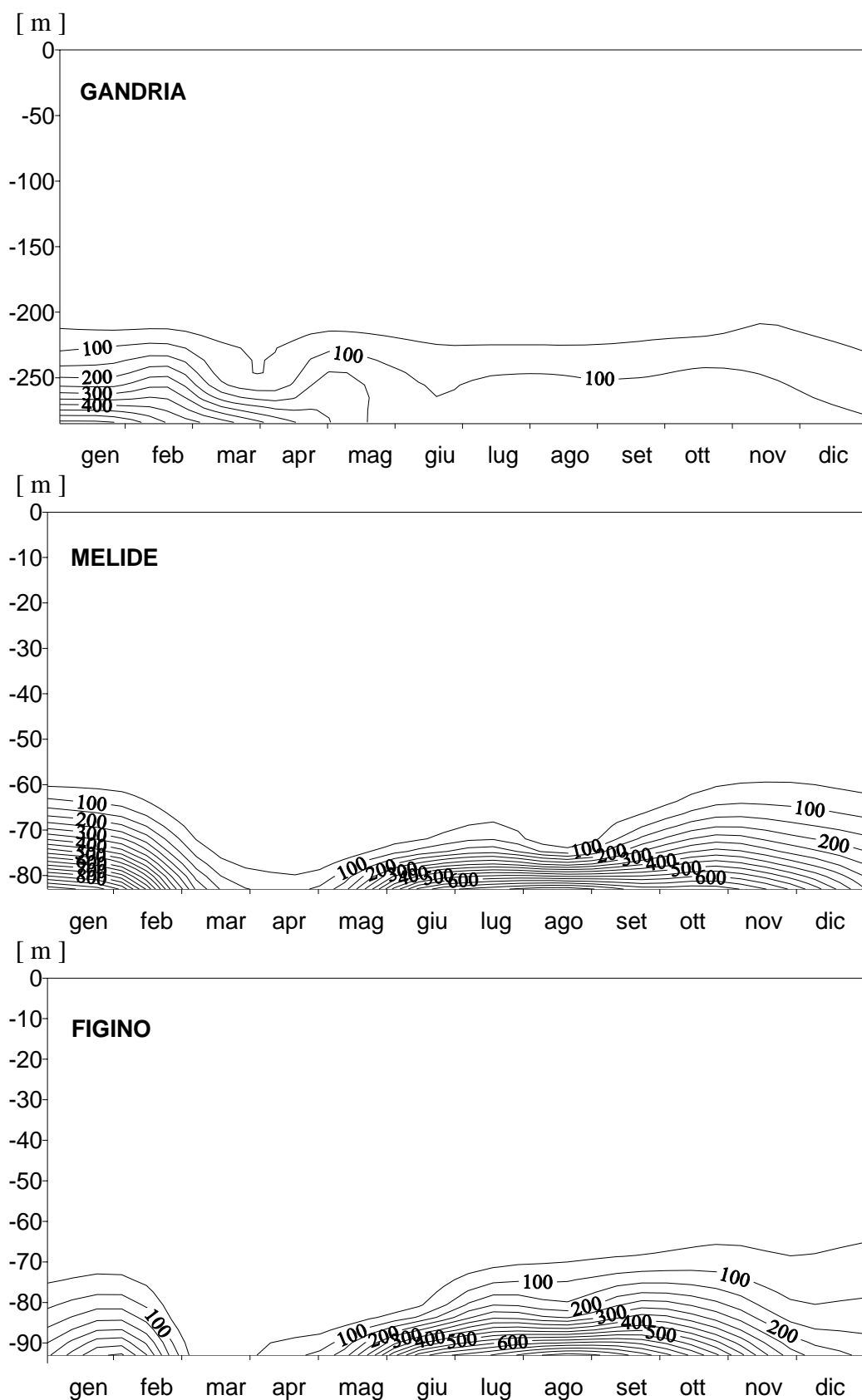


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2007: andamento del manganese disciolto [ $\text{mg m}^{-3}$ ].



## 6. INDAGINI SUL FITOPLANCTON

### 6.1. Struttura dei popolamenti

Nel corso del 2007 è continuata la raccolta dei campioni di fitoplancton nelle tre stazioni principali del lago (Gandria, Melide, Figino) secondo le modalità previste dal programma quinquennale. I campionamenti sono stati effettuati con frequenza mensile durante tutto l'anno, e quindicinale durante il periodo primaverile, caratterizzato da una rapida successione dei popolamenti algali. Complessivamente in ogni stazione sono stati raccolti ed analizzati 16 campioni integrali sulla colonna d'acqua compresa tra 0 e 20 m.

Come di consueto, l'evoluzione stagionale del popolamento fitoplanctonico presenta differenze significative tra i due bacini del lago: differenze che quest'anno riguardano prevalentemente la composizione tassonomica e la successione temporale delle specie principali, mentre risultano meno evidenti a livello dei valori complessivi di biomassa. Dopo due anni marcati dagli effetti delle profonde circolazioni invernali (2004-05, 2005-06), il periodo vegetativo del 2007 ha preso avvio dopo una fase invernale decisamente mite (cfr. 5.3.), che ha provocato un rimescolamento della colonna d'acqua solo parziale, e quindi uno scarso rifornimento di nutrienti algali dagli strati profondi verso la zona trofogenica (cfr. 5.7.). Di conseguenza anche il popolamento fitoplanctonico ha fatto registrare nel 2007 un generale calo dei valori di densità per tutti i gruppi tassonomici, in particolare per quanto concerne le cianofitiche filamentose e le diatomee centriche. Il progressivo consumo delle riserve di nutrienti ha pesantemente condizionato lo sviluppo algale nel corso del secondo semestre: già a partire dal mese d'agosto nel bacino nord, e a partire da ottobre nel bacino sud.

Dall'analisi dei principali gruppi tassonomici risulta che le **cianofitiche** sono risultate estremamente scarse sia nel bacino sud, dove unicamente si osserva un modesto sviluppo di specie coccali a partire da giugno (*Microcystis flos aquae*, *Snowella lacustris*, *Chroococcus limneticus*), sia nel bacino nord. L'unica specie filamentosa presente in quantità di un certo rilievo, *Planktothrix rubescens*, è stata riscontrata nel bacino nord, in giugno.

Come di consueto, le **diatomee** hanno presentato il loro principale momento di crescita all'inizio del periodo vegetativo. Quest'anno è però venuto a mancare l'importante contributo delle piccole specie centriche (quali *Stephanodiscus parvus*), come pure delle specie pennate coloniali: fra quest'ultime unicamente *Asterionella formosa* ha fatto registrare una punta importante in marzo, ma limitata al bacino sud (1.1 milioni di cellule l<sup>-1</sup>).

Le **clorofitiche** sono risultate predominanti durante il periodo estivo, grazie soprattutto a specie clorococcali coloniali quali *Sphaerocystis schroeteri*, e *Cælastrum polychordum*: la prima specie ha raggiunto i valori più elevati in luglio (1.4-3.1 milioni di cellule l<sup>-1</sup>), mentre la seconda tra luglio e agosto, ma solo nel bacino sud (0.6-1.2 milioni di cellule l<sup>-1</sup>).

Per quanto riguarda le **conjugatofitiche**, vi è da segnalare unicamente in giugno, e nella stazione di Gandria, una discreta fase di sviluppo per due specie d'elevate dimensioni cellulari: *Closterium aciculare* e *Closterium acutum* (70'000 cellule l<sup>-1</sup>).

Le **criptoficee** hanno avuto nel genere *Rhodomonas* il loro principale rappresentante: le punte di massimo sviluppo, che generalmente coincidono con l'inizio del periodo vegetativo, sono state rilevate durante il mese d'aprile nel bacino nord (1.9 milioni di cellule l<sup>-1</sup>), e tra marzo ed aprile in quello sud (0.9-1.7 milioni di cellule l<sup>-1</sup>).

Per quanto concerne i restanti gruppi, le **crisoficee**, le **peridinee** si sono mantenute sui consueti modesti livelli, mentre le **xantoficee** hanno fatto registrare a Gandria elevati valori di densità con *Tribonema sp.*: questa specie filamentosa, la cui fase di crescita in passato si era sempre situata tra maggio e giugno, ha fatto registrare quest'anno una breve ma intensa fase di sviluppo già nella prima metà di marzo, raggiungendo valori tra i più elevati dell'intero periodo d'osservazione (2.0 milioni di cellule l<sup>-1</sup>).

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del 2007, illustra in modo sintetico le analogie e le differenze più significative fra le tre stazioni campionate, sia sotto l'aspetto della composizione tassonomica che della successione cronologica.

Tab. 6.1. Lago di Lugano, 2007: sviluppo delle principali specie di fitoplancton nello strato 0-20 m (densità in 10<sup>6</sup> cellule l<sup>-1</sup>).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
marzo	Asterionella formosa (0.5) Stephanodiscus sp. (1.2) Stephanodiscus alpinus (0.5) Tribonema (2.0)	Asterionella formosa (1.1) Stephanodiscus sp. (0.4)  Tribonema (0.9) Rhodomonas (1.7)	Asterionella formosa (1.1)   Tribonema (0.5) Rhodomonas (0.9)
aprile	Rhodomonas (1.9)	Rhodomonas (1.6)	Rhodomonas (1.2) Fragilaria crotonensis (0.3) Synedra acus (0.04)
maggio	Ankyra juday (0.7)		
giugno	Planktothrix rubescens (18.0) Phacotus lenticularis (0.4) Closterium aciculare (0.07) Closterium acutum (0.07)	Sphaerocystis schroeteri (1.6) Phacotus lenticularis (0.3) Snowella lacustris (0.7)	Sphaerocystis schroeteri (1.5) Phacotus lenticularis (0.2) Snowella lacustris (0.5) Fragilaria crotonensis (0.5)
luglio	Sphaerocystis schroeteri (1.7) Pandorina morum (0.1) Staurastrum pingue (0.1) Fragilaria crotonensis (0.6) Asterionella formosa (0.3)	Sphaerocystis schroeteri (3.1) Willea sp. (0.4) Cyclotella ocellata (0.3)	Sphaerocystis schroeteri (1.4) Cœlastrum polychordum (0.6) Dictyosphaerium pulchellum (0.3)
agosto	Cœlastrum polychordum (0.1)	Cœlastrum polychordum (1.2) Scenedesmus sp. (2.0) Oocystis sp. (1.8)	Scenedesmus sp. (1.6) Oocystis sp. (1.8)
settembre	Chroococcus limneticus (0.4)	Cœlastrum polychordum (0.4) Chroococcus limneticus (0.2)	Cœlastrum polychordum (0.9) Microcystis flos-aquae (0.8)
ottobre		Microcystis flos-aquae (0.3) Chroococcus limneticus (0.2)	Chroococcus limneticus (0.2)
novembre		Microcystis flos-aquae (0.3)	

## 6.2. Variazioni della biomassa

Nella figura 6.2.1. è rappresentata la successione temporale dei valori di biomassa algale presente nello strato 0-20 m nel corso del biennio. Il contributo dei principali gruppi tassonomici è deducibile dalle singole curve cumulate, la superiore delle quali corrisponde al valore totale (peso fresco da biovolume).

I valori di **biomassa media annua** hanno fatto registrare un ulteriore lieve calo rispetto agli anni precedenti nel bacino sud, ed un leggero aumento nel bacino nord: le tre stazioni campionate evidenziano valori simili (**Gandria: 0.96 g m<sup>-3</sup>**;



**Melide: 0.82; Figino: 0.88**), con punte massime decrescenti lungo l'asse di deflusso (Gandria: 3.60; Melide: 2.28; Figino: 1.88 g m<sup>-3</sup>). L'andamento annuale presenta una netta cesura tra la prima fase del periodo vegetativo (bacino nord: marzo-luglio; bacino sud: marzo-settembre), caratterizzata da un'elevata dinamica dei popolamenti algali, e la fase conclusiva, caratterizzata da valori costantemente bassi.

La tradizionale fase di crescita primaverile delle diatomee ha raggiunto il suo massimo verso la fine di marzo, ed ha contribuito in misura preponderante alle punte massime annue sopra indicate. La successiva fase di sviluppo, legata al popolamento delle cianofitiche, ha raggiunto una certa consistenza unicamente nel bacino nord (Gandria), dove si è protratta fino all'inizio di luglio. Nel bacino sud, per contro, è risultata più importante la fase di crescita delle clorofitiche, che hanno dominato il quadro fitoplanctonico da giugno a settembre. Al calo dei valori che ha contraddistinto l'ultima parte dell'anno, e che a Gandria si è manifestato già a partire dal mese d'agosto, hanno certamente contribuito sia il progressivo consumo dei nutrienti all'interno dello strato produttivo del lago, sia il basso apporto esterno di nutrienti veicolato dai tributari (cfr. Fig. 8.5.1.).

Sotto l'aspetto della composizione percentuale della biomassa algale (valore medio annuo, Fig. 6.2.2.), nel 2007 le diatomee hanno rappresentato la componente principale a Gandria (28%) e Figino (26%), mentre a Melide (23%) esse sono risultate solo di poco inferiori alle clorofitiche (26%): quest'ultime hanno costituito la seconda frazione anche nell'altra stazione del bacino sud, Figino (24%), mentre nel bacino nord le cianofitiche occupano il secondo posto in ordine d'importanza percentuale (25%), e le clorofitiche unicamente il terzo (15%).

Tra i gruppi restanti, un contributo di rilievo è stato fornito dalle peridinee (14%-15%), e dalle criptofitiche (Gandria: 10%; Melide: 16%; Figino: 11%): è utile ricordare come quest'ultimo gruppo algale rappresenti un'importante fonte di nutrimento per lo zooplancton erbivoro.

Vi è infine da notare come le xantofitiche, presenti su livelli percentuali medi annui trascurabili, sono giunte a costituire a Gandria, in occasione della punta di sviluppo di *Tribonema sp.* (prima metà di marzo), il 18% della biomassa totale presente in questa stazione.

### 6.3. Clorofilla

Quale fondamentale complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, nel corso del 2007 sono proseguite le analisi sul contenuto di clorofilla *a* nelle acque epilimniche del lago. Come di consueto i campioni d'acqua sono stati prelevati lungo la colonna d'acqua compresa tra la superficie e 20 m, sia a profondità discrete, sia in modo integrale.

#### - Distribuzione spazio-temporale della clorofilla nel Lago di Lugano.

La figura 6.3.1. presenta le isolinee delle concentrazioni di clorofilla *a*, misurata mensilmente ad undici profondità discrete tra 0 e 20 m, nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino. Per poter meglio seguire la rapida evoluzione della biocenosi planctonica, dal mese di maggio fino alla fine d'ottobre la raccolta di

campioni lungo il profilo verticale ha assunto una frequenza quindicinale: ciò che permette di evidenziare meglio la stratificazione di popolamenti algali nell'epilimnio profondo (10-15 m) durante la fase di stagnazione estiva delle acque.

La distribuzione spazio-temporale dei valori di clorofilla, che rispecchia e conferma l'andamento dei popolamenti fitoplanctonici rilevato nello strato 0-20 m (cfr. Fig. 6.2.1.), mette in evidenza la principale fase di sviluppo delle diatomee nella seconda metà di marzo, che ha riguardato quasi tutta la colonna d'acqua campionata: le concentrazioni massime raggiunte presentano una progressiva diminuzione lungo l'asse di deflusso del lago, da Gandria (20-22 mg m<sup>-3</sup>) a Melide (16-19 mg m<sup>-3</sup>) fino a Figino (10-14 mg m<sup>-3</sup>). Dopo una breve fase di chiarificazione delle acque (aprile-maggio), nei due principali bacini lacustri la successiva ripresa dei valori è avvenuta in maniera differenziata. Infatti, mentre a Gandria essa si è verificata tra maggio e giugno nell'epilimnio profondo (10-15 m), con valori massimi compresi tra 11 e 14 mg m<sup>-3</sup>, e può essere ricollegata alla fase di sviluppo delle cianofitiche filamentose (*Planktothrix rubescens*), nel bacino sud essa ha avuto il suo apogeo in luglio a Melide tra 4 e 6.5 m di profondità, ed in agosto a Figino tra 1 e 4 m di profondità, con punte di 20-23 mg m<sup>-3</sup> in concomitanza con l'importante fase di sviluppo delle clorofitiche coccali. A conferma dello scarso sviluppo dei popolamenti di cianofitiche filamentose nelle due stazioni del bacino sud, durante i mesi estivi non si osservano valori di clorofilla elevati negli strati inferiori dell'epilimnio (10-15 m).

A titolo di confronto, nella figura 6.3.2. è riportato il dettaglio grafico delle isolinee dei valori di torbidità lungo la colonna d'acqua dell'epilimnio (strato 0-20 m; cfr. 5.2.): i dati di base sono stati rilevati con frequenza quindicinale, con un intervallo di misura di 0.5 m. Questo parametro permette di rilevare la distribuzione lungo la colonna d'acqua del materiale particellato, e quindi anche della biomassa fitoplanctonica. Nel corso del 2007 l'andamento dei valori di torbidità riprende nelle grandi linee le principali fasi di sviluppo dei popolamenti algali, anche se il segnale corrispondente alla punta primaverile delle diatomee risulta molto attenuato, specialmente a Gandria. In cambio, sempre in questa stazione, il dato di torbidità permette di localizzare con precisione la profondità di stratificazione del popolamento di cianofitiche filamentose nel corso del mese di giugno. Nella stazione di Figino le misurazioni di questo parametro evidenziano, all'inizio di novembre, un intorbidimento della colonna d'acqua del lago non riconducibile ai cicli interni della biocenosi planctonica: potrebbe trattarsi di materiale particellato alloctono, immesso nel lago in seguito ai lavori di scavo sugli argini del fiume Vedeggio, in corso durante questo periodo.

- Andamento della clorofilla *a* nei campioni integrali (strato 0-20 m).

Nella figura 6.3.3. sono rappresentati graficamente i valori di concentrazione della clorofilla *a* nei campioni integrali, prelevati con frequenza quindicinale durante tutto l'anno nello strato tra 0 e 20 m.

L'andamento generale presenta una notevole similitudine con le curve della biomassa fitoplanctonica (Fig. 6.2.1.), come confermato dal coefficiente di correlazione dei valori ( $r=0.95$  a Gandria;  $0.92$  a Melide;  $0.89$  a Figino).

Le punte primaverili, che rappresentano in tutte le stazioni il massimo annuo, coincidono con la fase di sviluppo primaverile del fitoplancton, e presentano valori decrescenti lungo l'asse di deflusso del lago (Gandria:  $21 \text{ mg m}^{-3}$ , Melide:  $15 \text{ mg m}^{-3}$ , Figino  $13 \text{ mg m}^{-3}$ ). Durante il periodo estivo, invece, la stazione del bacino nord presenta valori costantemente in calo da maggio ( $9 \text{ mg m}^{-3}$ ) a dicembre ( $2 \text{ mg m}^{-3}$ ), mentre nelle stazioni del bacino sud le concentrazioni sono progressivamente risalite fino ad agosto, avvicinandosi ai livelli primaverili ( $12 \text{ mg m}^{-3}$ ).

**I valori medi annui di clorofilla del 2007 (Gandria:  $6.3 \text{ mg m}^{-3}$ , Melide:  $6.5 \text{ mg m}^{-3}$ , Figino:  $6.7 \text{ mg m}^{-3}$ )** si situano nell'ambito di variazione degli ultimi anni, anche per quanto riguarda la stazione del bacino nord, dove i precedenti eventi di rimescolamento profondo della colonna d'acqua avevano provocato una forte diluizione dei popolamenti fitoplanctonici primaverili, ed un conseguente calo dei tenori di clorofilla nello strato trofogeno. Per il quinto anno consecutivo i valori si confermano in progressiva crescita lungo l'asse di deflusso del lago.

#### 6.4. Produzione primaria

##### - Radiazione fotosintetica e strato trofogeno

La misura della radiazione fotosintetica viene utilizzata ai fini della stima della produzione primaria giornaliera, calcolata secondo la relazione di Gächter [7]. L'applicazione di tale relazione richiede condizioni d'irraggiamento solare sufficienti durante il periodo di misura in situ. Per una corretta stima dei dati mensili di produzione risulta quindi opportuno confrontare le condizioni d'irraggiamento rilevate durante le giornate di prelievo con il corrispondente valore medio mensile. Come si può osservare dalla figura 6.4.1., le misure effettuate durante il periodo vegetativo (marzo-ottobre) sono coincise con giornate d'irraggiamento particolarmente deficitario unicamente in aprile a Figino, ed in maggio a Gandria; in tutti gli altri casi, fatta eccezione per il mese di maggio, i valori sono risultati vicini o superiori al dato d'irraggiamento medio. Di conseguenza, per quanto si riferisce all'errore di stima legato alle condizioni d'irraggiamento fotosintetico, il valore di produzione primaria calcolato per il 2007 sarebbe da considerare sovrastimato a Melide (circa +15%), sottostimato a Figino (circa -5%), e sostanzialmente corretto a Gandria.

Determinante ai fini dell'attività produttiva algale è la quantità di radiazione fotosintetica disponibile lungo la colonna d'acqua. I risultati delle misure mensili di trasmissione percentuale della radiazione fotosintetica sul profilo verticale sono rappresentati sotto forma d'isolinee nella figura 6.4.2., in cui il limite inferiore della zona eufotica, definito quale profondità in cui si misura l'1% della luce superficiale ( $Z_{1\%}$ ), è evidenziato dalla linea in grassetto.

A Gandria l'andamento della trasmissione luminosa è iniziato con una rapida risalita dei valori  $Z_{1\%}$  all'inizio di marzo, seguita da una stabilizzazione degli stessi durante l'intero periodo vegetativo attorno alla profondità di 10-12 m. Nelle stazioni del bacino sud, dopo la riduzione primaverile dello strato trofogeno (8.4 m a Melide; 7.2 m a Figino), risulta più evidente la fase di chiarificazione delle acque legata all'attività di grazing dello zooplancton erbivoro, che ha riportato i valori  $Z_{1\%}$  attorno a 15 m. La successiva ripresa estiva dei popolamenti algali ha provocato una nuova, progressiva riduzione dello spessore dello strato trofogeno, che ha raggiunto, in entrambi le stazioni campionate, il suo culmine nel mese d'agosto (7.7 m).

La penetrazione massima della luce, che generalmente corrisponde al periodo invernale, ha sfiorato a Gandria la profondità di 21 m in febbraio, a Melide 18.6 m in gennaio, ed a Figino unicamente 16.1 m, anche qui in febbraio.

Come negli anni precedenti, si conferma la tendenza decrescente del valore medio annuo di  $Z_{1\%}$  lungo l'asse di deflusso del lago, in accordo con il gradiente di potenziale trofico riscontrato nello strato produttivo (Gandria: 13.8 m, Melide: 12.7 m, Figino: 11.3 m).

#### - Produzione giornaliera ed annua

Nella Fig. 6.4.3. è riportato l'andamento dell'attività fotosintetica del fitoplancton, rilevata mensilmente nelle tre stazioni principali del lago nel corso del 2007. Sulla base delle misure effettuate in situ è stato calcolato sia il valore giornaliero di produzione primaria, corrispondente alla rata d'assimilazione del carbonio per unità di superficie lacustre (linea continua,  $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), sia quello della produttività all'interno dello strato trofogeno, corrispondente alla rata d'assimilazione del carbonio per unità di volume (linea tratteggiata,  $\text{g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$ ). Quest'ultimo dato permette di confrontare ambienti trofici differenti in quanto indipendente dallo spessore dello strato produttivo.

L'inizio del periodo vegetativo è avvenuto puntualmente a marzo in tutte le stazioni: per il bacino nord (Gandria) il valore misurato in questo mese rappresenta il massimo annuo ( $2.0 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), mentre quelli successivi risultano in lento, progressivo calo fino alla fine del periodo (ottobre), parallelamente ai valori di biomassa e dei nutrienti algali.

Nel bacino sud la punta primaverile di produzione si è rapidamente esaurita a Melide, mentre si è ulteriormente rafforzata a Figino, dove in aprile è stato misurato il massimo annuo ( $2.2 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). Da notare, in quest'ultima stazione, il crollo dei valori di produzione nel mese di maggio, per effetto dell'attività di grazing da parte dello zooplancton erbivoro. In entrambi le stazioni di questo bacino si assiste ad una forte ripresa della produzione nei mesi di giugno e luglio, ed ad un suo rapido, costante calo a partire da agosto: in luglio è stata misurata la punta massima di produzione a Melide ( $2.1 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), e la seconda punta annuale a Figino ( $1.9 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ).

Complessivamente, dopo il calo dell'anno precedente, la **produzione areale annua** del **2007** è tornata su valori molto simili a quelli rilevati nel 2005, assestandosi su livelli simili nelle tre stazioni di misura (**Gandria: 383; Melide: 375; Figino 401  $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$** ). Tenuto conto della correzione richiesta dalle

condizioni d'irraggiamento solare nei giorni di misura, il dato annuo di produzione risulterebbe pari a circa  $380 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  per Gandria, 330 per Melide, e 430 per Figino.

Anche il dato di **produttività annua** ha fatto registrare un generale incremento rispetto all'anno precedente, in particolare a Figino, dove in aprile è stato misurato il valore mensile più elevato del lago ( $0.3 \text{ g C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ): i valori del 2007 aumentano passando da **Gandria** ( $33 \text{ g C m}^{-3} \text{ a}^{-1}$ ), a **Melide**: ( $35 \text{ g C m}^{-3} \text{ a}^{-1}$ ), fino a **Figino**: ( $43 \text{ g C m}^{-3} \text{ a}^{-1}$ ), ad ulteriore conferma di un livello trofico lacustre in crescita lungo l'asse di deflusso.

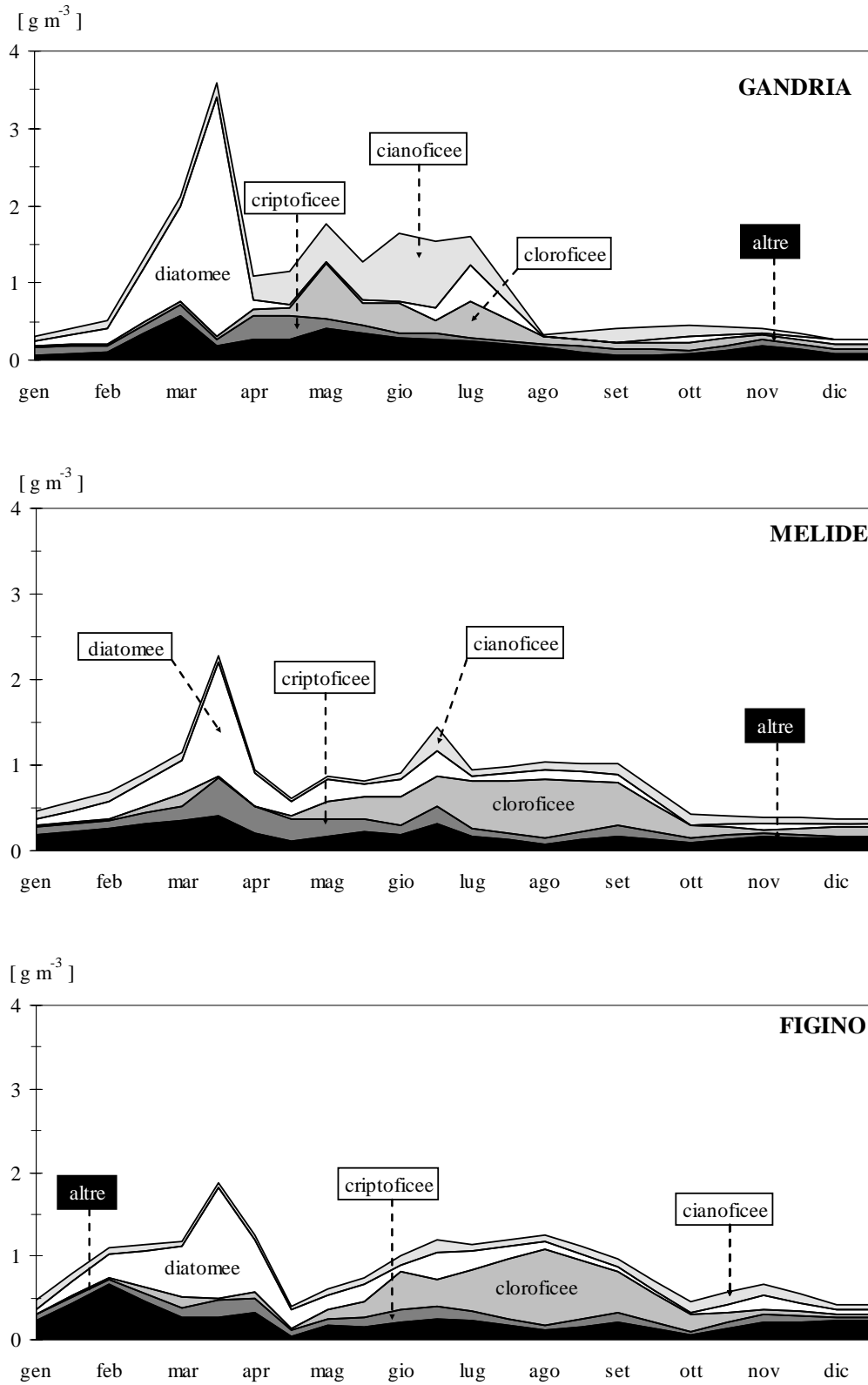


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2007: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

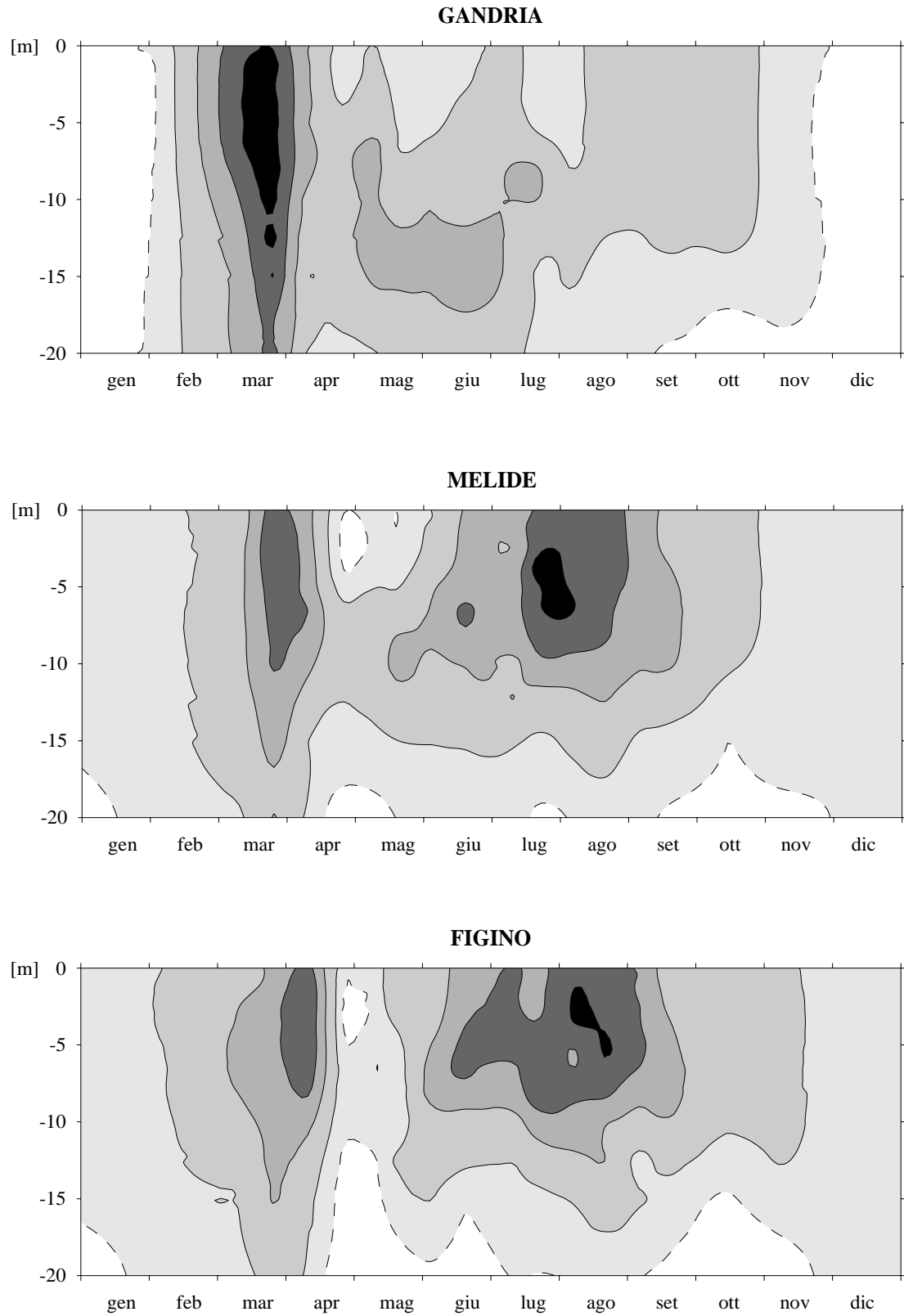


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2007: isolinee della clorofilla *a* [ $\text{mg m}^{-3}$ ]

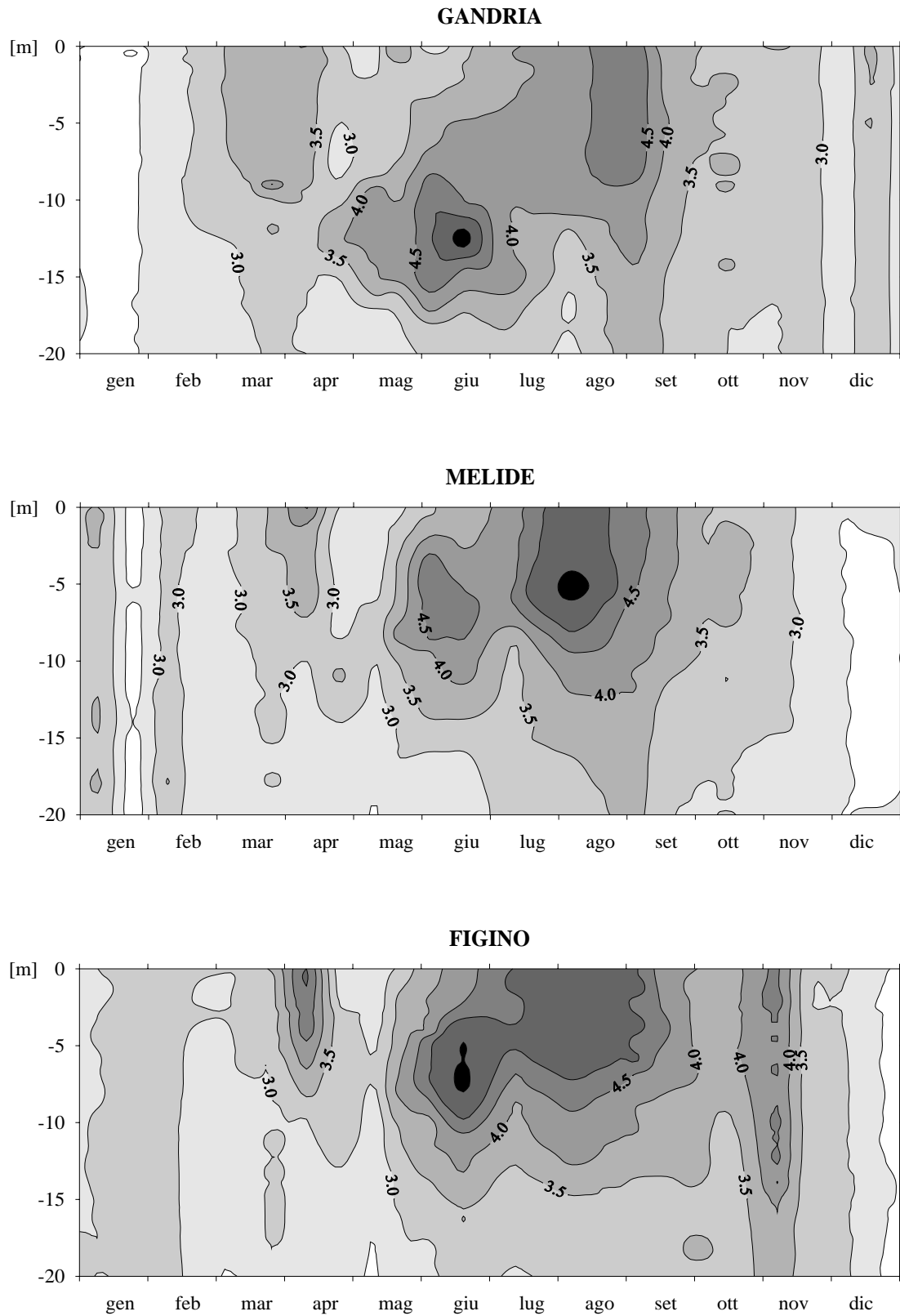


Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2007: isolinee dei valori di torbidità dell'acqua [FTU]



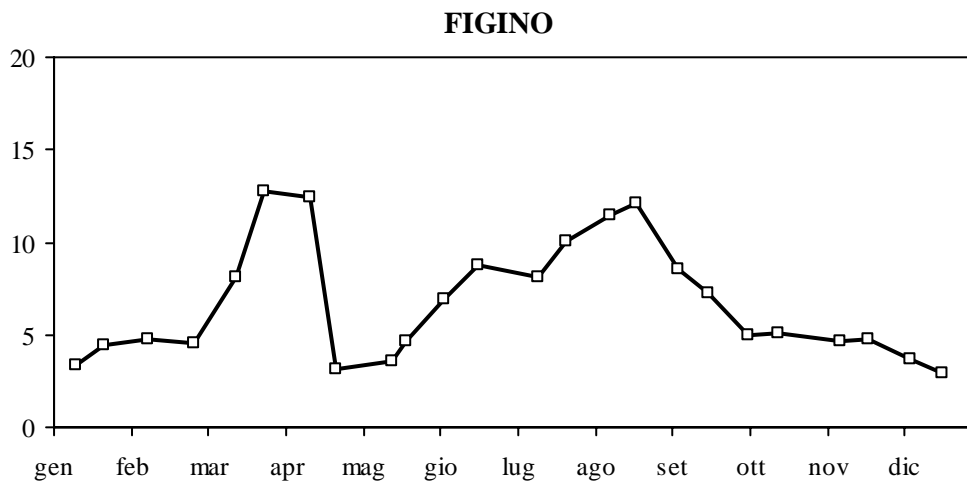
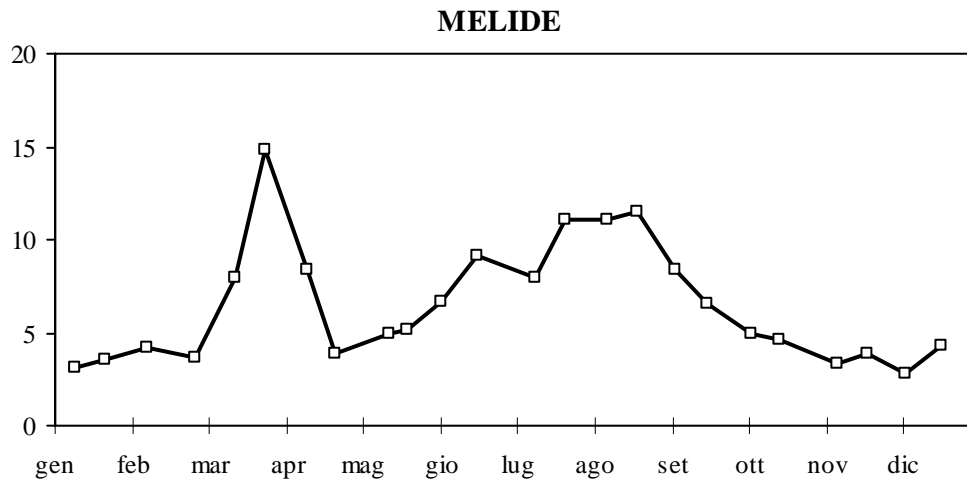
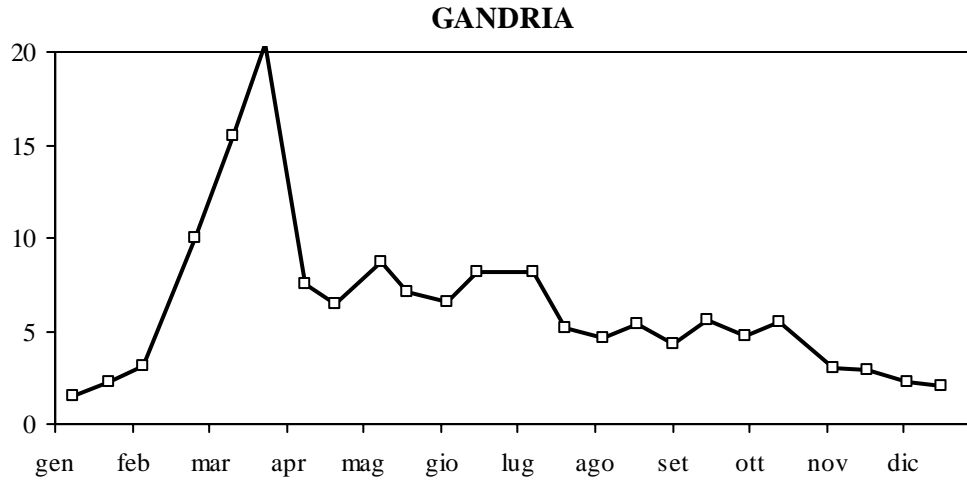


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2007: andamento della clorofilla *a* nello strato 0-20 m.

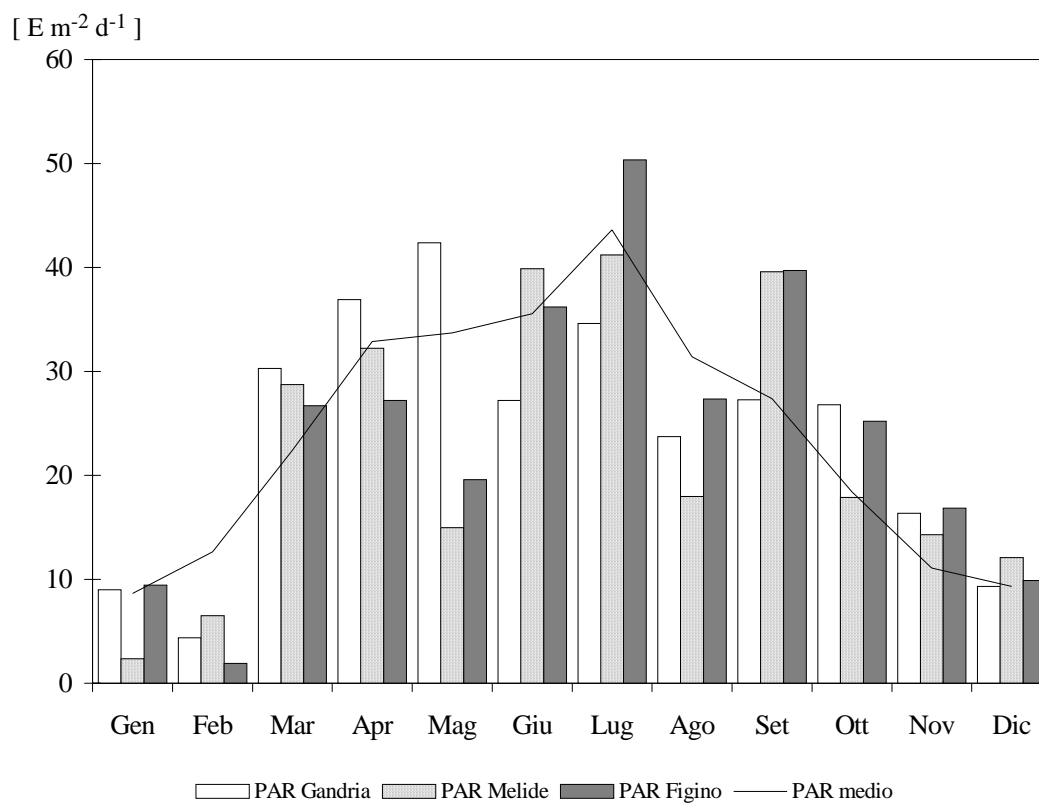


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2007: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

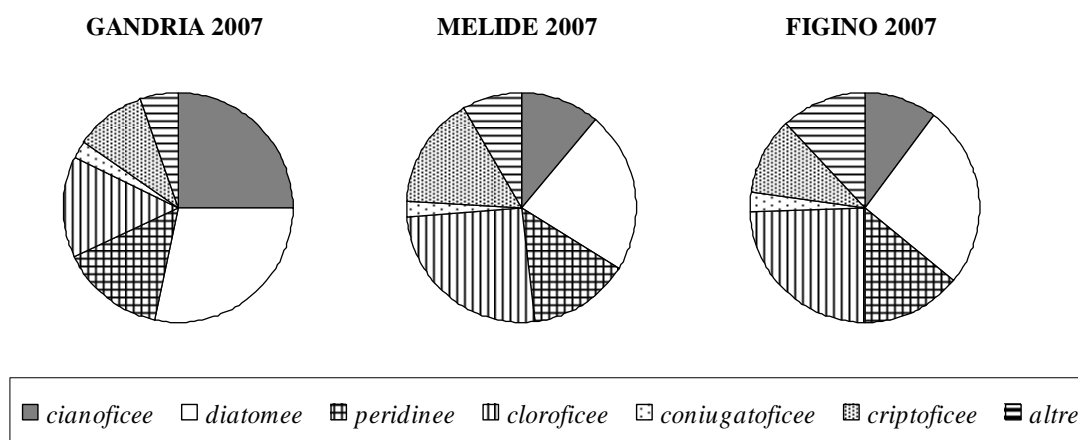


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2007: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.

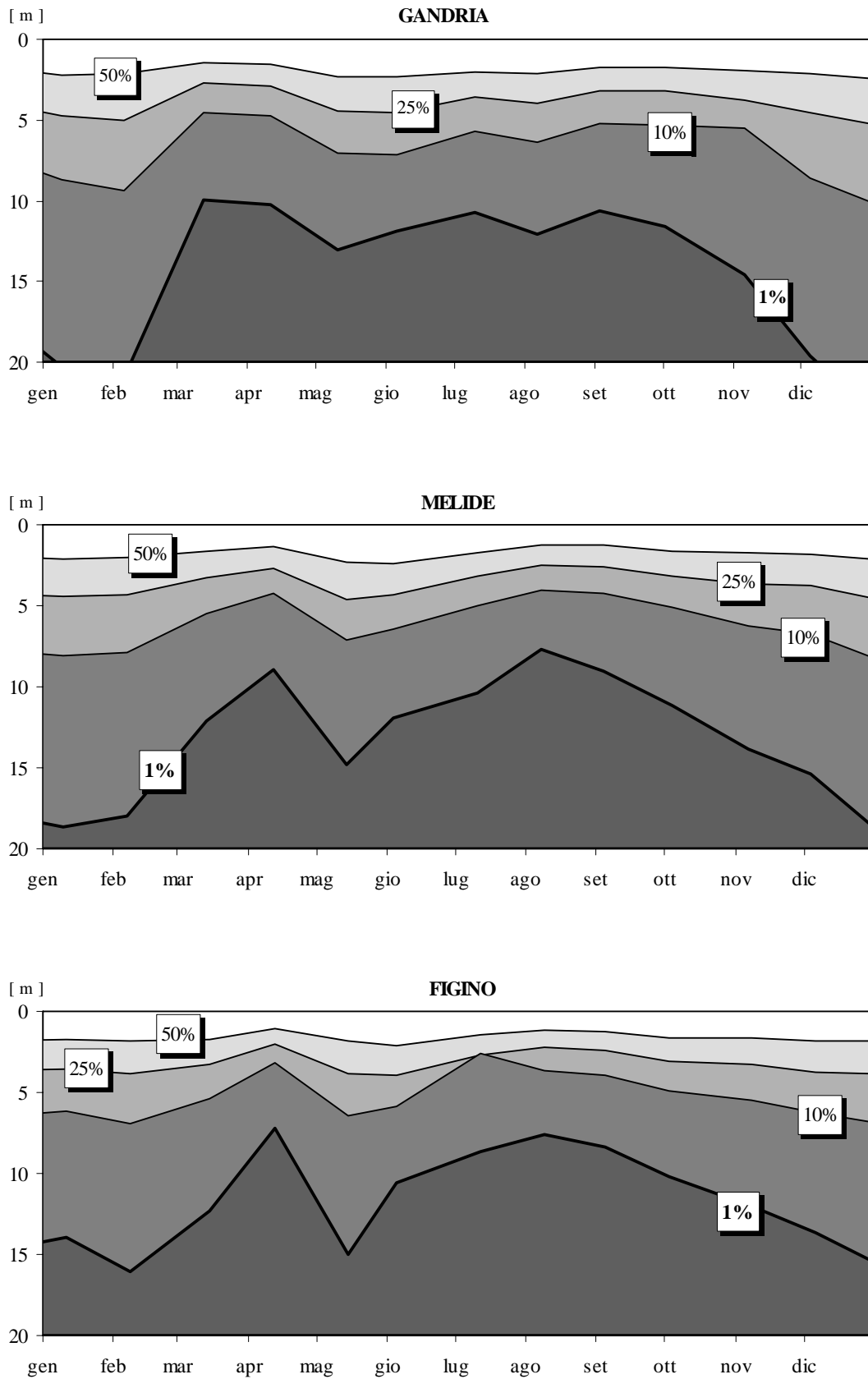


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2007: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

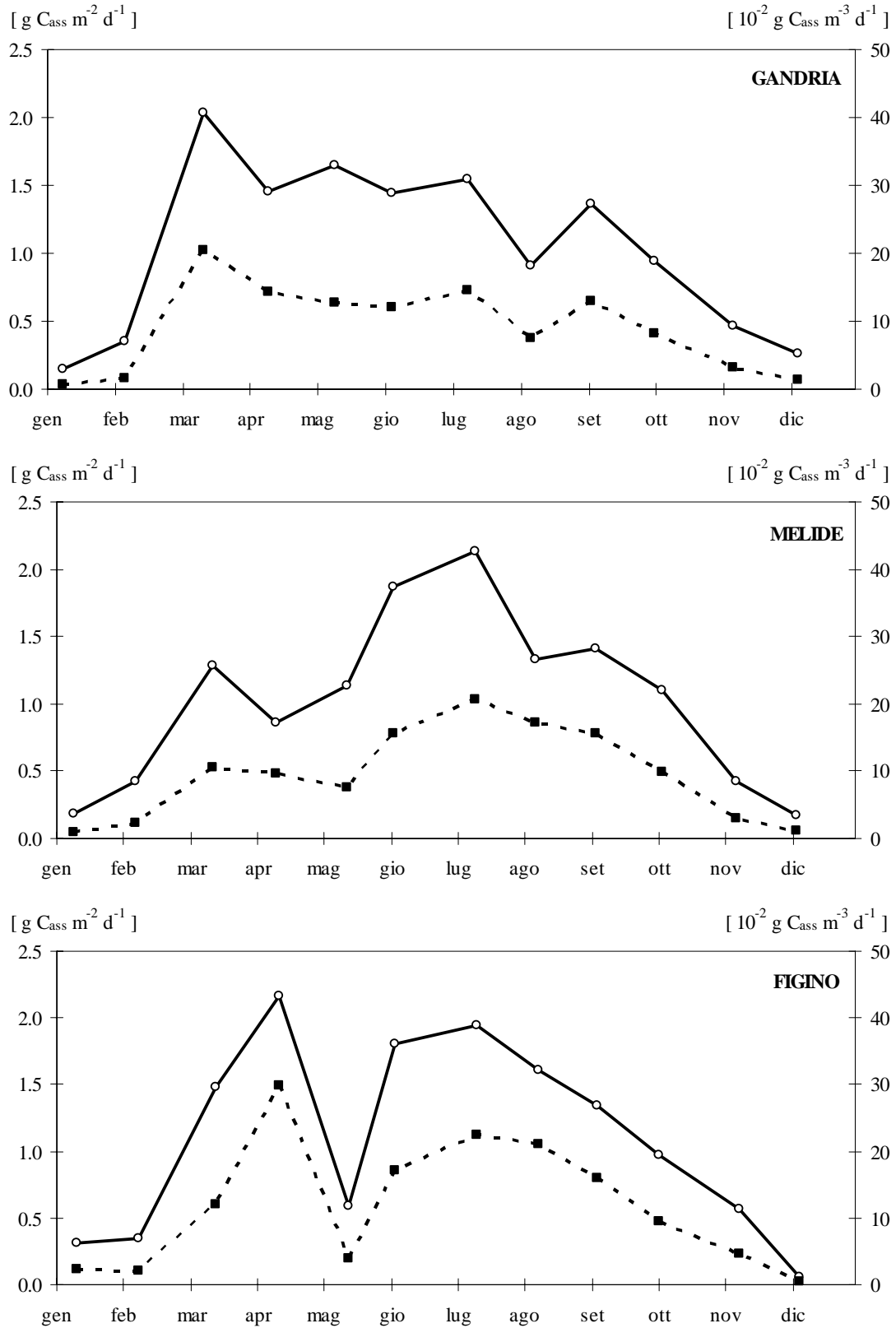


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2007: andamento della produzione primaria areale (linea continua;  $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata;  $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$ ).

## 7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici sono proseguite nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano nel corso del 2007. I campionamenti sono stati effettuati con frequenza mensile durante tutto l'anno, ed intensificati nel periodo tra marzo e giugno, inserendo quattro prelievi supplementari per meglio seguire la rapida dinamica della biocenosi pelagica all'inizio del periodo vegetativo. L'analisi dei campioni, raccolti secondo le metodologie già utilizzate negli anni precedenti, prevede, per i principali gruppi tassonomici, il conteggio delle singole specie e la misura del loro biovolume unitario medio, sulla cui base viene calcolato il dato di biomassa (peso secco; [8]).

### 7.1. Densità dei popolamenti

Nella Fig. 7.1. è riportato l'andamento dei valori cumulati di densità dello zooplancton da crostacei, suddivisi tra le due principali categorie tassonomiche presenti nel lago: i cladoceri (area bianca) ed i copepodi (area grigia); all'interno dei copepodi le quote relative ai ciclopidi ed ai calanoidi sono contraddistinte da due diverse tonalità.

Sulla base della media annuale, il numero totale d'individui è risultato in calo in tutto il lago, mantenendosi più elevato nelle stazioni del bacino sud ( $1.10-1.11 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ) rispetto al bacino nord ( $1.06 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ), dove in particolare il popolamento di copepodi ha toccato i minimi dell'ultimo decennio.

L'andamento stagionale presenta a Gandria una fase prolungata di sviluppo primaverile (fine aprile-inizio giugno), costituita basicamente da copepodi ciclopidi ( $1.0-1.2 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ), ai quali sono andati aggiungendosi, da maggio, anche i calanoidi ( $0.4 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ) ed i cladoceri ( $0.4-0.6 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ); questi ultimi sono poi risultati predominanti nel corso del secondo semestre, soprattutto in luglio ed agosto ( $0.9-1.0 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ), durante il quale è anche stato raggiunto il valore più elevato di densità complessiva dei crostacei zooplanctonici per tutto il lago ( $2.0 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ).

Nel bacino sud le principali punte di sviluppo zooplanctonico hanno avuto luogo nel corso del primo semestre: dapprima solo a Melide, nella prima metà di marzo, con il contributo prevalente dei ciclopidi ( $1.3 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ); in seguito, nella seconda metà d'aprile, in entrambi le stazioni è stata raggiunta la punta principale dell'anno ( $1.9 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ), grazie ad un maggior contributo da parte dei cladoceri ( $0.2 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ). In questo bacino il periodo estivo è stato caratterizzato da valori di densità contenuti, in seguito allo sviluppo del popolamento dei cladoceri decisamente più modesto rispetto agli anni precedenti.

Come di consueto i **copepodi** hanno costituito la frazione più abbondante del lago, grazie anche all'elevato numero di forme larvali (naupli) e giovanili (copepoditi). Fra i ciclopidi, *Cyclops abyssorum* costituisce il popolamento principale del lago, ed ha raggiunto il suo massimo in aprile, anche se a Melide presenta un'importante fase di sviluppo già nella prima quindicina di marzo, caratterizzato dalla presenza di numerosi individui maschi. Per quanto riguarda *Thermocyclops crassus*, i valori di densità più elevati sono stati misurati in

luglio a Gandria, in agosto a Melide, e in settembre a Figino, mentre *Mesocyclops leuckarti* è rimasto sempre su livelli molto modesti.

L'unico rappresentante dei calanoidi, *Eudiaptomus gracilis*, è risultato sempre presente in tutto il lago a livelli di densità piuttosto costanti. Le fasi di sviluppo più marcate si sono manifestate in momenti differenti nelle tre stazioni lacustri: a Gandria in giugno e settembre, a Melide in marzo, a Figino in aprile ed agosto.

Il periodo di maggior sviluppo dei **cladoceri** si è avuto, come di consueto, a partire dal mese di maggio, dopo la prima importante fase di crescita del fitoplancton. Fra le specie più abbondanti si ritrovano *Daphnia hyalina*, il cui popolamento ha raggiunto il suo massimo in maggio a Gandria e Figino (rispettivamente con  $0.6$  e  $0.4 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ) ed in giugno a Melide ( $0.4 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ), e *Diaphanosoma brachiurum*, con massimi in luglio (Gandria:  $0.6$ ; Melide  $0.5$ ; Figino:  $0.3 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ). Accanto a queste due specie tradizionali negli ultimi anni si è affiancata *Eubosmina coregoni*, il cui popolamento nel 2007 si è sviluppato nel corso del secondo semestre, con punte non di molto inferiori ( $0.1-0.4 \times 10^6$  ind  $m^{-2}$ ).

Il popolamento di *Leptodora kindtii*, l'unico cladocero carnivoro del lago, si è confermato su livelli piuttosto modesti, con valori in progressiva diminuzione da Gandria a Figino.

## 7.2. Biomassa zooplanctonica

Nonostante il calo numerico dei popolamenti, il 2007 ha mantenuto valori di biomassa solo di poco inferiori agli anni precedenti, con **medie annue** molto simili tra **Gandria e Melide ( $4.6$  g  $m^{-2}$ )**, e più elevate a **Figino ( $5.0$  g  $m^{-2}$ )**.

Come illustrato dall'andamento stagionale dei valori (Fig. 7.2.), il massimo annuale di biomassa è stato misurato in occasione dei campionamenti della prima quindicina di maggio a Gandria e Figino (rispettivamente  $9.4$  e  $9.7$  g  $m^{-2}$ ) in occasione della punta di sviluppo di *Daphnia hyalina*, mentre a Melide, dove il popolamento di questa specie è risultato modesto, esso è stato rilevato già all'inizio di marzo ( $8.8$  g  $m^{-2}$ ), grazie all'importante contributo di *Cyclops abyssorum*. Ulteriori punte di rilievo, tutte legate a fasi di ripresa del popolamento di *Daphnia hyalina*, sono state registrate a Melide alla fine d'aprile e all'inizio di giugno, come pure a Figino in ottobre.

Considerando la struttura della catena alimentare lacustre, i due gruppi di crostacei zooplanctonici analizzati (copepodi, cladoceri) possono essere suddivisi in base al loro ruolo funzionale (erbivori e carnivori). Mentre la biomassa erbivora è costituita prevalentemente dai cladoceri, per i carnivori si tratta soprattutto degli stadi adulti dei copepodi ciclopoidi.

Dal confronto dei valori medi annui, si osserva, nel 2007, un sostanziale deficit della componente erbivora a Melide ( $2.8$  g  $m^{-2}$ ) rispetto alle altre due stazioni (Gandria:  $3.4$ ; Figino:  $3.2$  g  $m^{-2}$ ), mentre i carnivori risultano in crescita da Gandria ( $1.3$  g  $m^{-2}$ ) a Melide ( $1.8$  g  $m^{-2}$ ) fino a Figino ( $1.9$  g  $m^{-2}$ ). La curva della successione temporale delle due componenti (Fig. 7.3.) permette di evidenziare le differenze nella dinamica stagionale dei due bacini del lago. Durante il periodo vegetativo (marzo-ottobre) il bacino nord, presenta una

netta predominanza della componente erbivora (in media 70%), interrotta unicamente durante la seconda metà di giugno (54%). Fatta eccezione per i mesi di maggio ed agosto, la componente erbivora è stata prevalentemente costituita da copepodi. Nel bacino sud il predominio degli erbivori è risultato meno marcato (in media 60%), con i carnivori che si sono avvicinati al 50% in aprile e luglio a Figino, ed in agosto a Melide. All'interno della componente erbivora, inoltre, i cladoceri hanno costituito una frazione ancora più ridotta nord (in media 28%) rispetto al bacino nord (in media 34%).

Complessivamente i dati raccolti nel corso del 2007 confermano le differenze nella struttura trofica dei due principali bacini del lago, con una prevalenza di produttori primari (fitoplancton; 51%) e di consumatori primari (erbivori; 36%) nel bacino nord rispetto al bacino sud (rispettivamente con 47% e 32%), ed una maggior presenza di consumatori secondari (carnivori) nel bacino sud (21%) rispetto a quello nord (14%).

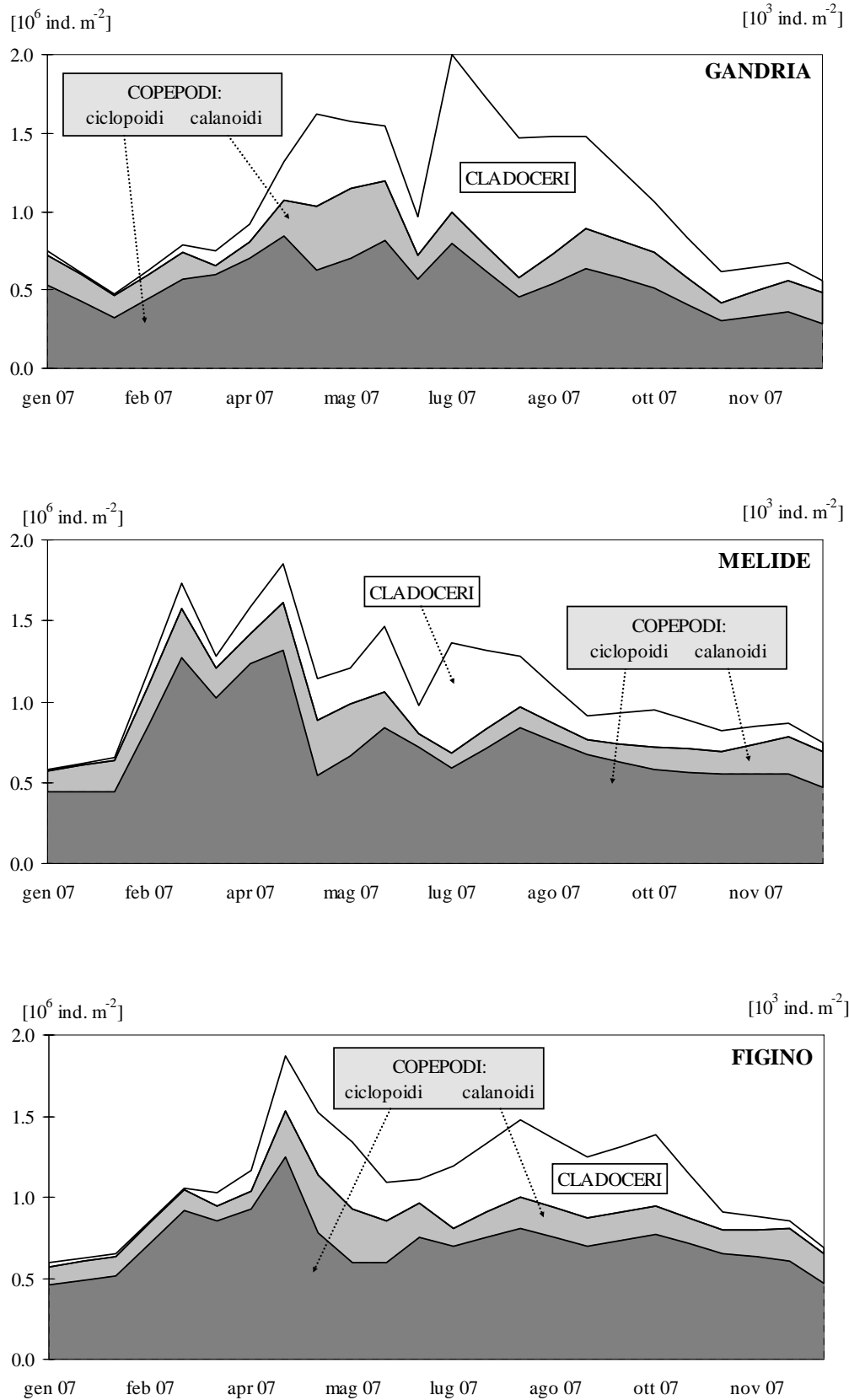


Fig. 7.1. Lago di Lugano, 2007: andamento della densità cumulata dello zooplankton da crostacei.



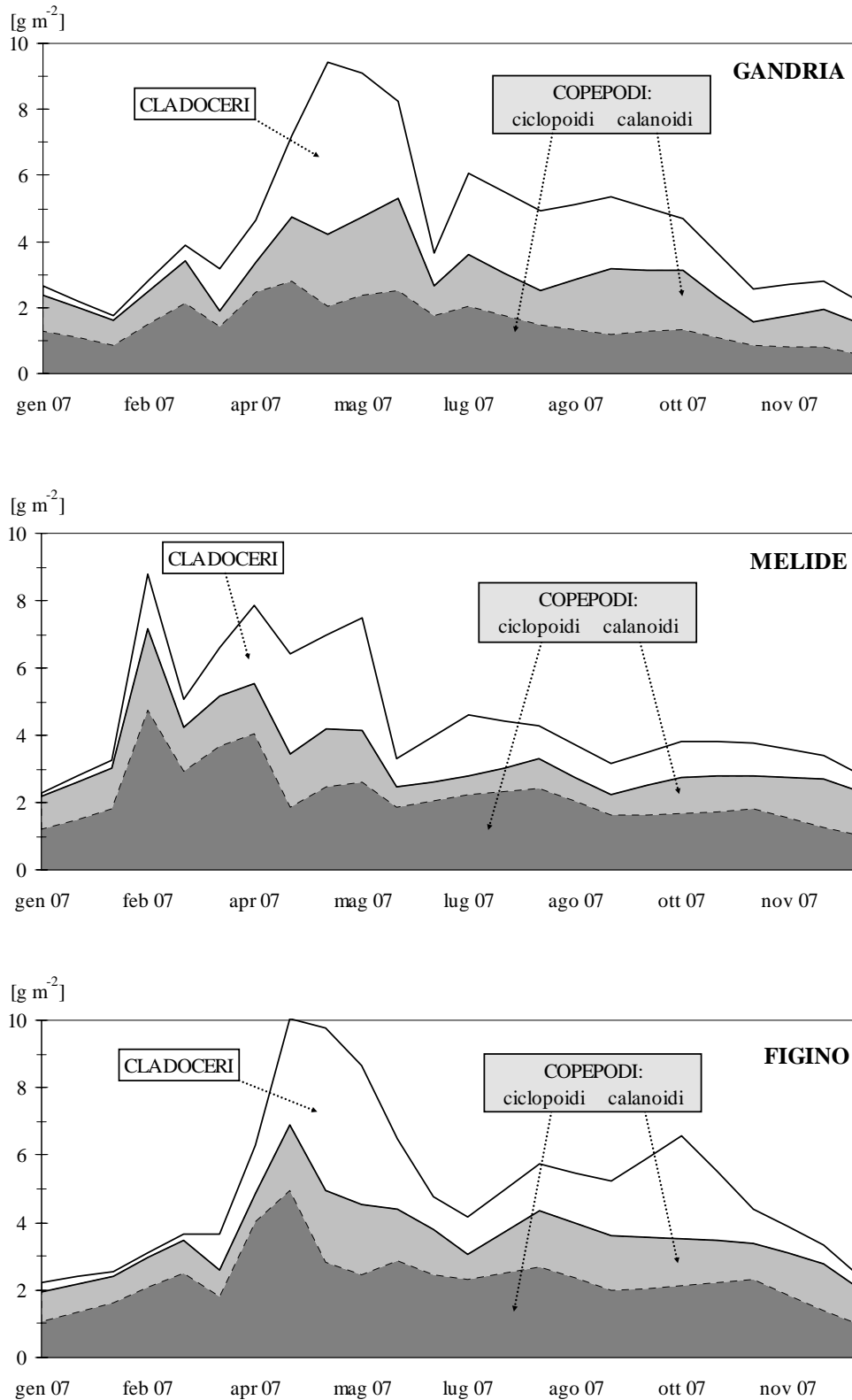


Fig. 7.2. Lago di Lugano, 2007: andamento della biomassa cumulata dello zooplancton da crostacei (peso secco).

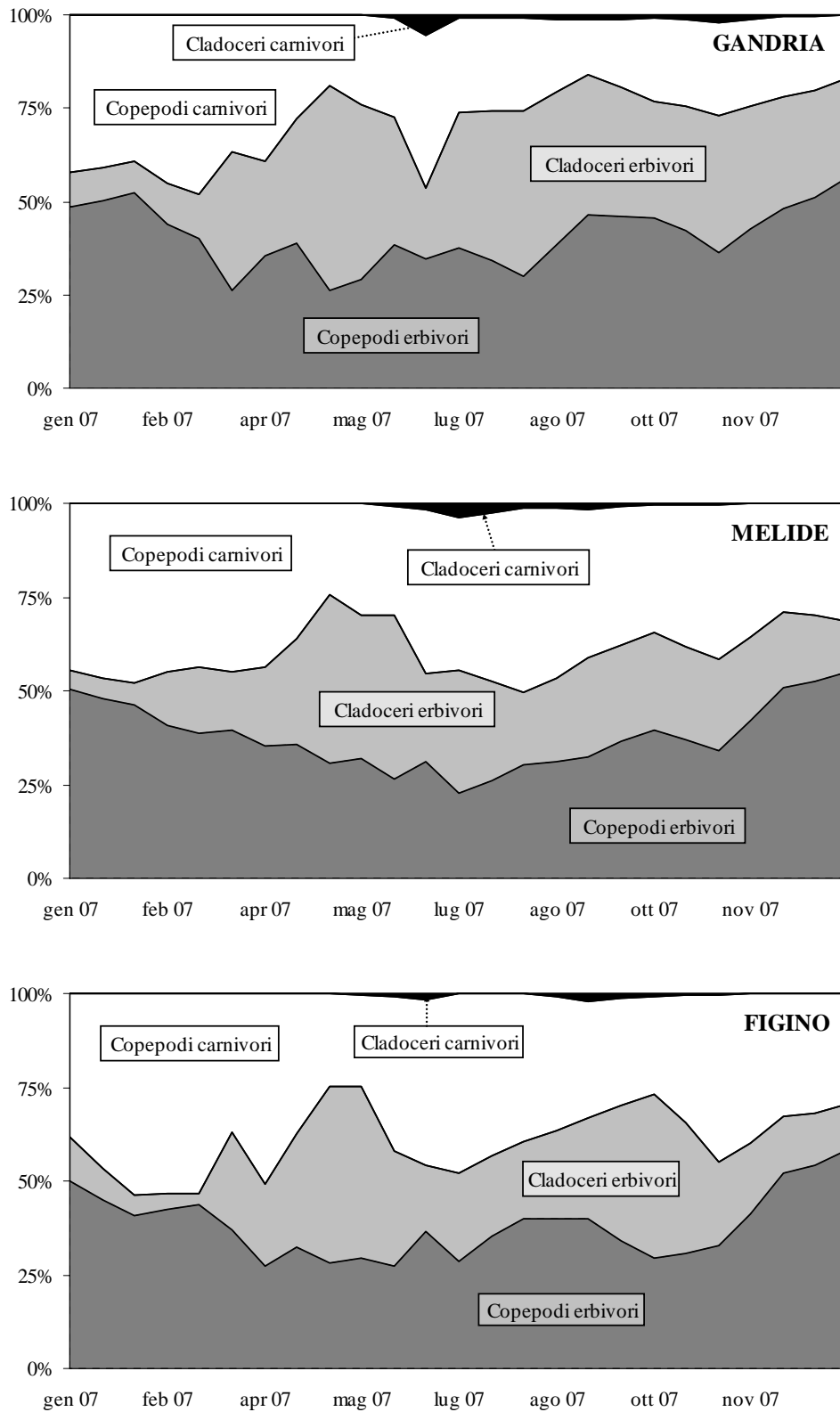


Fig. 7.3. Lago di Lugano, 2007: andamento percentuale della biomassa dello zooplancton erbivoro e carnivoro (peso secco).

## 8. ANDAMENTO LIMNOLOGICO SUL LUNGO PERIODO

Da oltre 30 anni il Lago di Lugano è oggetto di regolari indagini limnologiche, che si prefiggono di verificarne lo stato qualitativo delle acque, e di seguirne l'evoluzione dello stato trofico in relazione alle misure di risanamento intraprese sul suo bacino imbrifero. Nell'esecuzione delle ricerche si sono avvicendati dapprima il Centro Comune di Ricerca CCR-Euratom d'Ispra (1972-1979), e quindi l'Amministrazione Cantonale del Ticino tramite il Laboratorio Studi Ambientali (LSA; dal 1980 al 1982 presso l'Istituto Cantonale Batteriosierologico e dal 1983 presso la Sezione Protezione Aria, Acqua e Suolo). Nel corso delle diverse tappe dell'attività di ricerca, sono state in parte modificate il numero e l'ubicazione delle stazioni, le modalità di prelievo, ed i metodi d'indagine. Dal momento che i vari parametri indagati non posseggono sempre un identico grado di continuità e di confrontabilità, i risultati presentati in seguito fanno riferimento alla serie temporale più omogenea a disposizione, corrispondente al periodo (1980)-1983-2007.

### 8.1. Meteorologia

Utilizzando i parametri che più direttamente influenzano le vicende limnologiche del lago (cfr. Cap. 3) è possibile caratterizzare, nei tratti essenziali, l'andamento meteorologico del periodo pluriennale d'indagine (1980-2007).

La serie cronologica dei valori medi annui di **temperatura dell'aria** (Fig. 8.1.a) presenta una costante tendenza all'aumento. L'incremento medio sull'arco di 28 anni ( $+0.060^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ) non si è manifestato però in maniera uniforme: esso è risultato particolarmente marcato negli anni '80 ( $+0.086^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ), per assestarsi su valori più modesti nel decennio successivo ( $+0.015^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ) e riprendere intensità in quello in corso (2000-2007;  $+0.036^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ). L'ultimo quinquennio d'indagine è stato caratterizzato da temperature annue costantemente elevate (media 2003-07:  $13.1^{\circ}\text{C}$ ) e dalla punta massima dell'intero periodo d'osservazione nel 2003 ( $13.8^{\circ}\text{C}$ ).

Un elemento importante ai fini dei processi di rimescolamento invernale del lago è costituito dal raffreddamento delle sue acque durante il periodo dicembre-febbraio (Ambrosetti et al., 1983): a questo scopo è riportato in grafico anche l'andamento della temperatura media di questo trimestre, che rispetto al dato annuo evidenzia una tendenza all'aumento meno marcata sull'arco dei 28 anni (1980-2007:  $+0.042^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ), ma unicamente a motivo dei due inverni particolarmente rigidi del decennio in corso (2005, 2006), visto che i due decenni precedenti avevano fatto registrare incrementi invernali di tutto rilievo (1980-89:  $+0.127^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ; 1990-99:  $+0.100^{\circ}\text{C a}^{-1}$ ). Va rilevato come quest'ultimo quinquennio d'indagine ha fatto registrare sia il valore invernale più elevato ( $6.3^{\circ}\text{C}$ ), sia quello più basso ( $2.8^{\circ}\text{C}$ ) dell'intero periodo.

Analogamente a quanto osservato per la temperatura, anche la **radiazione globale** (Fig. 8.1.b) presenta un andamento tendenzialmente in crescita, come evidenziato anche dalle medie dei successivi decenni (1980-89: 4107; 1990-1999: 4382; 2000-2007:  $4684 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ). In particolare l'ultimo quinquennio (2003-07) ha fatto registrare i 5 valori medi annui, ed i 4 valori medi del periodo vegetativo, più elevati dell'intero periodo d'indagine e, di conseguenza, anche le condizioni d'irraggiamento più favorevoli ai fini dell'attività fotosintetica algale.

Per quanto riguarda il regime delle **precipitazioni** (Fig. 8.1.c) si può osservare che, se già le due decadi precedenti erano risultate mediamente deficitarie rispetto alla media di riferimento (1961-1990: 1606 mm; 1980-89: 1578 mm; 1990-1999: 1509 mm), nella decade in corso i quantitativi raccolti si sono ulteriormente ridotti (2000-2007: 1461 mm), nonostante il contributo delle due annate più piovose dell'intero periodo d'osservazione (2000: 2149 mm; 2001: 2105 mm). Di fatto tutti gli anni dell'ultimo quinquennio si sono situati tra i più asciutti dell'intero periodo indagine, totalizzando valori costantemente al di sotto della soglia dei 1500 mm annui, ed uno (nel 2005) addirittura al di sotto della soglia dei 1000 mm. La scarsità di precipitazioni ha riguardato in particolare i mesi del periodo vegetativo (marzo-ottobre, ciò che ha avuto importanti ripercussioni sul carico di sostanze nutrienti veicolati a lago dai tributari.

L'**intensità del vento** (Fig. 8.1.d) presenta valori medi annui fluttuanti attorno a 5.5 e 7 km h<sup>-1</sup>, senza evidenziare particolari tendenze evolutive. La decade degli anni 90 è risultata mediamente un po' più ventosa (6.6 km h<sup>-1</sup>) rispetto a quella precedente (6.1 km h<sup>-1</sup>) ed al periodo successivo (6.2 km h<sup>-1</sup>). Particolarmente interessante risulta invece l'andamento dell'intensità dei venti durante il periodo di maggior raffreddamento del corpo lacustre, che coincide generalmente con il primo trimestre dell'anno. Infatti, assieme all'efficacia del raffreddamento invernale, l'attività eolica costituisce l'elemento determinante dei processi di rimescolamento della colonna d'acqua. A questo riguardo la punta d'intensità invernale rilevata nel 2005 (media gennaio-marzo: 8.05 km h<sup>-1</sup>), inferiore unicamente al corrispondente valore misurato nel 1988 (8.64 km h<sup>-1</sup>), ha contribuito al profondo rimescolamento del bacino nord del lago, con la conseguente eliminazione della barriera meromittica dopo circa 40 anni di stratificazione permanente delle acque ipolimniche.

## 8.2. Andamento termico nei fiumi e nel lago

Per minimizzare i disturbi termici dovuti all'immissione di reflui urbani o industriali, per valutare l'andamento della temperatura nel tempo sono stati presi in considerazione tre fiumi con un modesto insediamento urbano in rapporto all'area del bacino imbriferò. I dati considerati si riferiscono ai corsi d'acqua Cuccio (53 km<sup>2</sup>), Cassarate (73 km<sup>2</sup>) e Magliasina (34 km<sup>2</sup>), di cui sono disponibili, a partire dal 1976, oltre da 450 a 650 misure istantanee per ogni fiume (Fig. 8.2.1.). La tendenza generale evidenzia, per gli ultimi 32 anni, un aumento della temperatura di circa 2.2 °C per il Cuccio (+ 0.07 °C a<sup>-1</sup>), di 2.7 °C per il Cassarate (+ 0.08 °C a<sup>-1</sup>), e di 2.3 °C (+ 0.07 °C a<sup>-1</sup>) per la Magliasina.

Anche nelle acque lacustri le misure, effettuate dal 1987 con una sonda multiparametrica, mostrano un progressivo riscaldamento della massa d'acqua, particolarmente evidente negli strati superficiali. Le circolazioni degli inverni 2004-2005 e 2005-2006, caratterizzati da temperature molto rigide e prolungate e dalla concomitante presenza di forti venti, hanno tuttavia improvvisamente raffreddato il corpo lacustre, interrompendo il progressivo trend al riscaldamento. A titolo d'esempio si rileva che dal gennaio 2005 all'aprile 2006 la temperatura media al di sotto dei 100 m è calata di circa 0.5 °C. Considerando gli strati ipolimnici profondi, meno soggetti alle variazioni stagionali e quindi più adatti al ruolo di "memoria termica", l'incremento medio annuo dal 1987 si situa attorno a +0.01 °C a<sup>-1</sup>, sia per lo strato 50-100 m che per quello 100-286 m (Fig. 8.2.2.). Fino al 2002 l'incremento era stato rispettivamente di +0.04 e +0.03 °C a<sup>-1</sup>.

### 8.3. Qualità chimica dei corsi d'acqua

Per seguire l'evoluzione della qualità delle acque nei tributari del Lago di Lugano sono stati presi in considerazione quattro parametri che fungono da indicatori del carico antropico: nitrito, ammonio, fosforo totale e richiesta biochimica d'ossigeno (BOD<sub>5</sub>; Figg. 8.3.1-8.3.4). Le maggiori variazioni di concentrazione si riscontrano su quei tributari che ricevono i reflui urbani trattati dai principali impianti di depurazione delle acque (IDA), in particolare Vedeggio, Laveggio, Scairolo e Cassarate. Generalmente si osserva, nel tempo, una tendenza alla riduzione dei valori, riconducibile al progressivo completamento della rete fognaria, come pure all'ampliamento, al potenziamento e all'ottimizzazione dell'esercizio degli IDA esistenti.

Nel Vedeggio, tutti i parametri hanno mostrato notevoli riduzioni delle concentrazioni a partire dal 1995, in seguito al rinnovamento dell'IDA di Lugano ubicato lungo il corso del fiume, in territorio di Bioggio. Particolarmente marcato è stato il calo dei composti azotati: dal 1996 i valori medi di nitrito e ammonio non hanno più superato rispettivamente 11 mg NO<sub>2</sub>-N m<sup>-3</sup> e 0.50 g NH<sub>4</sub>-N m<sup>-3</sup>. Anche sul Laveggio, le concentrazioni di questi ioni sono calate drasticamente in seguito alla ristrutturazione dell'IDA di Mendrisio a Rancate; a partire dal 2000 le mediane si sono infatti mantenute inferiori rispettivamente a 41 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N m<sup>-3</sup> e a 0.54 g NH<sub>4</sub>-N m<sup>-3</sup>. Sullo Scairolo, il nuovo IDA di Barbengo è entrato in funzione alla fine del 2002 e nel corso dell'ultimo quinquennio ha consentito di abbassare i valori medi al di sotto di 28 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N m<sup>-3</sup> e 0.40 g NH<sub>4</sub>-N m<sup>-3</sup>. Sul Bolletta dal 1994 la mediana annua dell'ammonio si è mantenuta sotto 0.5 g NH<sub>4</sub>-N m<sup>-3</sup>, mentre il nitrito è in controtendenza con i valori dell'ultimo biennio in netta ascesa a 90 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N m<sup>-3</sup>. Per quanto concerne il BOD<sub>5</sub> i valori medi dei tributari durante gli ultimi cinque anni sono stati inferiori ai 2.3 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> ad eccezione del Bolletta che nel biennio più recente ha mostrato mediane superiori a 4.0 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>. Nel Cassarate, il danneggiamento dell'IDA di Cadro durante l'alluvione del luglio 2001 ha fatto temporaneamente lievitare i valori di BOD<sub>5</sub> e d'azoto ammoniacale. Per quanto concerne il fosforo totale questo ha mostrato una tendenza al ribasso per i corsi d'acqua considerati, ad eccezione dei fiumi Livone, Cuccio e Bolletta, che nel 2007 hanno mostrato valori di rispettivamente 121, 84 e 537 mg P m<sup>-3</sup>. Per contro sui tributari elvetici nel corso dell'ultimo anno sono state rilevate concentrazioni mediane comprese tra 25 mg P m<sup>-3</sup> (Cassarate) e 52 mg P m<sup>-3</sup> (Vedeggio).

### 8.4. Stato d'ossigenazione delle acque lacustri

L'andamento pluriennale dello stato di ossigenazione delle acque, espresso in termini di concentrazione media mensile ponderata sul volume (g O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>), è illustrato nelle figure 8.4.1. e 8.4.2, mentre l'evoluzione del bilancio tra l'ossigeno disciolto ed il suo potenziale consumo da parte delle sostanze chimiche riducenti è riportato nelle figure 8.4.3. e 8.4.4.

Nel bacino sud il consumo d'ossigeno sulla colonna d'acqua è così intenso che generalmente nel corso del secondo semestre le concentrazioni d'ossigeno calano rapidamente al di sotto dei 4 g O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup> già a partire da 30 m, mentre oltre ai 70 m di profondità le acque diventano anossiche. Tra settembre e ottobre si riscontra

regolarmente a 20 m un minimo metalimnico d'ossigeno con valori che scendono sotto i  $2.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ . Inoltre, nel corso del secondo semestre, in prossimità del sedimento si misurano concentrazioni significative di metano, ammonio e solfuri. Il ferro ed il manganese disciolti sono invece presenti anche a quote più distanti dal sedimento (fino a 20 m dal fondo). La presenza di questi riducenti influisce però scarsamente sullo stato d'ossigenazione complessivo, in quanto sono confinati in uno strato d'acqua dal volume contenuto, per cui in questo bacino il saldo d'ossigeno sull'intera colonna risulta costantemente positivo: media di  $6'310 \text{ t O}_2$  dal 1984. Pure la richiesta d'ossigeno di questi riducenti non è mutata di molto negli anni; periodo 1984-87:  $130 \text{ t O}_2$ , 1988-92:  $180 \text{ t O}_2$ , 1993-97:  $190 \text{ t O}_2$ , 1998-2002:  $260 \text{ t O}_2$ , 2003-07:  $230 \text{ t O}_2$ ). Negli ultimi 24 anni il consumo stagionale medio d'ossigeno è stato di circa  $4'410 \text{ t O}_2$ , equivalente a circa il 49% del contenuto massimo, misurato alla fine del rimescolamento invernale.

Nel bacino nord l'ossigeno è stato generalmente riscontrato fino a 70-110 m di profondità. In seguito all'abbattimento della barriera meromittica durante l'inverno 2004-2005 sono state temporaneamente rilevate nel marzo 2005 tracce d'ossigeno sul fondo (+2 m) per la prima volta dopo oltre 40 anni. L'anno successivo la completa circolazione del bacino nord ha portato nel febbraio 2006 a concentrazioni quasi omogenee sull'intera colonna, comprese tra  $1.2$  e  $1.9 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ . L'ossigenazione critica nell'epilimnio ha provocato una moria delle specie ittiche più sensibili, in particolare dell'agone, la cui proporzione non ha tuttavia potuto essere appurata con precisione. Negli strati profondi si sono misurati fino al 2004 valori crescenti di sostanze riducenti, quali il metano, l'ammonio, il solfuro, unitamente a ferro e manganese disciolti. Dopo la destratificazione dell'inverno 2004-2005 le concentrazioni di queste sostanze si sono fortemente ridotte o in alcuni casi, come per i solfuri, azzerate. Negli anni la richiesta d'ossigeno nell'ipolimnio profondo (100-286 m) è aumentata costantemente da  $-14'820 \text{ t O}_2$  (1985-87) a  $-21'180 \text{ t O}_2$  (1998-2002) per poi iniziare a diminuire; dopo la completa circolazione nel maggio 2006 la richiesta teorica d'ossigeno dei riducenti si è quasi azzerata:  $-87 \text{ t O}_2$ . Tra il 2004 ed il 2007 il saldo d'ossigeno è aumentato di oltre  $14'000 \text{ t O}_2$ . dall'inizio delle misurazioni il consumo stagionale medio dell'ossigeno è oscillato attorno alle  $6'300 \text{ t a}^{-1}$ , corrispondente al 40% circa del contenuto massimo presente alla fine della circolazione invernale. Da segnalare la forte escursione del 2007, con un consumo annuo di  $10'400 \text{ t a}^{-1}$ .

### 8.5. Concentrazione del fosforo totale nel lago

La progressiva entrata in esercizio di una decina d'IDA (dal 1976), unitamente alla messa al bando dei fosfati nei detersivi per tessili (dal 1986), ha consentito di ridurre gradualmente gli apporti di nutrienti (in particolare di fosforo), convogliati al lago dai tributari.

Le figure 8.5.1. e 8.5.2. mostrano l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale negli ultimi 25 anni (1983-2007) per i due bacini principali; per il bacino nord sono illustrati anche gli andamenti relativi ai due strati originati dalla situazione di meromissi (0-100 m, 100-286 m) vigente fino a fine 2004.

Nel bacino nord i valori medi sull'intera colonna, ponderati sul volume, sono oscillati in maniera irregolare tra  $135$  e  $170 \text{ mg P m}^{-3}$  fino al 2004. Dopo il

rimescolamento dell'inverno 2004-2005 la concentrazione media è crollata a 115 mg P m<sup>-3</sup>, per toccare poi nel 2007 un minimo di 88 mg P m<sup>-3</sup>. Dal 2004 al 2007, in seguito all'adsorbimento del fosforo agli idr/ossidi di ferro e manganese precipitati durante le due circolazioni, il contenuto di fosforo annuale complessivo è sceso da 642 a 411 t P, perdendo 231 t P (-36%). Le concentrazioni dello strato 0-100 m sono scese da 87 mg P m<sup>-3</sup> nel 1983 a 52-58 mg P m<sup>-3</sup> nel quinquennio 1993-1997, per poi risalire nuovamente e toccare, grazie in particolare agli apporti di fosforo dagli strati inferiori durante le circolazioni, un massimo di 101 mg P m<sup>-3</sup> nel 2006. Nel 2007 i valori sono poi scesi ad 83 mg P m<sup>-3</sup>, avvicinandosi alle concentrazioni rilevate nello strato 100-286 m. In questo strato il fosforo totale ha presentato una sostanziale stabilità tra il 1983 ed il 1989 (205-215 mg P m<sup>-3</sup>), seguita da una serie di fluttuazioni con picchi intermedi negli anni 1992 (269 mg P m<sup>-3</sup>) e 1997 (267 mg P m<sup>-3</sup>); dal 1998 esse risultano costantemente in calo da 265 mg P m<sup>-3</sup> agli attuali 93 mg P m<sup>-3</sup>. Una possibile interpretazione dell'andamento altalenante delle concentrazioni è legata alle correnti di torbida nel bacino nord del lago [9]: le forti piene dei fiumi possono dar origine a due tipi di correnti di torbida (intrusive e di fondo), i cui effetti si ripercuotono in tutto il bacino. Le correnti di fondo, in particolare, possono originare un risollevarimento d'importanti masse d'acqua ipolimniche, che provoca un aumento delle concentrazioni di nutrienti negli strati superficiali e, occasionalmente, un forte consumo dell'ossigeno nell'ipolimnio ossico. È lecito supporre che alcune delle piene più intense possano aver svolto un ruolo importante nel determinare l'andamento delle concentrazioni di fosforo del bacino nord, in particolare fino al 2004. Con l'abbattimento della barriera meromittica è probabile che in futuro gli effetti di queste correnti potranno risultare più marcati anche se i quantitativi di fosforo mobilizzabili sono ora più ridotti.

Il bacino sud ha presentato a partire dal 1983 un progressivo calo del tenore di fosforo totale, da 137 mg P m<sup>-3</sup> a 43 mg P m<sup>-3</sup> (2003). In seguito i valori si sono stabilizzati tra 43 mg P m<sup>-3</sup> e gli attuali 46 mg P m<sup>-3</sup> con un temporaneo incremento nel 2004 a 50 mg P m<sup>-3</sup>. Anche se l'aumento delle concentrazioni epilimniche nel bacino nord ha fatto temporaneamente lievitare il carico di fosforo convogliato al bacino sud, gli apporti complessivi non sono mutati in maniera significativa.

## 8.6. Concentrazione dei composti azotati nel lago

In seguito alle variazioni degli apporti dal bacino imbrifero ed alle trasformazioni biogeniche interne, i composti azotati presenti nel lago hanno evidenziato, nel corso degli anni, importanti cambiamenti, sia a livello delle concentrazioni medie sia riguardo alla composizione specifica.

Nel bacino nord (Fig. 8.6.1.) le concentrazioni d'azoto totale (media ponderata sull'intero volume) presentano un progressivo incremento, da 0.45 g N m<sup>-3</sup> (periodo 1984-88) a 0.81 g N m<sup>-3</sup> nel 2002. A partire dal giugno 2003 i valori sono crollati agli attuali 0.42 g N m<sup>-3</sup>, con una temporanea ripresa nel secondo semestre 2004 (massimo di 0.99 g N m<sup>-3</sup> in settembre). In termini di contenuto complessivo di azoto totale tra il 2004 ed il 2007 vi è stata una perdita netta di 1'517 t N (-44%), riconducibile probabilmente a processi di denitrificazione o Anammox (ossidazione dell'ammonio ad azoto elementare con nitrito in condizioni anaerobiche [10]) innescati dai due consecutivi rimescolamenti. Per quanto riguarda le principali forme

d'azoto inorganico, va evidenziato come quella nitrica si riscontri unicamente nello strato ossigenato, mentre la forma ammoniacale si osserva in quantità rilevanti unicamente nello strato anossico. Per quanto concerne l'azoto nitrico, esso non ha mostrato un andamento simile a quello del azoto totale; tra il 1986 e il 1989 la concentrazione nei primi 100 m (strato ossigenato) è cresciuta da 0.25 a 0.35 g N m<sup>-3</sup> rimanendo poi costante fino al 1998. In seguito i valori si sono nuovamente innalzati, toccando 0.47 g N m<sup>-3</sup> nel 2001, per poi calare progressivamente e stabilizzarsi sugli attuali 0.22 g N m<sup>-3</sup>. Nello strato compreso tra 100 m ed il fondo, l'andamento temporale delle concentrazioni d'ammonio presenta una fase di marcato incremento tra il 1988 ed il 1990 (da 0.35 a 0.55 g N m<sup>-3</sup>), cui fa seguito un periodo di crescita regolare, che si conclude nel 1998 quando vengono raggiunti valori medi di 0.70 g N m<sup>-3</sup>. In seguito il tenore d'ammonio è diminuito progressivamente, assestandosi attorno a 0.45 g N m<sup>-3</sup> tra il 2001 ed il 2003. In seguito alla circolazione la concentrazione di ammonio si è azzerata nel maggio e nell'aprile 2006 per assestarsi a 0.03 g N m<sup>-3</sup> nel 2007.

Nel bacino sud (Fig. 8.6.2.) l'andamento dell'azoto totale presenta una prima fase di forte rialzo (dal 1987 al 1989), seguita da un lungo periodo di stabilità (tra il 1990 ed il 1996) con valori medi sulla colonna oscillanti tra 1.30 e 1.55 g N m<sup>-3</sup>. Durante il biennio successivo le concentrazioni si sono temporaneamente ridotte a 1.30 g N m<sup>-3</sup>, per poi riprendere a crescere toccando 1.72 g N m<sup>-3</sup> nel giugno 2003. In seguito i valori sono oscillati stagionalmente, ma con un trend al ribasso, attestandosi sugli attuali 1.43 g N m<sup>-3</sup>. Il nitrato ha ricalcato fino al 1999 l'andamento dell'azoto totale, ma con valori inferiori mediamente del 20%. In seguito le concentrazioni di nitrato sono oscillate tra un minimo di 0.89 g N m<sup>-3</sup> ed un massimo di 1.25 g N m<sup>-3</sup> ed una media di 1.00 g N m<sup>-3</sup> nel 2007.

L'aumento generalizzato dell'azoto totale registrato fino al 2003 nel lago è attribuibile, almeno in parte, alla saturazione dei suoli sul bacino imbrifero, che hanno esaurito la capacità di trattenere efficacemente la componente inorganica disciolta (nitrato e ammonio) depositata con le precipitazioni [11].

### 8.7. Modello di bilancio

Per ottenere previsioni sull'evoluzione futura delle concentrazioni di fosforo nel lago, è stato applicato un modello di bilancio [12] con differenti scenari di carico. Il risultato della proiezione degli andamenti per i due bacini è riportato nelle figure 8.7.1. e 8.7.2.

Nel bacino sud con il regime ideologico attuale (media 2003-2007) sarebbe teoricamente possibile raggiungere entro la fine del prossimo quinquennio la concentrazione auspicata (30 mg P m<sup>-3</sup>) con un carico esterno stabilizzato su 25 t P a<sup>-1</sup>, a fronte di un carico ammissibile stimato a 22 t P a<sup>-1</sup> [13].

Per quanto concerne il bacino nord, il modello di bilancio è stato applicato all'intera colonna d'acqua senza considerare, come in passato, lo strato 0-100 m. Infatti nel corso dell'ultimo ventennio la profondità del rimescolamento invernale nel bacino nord è oscillata tra 110 e 70 m fino al 2004, per poi toccare il fondo durante le due circolazioni 2004-2005 e 2005-2006. Per l'intero bacino nord i risultati del modello mostrano chiaramente che, anche se si giungesse in tempi brevi ad abbassare il carico di fosforo alla soglia critica auspicata (18 t P a<sup>-1</sup>), il raggiungimento degli obiettivi di qualità su tutta la colonna richiederebbe decenni.



## 8.8. Popolamento planctonico delle acque lacustri

La raccolta regolare dei dati che costituiscono la serie pluriennale della biomassa planctonica, suddivisa nella componente vegetale (FITO) e in quella animale (ZOO), è iniziata nel 1981 nelle stazioni di Lugano (bacino nord) e Agno (bacino sud); a partire dal 1983 i campionamenti sono stati effettuati nelle attuali tre stazioni di misura (Gandria per il bacino nord; Melide e Figino per il bacino sud); per unificare i risultati dell'intero periodo d'indagine, i dati delle stazioni di Lugano e di Agno sono stati integrati con quelli delle stazioni appartenenti allo stesso sottobacino lacustre (rispettivamente Gandria e Figino; Fig. 8.8.1.). Inoltre, allo scopo di facilitare il confronto dei valori, le concentrazioni della biomassa fitoplanctonica (peso fresco da biovolume;  $\text{g m}^{-3}$ ) sono stati trasformati sotto forma di valore areale (peso secco,  $\text{g m}^{-2}$ ), tenendo conto dello spessore dello strato campionato (0-20 m) ed assumendo un fattore 0.25 per il rapporto tra peso secco e peso fresco del fitoplancton [14].

La principale svolta nei rapporti tra le principali componenti della catena alimentare del lago si è manifestata verso la fine degli anni '80, quando nel giro di un biennio (1988-1989) in tutto il lago la biomassa vegetale si è ridotta del 50-60%, mentre quella animale è aumentata del 35-60% [15]. Durante gli anni successivi il quadro generale non presenta più cambiamenti di rilievo: l'andamento del fitoplancton appare più regolare, con un accenno di ripresa negli anni 2001-2002, ed una tendenza alla diminuzione dei valori nel corso dell'ultimo quinquennio, alla fine del quale nelle due stazioni del bacino sud sono stati misurati i minimi dell'intero periodo d'osservazione. L'andamento dello zooplancton è caratterizzato da maggiori oscillazioni interannuali, e da un generale incremento dei valori di biomassa carnivora a partire dalla seconda metà degli anni '90: elemento questo che lascia prospettare un miglior equilibrio all'interno della struttura trofica della biocenosi lacustre. La serie di episodi di forte rimescolamento della colonna d'acqua osservati nel corso dell'ultimo quinquennio hanno sicuramente rappresentato un'ulteriore svolta decisiva nel quadro trofico del lago, non solo a motivo del massiccio incremento del carico interno nel bacino nord, ma anche dei suoi riflessi sul bacino sud, situato a valle. Si è pertanto tenuto conto di queste importanti tappe evolutive per analizzare in modo più dettagliato gli elementi di cambiamento più caratteristici del periodo d'indagine sulla base della composizione della biocenosi vegetale ed animale del lago.

Per quanto concerne il quadro fitoplanctonico (Fig. 8.8.2.), il profondo mutamento osservato alla fine degli anni '80 aveva riguardato anche la composizione qualitativa del popolamento algale, con il passaggio, in tutte le tre stazioni, dal predominio assoluto delle cianoficee (40-50% della biomassa totale) ad una situazione di riequilibrio con le diatomee nelle stazioni di Gandria e Melide (28-30%) e di leggero predominio delle diatomee a Figino (35%) nel periodo 1989-2002; parallelamente, era stata osservata una netta crescita percentuale sia delle cloroficee (14-16%), sia delle criptoficee (10-12%). Rispetto a questa situazione, caratterizzata da una sostanziale stabilità, il quadro dell'ultimo quinquennio (2003-2007) non presenta cambiamenti d'analogia entità: gli elementi più significativi dell'evoluzione in corso sembrano costituiti dall'ulteriore compressione della quota di cianoficee in tutto il lago (19-22%), dalla stabilizzazione delle diatomee sui livelli del periodo precedente, e dall'incremento delle peridinee (finora attorno al 6% in tutto il lago), più evidente a Gandria (12%) rispetto alle stazioni del bacino sud (9-10%).

Il popolamento zooplanctonico (Fig. 8.8.2.) si è mantenuto sostanzialmente stabile per quanto concerne sua composizione percentuale dopo le profonde modifiche osservate a partire dal 1989, quando in tutto il lago erano tornati ad insediarsi stabilmente i calanoidi (*Eudiaptomus gracilis*) dopo un'assenza di oltre un trentennio. Rispetto al periodo 1989-2002, l'ultimo quinquennio ha fatto registrare solo dei piccoli assestamenti, con il popolamento di *Daphnia hyalina* in crescita nel bacino nord, un incremento dei ciclopoidi nel bacino sud, un generale calo dei diaptomidi, ed una ripresa del popolamento di *Eubosmina longirostris* in tutte le stazioni del lago.

### 8.9. Produzione primaria e strato trofogeno delle acque lacustri

Gli effetti della riduzione di livello trofico del Lago di Lugano nel corso degli ultimi decenni (cfr. paragrafo 8.5.) si sono manifestati non solo in una modifica quantitativa e qualitativa della biocenosi planctonica nel suo complesso, come confermato dai valori ottenuti tramite campionamento integrale della colonna d'acqua corrispondente (per il fitoplancton: 0-20 m, per lo zooplancton: 0-50 m), ma anche in una diversa distribuzione verticale della biomassa vegetale negli strati superficiali del lago, nei quali si svolgono i processi fotosintetici (strato trofogeno,  $Z_{1\%}$ ). Per meglio interpretare la recente evoluzione trofica del lago, vengono perciò in seguito analizzati alcuni tra i principali parametri legati all'attività produttiva primaria (trasparenza delle acque, spessore dello strato trofogeno, clorofilla *a* nello strato trofogeno, produzione areale, produttività sul volume). A questo scopo è sembrato utile ripercorrere la storia recente del lago seguendo le tappe marcate dai successivi periodi quinquennali d'indagine fissati dalla Commissione, introducendo unicamente una modifica per quanto riguarda il primo periodo considerato (1983-1987), che è stato prolungato di un anno a motivo dei profondi cambiamenti intervenuti nella biocenosi lacustre nel corso del 1988 (Tab. 8.9.). Il biennio 1988-1989 ha costituito la principale e finora unica cesura tra due situazioni trofiche radicalmente differenziate, non solo a livello della catena alimentare (come evidenziato dall'andamento dei valori di biomassa), ma anche per quanto riguarda le condizioni luminose subacquee (vedi valori di trasparenza e  $Z_{1\%}$ ), e l'efficienza dei processi produttivi primari (produzione areale e produttività sul volume).

La biomassa vegetale, espressa dal parametro della clorofilla *a*, ha raggiunto in tutte le stazioni i valori più bassi dell'intero periodo d'indagine nel periodo immediatamente successivo alla cesura del 1988 (1989-92); dopo un quinquennio di ripresa generale (1993-97) i valori sono progressivamente andati calando nel bacino sud, mentre hanno evidenziato un ulteriore incremento in quello nord. Nell'ultimo quinquennio si è confermata per tutte le stazioni una tendenza alla riduzione dei valori. D'altra parte, l'andamento dello spessore dello strato trofogeno ( $Z_{1\%}$ ), dopo la forte fase di espansione dei primi anni dopo il 1988, è rimasto sostanzialmente stabile per un decennio, per poi tornare ad espandersi nel corso dell'ultimo quinquennio, in tutto il lago. Un analogo comportamento si osserva nella successione temporale dei valori di trasparenza, che nell'ultimo quinquennio hanno fatto registrare le medie più elevate dell'intero periodo d'indagine. Dall'analisi dei dati pluriennali si conferma pertanto il loro stretto livello d'interdipendenza di questi tre parametri, come pure la tendenza dei popolamenti fitoplanctonici ad insediarsi nella fascia più profonda dello strato produttivo del lago.

Una considerazione a parte merita l'andamento pluriennale dei due parametri di produzione primaria, che presenta una tendenza in un certo senso opposta nei due bacini lacustri a partire dall'evento del 1988: nel bacino nord sia i valori areali che quelli riferiti al volume sono andati in costante crescita, favoriti dall'elevato potenziale di nutrienti negli strati più profondi, progressivamente riportati verso la zona produttiva [16]; nel bacino sud, in accordo con la progressiva riduzione del livello trofico, entrambi i parametri sono risultati in calo costante, fatta eccezione per i valori di produzione areale dell'ultimo quinquennio, i quali hanno senz'altro risentito positivamente del marcato ampliamento dello strato trofogeno.

Complessivamente si può affermare che i dati raccolti sul lungo periodo, mentre confermano l'esistenza di un gradiente trofico fra le tre stazioni del lago, con valori crescenti lungo l'asse di deflusso (Gandria-Melide-Figino), indicano chiaramente la tendenza ad una progressiva riduzione dello stesso, permettendo di prospettare un'evoluzione favorevole nel processo di recupero qualitativo dell'ecosistema lacustre.

Tab. 8.9. Lago di Lugano, 1983-2007: evoluzione dei principali parametri legati alla produzione primaria.

<b>TRASPARENZA [m]</b>	<b>GANDRIA</b>	<b>MELIDE</b>	<b>FIGINO</b>
1983-1988	4.5	3.5	3.3
1989-1992	6.4	5.5	4.9
1993-1997	5.8	5.2	4.5
1998-2002	6.2	5.4	4.7
2003-2007	7.7	6.9	6.0
<b>STRATO TROFOGENO (Z<sub>1%</sub>) [m]</b>	<b>GANDRIA</b>	<b>MELIDE</b>	<b>FIGINO</b>
1983-1988	9.7	7.5	7.0
1989-1992	13.5	10.5	9.7
1993-1997	12.1	10.1	9.3
1998-2002	12.0	10.2	9.1
2003-2007	13.0	12.2	10.9
<b>CLOROFILLA a (strato trofogeno) [mg m<sup>-3</sup>]</b>	<b>GANDRIA</b>	<b>MELIDE</b>	<b>FIGINO</b>
1983-1988	12.0	18.2	19.1
1989-1992	6.8	9.7	10.6
1993-1997	8.5	11.6	13.4
1998-2002	9.8	10.7	11.8
2003-2007	8.4	10.5	11.2
<b>PRODUZIONE AREALE [g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>]</b>	<b>GANDRIA</b>	<b>MELIDE</b>	<b>FIGINO</b>
1983-1988	377	414	469
1989-1992	260	336	325
1993-1997	297	314	356
1998-2002	300	315	332
2003-2007	352	342	343
<b>PRODUTTIVITA' SUL VOLUME [g C m<sup>-3</sup> a<sup>-1</sup>]</b>	<b>GANDRIA</b>	<b>MELIDE</b>	<b>FIGINO</b>
1983-1988	52.5	76.9	95.3
1989-1992	22.4	43.4	48.4
1993-1997	28.7	41.1	45.9
1998-2002	29.2	38.3	43.8
2003-2007	33.5	34.6	37.3

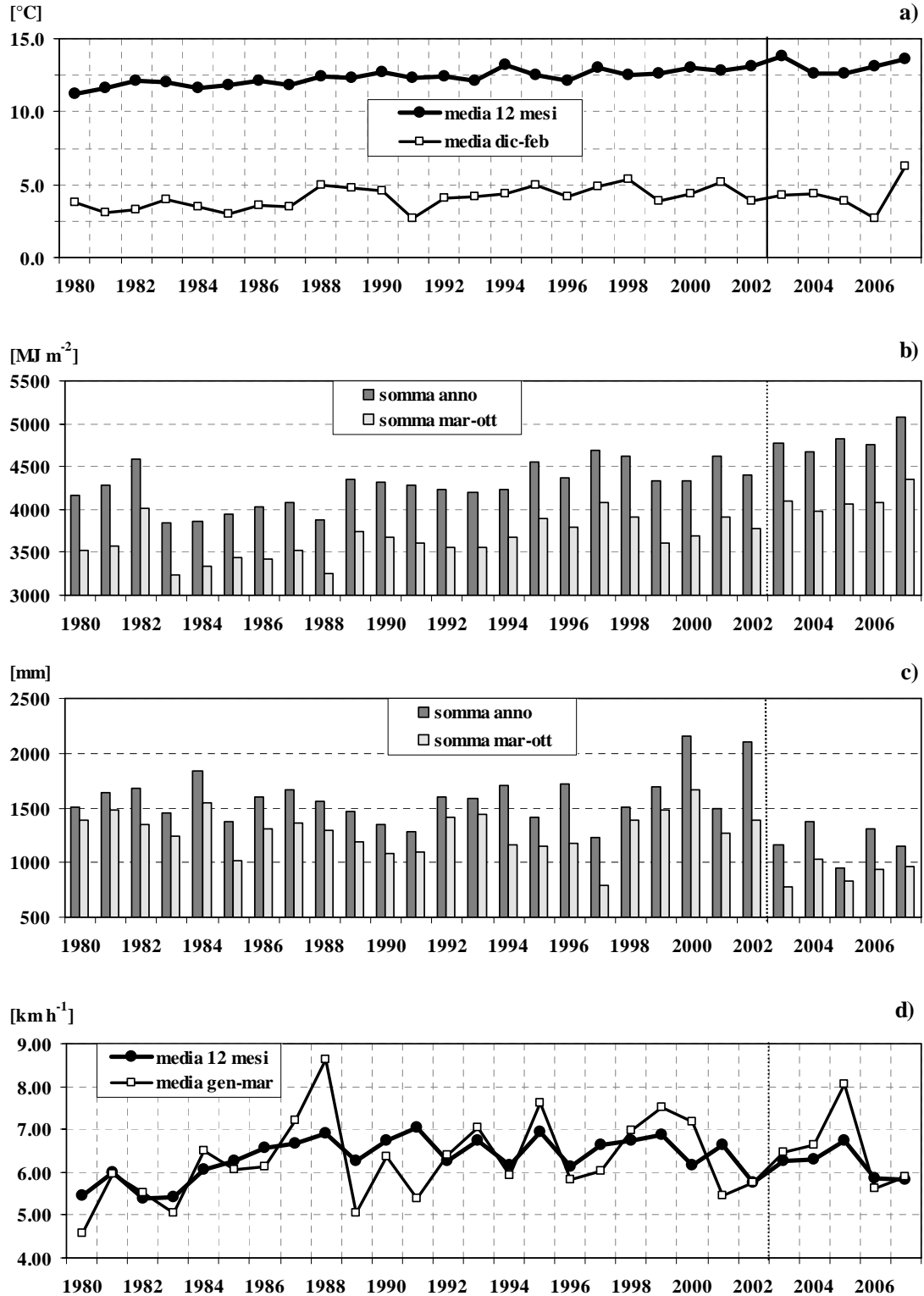


Fig. 8.1.1. Lugano, Biblioteca Cantonale, 1980-2007:

- temperatura atmosferica (media annua e media invernale),
- radiazione globale (somma annua e somma periodo vegetativo),
- precipitazioni (somma annua e somma periodo vegetativo),
- intensità del vento (media annua e media invernale).

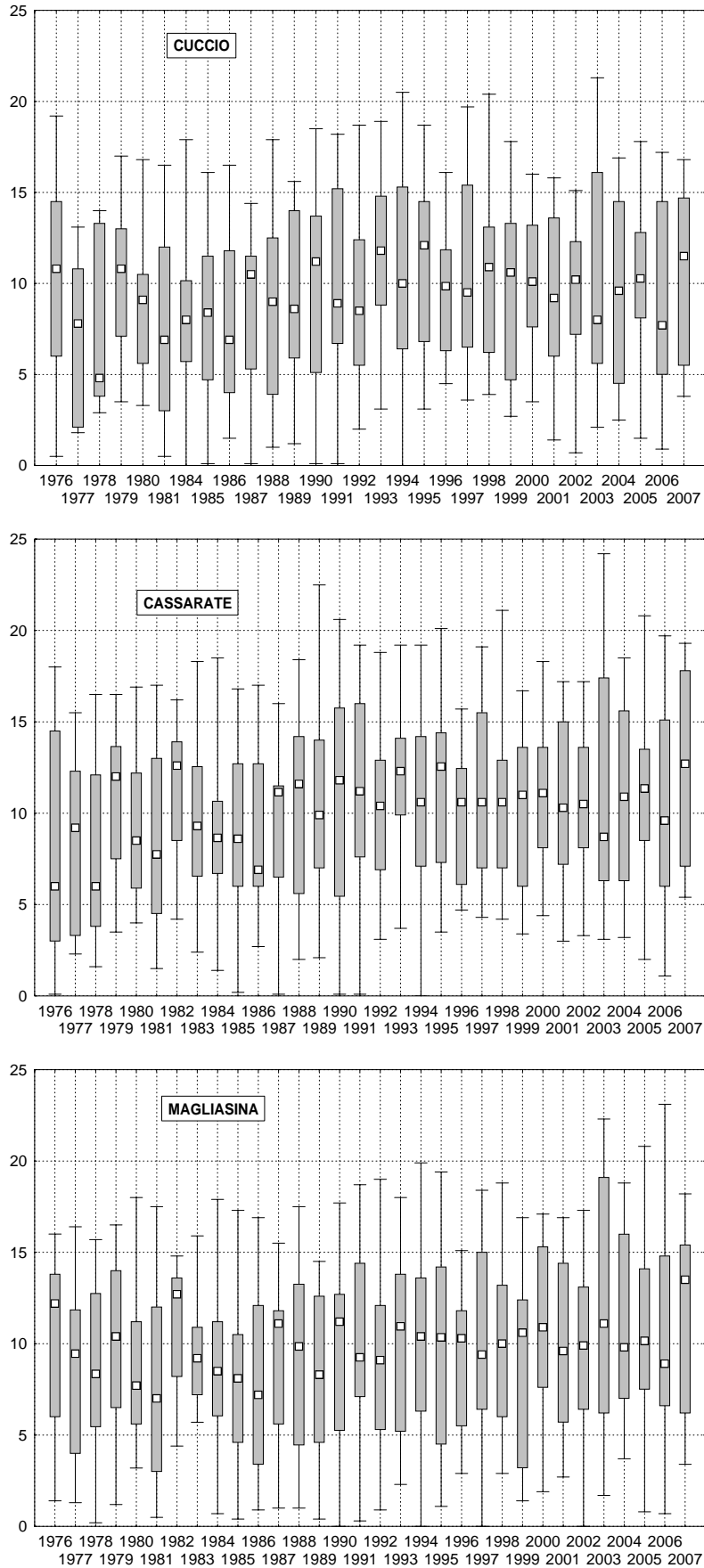


Fig. 8.2.1. Lago di Lugano, 1976-2007: andamento termico nei fiumi Cuccio, Cassarate e Magliasina (in °C).

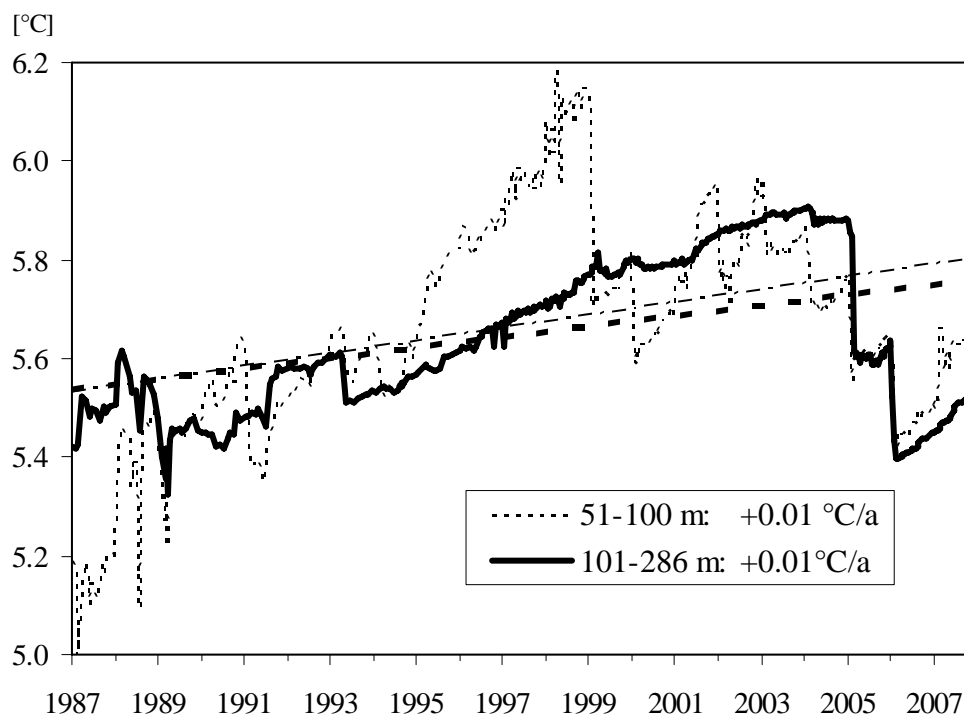


Fig. 8.2.2. Lago di Lugano, 1987-2007: andamento termico e linee di tendenza per due strati profondi del bacino nord.

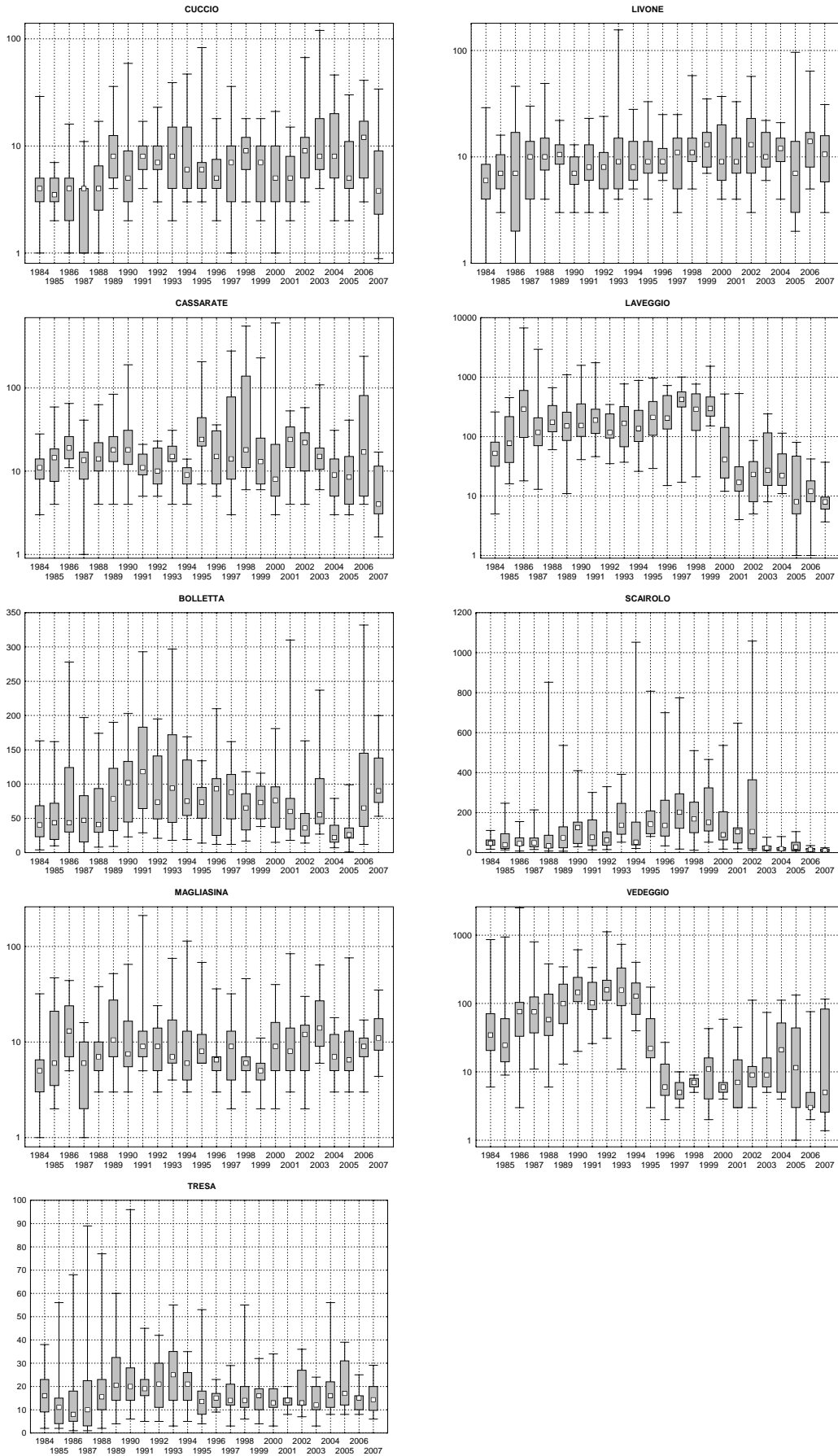


Fig. 8.3.1. Lago di Lugano, 1984-2007: andamento delle concentrazioni di azoto nitroso nei principali corsi d'acqua.

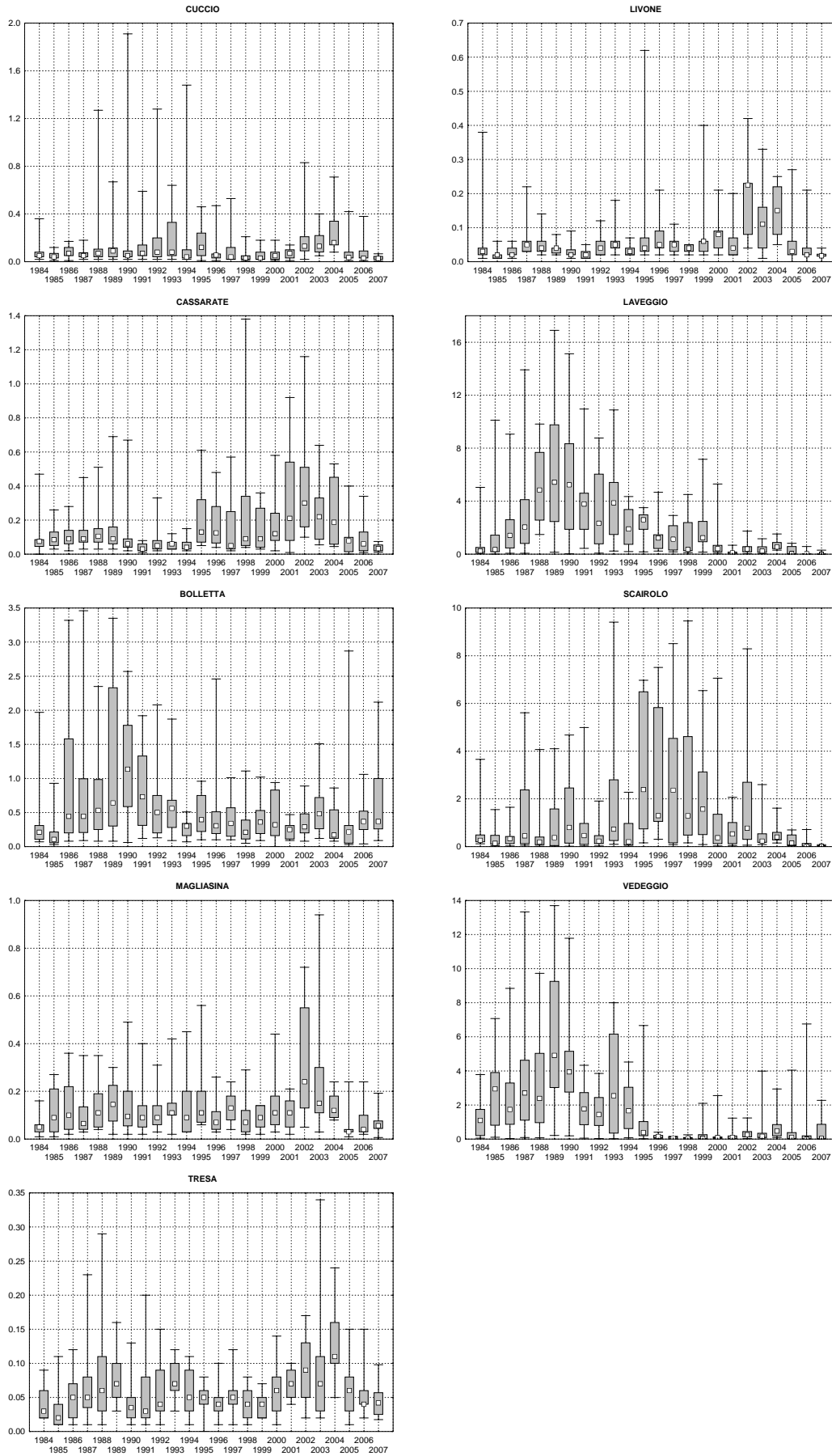


Fig. 8.3.2. Lago di Lugano, 1984-2007: andamento delle concentrazioni d'azoto ammoniacale nei principali corsi d'acqua.



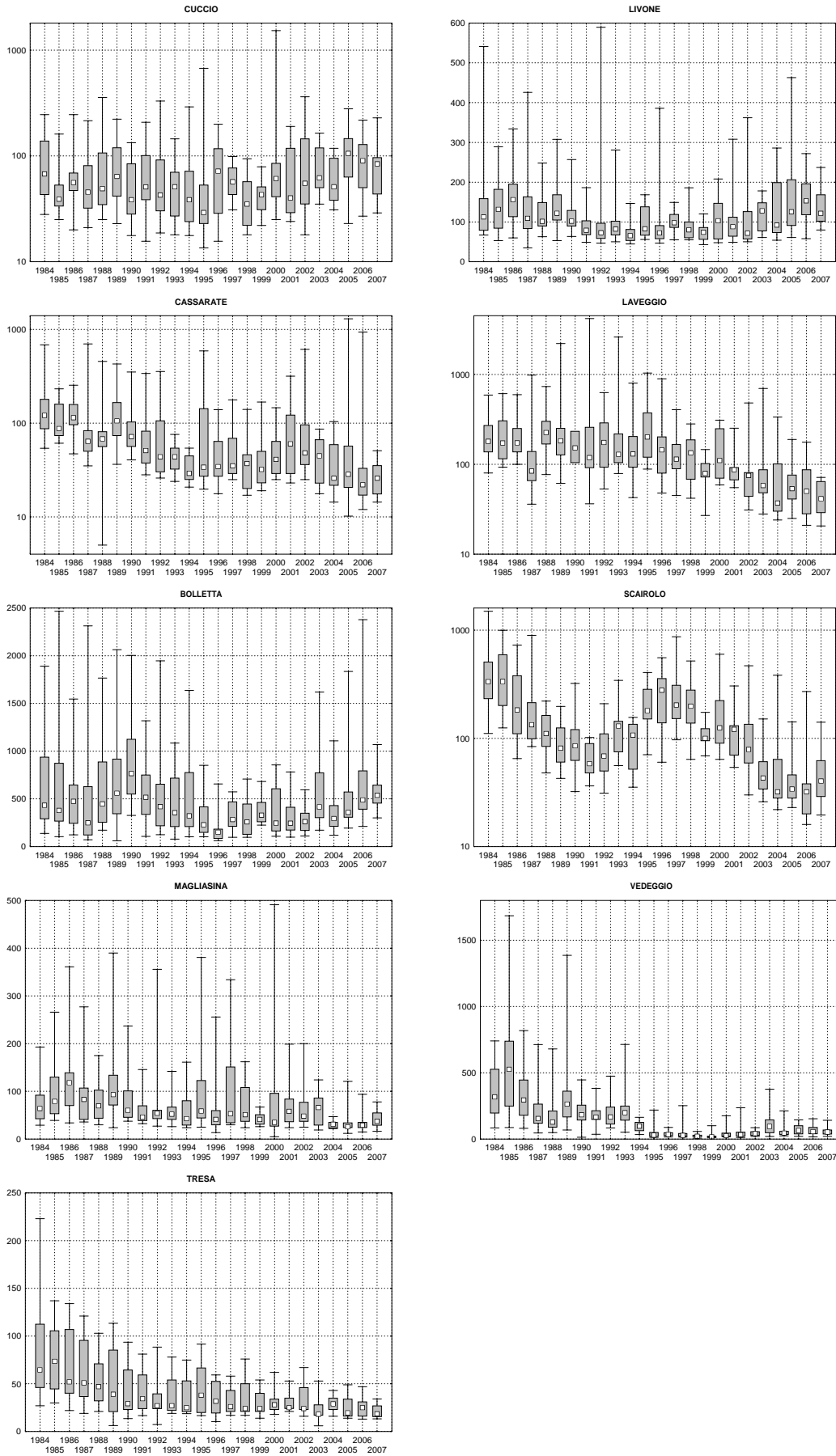


Fig. 8.3.3. Lago di Lugano, 1984-2007: andamento delle concentrazioni di fosforo totale nei principali corsi d'acqua.

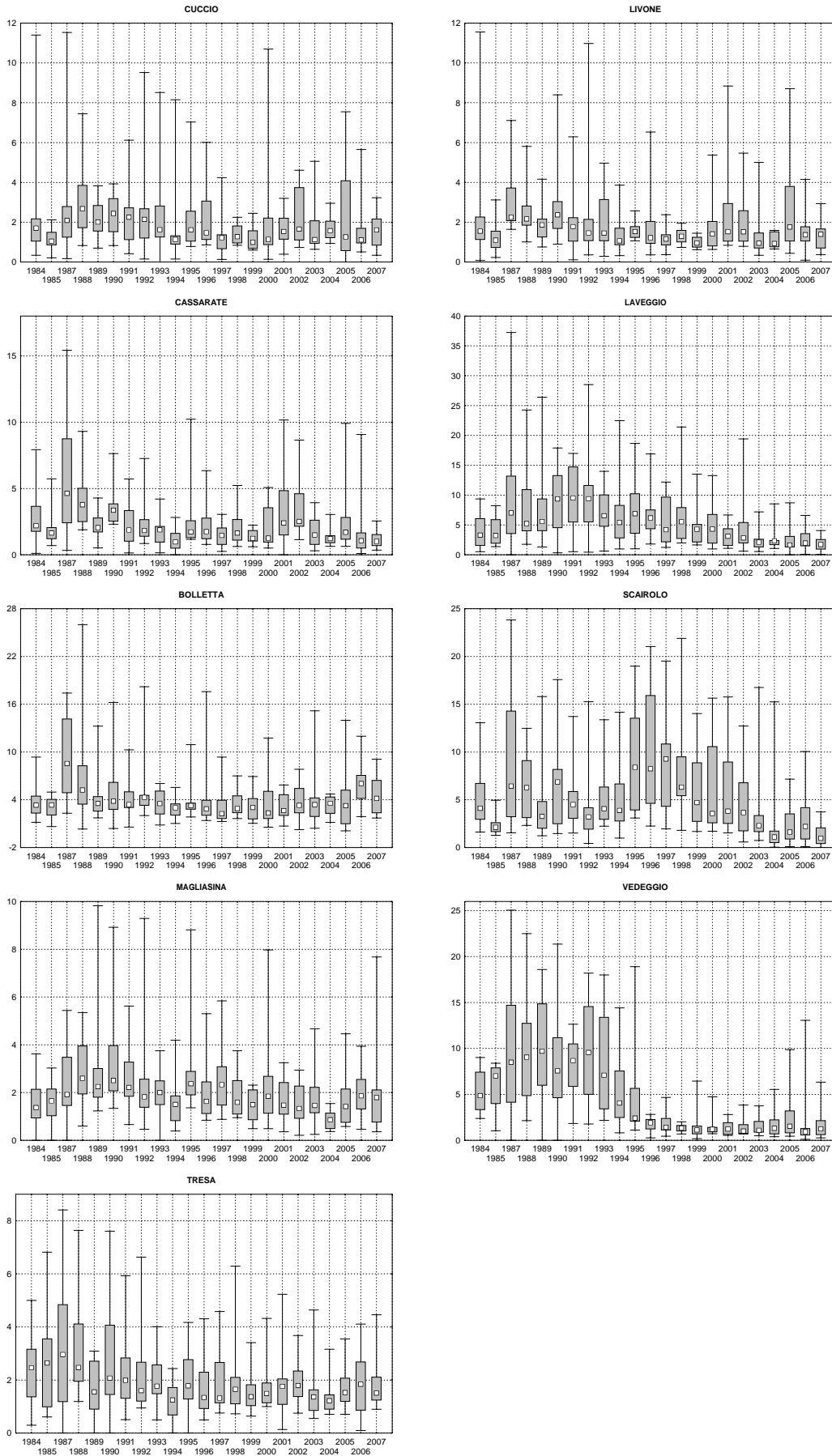


Fig. 8.3.4. Lago di Lugano, 1984-2007: andamento dei valori di BOD<sub>5</sub> nei principali corsi d'acqua.

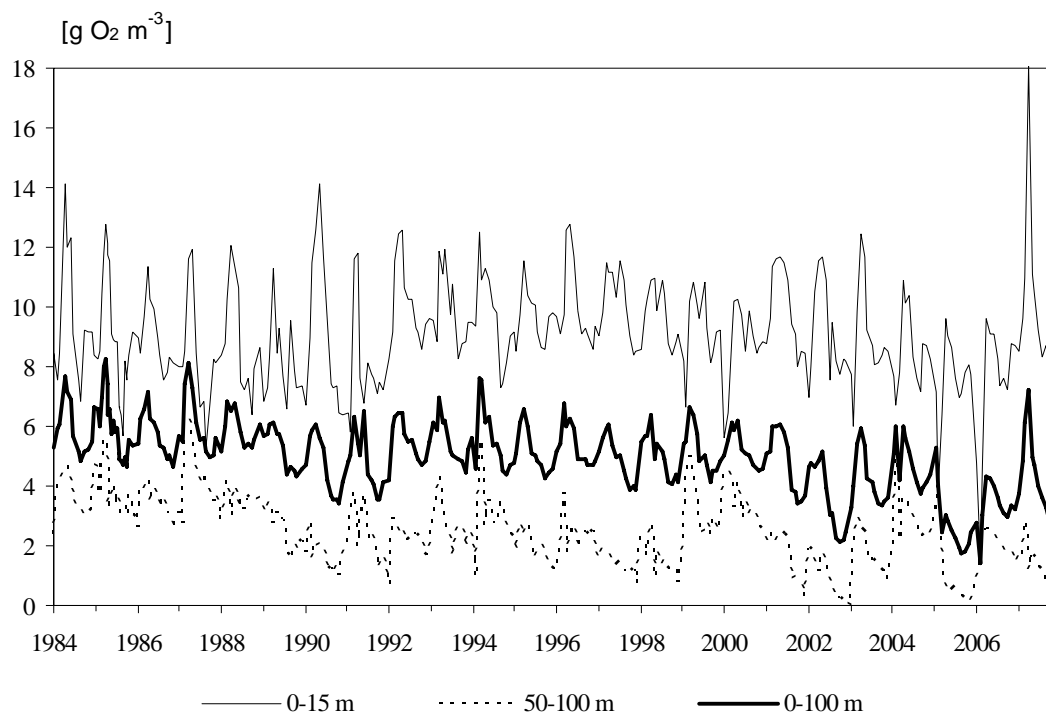


Fig. 8.4.1. Lago di Lugano, 1984-2007: andamento della concentrazione d'ossigeno nei diversi strati del bacino nord.

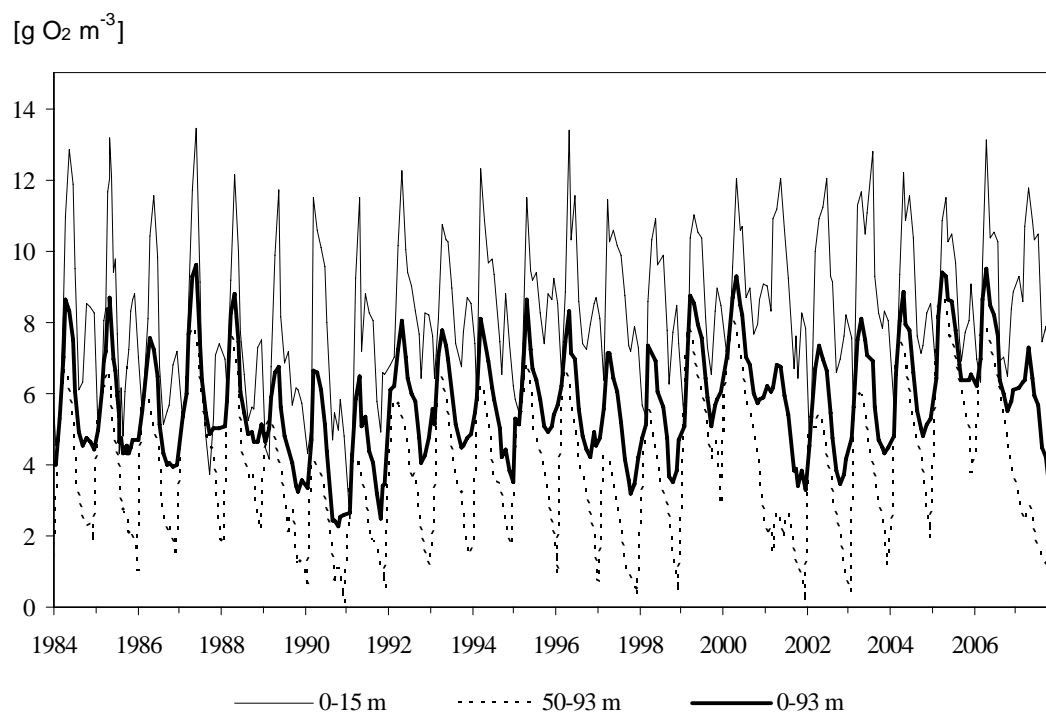


Fig. 8.4.2. Lago di Lugano, 1984-2007: andamento della concentrazione d'ossigeno sull'intera colonna del bacino sud.

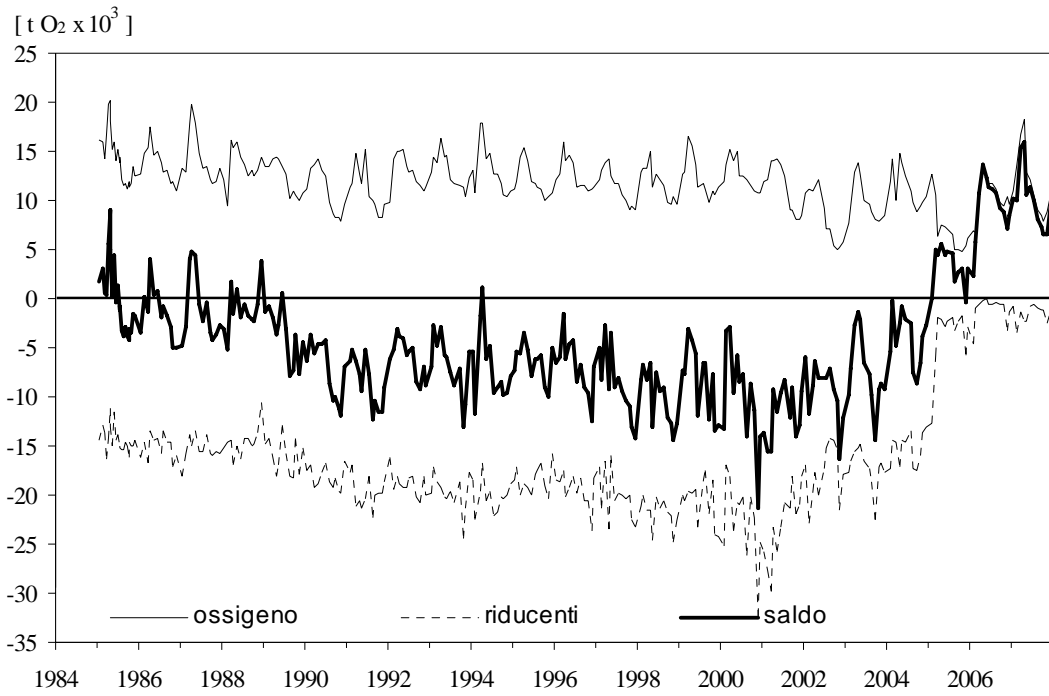


Fig. 8.4.3. Lago di Lugano, 1985-2007: andamento del bilancio delle sostanze ossido-riducenti nel bacino nord.

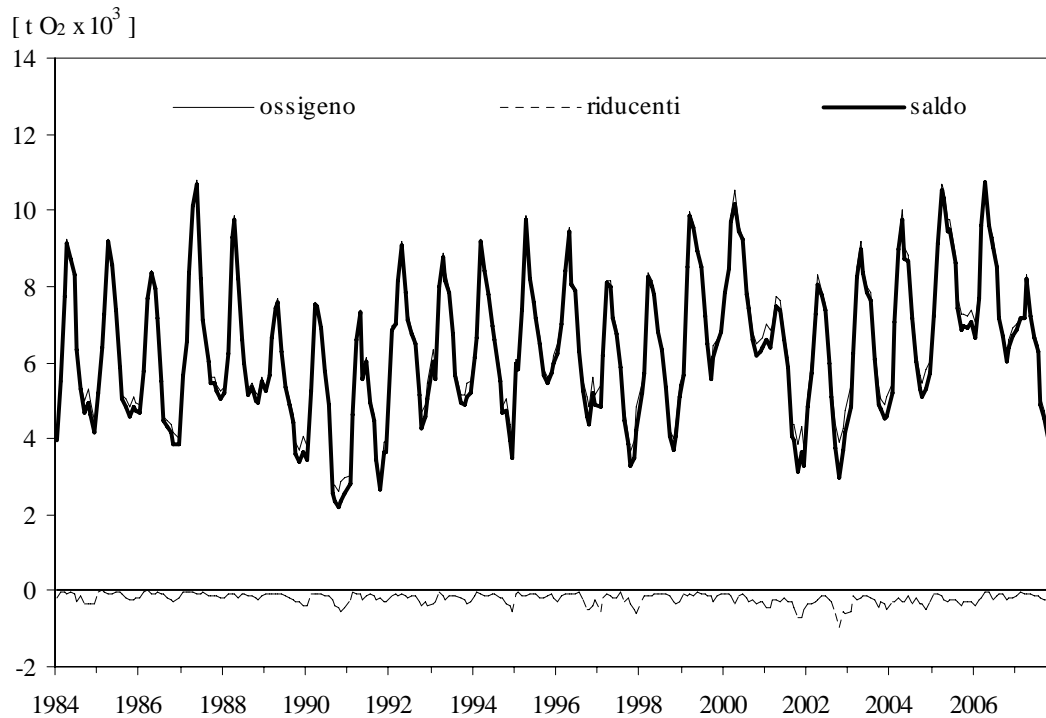


Fig. 8.4.4. Lago di Lugano, 1984-2007: andamento del bilancio delle sostanze ossido-riducenti nel bacino sud.

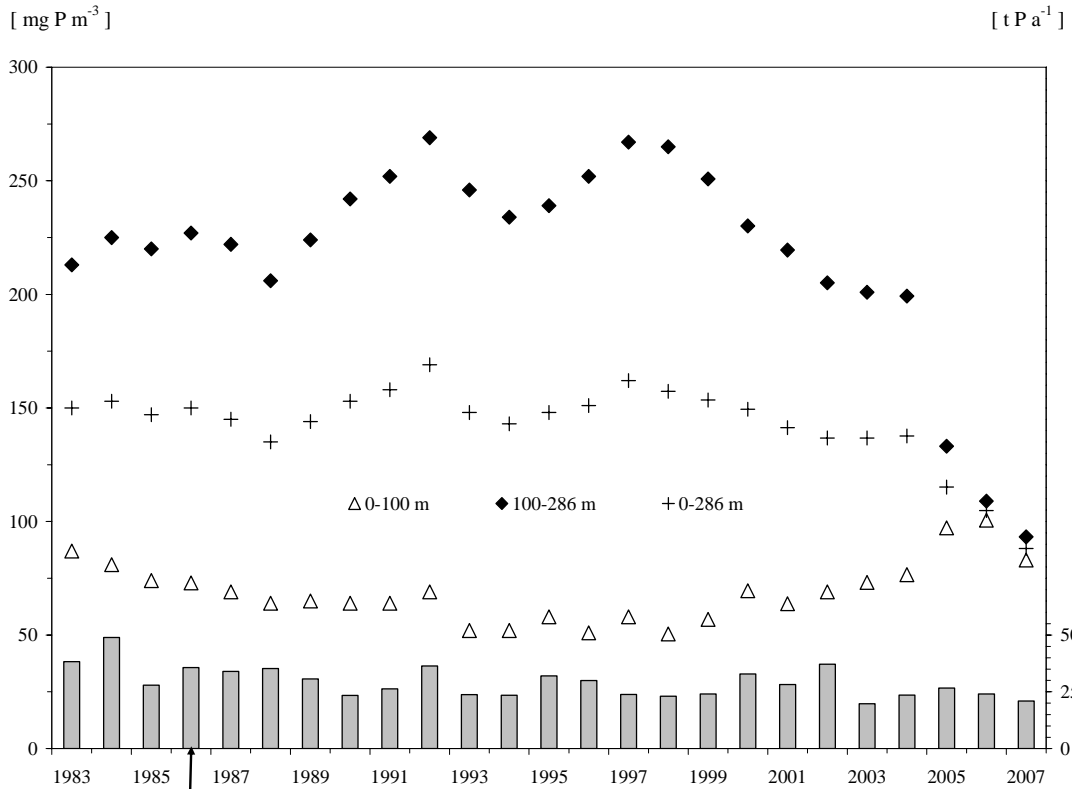


Fig. 8.5.1. Lago di Lugano, 1983-2007: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nei differenti strati del bacino nord.

Le barre verticali corrispondono agli apporti totali. La freccia indica l'entrata in vigore del bando dei fosfati dai detersivi tessili.

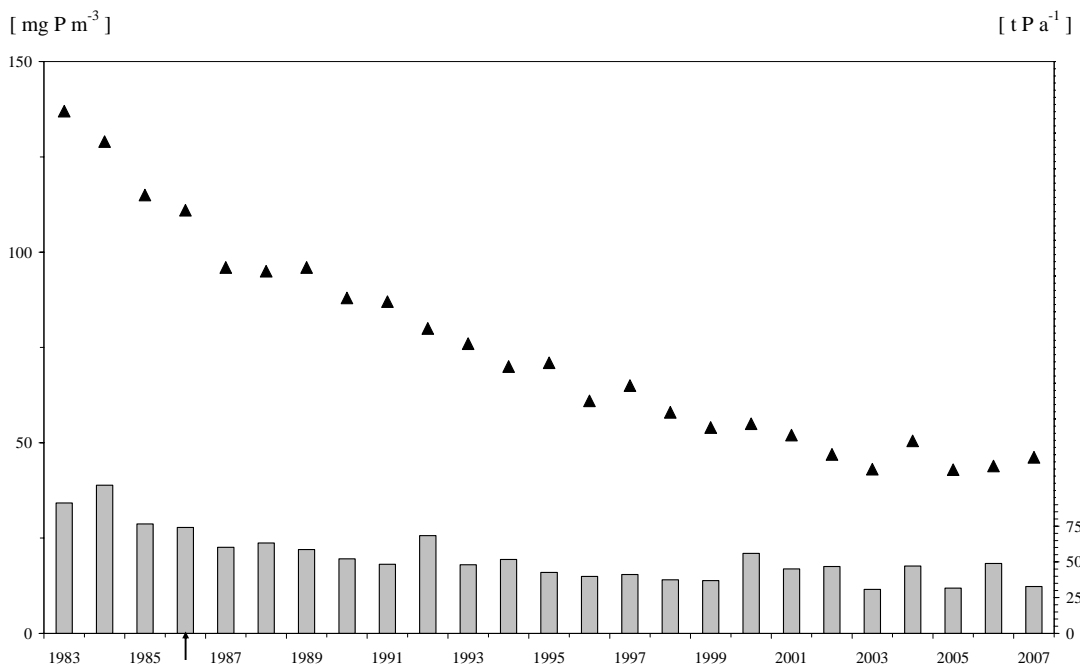


Fig. 8.5.2. Lago di Lugano, 1983-2007: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud.

Le barre verticali corrispondono agli apporti totali. La freccia indica l'entrata in vigore del bando dei fosfati dai detersivi.

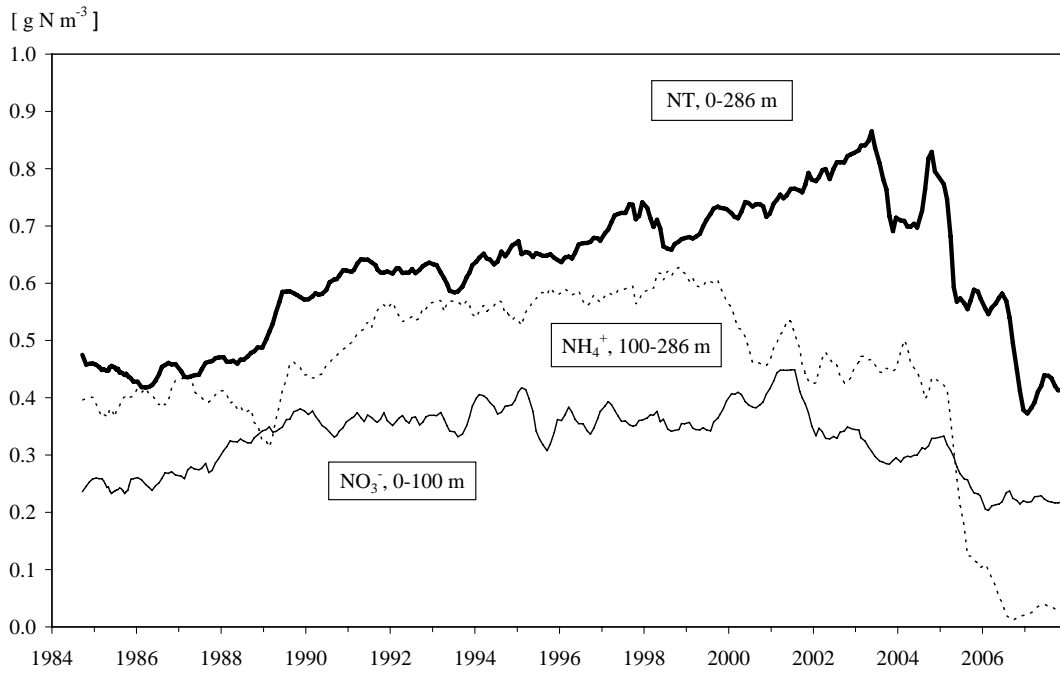


Fig. 8.6.1. Lago di Lugano, 1984-2007: evoluzione della concentrazione di composti azotati nei diversi strati del bacino nord.

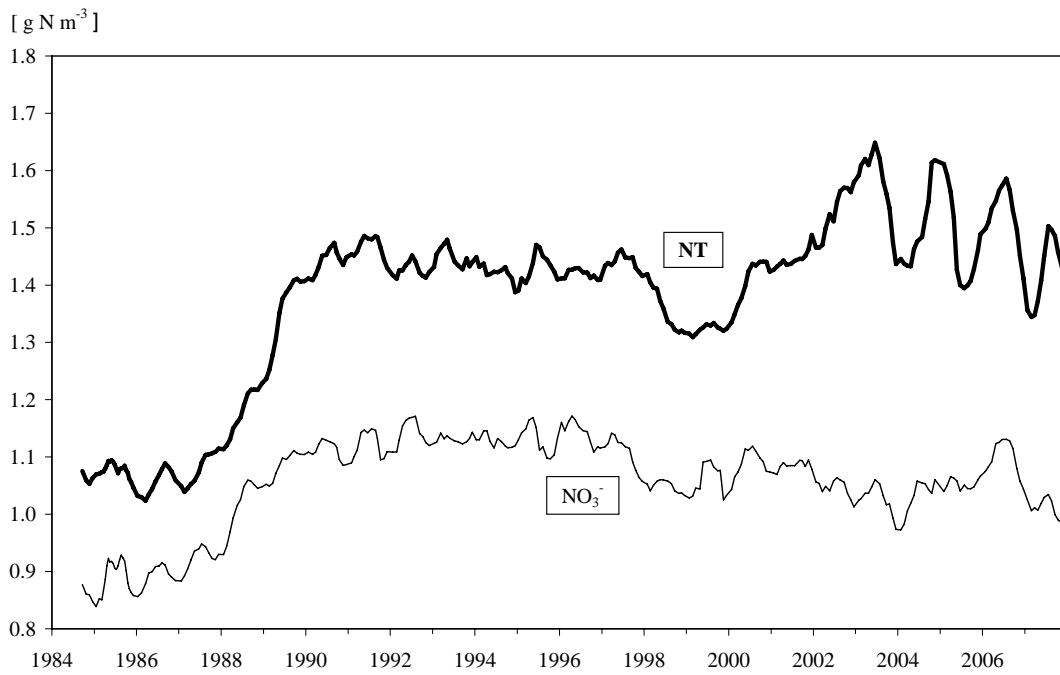


Fig. 8.6.2. Lago di Lugano, 1984-2007: evoluzione della concentrazione di composti azotati nel bacino sud.

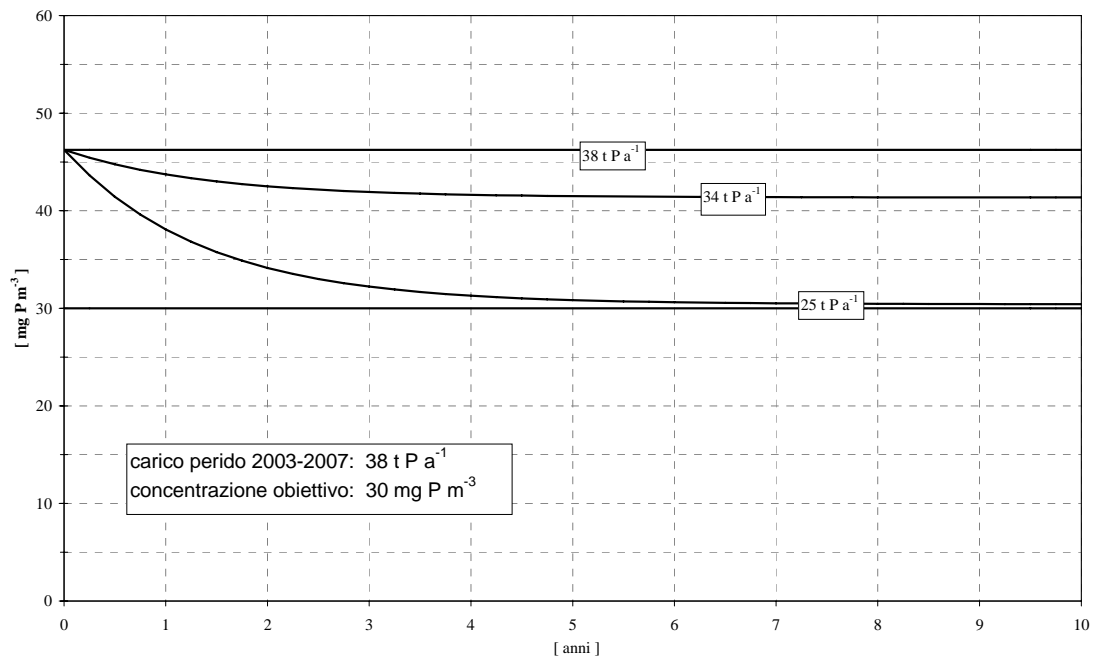


Fig. 8.7.1. Lago di Lugano, bacino sud: modello previsionale dell'evoluzione delle concentrazioni di fosforo totale, con differenti scenari di carico.

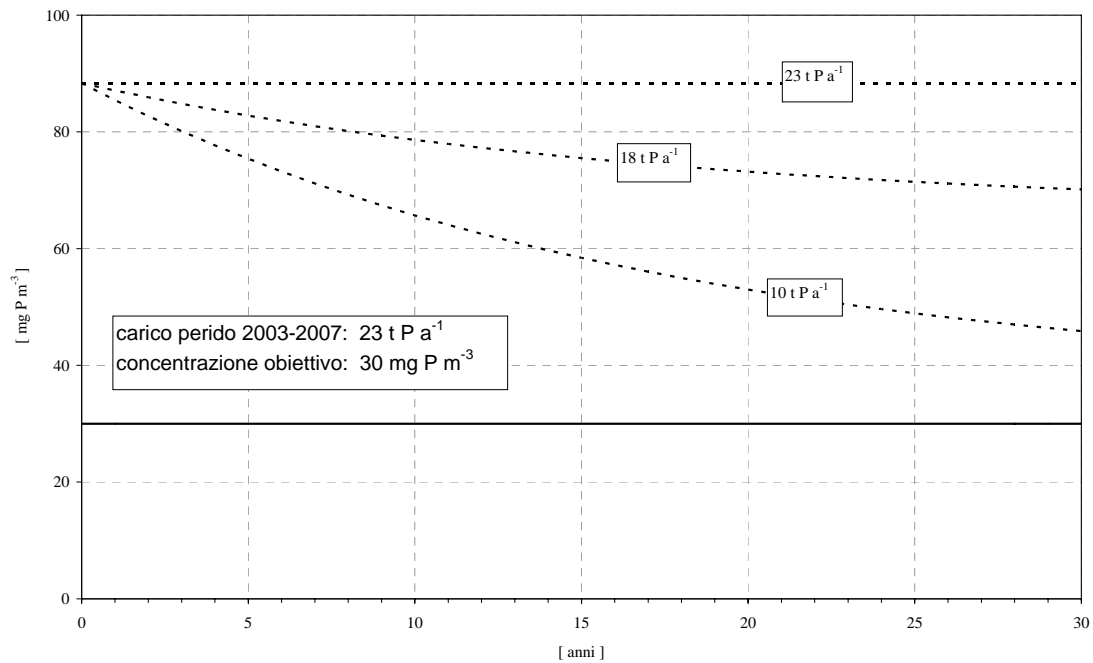


Fig. 8.7.2. Lago di Lugano, bacino nord: modello previsionale dell'evoluzione delle concentrazioni di fosforo totale, con differenti scenari di carico (strato 0-286 m).

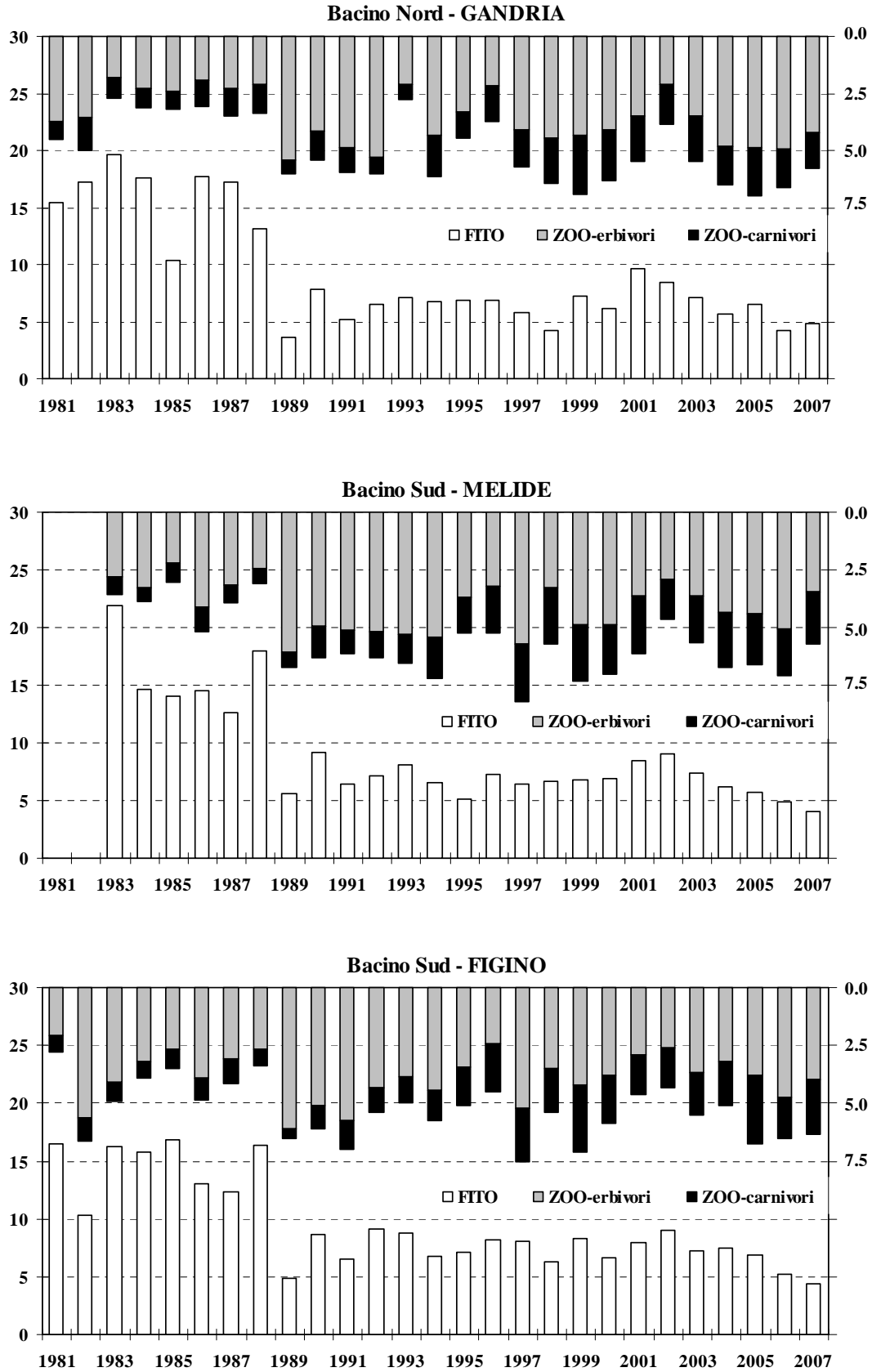


Fig. 8.8.1. Lago di Lugano, 1981-2007: andamento della biomassa planctonica [ $\text{g m}^{-2}$ ; peso secco].



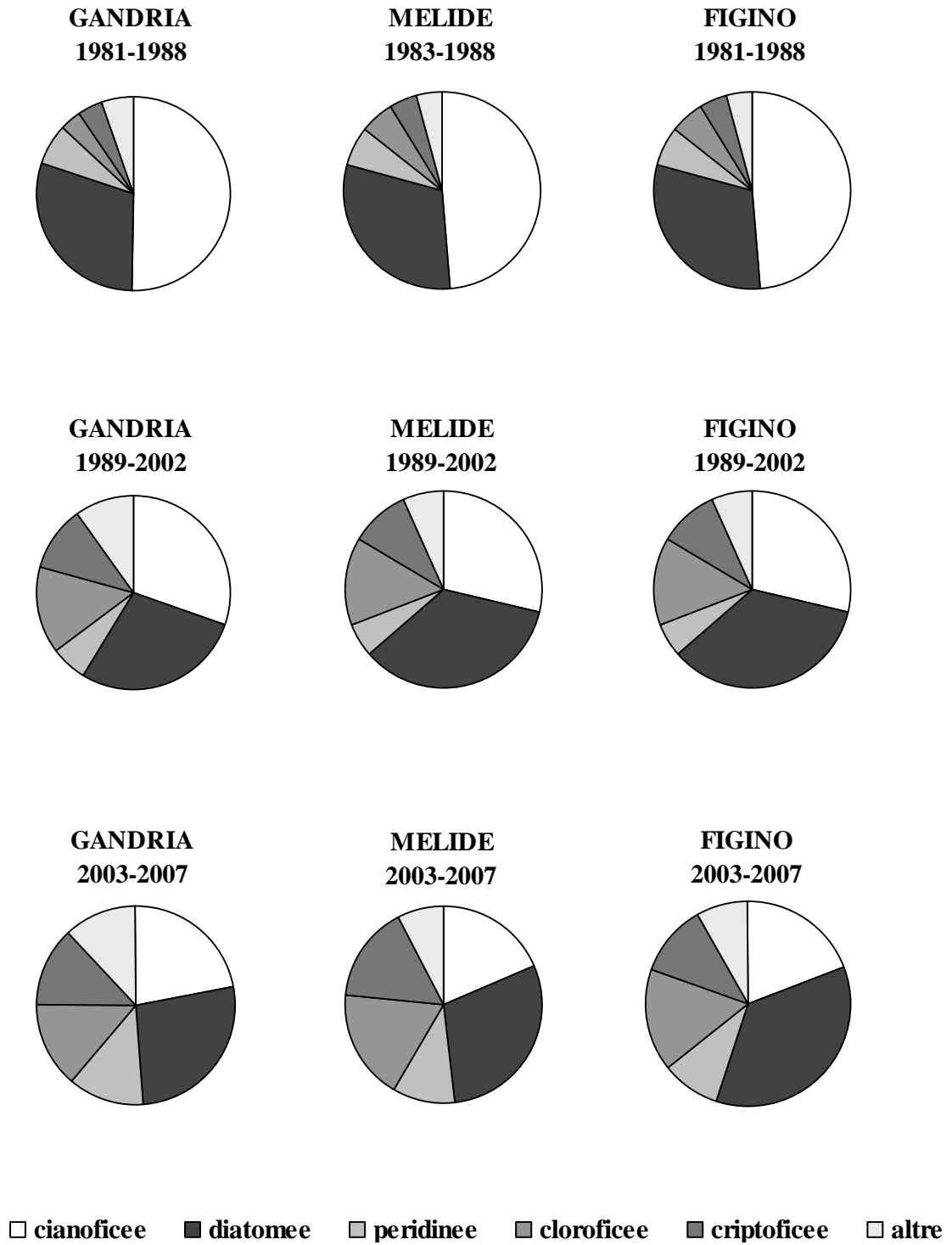


Fig. 8.8.2. Lago di Lugano, 1981-2007: evoluzione della composizione percentuale della biomassa fitoplanctonica.

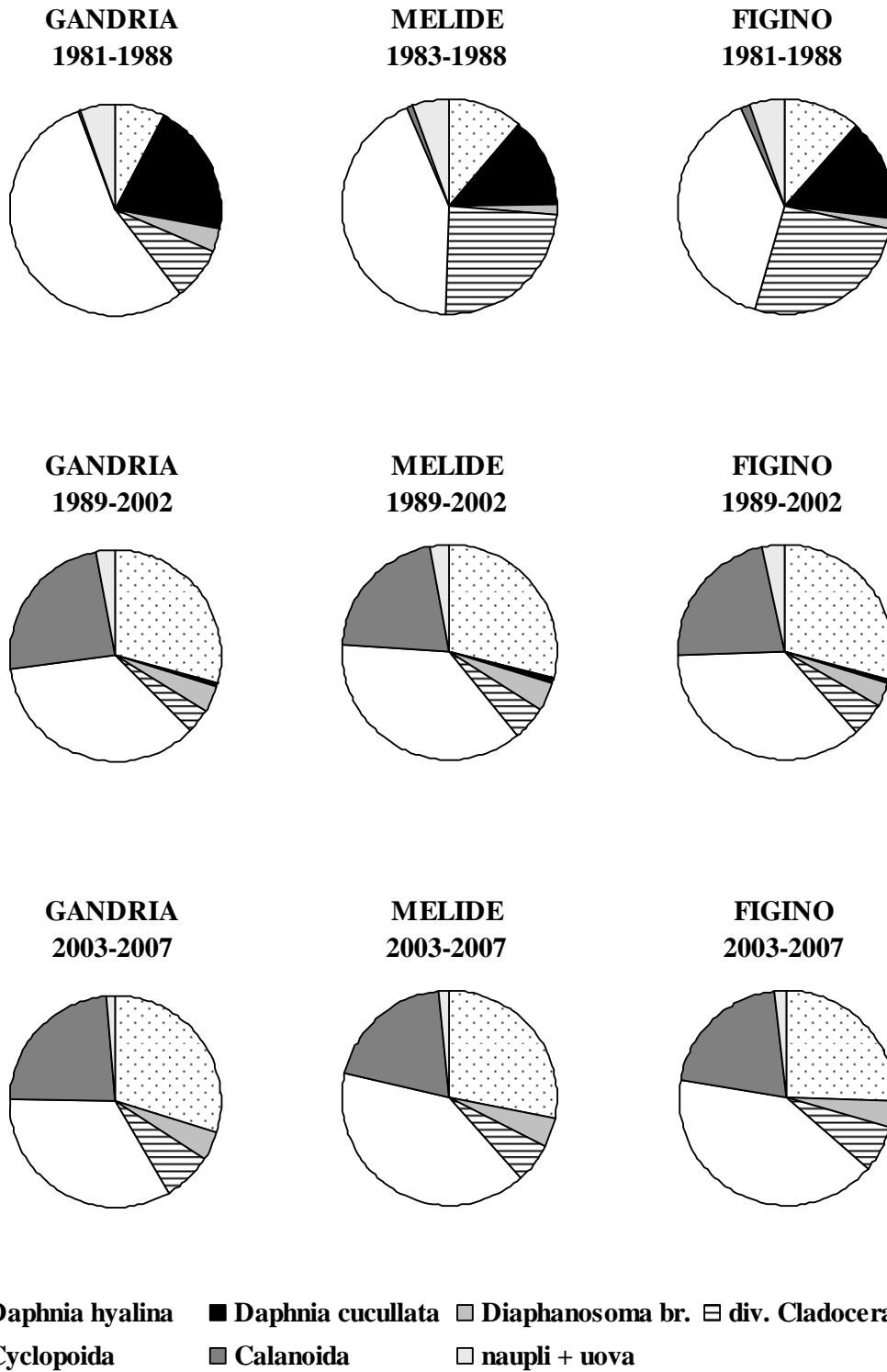


Fig. 8.8.3. Lago di Lugano, 1981-2007: evoluzione della composizione percentuale della biomassa zooplanctonica.

## 8. CONCLUSIONI

Gli avvenimenti meteorologici del quinquennio appena conclusosi hanno avuto un impatto sullo stato limnologico del Lago di Lugano di una portata mai osservata negli ultimi decenni. Dopo la dissoluzione della stratificazione meromittica del bacino nord, verificatasi nell'inverno 2004-2005, nel corso dell'inverno successivo si è assistito al completo rimescolamento della colonna d'acqua [17]. Dal 2004 al 2007 nel bacino nord la temperatura è diminuita di 0.4 °C (strato 100 m – fondo), il contenuto complessivo di fosforo totale è sceso da 642 a 411 t P (-36%), mentre il saldo d'ossigeno è diventato positivo, con un aumento di oltre 14'000 t O<sub>2</sub>.

Per quanto concerne la qualità dei **corsi d'acqua** risulta insoddisfacente la situazione sui tributari Cuccio, Livone ed in particolare Bolletta per quanto concerne le concentrazioni dei parametri più significativi, quali azoto nitroso e ammoniacale, e fosforo totale, i cui valori risultano stabilmente elevati o in crescita. Gli altri fiumi per contro presentano situazioni da discrete a buone, grazie al buon grado di collettamento e depurazione delle acque luride civili ed industriali. Solamente in occasione di forti precipitazioni (entrata in funzione di scaricatori di piena e di altri manufatti legati al sistema misto) o nei mesi invernali (nitrificazione inibita in alcuni impianti di depurazione) si registrano valori elevati di questi composti. Nel corso dell'ultimo quinquennio è stata osservata una riduzione dei carichi di fosforo gravanti sui due principali bacini del Lago di Lugano. Più fattori possono aver determinato questo trend, in particolare la scarsità di precipitazioni ed il potenziamento ed ampliamento degli impianti di trattamento delle acque. È attualmente in corso uno studio comparativo tra le due modalità di campionamento (istantaneo e in automatico) volto a individuare vantaggi e limiti delle due tecniche.

Nel bacino sud lo stato d'**ossigenazione** è discreto, anche se si sta assistendo, negli ultimi anni, ad un aumento della durata della fase anossica nell'ipolimnio profondo, che si è protratta, in alcune occasioni, da un anno all'altro. Nel bacino nord durante l'inverno 2004-2005 sono state temporaneamente rilevate tracce d'ossigeno sul fondo per la prima volta dopo oltre 40 anni. L'anno successivo la completa circolazione del bacino nord ha portato nel febbraio 2006 a concentrazioni quasi omogenee (e critiche) sull'intera colonna, comprese tra 1.2 e 1.9 g O<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>. Attualmente il limite anossico superiore nel bacino nord è localizzato a 60 m, mentre nell'epilimnio durante il periodo vegetativo l'ossigeno disciolto va regolarmente in sovrasaturazione (fino a 150%). In questo contesto va tenuto conto del ruolo "tampone" che svolge lo strato superiore d'acqua [18], per cui sarà indispensabile continuare a seguire attentamente, anche nel corso dei prossimi anni, l'evoluzione della stabilità della colonna d'acqua e dello spessore del suo strato ossico.

In merito alle concentrazioni di **fosforo totale** nel lago, la situazione è soddisfacente nel bacino sud, dove l'obiettivo di 30 mg P m<sup>-3</sup> potrebbe essere teoricamente raggiunto entro il termine del prossimo quinquennio 2008-2012. A livello dell'intero bacino sud nel 2007 la concentrazione media annua è stata di **46 mg P m<sup>-3</sup>** e più dettagliatamente di 54 e 36 mg P m<sup>-3</sup>, rispettivamente a

Melide e a Figino. Nel bacino nord dopo il rimescolamento dell'inverno 2004-2005 la concentrazione media sull'intera colonna è crollata a  $115 \text{ mg P m}^{-3}$  per toccare poi nel 2007 un minimo di  **$88 \text{ mg P m}^{-3}$** . D'altra parte le concentrazioni dello strato 0-100 m sono temporaneamente aumentate grazie agli apporti di fosforo dagli strati inferiori: massimo di  $101 \text{ mg P m}^{-3}$  nel 2006 e  $83 \text{ mg P m}^{-3}$  nel 2007. La particolare situazione di questo bacino fa sì che per raggiungere la soglia di  $30 \text{ mg P m}^{-3}$  prevista per il suo risanamento è necessario proseguire gli sforzi volti alla riduzione degli apporti esterni: in primo luogo, l'eliminazione delle immissioni provenienti dagli abitanti rivieraschi e dai collettori fognari non ancora allacciati agli impianti di depurazione, nonché la separazione delle acque meteoriche da quelle luride. Per poter quantificare nel dettaglio le componenti di carico esterno più aleatorie (scaricatori di piena, bacini di chiarificazione, apporti rivieraschi e diffusi, ecc.), per le quali si dispone unicamente di dati stimati ma che possono rappresentare alcune tra le principali fonti del carico (cfr. Fig. 4.2.1.a), è auspicabile che queste siano oggetto di un'indagine specifica, analogamente a quanto avvenuto ad esempio per il Lago di Costanza [19, 20, 21].

Per quanto concerne gli apporti complessivi di **azoto totale** nel corso degli ultimi 25 anni, dopo gli aumenti riscontrati fino al 2002, riconducibili agli afflussi meteorici e alla probabile saturazione del suolo del bacino imbrifero, i valori sono calati ai livelli di metà anni '80. Di conseguenza anche nel bacino sud è stata rilevata una diminuzione del contenuto di azoto totale di oltre il 15%. Più marcata è stata però la diminuzione nel bacino nord, dove in seguito alle due circolazioni il contenuto di azoto totale si è ridotto di  $1'517 \text{ t N}$  (-44%) in seguito a processi biochimici interni. La tendenza al ribasso delle concentrazioni di azoto nitrico, attualmente oscillanti intorno a  $0.2 \text{ g N m}^{-3}$ , potrebbe favorire nel tempo le specie algali in grado di fissare l'azoto, come alcuni cianobatteri, i quali potrebbero tuttavia costituire un problema sanitario in quanto sono potenzialmente in grado di produrre **fitotossine**.

Le due circolazioni degli inverni 2004-2005 e 2005-2006 del bacino nord hanno veicolato fosforo verso gli strati superiori dove si potrebbe osservare a corto-medio termine un aumento della crescita algale (**fertilizzazione interna**), accrescendo di conseguenza il deficit d'ossigeno dell'ipolimnio indotto dalla mineralizzazione batterica della biomassa algale sedimentata. Un primo segnale in questo senso è stata l'importante fioritura di *Microcystis aeruginosa* riscontrata in tutto il lago nell'ottobre 2006. L'allargamento dello strato anossico e l'eventuale re-instaurazione della meromissi (favorita dal processo di **riscaldamento globale**) potrebbero intensificare nel bacino nord il rilascio dai sedimenti del fosforo reattivo adsorbito agli idr/ossidi di ferro e manganese precipitati durante le due circolazioni.

Gli importanti eventi che hanno modificato profondamente il quadro del chimismo lacustre non sembrano aver finora provocato una reazione di analoghe entità sulla sua biocenosi, anche se vi è d'attendere che gli effetti di una tale drastica riduzione del tenore di nutrienti algali si manifesteranno nel corso dei prossimi anni. Di fatto il lago, dopo la scomparsa della meromissi nel bacino nord, è entrato in una nuova tappa nel lungo cammino verso il suo completo risanamento. Un primo, importante segnale di questo cambiamento è deducibile

dai valori di produzione primaria areale, (che costituisce l'anello di base della catena alimentare del lago), la quale nel corso dell'ultimo quinquennio ha evidenziato un forte incremento nel bacino nord, e addirittura un'inversione della tendenza alla diminuzione nel bacino sud.

Accanto ai diversi fattori che regolano l'equilibrio trofico dell'ecosistema lacustre, nel Lago di Lugano si conferma quindi determinante il tenore dei nutrienti algali, ed in particolare del fosforo: è pertanto lecito affermare che la qualità delle acque del Lago di Lugano, dopo aver toccato alla fine degli anni '70 il loro massimo grado d'eutrofizzazione, hanno progressivamente intrapreso il cammino verso uno stato qualitativo più consono con le esigenze di risanamento previste. Dopo una fase di rapido miglioramento tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90 il lago ha mantenuto un livello d'equilibrio trofico più accettabile e fruibile rispetto al passato. In seguito agli straordinari eventi di circolazione invernale degli ultimi due anni (2004-2005 e 2005-2006), il lago, ed in particolare il bacino nord, è entrato in una nuova tappa del suo lungo cammino verso il completo risanamento. Nelle attuali condizioni risulta quindi più che mai opportuno continuare a mantenere sotto stretto controllo, nei prossimi anni, l'evoluzione di questo prezioso ecosistema lacustre.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano l'Ufficio federale dell'ambiente, l'Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera), in particolare il centro meteorologico di Locarno Monti, e l'Istituto di Scienze della Terra (SUPSI) per la cortese collaborazione e per la fornitura dei dati.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] LSA (Laboratorio Studi Ambientali); 1981-2001. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano; aspetti limnologici. Campagne annuali 1980-2000. Ed. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.
- [2] UPDA (Ufficio Protezione e Depurazione Acque); 2002-2008. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano; aspetti limnologici. Campagne annuali 2001-2006. Ed. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.
- [3] SPINEDI F., 1991. Il clima del Ticino e della Mesolcina con accenni di climatologia generale. Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia, No. 167; Zurigo.
- [4] SPINEDI F., 2008. Rapporto annuale 2007. [www.meteosvizzera.ch](http://www.meteosvizzera.ch).
- [5] CIP AIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere); 1994. Controllo dei carichi di fosforo gravanti sui corpi idrici comuni italo-svizzeri. Gruppo di Lavoro "Interventi di risanamento"; Gruppo di lavoro "Ricerca e stato delle acque"; Milano.
- [6] LEHMANN M. F., REICHERT P., BERNASCONI S. M., BARBIERI A. & MCKENZIE J. A., 2003. Modelling nitrogen and oxygen isotope fractionation during denitrification in a lacustrine redox-transition zone. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67/14: 2529-2542.
- [7] GÄCHTER, R., 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion: Modelle und in-situ-Messungen. *Schweiz. Z. Hydrol.* 34:211-244.
- [8] DUMONT, H.J., I. VAN DE VELDE & S. DUMONT, 1975. The dry weight of biomass in a selection of cladocera, copepoda and rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oekologia*, 19: 75-97
- [9] LAVELLI A. & G. DE CESARE, 2001. Modélisation des courants de turbidité dans le bassin nord du Lac de Lugano. EPFL-LCH, Rapport n° 10-2001, pp. 144.
- [10] SCHUBERT C., E. KAISER-DURISCH, B. WEHRLI, B. THAMDRUB & M. KUYPERS, 2006. Anaerobic ammonium oxidation in a tropical lake (Lake Tanganyika). *Environ. Microbiology*, 8/10, 1857-1863.
- [11] MOSELLO R., A. BARBIERI, M. C. BRIZZIO, A. CALDERONI, A. MARCHETTO, S. PASSERA, M. ROGORA & G. TARTARI, 2001. Nitrogen budget of Lago Maggiore: the relative importance of atmospheric deposition and catchment sources, *J. Limnol.*, 60(1): 27-40.
- [12] GÄCHTER, R. & D. IMBODEN; 1982. Lake restoration. Chemical processes in lakes. John Wiley and Sons, 363-387.
- [13] CIP AIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere), 2003. Rapporto sullo stato attuale e fabbisogno di opere per la protezione delle acque Italo-Svizzere.

- [14] BÜRGI, H.R., P. WEBER & H. BACHMANN, 1985. Seasonal variations in the trophic structure of phyto-and zooplankton communities in lakes in different trophic states. *Schweiz. Z. Hydrol.* 47/2: 197-224.
- [15] BARBIERI, A.& M. SIMONA, 1997. Trophic evolution of Lake Lugano following recovery intervention. *Documenta Ist. Ital. Idrobiol.*, 61: 73-91.
- [16] SIMONA, M., 2003. Winter and spring mixing depths affect the trophic status and composition of phytoplankton in the northern meromictic basin of Lake Lugano. *J.Limnol.*, 62 (2): 190-206.
- [17] HOLZNER, C.P., W. AESCHBACH-HERTIG, M. SIMONA, M. VERONESI, R. KIPFER, & D. M. IMBODEN, 2008. Exceptional mixing events in Lake Lugano, Switzerland, studied using environmental tracers. (submitted to *Limnology and Oceanography*).
- [18] WEHRLI B. & A. WÜEST, 1996. Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen. *Schriftenreihe der EAWAG*, Nr. 9, 128 pp.
- [19] IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 1998. Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees. Bericht Nr. 49, 49 pp.
- [20] IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 1999. Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97. Bericht Nr. 51, 86 pp.
- [21] IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 1996. Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee. Bericht Nr. 45, 113 pp. + Anhang (Sonderband), 83 pp.





RESPONSABILE DELLA RICERCA

Dr. Alberto Barbieri	chimico
Capo dell'Ufficio Protezione e Depurazione delle Acque	
Sezione Protezione Aria Acqua e Suolo del Cantone Ticino	

COORDINATORE DEL PROGETTO

Dipl. sc.nat. Marco Simona	idrobiologo
----------------------------	-------------

AUTORI

Dipl. sc.nat. Marco Simona	idrobiologo
Dr. sc. nat. Mauro Veronesi	idrobiologo

COLLABORATORI

Sig. <sup>ra</sup> Paola Da Rold-Lanfranchi	laboratorista
Sig. David Fontana	laboratorista
Sig. Attilio Pirolini	laboratorista
Sig. <sup>ra</sup> Marina Surace-Ecoffey	laboratorista

COLLABORATORI ESTERNI

Sig. <sup>ra</sup> Maria Grazia Barbieri- Fusi	tecnico d'idrobiologia
Dr. <sup>ssa</sup> Margherita Canepa	idrobiologa
Sig. Stefano Müller	tecnico natante

PRELIEVO CAMPIONATORI AUTOMATICI

Sig. Emilio Baiardi  
 Sig. Franco Bernasconi  
 Sig. Roberto Bianchi  
 Sig.<sup>ra</sup> Viviana Regazzoni

INDIRIZZO DEGLI AUTORI

ISTITUTO SCIENZE DELLA TERRA  
 SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE  
 DELLA SVIZZERA ITALIANA  
 Via Trevano – CP 72  
 CH-6952 Canobbio-Lugano  
 Tel. +41 58 666 62 22 Fax +41 58 666 62 09  
 e-mail: marco.simona@supsi.ch

**COMMISSIONE INTERNAZIONALE  
PER LA PROTEZIONE DELLE ACQUE ITALO-SVIZZERE**

---

Segretariato:

Dr.<sup>ssa</sup> Maria Angela Ricca  
c/o Regione Piemonte  
Via Principe Amedeo, 17  
I - 10123 Torino (Italia)  
Tel: +39 011 432 16 12  
Fax: +39 011 432 46 32  
E-mail: [cipais@regione.piemonte.it](mailto:cipais@regione.piemonte.it)  
[www.cipais.org](http://www.cipais.org)