

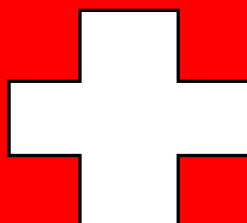
Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003 - 2007
Campagne 2004-2005

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



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

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

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003-2007

Campagne 2004 e 2005

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), 2006: *“Ricerche sull’evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagne 2004 e 2005.”*

Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 98 pp.

RIASSUNTO

Questo volume presenta i dati limnologici sul Lago di Lugano raccolti dall'Ufficio Protezione e Depurazione Acque del Cantone Ticino durante le campagne 2004 e 2005, svolte nell'ambito dell'attività di ricerca della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere a partire dal 1978. Le informazioni ottenute nel corso del biennio 2004-2005 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 risanamento sinora realizzati.

Durante il biennio 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. Gli apporti nel biennio 2004-2005 sono risultati inferiori alla media del quinquennio precedente (1998-2002): - 10-20% nel bacino nord e fino a - 30 % nel bacino sud. La progressiva riduzione della concentrazione di fosforo riscontrata nell'ultimo decennio si è momentaneamente interrotta nel bacino sud, dove il valore medio sulla colonna del 2004 è risalito a 50 mg P m^{-3} , per poi ritornare l'anno seguente ai valori del 2003 (47 mg P m^{-3}). Nel bacino nord, in seguito all'importante evento di destratificazione all'inizio del 2005, la concentrazione all'interno dello strato 0-100 m ha raggiunto 97 mg P m^{-3} (media quinquennale: 62 mg P m^{-3}); parallelamente si è assistito ad un crollo delle concentrazioni sull'intera colonna d'acqua, passata da 148 (media) a 115 mg P m^{-3} (2005). In questo bacino lo stato d'ossigenazione delle acque profonde è migliorato in seguito allo sprofondamento di acque ricche d'ossigeno, mentre in superficie l'ossigenazione è risultata temporaneamente critica (febbraio-marzo 2005: $3\text{-}4 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3}$). A livello del popolamento planctonico, il quadro del biennio 2004-2005 è caratterizzato da valori di biomassa fitoplanctonica generalmente stabili o in leggero ribasso rispetto agli ultimi anni, mentre per lo zooplancton si registra un netto incremento della componente erbivora a Gandria in entrambi gli anni (+40%), e di quella carnivora a Figino nel 2005 (+45%). Nel bacino nord il processo di eutrofizzazione interna, innescato dalla destratificazione invernale 2004-2005, ha favorito lo sviluppo dei popolamenti algali primaverili (diatomee, criptoficee) ed estivi (cianoficee, coniugatoficee); ciò nonostante l'incremento complessivo della biomassa annua è risultato piuttosto contenuto, a motivo della maggior pressione di grazing esercitata dallo zooplancton erbivoro.

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso biennio 2004-2005 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 rimescolamento occorso nel corso dell'inverno 2004-2005 apre una tappa decisiva sulla via del completo recupero del lago, soprattutto in considerazione degli effetti positivi, sullo stato d'ossigenazione e sul tenore di fosforo delle acque profonde, derivanti dalla scomparsa, dopo oltre 40 anni, della barriera meromittica nel principale bacino lacustre.

SUMMARY

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during the years 2004 and 2005 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.

Information obtained in the biennium 2004-2005 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.

In particular, during the last biennium emphasis was given to the detailed analysis of phosphorus loads from the different sub-basins of the drainage area, in order to detect to what extent already realised sewage treatment plants contributed to improve the lake situation. Phosphorus load has decreased down to 30% following rain scarcity and subsequent discharge reduction. The progressive decrease in phosphorous concentration, observed during the last decade, has stopped in the whole southern basin at 47 mg P m^{-3} . In the 0-100 m layer of the northern basin phosphorus concentration has increased considerably (97 mg P m^{-3}) following winter destratification. At the same time values over the whole water column have decreased to 115 mg P m^{-3} . In this latter basin the oxygenation state of hypolimnic water has improved thanks to the sinking of oxygen rich water, although in February-March 2005 the epilimnion oxygenation has resulted temporary critical. With respect to the planctonic community, during the biennium 2004-2005 the biocenosis has reflected the trend of (both internal and external) nutrient loads: altogether a realignment of trophic conditions in the three sampled stations has been observed, to levels which are still excessively high.

Considering the results obtained in the biennium 2004-2005 it can be affirmed that, notwithstanding the observed improvement, Lake Lugano is still eutrophic, with nutrient concentrations in progressive and steady development. 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. The observed partial mixing of the northern basin occurred in winter 2004-2005 represents an important step toward the complete recover of Lake Lugano.

INDICE

	pagina
1. <u>INTRODUZIONE</u>	9
1.1. Prefazione	9
1.2. Simbologia e unità di misura	10
1.3. Caratteristiche morfometriche e idrologiche	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	17
3. <u>CARATTERISTICHE IDROLOGICHE</u>	23
3.1. Regime dei corsi d'acqua	23
3.2. Regime del livello lacustre	23
4. <u>APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI</u>	25
4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari	25
4.2. Carichi chimici	35
4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto	40
5. <u>CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E CHIMICO- FISICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	43
5.1. Trasparenza	43
5.2. Assorbimento della luce	43
5.3. Temperatura dell'acqua	44
5.4. Ossigeno disciolto	44
5.5. Valore pH ed alcalinità	45
5.6. Conduttività elettrica specifica	45
5.7. Composti del fosforo	46
5.8. Composti dell'azoto	46
5.9. Silice	48
5.10. Metano	48
5.11. Solfuri	48
5.12. Ferro disciolto	49
5.13. Manganese disciolto	49
5.14. Circolazione del bacino nord	49
5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale	50
6. <u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	71
6.1. Struttura dei popolamenti	71
6.2. Variazioni della biomassa	72
6.3. Clorofilla	74
6.4. Produzione primaria	76
7. <u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	87
7.1. Densità dei popolamenti	87
7.2. Biomassa zooplanctonica	88

8.	<u>CONCLUSIONI</u>	93
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	95
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	96

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante le campagne d'indagine 2004 e 2005, anni che appartengono al sesto quinquennio di ricerche limnologiche sul Lago di Lugano, promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

Esso 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 vent'anni, tre punti d'osservazione e di misura.

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 biennio 2003-2004 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 ³ s ⁻¹]
T :	temperatura	[°C]
trasm :	trasmittanza luminosa	[%]
χ :	conducibilità elettrica specifica a 20°C	[$\mu\text{S cm}^{-1}$]
O ₂ :	ossigeno disciolto	[g m ⁻³]
BOD ₅ :	richiesta biochimica d'ossigeno	[g m ⁻³]
pH :	valore pH	[-]
ALC :	alcalinità totale	[eq m ⁻³]
CO ₃ ²⁻ :	alcalinità da carbonati	[eq m ⁻³]
C _{in} :	carbonio inorganico totale	[g m ⁻³]
PO ₄ ³⁻ -P :	fosforo ortofosfato	[mg m ⁻³]
PT :	fosforo totale	[mg m ⁻³]
SiO ₂ -Si :	silicati reattivi	[g m ⁻³]
NO ₂ ⁻ -N :	azoto nitroso	[mg m ⁻³]
NO ₃ ⁻ -N :	azoto nitrico	[g m ⁻³]
NH ₄ ⁺ -N :	azoto ammoniacale	[g m ⁻³]
NT :	azoto totale	[g m ⁻³]
Fe ²⁺ :	ferro disciolto	[mg m ⁻³]
Mn ²⁺ :	manganese disciolto	[mg m ⁻³]
HS ⁻ :	solfo disciolto	[mg m ⁻³]
CH ₄ :	metano	[g m ⁻³]
DOC :	carbonio organico disciolto	[g m ⁻³]
POC :	carbonio organico particellato	[g m ⁻³]

FITOPLANCTON

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

ZOOPLANCTON

	densità dei crostacei	[individui m ⁻²]
	biomassa dei crostacei (peso secco)	[g m ⁻²]

STATISTICA

%:	percentile
d.s:	deviazione standard

ABBREVIAZIONI

BN:	bacino nord
BS:	bacino sud

*) 1E (Einstein) \equiv 1mole di fotoni PAR s⁻¹ m⁻²; 4.6 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ (PAR) = 1 W m⁻² (PAR)

1.3. Caratteristiche morfometriche e idrologiche del Lago di Lugano

BACINO:		NORD	SUD	P. TRESA
Area bacino imbrifero	km ²	269.7	290.3	5.6
Area bacino lacustre	km ²	27.5	20.3	1.1
Area bacini a monte	km ²	-	297.2	607.8
Area totale bacino imbrifero	km ²	297.2	607.8	614.5
Volume bacino lacustre	km ³	4.69	1.14	0.03
Deflusso annuo emissario	km ³	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 ²	volume km ³	profondità m	area km ²	volume km ³
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 (Vedeggio, Cassarate, Laveggio e Tresa).

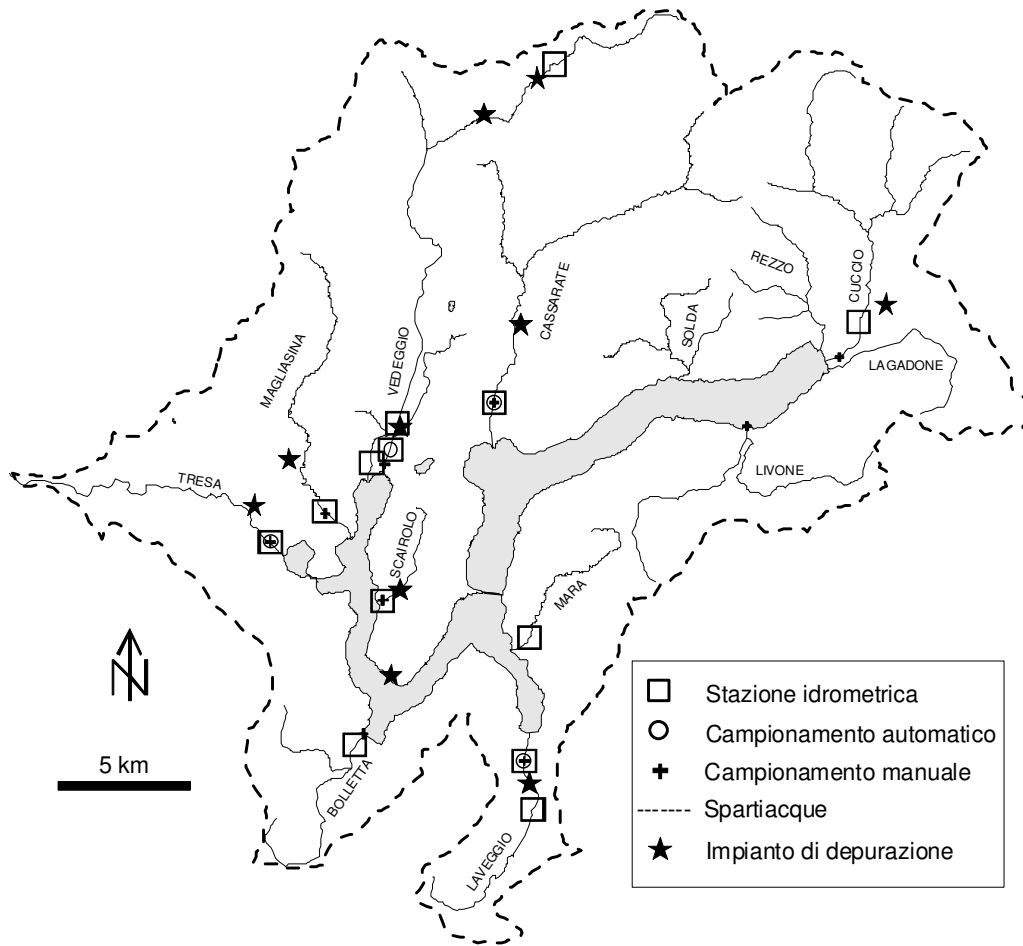


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

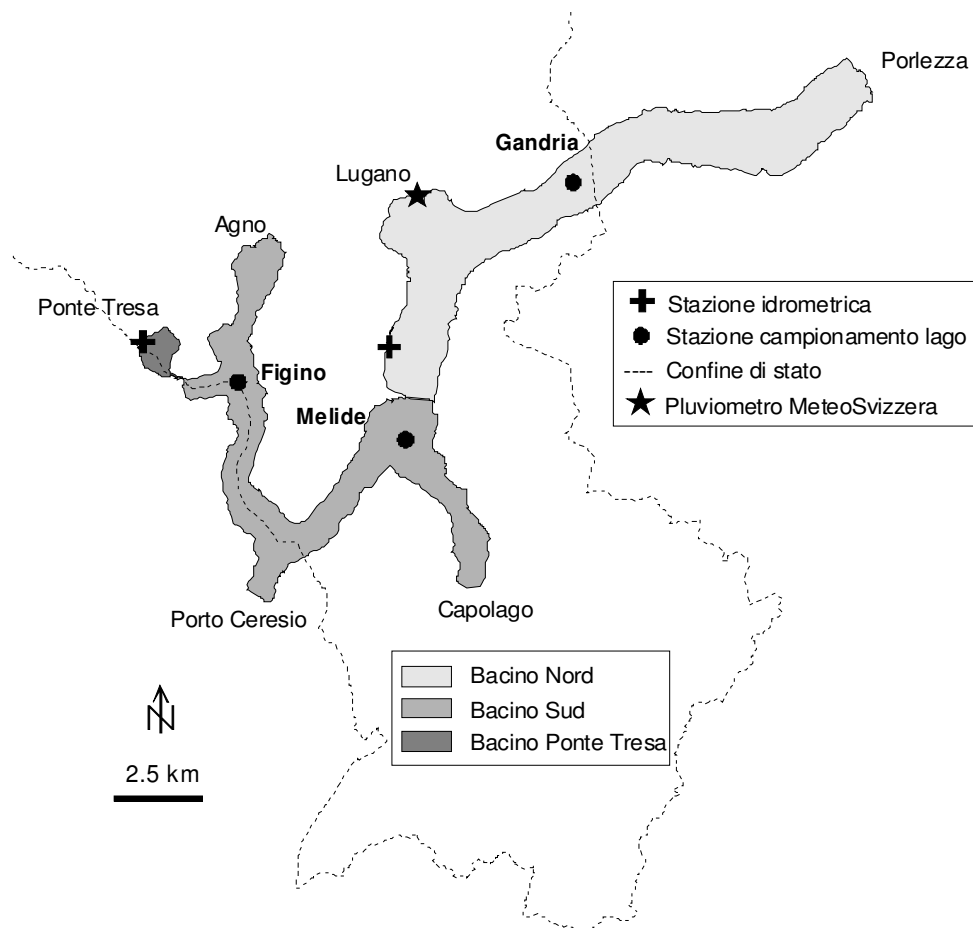


Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

STAZIONE	COORDINATE DELLA CARTA NAZIONALE SVIZZERA
GANDRIA	722 219 / 096 234
MELIDE	717 735 / 088 919
FIGINO	712 855 / 090 653

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), 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 biennio 2004-2005 sono stati confrontati, come di consueto, con i valori del periodo climatologico di riferimento 1961-90 [2] per quanto concerne i parametri della temperatura atmosferica e delle precipitazioni, mentre per la radiazione solare il confronto viene effettuato con la media del ventennio 1980-99. Per quanto riguarda l'andamento generale dell'intensità e della direzione dei venti si propone invece il periodo di confronto 1986-2000, in quanto le misurazioni degli anni precedenti hanno evidenziato alcuni errori.

A livello generale, l'anno 2004 è risultato complessivamente mite ed esente da situazioni meteorologiche estreme, quali l'eccezionale combinazione di siccità e caldo verificatasi l'anno precedente. Il 2005 ha invece fatto registrare in alcuni mesi eventi meteorologici di rilievo, anche se non sempre chiaramente evidenziati dall'andamento dei valori mensili utilizzati per i grafici. Particolarmente importante, per le sue conseguenze sull'evoluzione limnologica del bacino nord del Lago, è risultata la situazione meteo-climatica dei primi mesi del 2005, caratterizzata dalla combinazione di una forte attività eolica e di un drastico raffreddamento atmosferico: essa ha contribuito in modo determinante alla destratificazione dell'intera colonna d'acqua, per la prima volta dopo circa 40 anni di stabilità meromittica.

2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2004	4678 MJ m ⁻²
Radiazione globale totale 2005	4823 MJ m ⁻²
Radiazione - media periodo 1980-99	4244 MJ m ⁻²

In entrambi gli anni considerati si è registrato un irraggiamento complessivo particolarmente elevato: il dato relativo al 2005 corrisponde addirittura il massimo dell'intero periodo di confronto (+531 MJ m⁻² rispetto alla media). Come illustrato dalla grafica dell'andamento dei valori mensili (Fig. 2.1), i maggiori incrementi si sono avuti soprattutto nel periodo compreso tra aprile e settembre, mentre valori vicini alla media o addirittura deficitari (ottobre) sono

stati rilevati nel corso dell'ultimo trimestre. Rispetto al 2004, il 2005 ha presentato un netto aumento d'irraggiamento in marzo (+79 MJ m⁻²) ed un marcato calo in settembre (-52 MJ m⁻²).

2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2004	12.7 °C
Temperatura - media 2005	12.6 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	12.0 °C

Il valore della temperatura media annua degli anni 2004 e 2005 è risultato molto simile: pur superando ancora nettamente il dato del periodo di riferimento, esso si situa ai livelli più bassi degli ultimi sette anni. Questo calo risulta ancora più appariscente, considerando che esso fa seguito ad un biennio (2002-2003) caratterizzato da valori termici particolarmente elevati (>13 °C).

Dall'andamento delle medie mensili (Fig. 2.2) è possibile rilevare come solo pochi valori risultino inferiori alla media pluriennale: si tratta, in particolare, dei mesi di maggio 2004 (-0.6 °C), febbraio 2005 (-0.5 °C), e soprattutto dicembre 2005 (-1.2 °C). Come già accennato, le condizioni termiche dei primi mesi del 2005 sono risultate di fondamentale importanza ai fini del rimescolamento della colonna d'acqua del lago, in particolare nel bacino nord [3]. Di fatto, anche se il grafico dei valori mensili non consente di evidenziare nel dettaglio la dinamica degli eventi, tra il 18 febbraio ed il 7 marzo le temperature medie giornaliere non hanno mai superato i 4 °C, e le minime sono risultate quasi sempre inferiori a 0 °C: in un periodo dell'anno, in cui già di per sé le acque lacustri si trovano in fase di avanzato raffreddamento, quest'ulteriore, importante perdita di calore ha provocato un aumento della densità delle acque superficiali, sufficiente a farle sprofondare fin sul fondo del lago. La particolare situazione termica dell'inverno 2004-2005 è confermata anche dal valore di temperatura atmosferica stagionale (media dicembre-marzo), risultato essere il più basso degli ultimi 10 anni.

I maggiori incrementi termici rispetto alla media pluriennale si sono avuti in giugno (+2 °C) ed ottobre del 2004 (+1.3 °C), ed nel trimestre maggio-luglio del 2005 (tra +1.2 e +2.5 °C). In entrambi gli anni il mese più caldo è risultato luglio (rispettivamente con 22.0 e 22.9 °C), seguito nel 2004 da agosto (21.3 °C), mentre nel 2005 da giugno (21.4 °C). La temperatura ha toccato il suo massimo annuo il 23 luglio 2004 (32.4 °C), rispettivamente il 28 giugno 2005 (32.6 °C); le minime assolute sono invece state registrate il 22 dicembre 2004 (-2.3 °C) ed il 30 dicembre 2005 (-5.5 °C).

2.3. Precipitazioni

Precipitazioni - totale 2004	1373 mm
Precipitazioni - totale 2005	947 mm
Precipitazioni - media periodo 1961-1990	1606 mm

Dopo aver totalizzato nel corso del 2003 il quantitativo di precipitazioni più basso dell'intero periodo di riferimento, il 2004 ha fatto segnare un parziale recupero (nonostante i valori nettamente inferiori alla norma registrati per i mesi di gennaio, marzo, giugno e settembre), ma il 2005 ha fatto toccare un ulteriore record negativo, terminando con un deficit complessivo di oltre 650 mm (pari a 650 litri d'acqua per m²) rispetto alla media: in quest'ultimo anno solamente i mesi di settembre e dicembre presentano quantitativi superiori alla norma, mentre sono risultati estremamente siccitosi (quantitativi assoluti <50 mm; deficit compresi tra -75% e -93%) i mesi di gennaio, febbraio e novembre, e nettamente al di sotto della norma (deficit compresi tra -51% e -75%) i mesi di maggio, giugno ed ottobre (Fig. 2.3.). Questa carenza di precipitazioni ha avuto come conseguenza una forte diminuzione dei deflussi dei corsi d'acqua, un generale abbassamento del livello dei laghi e delle falde acquifere, ed alcune limitazioni nell'approvvigionamento idrico.

2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2004	6.29 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media 2005	6.74 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media periodo 1986-2000	6.59 km h ⁻¹

Il valore annuo d'intensità dei venti è risultato di poco inferiore alla media pluriennale nel 2004, e leggermente superiore nel 2005. Anche se apparentemente in linea con la norma, i due anni presentano notevoli differenze a livello dell'andamento dei valori mensili e stagionali (Fig. 2.4.a). Per quanto riguarda il 2004, si evidenzia un moderato incremento rispetto alla media soprattutto nei mesi di giugno (+0.8 km h⁻¹) e novembre (+0.7 km h⁻¹), mentre il maggior deficit si è avuto in ottobre (-1.6 km h⁻¹), seguito da aprile e dicembre (attorno a -1 km h⁻¹). Il 2005 è stato invece caratterizzato da un'alternanza di situazioni estreme, con una marcata scarsità di vento in marzo-aprile e soprattutto da settembre a novembre (ottobre: -1.4 km h⁻¹), e con marcata attività eolica in gennaio-febbraio (mediamente + 2.6 km h⁻¹) ed in luglio-agosto (+ 0.7 km h⁻¹): un'eccezionale rilevanza, ai fini della circolazione invernale delle acque lacustri, riveste il dato relativo al primo bimestre dell'anno, che rappresenta il massimo assoluto sull'intero periodo d'osservazione (8.6 km h⁻¹, rispetto ad una media di 6.1 km h⁻¹): estendendo il periodo di calcolo della velocità media del vento alla prima decada di marzo, durante la quale il raffreddamento delle acque lacustri è proseguito in modo marcato (cfr. paragrafo 2.2.), si ottiene addirittura un valore medio di 8.8 km h⁻¹.

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.

I due anni presentano una distribuzione della **direzione media mensile** molto simile, con una leggera divergenza unicamente per quanto concerne un unico quadrimestre (aprile-luglio), durante il quale i venti hanno soffiato prevalentemente dal settore SE nel 2004, e dal settore NNE-NE nel 2005. Per tutto il resto dell'anno si registra una predominanza dei settori N e NNW (gennaio-febbraio e agosto-dicembre), ad esclusione di marzo (NEE).

La **distribuzione annua** delle percentuali di frequenza della direzione dei venti, suddivisa negli otto settori principali del quadrante, è rappresentata nella figura 2.4.b. I grafici dei due anni appaiono quasi identici tra di loro, e confermano sostanzialmente i dati rilevati nel 2003 per quanto riguarda le percentuali dei venti che soffiano da N (34%) e da NW (15-19%), ma fanno registrare un dimezzamento delle frequenze dal settore SW (passate dal 13% al 6-7%) a vantaggio del settore S, che, in questo biennio, si colloca al secondo posto per importanza percentuale (dal 18% al 25%).

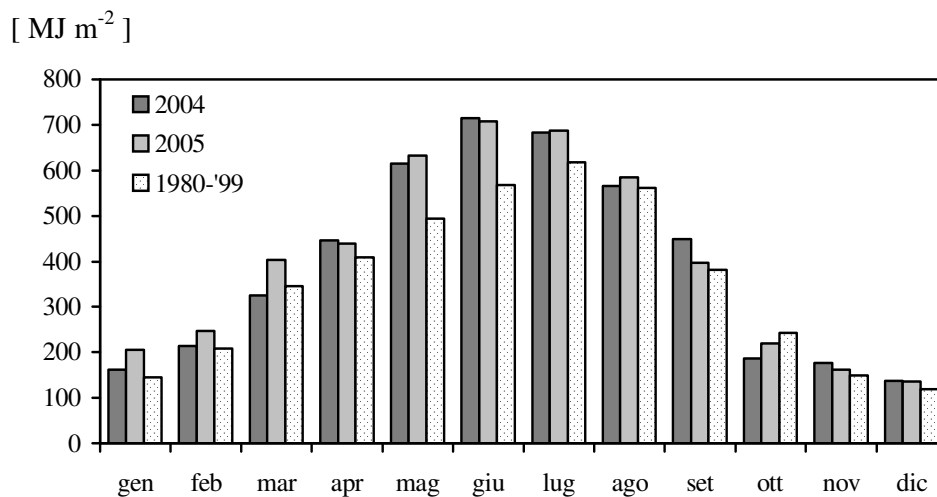


Fig. 2.1 Regime mensile della radiazione globale rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

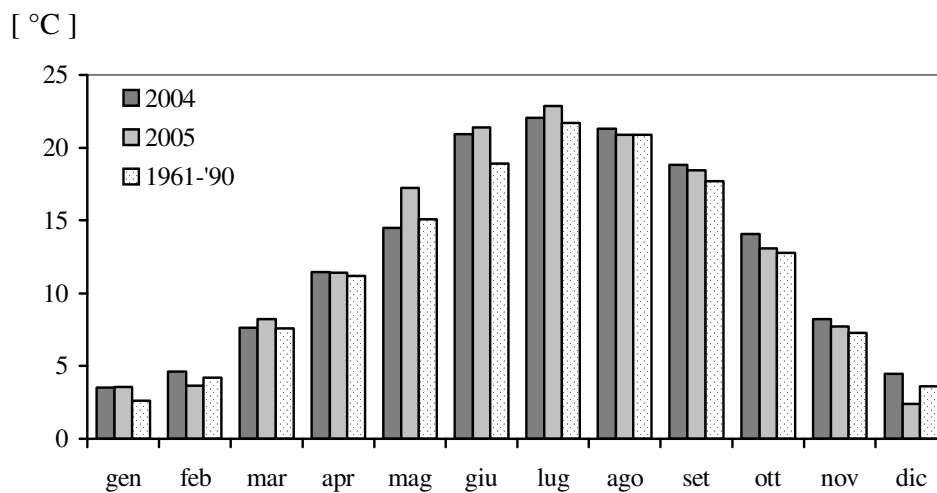


Fig. 2.2 Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

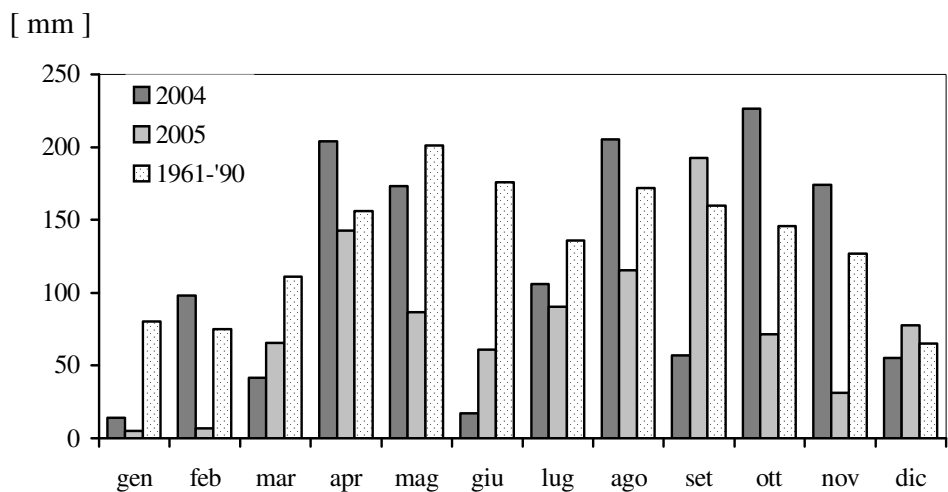


Fig. 2.3 Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

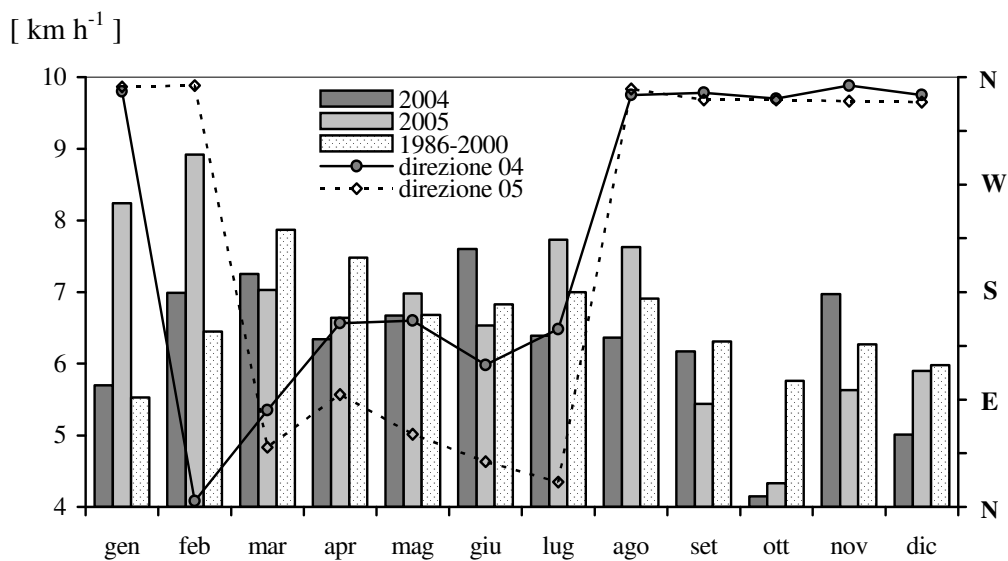


Fig. 2.4 a: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media (linea) nel corso degli anni 2004 e 2005, rilevato presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

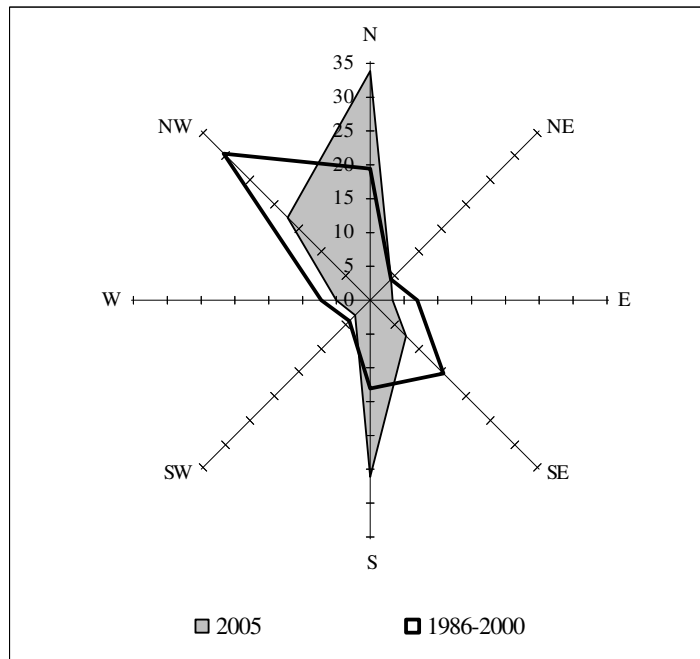
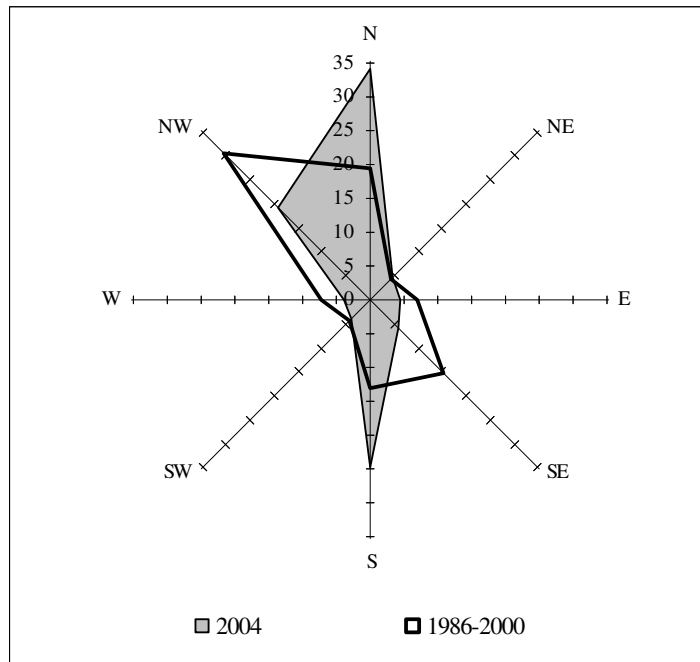


Fig. 2.4.b: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

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 nel 2004 e nel 2005, e dei corrispondenti periodi di confronto.

Il 2004 ed il 2005 sono stati anni poveri di precipitazioni (vedi cap. 2), per cui le portate hanno fatto segnare una riduzione media rispettivamente del 15% e del 55% in confronto alla media pluriennale. I mesi più deficitari sono risultati giugno nel 2004 (-75%) e novembre nel 2005 (-80%). Nei due mesi di aprile e maggio in entrambi gli anni è defluito un terzo del volume complessivo annuo (vedi fig. 3.1).

Tab. 3.1. Portate medie mensili, annue e pluriennali dei corsi d'acqua controllati nel bacino imbrifero del Lago di Lugano [m³ s⁻¹].

Corso d'acqua	Periodo	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
Bolletta	2004	0.65	0.51	0.57	0.98	2.54	0.34	0.28	0.23	0.20	0.48	0.98	0.53	0.69
	2005	0.33	0.27	0.35	1.28	0.48	0.24	0.16	0.16	0.22	0.29	0.18	0.24	0.35
	1986-2004	0.60	0.49	0.56	0.99	1.00	0.74	0.51	0.36	0.55	0.94	1.00	0.59	0.69
Cassarate	2004	1.20	1.14	1.65	2.45	5.55	0.86	0.76	1.07	0.65	2.52	4.91	1.86	2.05
	2005	0.84	0.62	0.71	2.94	1.93	0.92	0.58	0.76	1.26	1.18	0.61	0.58	1.08
	1963-2003	1.35	1.38	2.13	3.56	4.38	3.48	2.25	1.90	2.55	3.10	3.14	1.62	2.57
Cuccio	2004	0.92	1.02	1.21	2.01	4.03	1.40	0.90	0.98	0.86	2.14	2.68	1.25	1.62
	2005	0.95	0.76	0.91	1.82	2.04	1.26	0.88	0.91	1.45	1.57	0.86	0.70	1.18
	1986-2004	1.23	1.17	1.42	2.33	3.16	2.65	2.10	1.43	1.79	2.60	2.66	1.51	2.01
Laveggio	2004	1.07	1.28	1.23	1.54	2.86	0.64	0.54	0.51	0.38	0.69	1.42	1.01	1.10
	2005	0.78	0.59	0.88	1.48	1.02	0.61	0.42	0.43	0.71	0.93	0.42	0.55	0.73
	1978-2003	0.95	0.88	1.10	1.49	1.59	1.29	0.94	0.74	0.89	1.27	1.28	0.91	1.11
Magliasina	2004	0.89	0.72	0.73	1.32	3.07	0.38	0.42	0.74	0.35	1.56	2.47	0.95	1.13
	2005	0.55	0.33	0.38	1.60	1.05	0.56	0.29	0.33	0.51	0.56	0.29	0.30	0.56
	1980-2003	0.67	0.58	0.87	1.75	2.17	1.68	0.97	0.58	1.20	1.81	1.63	0.76	1.22
Scairolo	2004	0.28	0.24	0.21	0.34	0.65	0.14	0.19	0.22	0.13	0.35	0.55	0.28	0.30
	2005	0.19	0.13	0.19	0.36	0.24	0.16	0.15	0.16	0.19	0.17	0.09	0.12	0.18
	1982-2003	0.26	0.22	0.23	0.36	0.42	0.36	0.26	0.21	0.27	0.38	0.39	0.24	0.30
Vedeggio	2004	2.24	2.42	3.16	4.57	8.85	2.10	1.86	2.74	1.58	5.38	7.67	3.03	3.81
	2005	1.78	1.20	1.35	4.35	3.82	2.20	1.38	1.51	2.23	2.20	1.42	1.49	2.08
	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	2004	13.70	13.76	17.21	24.47	56.75	11.92	8.89	9.47	8.09	18.82	36.72	17.29	19.78
	2005	10.00	5.92	5.83	24.02	16.45	8.84	6.62	6.64	12.77	11.24	6.78	6.79	10.16
	1923-2003	15.50	13.90	18.20	28.60	37.70	33.20	23.10	17.70	21.40	27.60	31.30	20.50	24.10

3.2. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre (fig. 3.2) nel 2004 ha toccato 270.49 m s.l.m., valore che coincide con quello del periodo di riferimento, mentre nel 2005 è stata di 270.46 m s.l.m. (-3 cm). Il minimo assoluto del biennio è stato registrato il 4 ottobre 2004 con 270.32 m s.l.m.. La punta massima, pari a 271.17, è stata raggiunta il 17 maggio 2004 per cui l'escursione massima corrispondeva 85 cm.

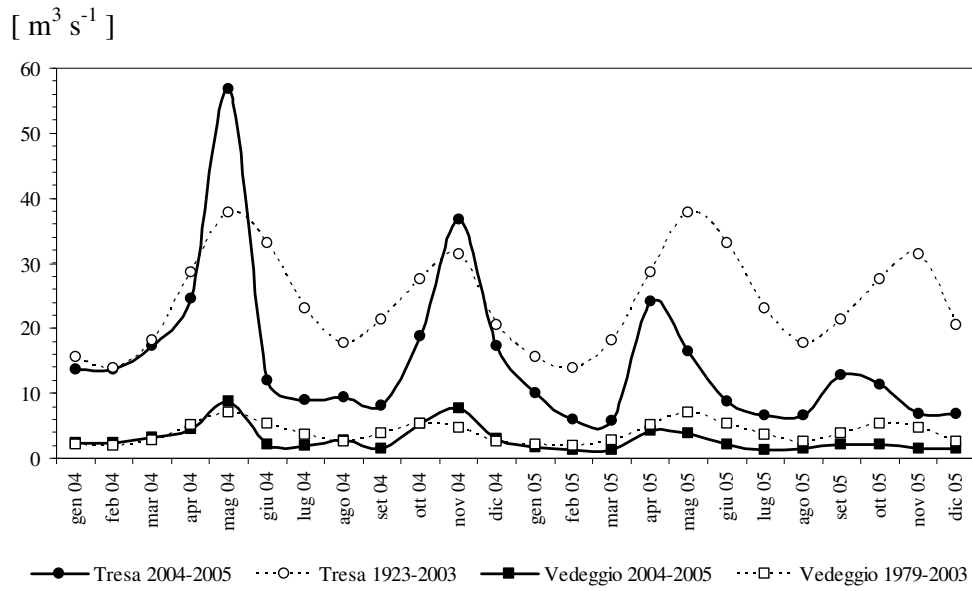


Fig. 3.1. Regime mensile di deflussi dei fiumi Tresa (emissario) e Veduggio (principale immissario) nel biennio 2004-2005 e nel periodo di riferimento.

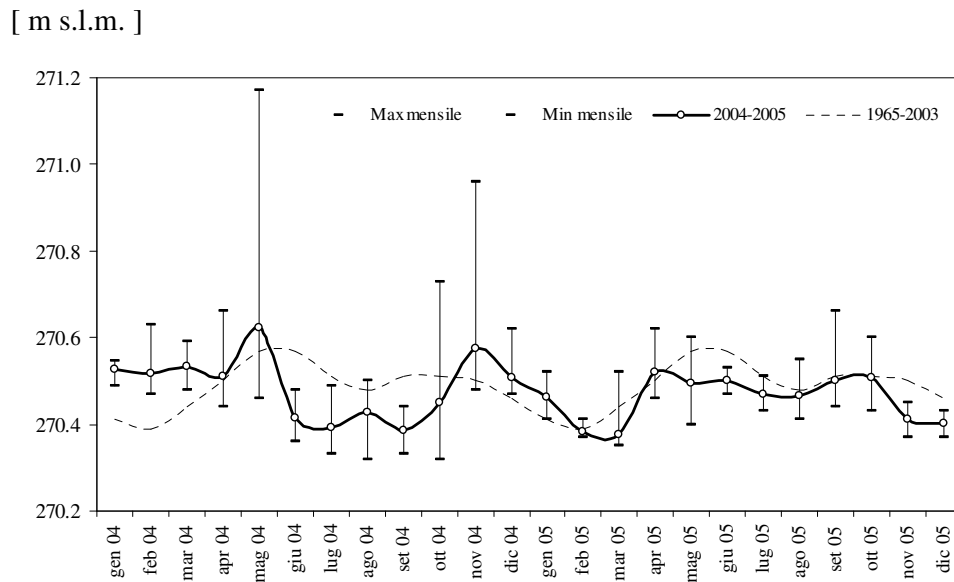


Fig. 3.2. Lago di Lugano, 2004-2005: regime mensile (○) e valori estremi (-) del livello lacustre, e confronto con periodo di riferimento.

4. APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI

4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari

Nelle figure 4.1.3.a-e sono rappresentati graficamente i principali valori statistici (mediana, 25%ile, 75%ile, massimo e minimo) per tutti i parametri indagati sui nove tributari campionati nel corso del biennio 2004-2005.

La distribuzione dei valori di deflusso (dati UFAEG) per i diversi corsi d'acqua, rilevati al momento del campionamento, mostra che gli 11 prelievi rispecchiano in maniera soddisfacente il regime idrologico annuale (Fig. 4.1.3.a). Tale considerazione è supportata dalla curva di frequenza delle portate medie giornaliere sul Tresa (Fig. 4.1.1) che coincide con quella ottenuta a partire dai deflussi rilevati durante i singoli campionamenti. La portata massima annuale riscontrata durante i campionamenti è stata raggiunta sul Tresa a metà maggio 2004 ($93.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Ad eccezione del Vedeggio ($2.53 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) i valori mediani degli altri fiumi sono tutti risultati inferiori a $1.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

I valori di temperatura hanno mostrato forti escursioni (Fig. 4.1.3.a) legate all'andamento stagionale della temperatura dell'aria (cfr. paragrafo 2.2.), con scarti tra valore massimo e minimo compresi tra 13 e 20°C. La temperatura mediana più elevata è stata misurata sul Tresa (16.5 °C). Sul medesimo fiume è stata rilevata nel luglio 2005 la punta massima, pari a 25.5 °C, mentre il minimo assoluto è stato misurato nel febbraio 2005 sul Cuccio (1.5 °C). Le misurazioni dell'UFAEG effettuate sul Tresa a Ponte Tresa riportano un massimo istantaneo di 28.4 °C il 2 agosto 2004 (Fig. 4.1.2.).

Per quanto concerne la conducibilità (Fig. 4.1.3.a) il Laveggio presenta la mediana più elevata ($574 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguito dai tributari Bolletta, Scairolo e Livone, con valori compresi tra 380 e $520 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nei rimanenti cinque fiumi, le mediane sono oscillate tra 110 e $240 \mu\text{S cm}^{-1}$. Il massimo annuale è stato rilevato nel marzo 2005 sul Laveggio ($860 \mu\text{S cm}^{-1}$). Su questo tributario si sono inoltre osservate durante l'anno le maggiori variazioni di conducibilità ($490 \mu\text{S cm}^{-1}$ tra massimo e minimo).

I valori d'alcalinità più elevati, con mediane comprese tra 2.4 e 4.2 eq m^{-3} , sono stati misurati su Laveggio, Livone e Bolletta e Scairolo (Fig. 4.1.3.b), 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. Il Tresa, emissario del Lago di Lugano, occupa una posizione intermedia, con un valore mediano pari a 1.81 eq m^{-3} . Le variazioni più marcate sono state osservate su Laveggio, Bolletta e Scairolo, con escursioni di 2.1-2.2 eq m^{-3} .

Il valore pH mostra un andamento simile all'alcalinità (Fig. 4.1.3.b) ad eccezione dell'emissario Tresa che è fortemente influenzato dall'attività fotosintetica nell'epilimnio lacustre; esso presenta il valore mediano più elevato (8.52 unità) e una marcata variabilità annuale (escursione di 1.26 unità), inferiore solo a quella registrata sullo Scairolo (1.39 unità). I rimanenti tributari presentano valori mediani di pH compresi tra 7.45 e 8.45. I minimi ed i massimi annuali sono stati rilevati nel 2005, rispettivamente in giugno sul Vedeggio (7.14) ed in luglio sul Tresa (9.00).

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.3.b) ha mostrato concentrazioni regolarmente superiori a $8.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$, ad eccezione di Scairolo e Laveggio che durante due prelievi caratterizzati da intense precipitazioni hanno fatto registrare un tenore d'ossigeno rispettivamente di $7.52 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ e $6.55 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. In queste occasioni sono stati misurati elevati valori di BOD_5 , DOC e NH_4^+ (vedi figg. 4.1.3.e). Nel loro insieme i fiumi risultano comunque ben ossigenati durante tutto l'anno.

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

Per quanto concerne l'azoto nitroso le mediane si sono mantenute sotto i 25 mg N m^{-3} anche se occasionalmente le concentrazioni hanno superato la soglia di 100 mg N m^{-3} , in particolare su Laveggio (una volta nel luglio 2004) e Veduggio (3 volte negli inverni 2004 e 2005). L'azoto nitrico ha fatto registrare i valori mediani più consistenti sui fiumi Scairolo e Laveggio, pari rispettivamente a 6.9 e 5.3 g N m^{-3} . Questi due corsi d'acqua hanno inoltre mostrato una marcata variabilità annuale con entrambi un'escursione di 10.6 g N m^{-3} . Il valore massimo è stato misurato nel marzo 2005 sullo Scairolo con 14.04 g N m^{-3} . Nei rimanenti corsi d'acqua i valori mediani si sono mantenuti sotto i 3.8 g N m^{-3} . Nel caso dell'azoto ammoniacale su Laveggio, Veduggio, Scairolo e Bolletta le mediane sono risultate comprese tra 0.2 e 0.5 g N m^{-3} mentre sui rimanenti fiumi le stesse sono oscillate intorno a 0.1 g N m^{-3} . Il massimo annuale è stato rilevato nel gennaio 2005 nel Veduggio con 4.04 g N m^{-3} .

I valori di azoto totale (Fig. 4.1.3.d) più elevati sono stati registrati nello Scairolo (mediana: 8.75 g N m^{-3}) e nel Laveggio (7.45 g N m^{-3}), similmente all'andamento dell'azoto nitrico che ne costituisce la frazione più importante. Veduggio e Bolletta hanno fatto segnare valori di rispettivamente 6.57 e 5.04 g N m^{-3} , mentre sugli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane si sono sempre mantenute sotto i 3.5 g N m^{-3} . Il massimo assoluto (17.15 g N m^{-3}) è stato rilevato nel febbraio 2005 nel Laveggio.

I tenori più elevati di fosforo reattivo (Fig. 4.1.3.d) sono stati misurati nel Bolletta (mediana: 224 mg P m^{-3} ; massimo annuale nel settembre 2004: 740 mg P m^{-3}), e nel Livone (mediana di 99 mg P m^{-3}). I valori mediani degli altri sette fiumi si sono situati al di sotto di 40 mg P m^{-3} . Per quanto riguarda il fosforo totale (Fig. 4.1.3.d), il valore ammissibile nei tributari è stato calcolato partendo dai carichi critici dei due bacini lacustri [4] e dai valori di deflusso. Sempre nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata, pari a 342 mg P m^{-3} , valore che supera di oltre 10 volte quello auspicato per il bacino sud (29 mg P m^{-3}); sia in questo tributario che nel Livone le concentrazioni di fosforo totale hanno superato i limiti auspicati in occasione di tutti i prelievi. Gli altri affluenti hanno presentato mediane superiori ai rispettivi valori di riferimento, ad eccezione di Magliasina (28 mg P m^{-3}) e Cassarate (27 mg P m^{-3}). Il massimo assoluto dell'anno ($1'836 \text{ mg P m}^{-3}$) è stato misurato nel giugno 2005 nel Bolletta in occasione di forti precipitazioni.

I valori mediani di carbonio organico disciolto (DOC; Fig. 4.1.3.e) si sono sempre mantenuti tra 1.0 e 2.5 g C m^{-3} . Le escursioni sono state marcate in particolare tra il 75%ile ed il valore massimo. La concentrazione più elevata è stata registrata nell'aprile 2004 sul Veduggio (6.22 g C m^{-3}).

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno misurata sui cinque giorni (BOD_5 ; Fig. 4.1.3.e), i valori mediani sono risultati compresi tra 0.9 e 3.5 g $O_2 m^{-3}$. Il Bolletta presenta la mediana più elevata (3.45 g $O_2 m^{-3}$), mentre il massimo assoluto (15.25 g $O_2 m^{-3}$) è stato misurato nello Scairolo, nel settembre 2004 in concomitanza con forti precipitazioni.

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.3.e) sono state registrate nello Scairolo (mediana: 4.62 g Si m^{-3}), il cui bacino imbrifero è costituito prevalentemente da porfiriti. Su quest'affluente è stato misurato nel settembre 2005 anche il massimo annuale (6.43 g Si m^{-3}). Le concentrazioni più basse sono state rilevate nell'emissario Tresa (mediana: 0.59 g Si m^{-3}). I valori mediani degli altri tributari sono risultati compresi tra 2.3 (Livone) e 4.5 g Si m^{-3} (Vedeggio).

Gli andamenti settimanali di azoto e fosforo totali sono stati monitorati anche con dei campionatori automatici, installati su Cassarate, Vedeggio, Tresa e Laveggio. I campioni vengono raccolti in continuo tramite prelievo automatico proporzionale alla portata. I dati hanno evidenziato forti escursioni di valori (Figura 4.1.4.) non rilevabili con i soli campionamenti istantanei. Forti precipitazioni possono provocare repentini e considerevoli variazioni nelle concentrazioni di entrambi i parametri nei fiumi, riconducibili all'entrata in funzione di scaricatori di piena delle canalizzazioni miste o al contrario al marcato effetto di diluizione del fiume in piena. Nel Tresa tali fluttuazioni sono più contenute in quanto il lago tampona gli effetti delle piene dei suoi tributari. Su Vedeggio e Tresa, ed in misura minore su Cassarate, si osservano per l'azoto totale concentrazioni più elevate nel 2004 rispetto al 2005, differenze probabilmente legate al clima estremamente siccitoso che ha contraddistinto il 2005. Il fosforo non ha mostrato un andamento analogo in quanto, trattandosi di un parametro antropico, presenta picchi di concentrazione di breve durata e moderati dal tipo di campionamento, che è settimanale. Sul Cassarate è interessante notare come le concentrazioni di azoto non presentino le medesime forti oscillazioni del fosforo; la differenza si spiega probabilmente con il fatto che in un fiume a carattere torrentizio come il Cassarate gli apporti meteorici di azoto su di un terreno già saturo d'azoto mitigano gli effetti degli apporti da scaricatori di piena ed impianti di depurazione.

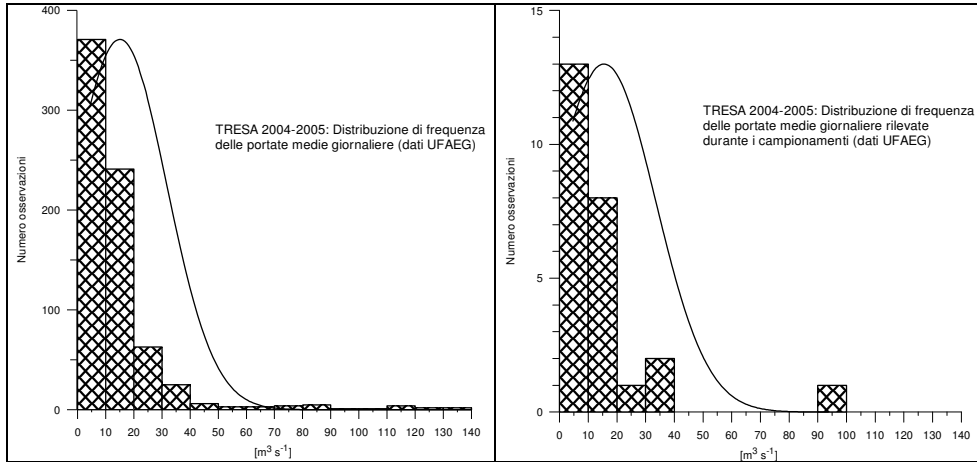


Fig. 4.1.1. Lago di Lugano, 2004-2005: curve di frequenza delle portate medie giornaliere sul fiume Tresa; confronto tra l'intero set di dati biennale (a sinistra) e le 25 portate rilevate durante i campionamenti (dati UFAEG).

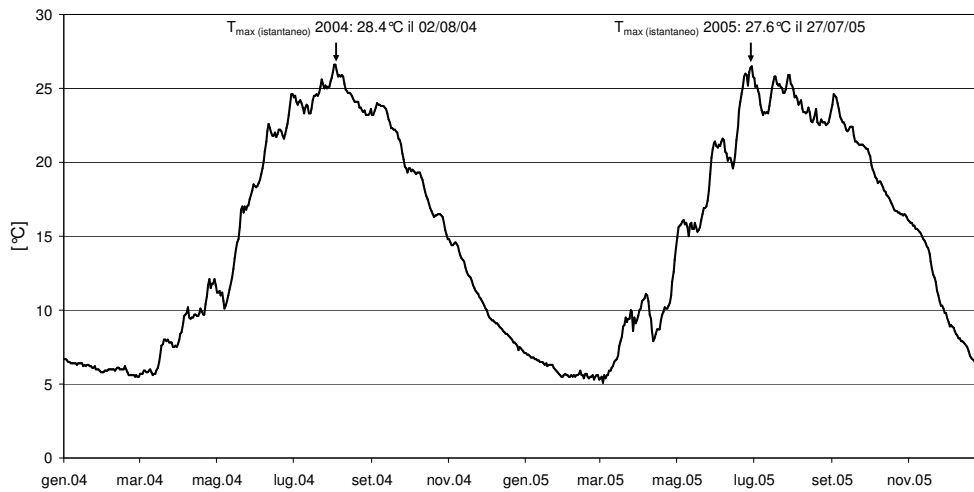


Fig. 4.1.2. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento della temperatura media giornaliera nel fiume Tresa a Ponte Tresa (Rocchetta, dati UFAEG).

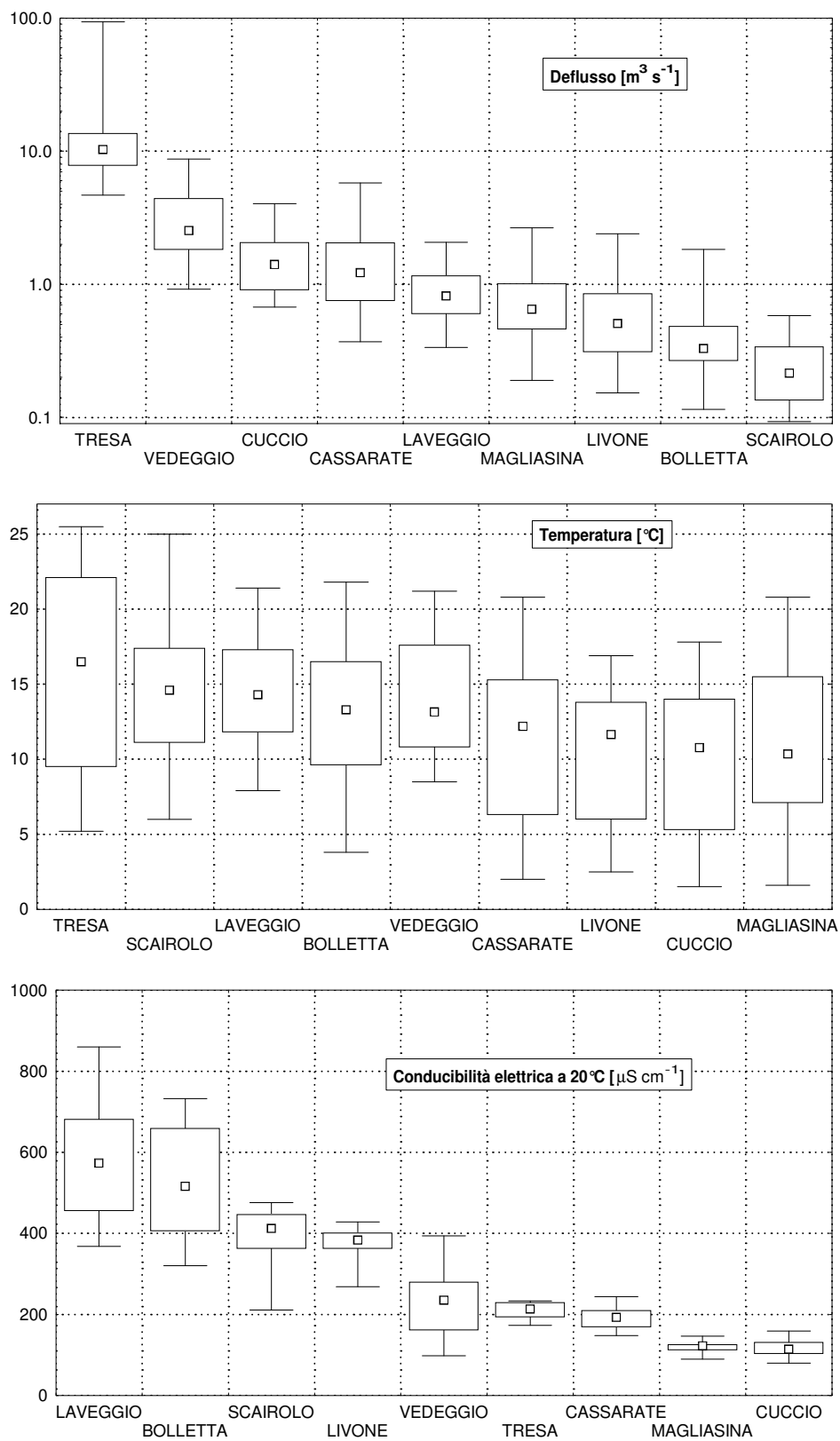


Fig. 4.1.3.a) Lago di Lugano, 2004-2005: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

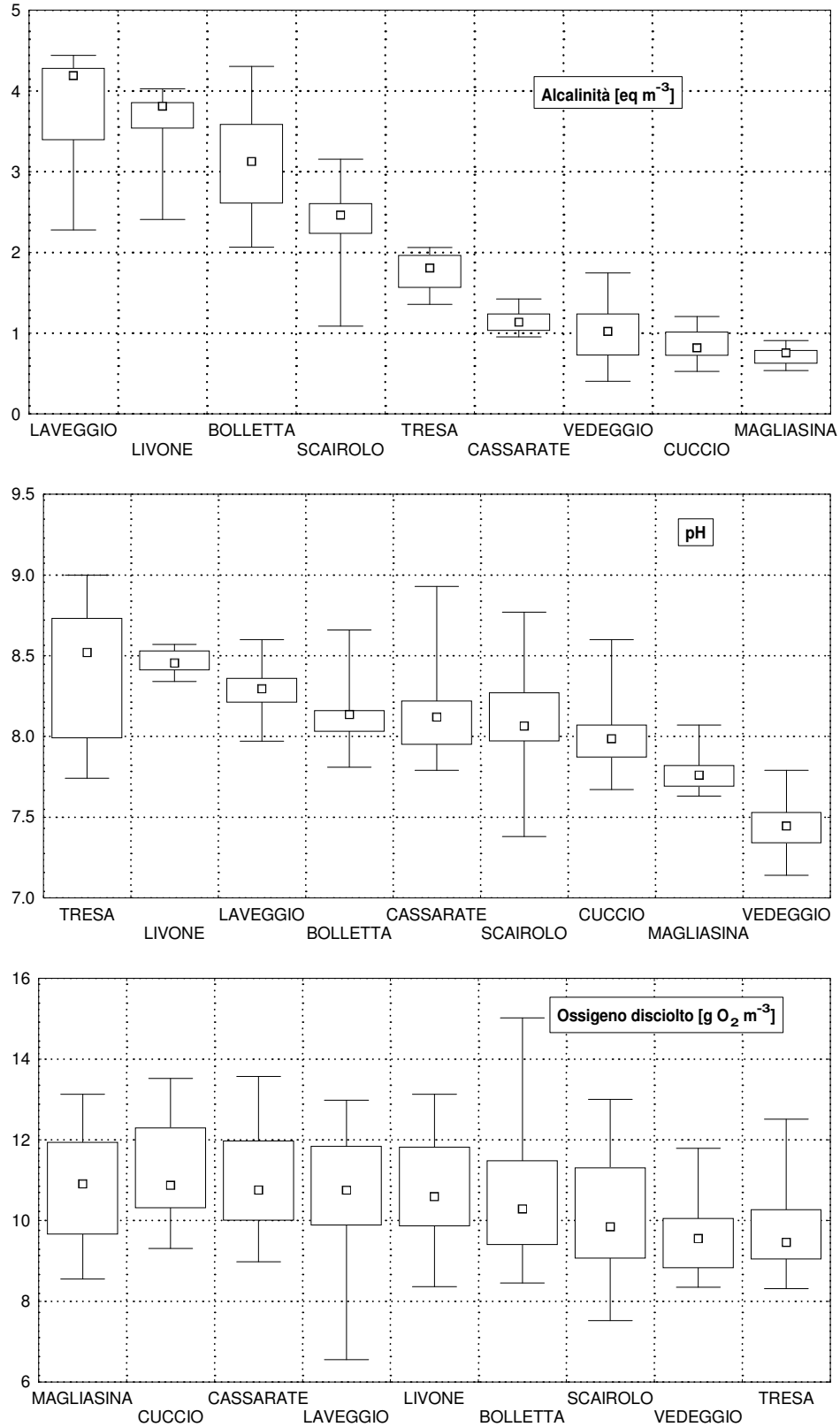


Fig. 4.1.3.b) Lago di Lugano, 2004-2005: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

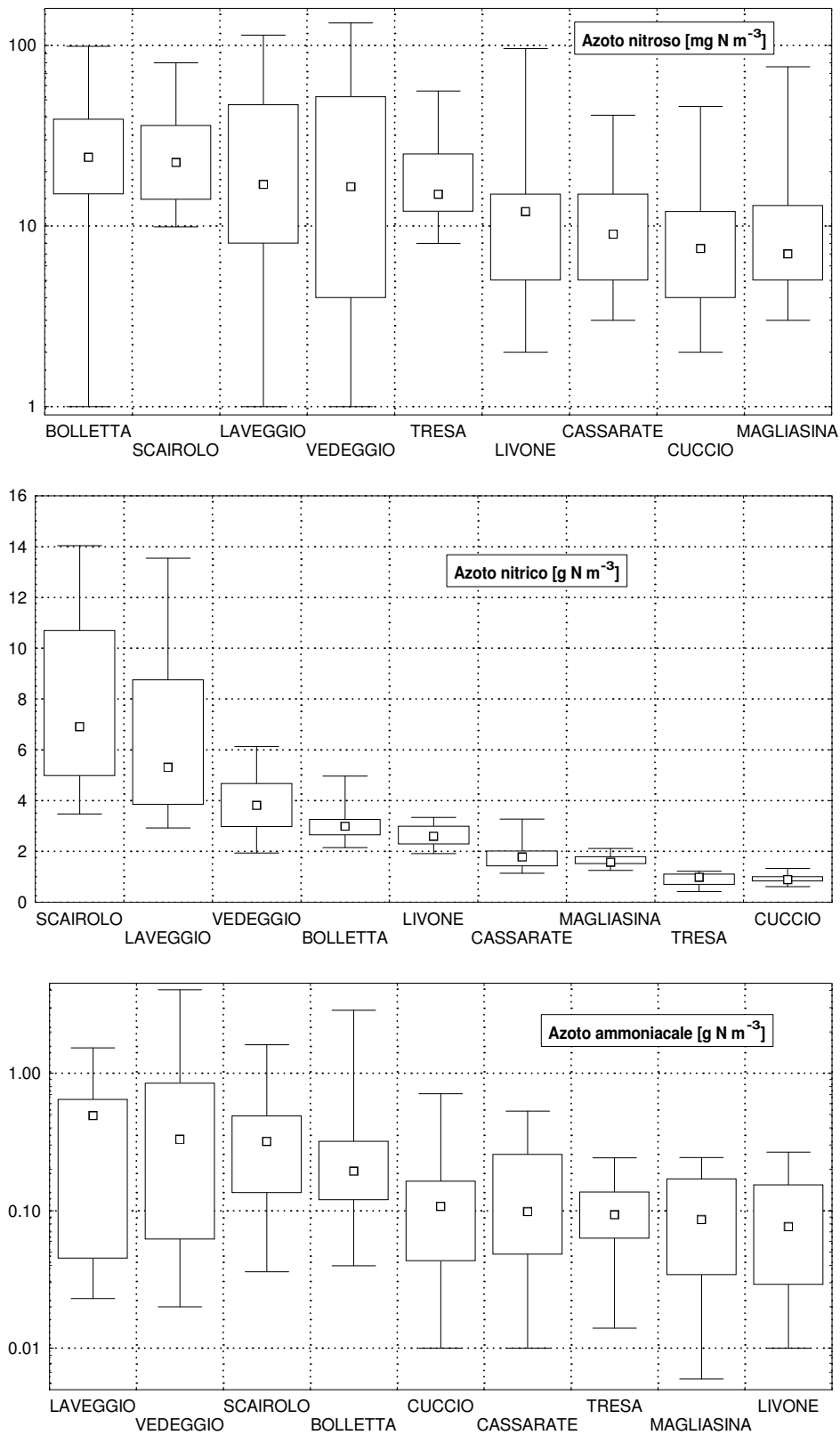


Fig. 4.1.3.c) Lago di Lugano, 2004-2005: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

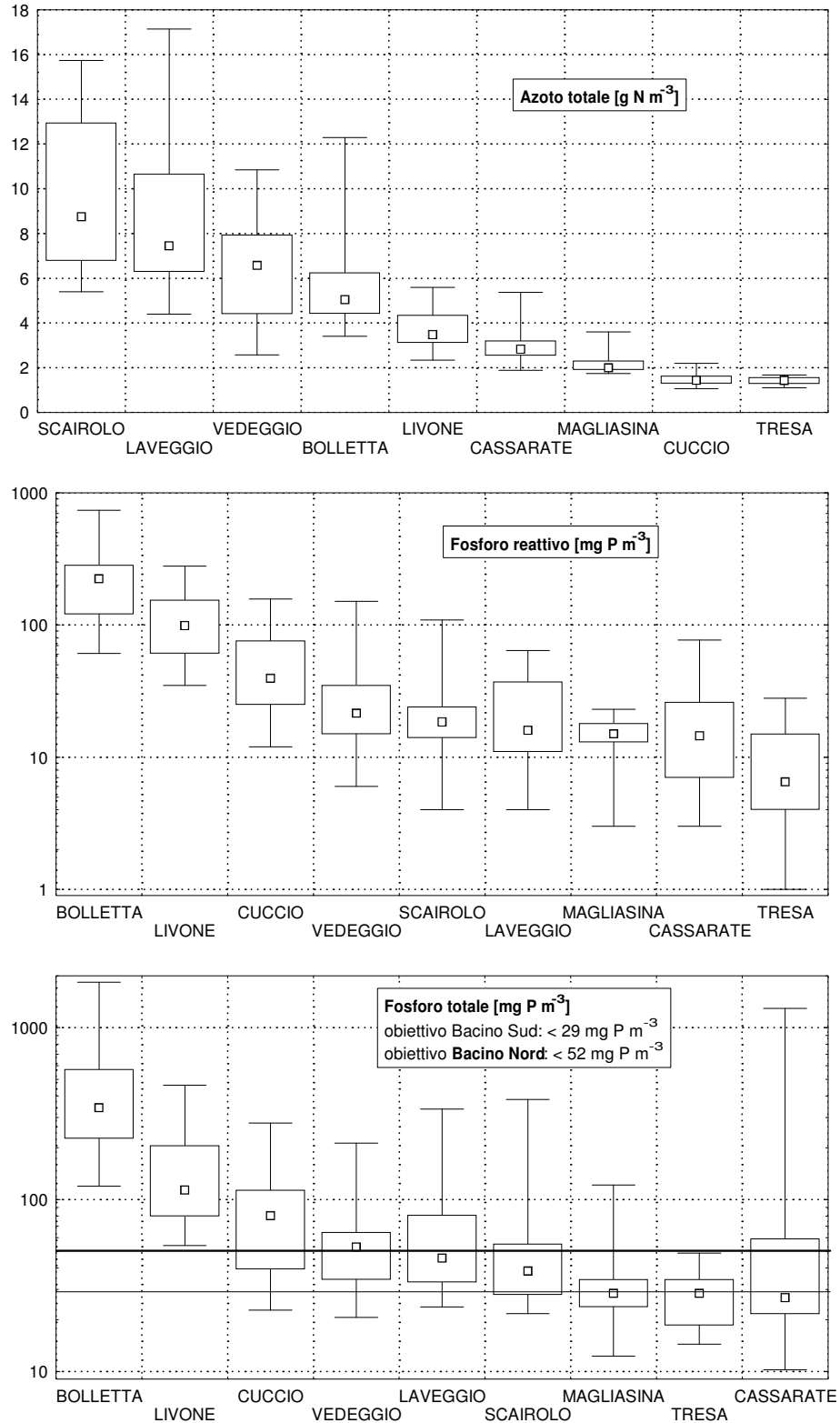


Fig. 4.1.3.d) Lago di Lugano, 2004-2005: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo. Nel grafico relativo al fosforo totale i tributari del bacino nord sono indicati in grassetto.

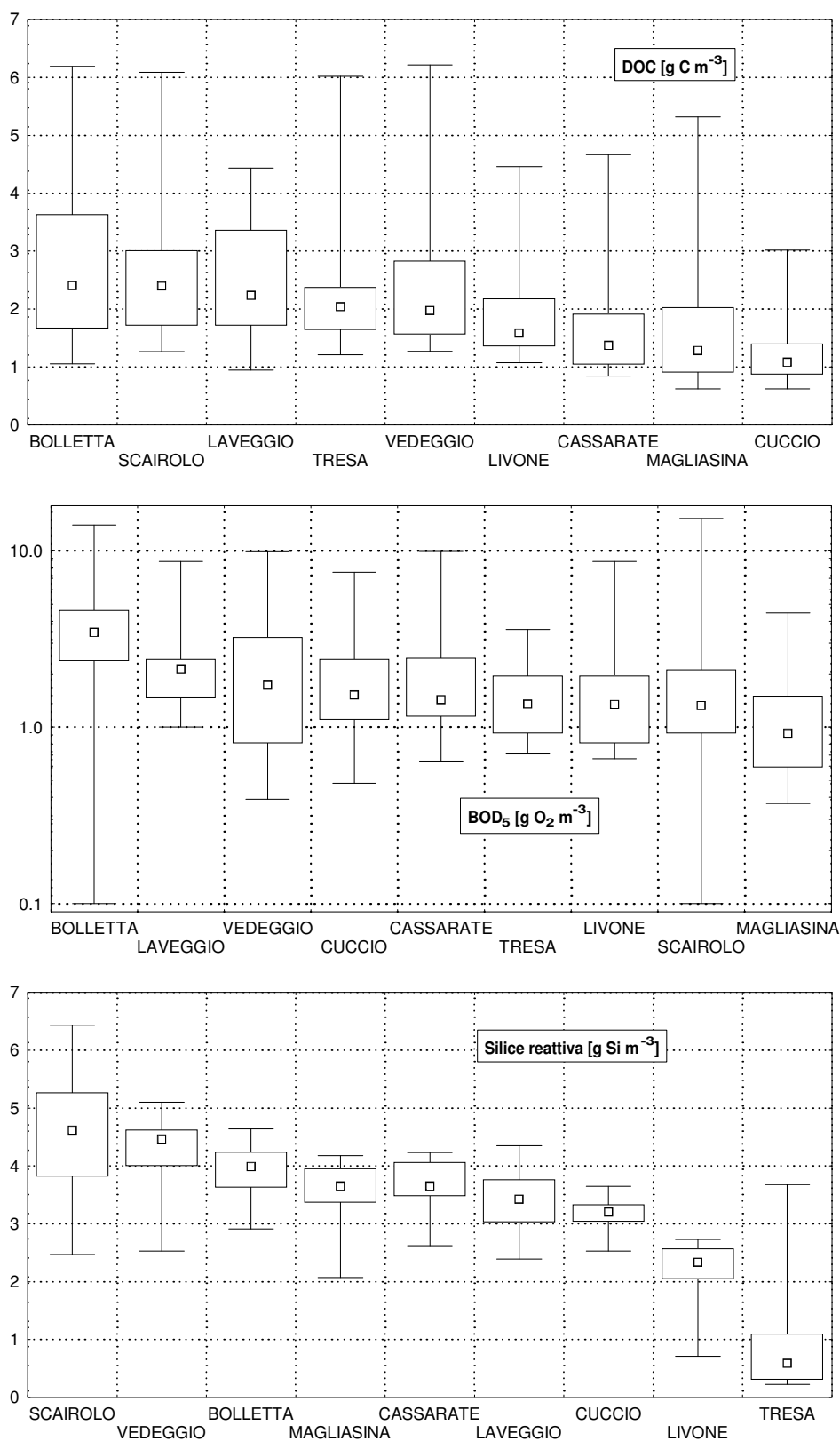


Fig. 4.1.3.e) Lago di Lugano, 2004-2005: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

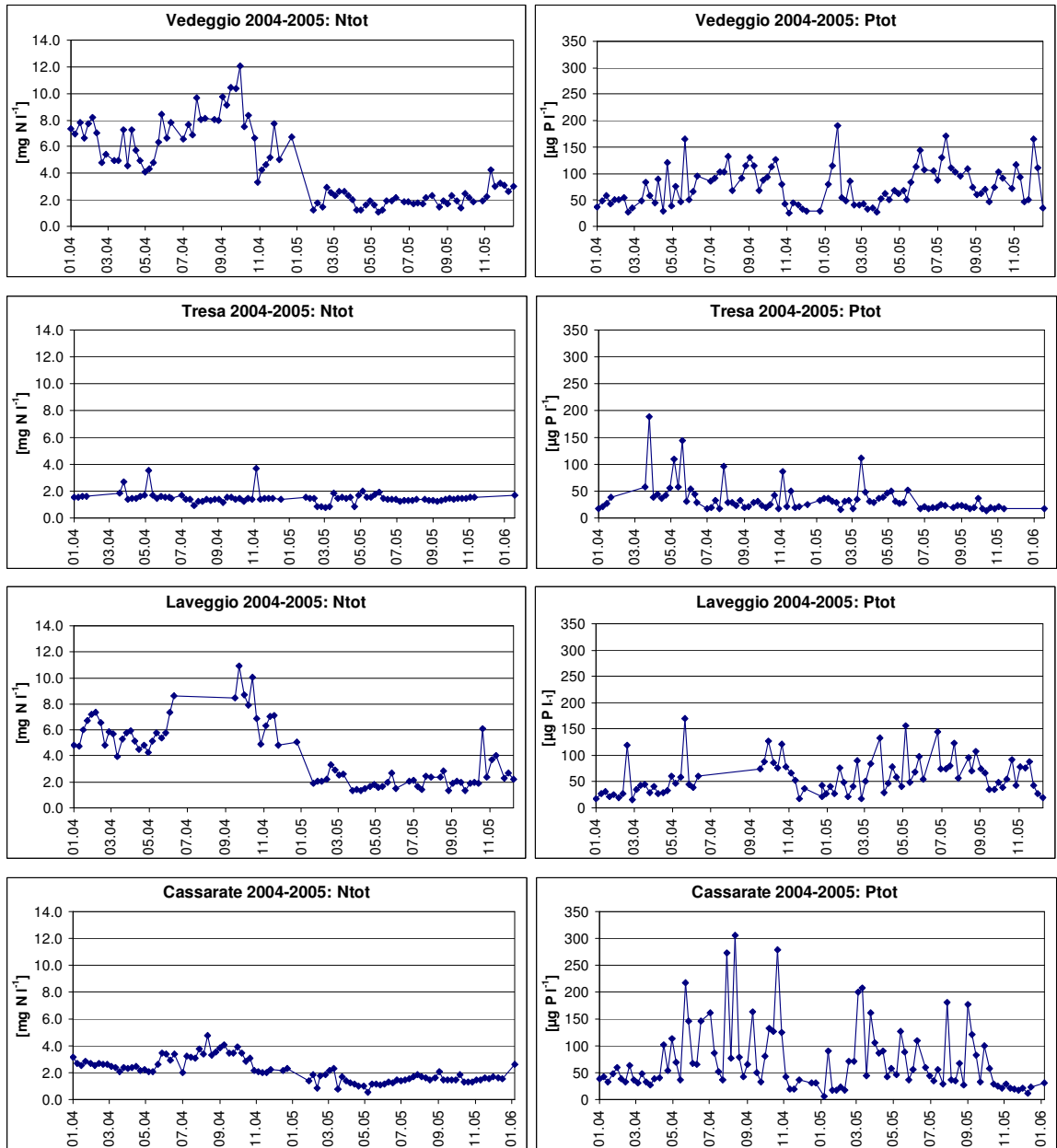


Fig. 4.1.4.: Lago di Lugano, 2004-2005: andamento settimanale delle concentrazioni di azoto e fosforo totali nei fiumi Veduggio, Tresa, Laveggio e Cassarate (campionamento in continuo).

4.2. Carichi chimici

Gli apporti annuali dei singoli parametri sono stati stimati per gli affluenti principali, nonché per gli emissari del bacino nord (diga di Melide) e sud (fiume Tresa), utilizzando i valori istantanei di concentrazione e quelli del deflusso giornaliero (media ponderata; Tab. 4.2.1 e 4.2.3, e Fig. 4.2.1 e 4.2.2). Nel corso del 2005 i carichi per quasi tutti i parametri e corsi d'acqua sono stati marcatamente più elevati rispetto al 2004.

Tra gli immissari, i carichi più elevati d'ortofosfato sono stati convogliati al lago dal Bolletta in entrambi gli anni (2004: 3.7 t P a^{-1} ; 2005: 2.3 t P a^{-1}), mentre per quanto concerne il fosforo totale limitatamente al 2004 (6.8 t P a^{-1}) in quanto nel 2005 si è imposto il Cassarate (6.3 t P a^{-1}) in particolare per il peso di un singolo episodio (15 giugno) in cui è stata rilevata una concentrazione istantanea estremamente elevata. Il Vedeggio ha sempre costituito la principale fonte di carico di azoto nitrico (2004: 422 t N a^{-1} ; 2005: 223 t N a^{-1}), azoto nitroso (2.9 e 1.3 t N a^{-1}), azoto ammoniacale (66 e 31 t N a^{-1}), l'azoto totale (570 e 372 t N a^{-1}), i silicati reattivi (505 e 247 t Si a^{-1}), l'ossigeno disciolto ($1'190$ e $643 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$), il carbonio organico disciolto (267 e 130 t C a^{-1}) e la richiesta biochimica d'ossigeno ($172 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$ in entrambi gli anni).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti consente una valutazione più qualitativa dei corsi d'acqua (Tab. 4.2.2 e 4.2.4 e Fig. 4.2.3 e 4.2.4). A differenza di quanto evidenziato nelle tabelle 4.2.1 e 4.2.3 sul Vedeggio si registrano solo due massimi: silice reattiva (2004: $5.4 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$; 2005: $2.7 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e azoto ammoniacale (2005: $0.33 \text{ g NH}_4^+\text{-N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). I maggiori contributi areali provengono invece dal Laveggio per oltre la metà dei parametri: carbonio inorganico (2004: $55.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$; 2005: $34.7 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), azoto nitrico (5.8 e $5.1 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), nitroso (2004: $41 \text{ mg N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), ammoniacale (2004: $0.8 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), totale (9.1 e $6.6 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), ossigeno (13.2 e $8.6 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e carbonio organico disciolto (2005: $1.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Dal Bolletta si confermano i contributi più elevati di fosforo ortofosfato (192 e $118 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e totale (350 e $236 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), a cui si aggiungono i massimi per la richiesta d'ossigeno (4.1 e $2.4 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e del carbonio organico disciolto (2004: $2.9 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Per il fosforo totale, i carichi areali ammissibili (Fig. 4.2.3) stimati per il recupero del Lago di Lugano sono stati largamente superati dal Bolletta (di nove volte nel 2004 e di sei volte nel 2005), mentre nel 2004 Laveggio e Scairolo hanno mostrato carichi areali più che doppi.

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2004: carichi per corso d'acqua [t a⁻¹]

	C _{in}	PO ₄ -P	PT	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NT	SiO ₂ -Si	O ₂	BOD ₅	DOC
Cassarate	848	1.5	3.6	0.6	112	13	175	245	728	104	96
Cuccio	499	1.6	2.8	0.5	47	10	75	168	587	75	53
Livone ¹	1184	2.1	2.8	0.3	65	4	90	62	301	26	44
Diga Melide	7905	6.0	15.0	1.7	69	9	203	126	2966	-	-
Bolletta	718	3.7	6.8	0.6	68	9	122	82	241	80	56
Laveggio	1605	0.7	3.4	1.2	166	23	264	114	381	104	82
Magliasina	281	0.6	1.0	0.3	55	4	72	136	399	30	49
Scairolo	269	0.3	1.0	0.3	54	5	78	42	96	33	25
Vedeggio	1317	1.6	5.9	2.9	422	66	570	505	1190	172	267
Tresa	13012	4.5	18.7	10.6	608	85	953	546	6318	829	1186

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2004: carichi areali per corso d'acqua [g m⁻² a⁻¹; (*) mg m⁻² a⁻¹].

	C _{in}	PO ₄ -P	PT	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NT	SiO ₂ -Si	O ₂	BOD ₅	DOC
Cassarate	11.5	(*)	(*)	(*)	8	1.5	0.18	2.4	3.3	9.8	1.4
Cuccio	9.3	20	49	10	0.9	0.19	1.4	3.1	10.9	1.4	1.0
Livone ¹	38.7	70	92	9	2.1	0.12	3.0	2.0	9.9	0.9	1.5
Diga Melide	26.6	20	50	6	0.2	0.03	0.7	0.4	10.0	-	-
Bolletta	36.8	192	350	32	3.5	0.47	6.3	4.2	12.4	4.1	2.9
Laveggio	55.5	24	118	41	5.8	0.80	9.1	3.9	13.2	3.6	2.8
Magliasina	8.2	17	28	7	1.6	0.12	2.1	4.0	11.6	0.9	1.4
Scairolo	27.7	35	100	30	5.6	0.56	8.1	4.3	9.9	3.4	2.6
Vedeggio	14.2	17	63	32	4.5	0.71	6.1	5.4	12.8	1.9	2.9
Tresa	21.2	7	30	17	1.0	0.14	1.6	0.9	10.3	1.3	1.9

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.3. Lago di Lugano, 2005: carichi per corso d'acqua [$t a^{-1}$]

	C _{in}	PO ₄ -P	PT	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NT	SiO ₂ -Si	O ₂	BOD ₅	DOC
Cassarate	444	0.8	6.3	0.4	58	4	96	125	366	110	61
Cuccio	340	2.0	3.6	0.3	35	2	53	119	404	78	50
Livone ¹	582	1.4	2.4	0.3	35	1	49	31	147	43	31
Diga Melide	3988	3.3	6.2	0.7	18	3	83	47	1359	-	-
Bolletta	365	2.3	4.6	0.4	29	5	57	43	112	47	28
Laveggio	1004	0.6	1.5	0.4	147	5	190	78	249	52	51
Magliasina	140	0.2	0.7	0.3	31	1	40	63	187	39	32
Scairolo	149	0.1	0.2	0.2	44	2	55	25	55	16	15
Vedeggio	617	1.8	4.3	1.3	223	31	372	247	643	172	130
Tresa	6704	2.5	7.4	6.8	289	24	451	158	3152	611	640

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.4. Lago di Lugano, 2005: carichi areali per corso d'acqua [$g m^{-2} a^{-1}$; (*) $mg m^{-2} a^{-1}$].

	C _{in}	PO ₄ -P	PT	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NT	SiO ₂ -Si	O ₂	BOD ₅	DOC
Cassarate	6.0	(*)	(*)	(*)	0.8	0.06	1.3	1.7	4.9	1.5	0.8
Cuccio	6.3	37	67	6	0.7	0.04	1.0	2.2	7.5	1.5	0.9
Livone ¹	19.0	46	80	11	1.1	0.03	1.6	1.0	4.8	1.4	1.0
Diga Melide	13.4	11	21	2	0.1	0.01	0.3	0.2	4.6	-	-
Bolletta	18.7	118	236	18	1.5	0.27	2.9	2.2	5.7	2.4	1.4
Laveggio	34.7	22	53	15	5.1	0.16	6.6	2.7	8.6	1.8	1.8
Magliasina	4.1	6	21	9	0.9	0.04	1.2	1.8	5.5	1.1	0.9
Scairolo	15.3	13	26	19	4.5	0.15	5.7	2.6	5.7	1.6	1.6
Vedeggio	6.6	20	46	14	2.4	0.33	4.0	2.7	6.9	1.9	1.4
Tresa	10.9	4	12	11	0.5	0.04	0.7	0.3	5.1	1.0	1.0

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

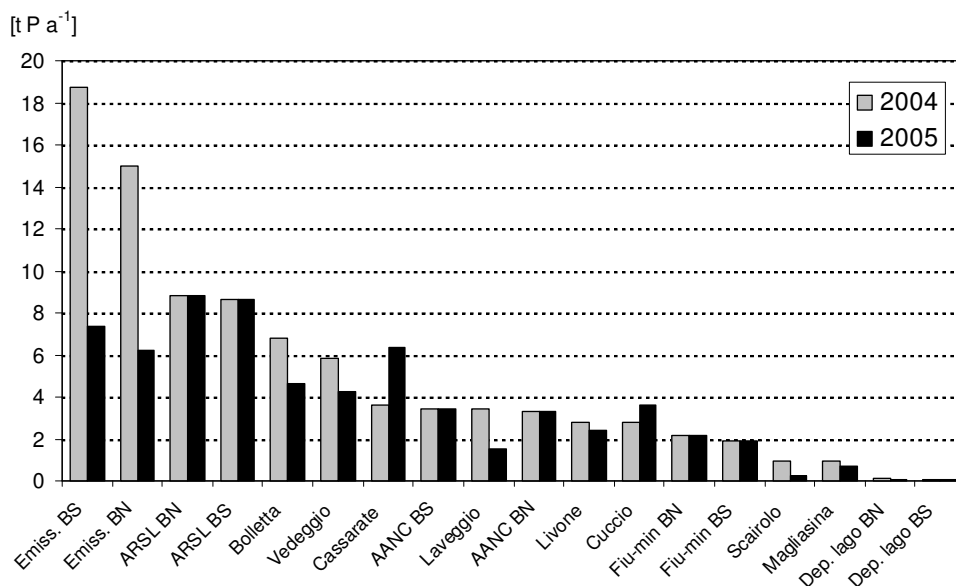


Fig. 4.2.1. Lago di Lugano, 2004-2005: apporti al lago di fosforo totale. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

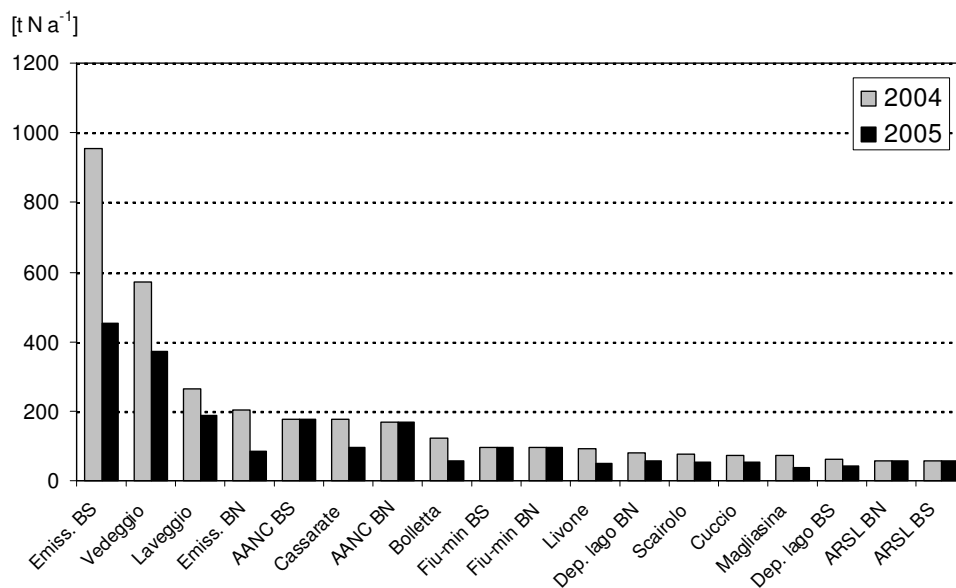


Fig. 4.2.2. Lago di Lugano, 2004-2005: apporti al lago d'azoto totale. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

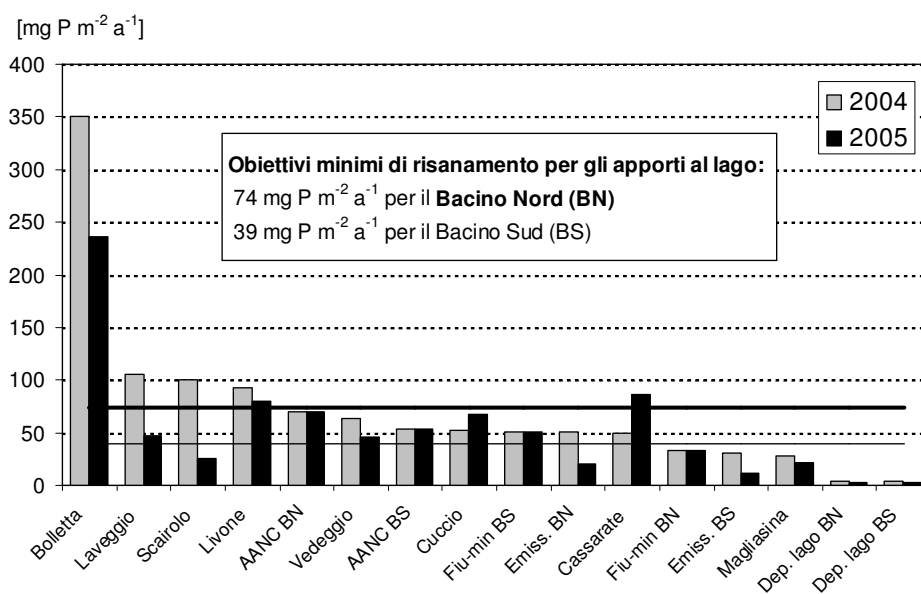


Fig. 4.2.3. Lago di Lugano, 2004-2005: carichi areali di fosforo totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

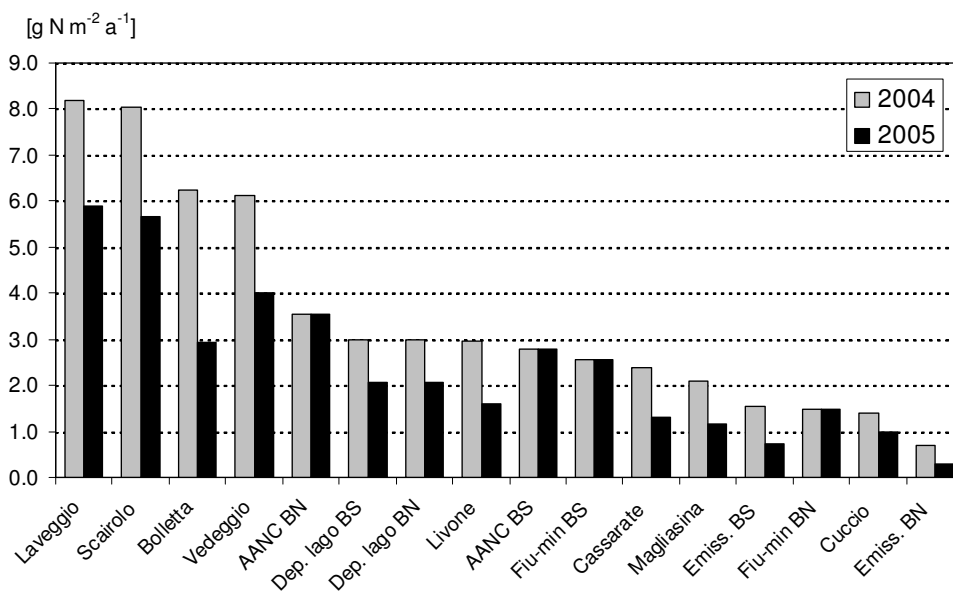


Fig. 4.2.4. Lago di Lugano, 2004-2005: carichi areali d'azoto totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori, Dep.lago: deposizioni sul lago).

4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto

Per il calcolo del bilancio 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 (Tabb. 4.3.1 e 4.3.2; Figg. 4.2.1 e 4.2.2).

Per quanto concerne l'apporto complessivo di fosforo totale nel 2004 i valori sono rimasti in linea con la media del quinquennio 1998-2002, con 47.1 t P a^{-1} nel bacino sud e 23.6 t P a^{-1} nel bacino nord, mentre nel 2005 sono risultati inferiori del 30% (BS: 31.7 t P a^{-1} e BN: 26.7 t P a^{-1}). Durante il biennio 2004-2005 il principale carico di fosforo gravante sul bacino nord è provenuto dagli ARSL (8.8 t P a^{-1}), mentre nel bacino sud determinante è stato il contributo dello stesso bacino nord nel 2004 (15.0 t P a^{-1}) e degli ARSL nel 2005 (6.2 t P a^{-1}).

Anche gli apporti d'azoto nel 2004 sono risultati pressoché invariati rispetto alla media quinquennale, con 744 t N a^{-1} nel bacino nord e $1'702 \text{ t N a}^{-1}$ nel bacino sud, ma inferiori del 30% nel 2005 (BS: $1'170 \text{ t N a}^{-1}$ e BN: 576 t N a^{-1}). I carichi più rilevanti sono provenuti dal Cassarate (2004: 175 t N a^{-1} ; 2005: 96 t N a^{-1}) per il bacino nord, e dal Vedeggio (2004: 570 t N a^{-1} ; 2005: 372 t N a^{-1}) per il bacino sud.

Le aree campionate del bacino nord rappresentano il 37 % dell'intero bacino imbrifero: da esse sono provenuti il 50-55 % degli apporti di fosforo ed il 50-60% degli apporti d'azoto complessivi. Della quota rimanente, un importante contributo è fornito, per il fosforo, dagli abitanti rivieraschi e dagli scaricatori a lago della rete fognaria (ARSL: ca. 35%), e per l'azoto dalle aree non campionabili (25-30 %).

Nel bacino sud viene controllato direttamente l'86 % dell'area del bacino imbrifero, dalla quale viene convogliato al lago il 60-75 % del fosforo e ed il 75-85 % dell'azoto. Le quote rimanenti provengono dagli ARSL per il fosforo (20-25 %), e dalle aree non campionabili per l'azoto (10-15 %).

Nelle tabelle 4.3.1 e 4.3.2 sono riportati inoltre, per i fiumi Cassarate, Vedeggio, Laveggio e Tresa, i carichi di fosforo totale ed azoto totale calcolati in base alle concentrazioni dei campioni settimanali cumulati, raccolti con i campionatori automatici (vedi capitolo 4.1.). Questi campioni fungono da controllo del dato fornito dal campionamento istantaneo. Dal confronto tra i valori dei carichi calcolati sulla base dei dati relativi ai due tipi di campionamento si notano delle differenze generalmente più marcate nel 2004 rispetto al 2005.

I due metodi di campionamento evidenziano, per i due nutrienti, differenti margini di variazione: in particolare il fosforo è stato abbondantemente sottostimato con i campionamenti istantanei, ad eccezione del Laveggio nel 2004 e del Cassarate nel 2005. È opportuno ricordare che in quest'ultimo caso la sovrastima è da ricondursi ad un singolo campionamento (vedi cap. 4.2). Questa differenza può essere messa in relazione con il regime dei fiumi che in occasioni di forti piene convogliano carichi estremamente elevati di fosforo [5] provenienti soprattutto dagli scaricatori di piena. L'azoto per contro ha una componente naturale di fondo abbastanza elevata ed è influenzato in misura minore degli scarichi degli impianti di depurazione e degli sfioratori di piena.

Tab. 4.3.1 Lago di Lugano, 2004: bilancio dei carichi dell'azoto totale [t N a⁻¹] e del fosforo totale [t P a⁻¹] nei bacini nord (BN) e sud (BS).

	CARICO AZOTO		CARICO FOSFORO	
	BN	BS	BN	BS
Cassarate	175 (163) ⁴	-	3.6 (5.9) ⁴	-
Cuccio	75	-	2.8	-
Livone ¹	90	-	2.8	-
Vedeggio	-	570 (738) ⁴	-	5.9 (7.9) ⁴
Magliasina	-	72	-	1.0
Laveggio	-	264 (204) ⁴	-	3.4 (1.9) ⁴
Bolletta	-	122	-	6.8
Scairolo	-	78	-	1.0
Apporto da BN	-	203	-	15.0
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	435	1405	11.4	34.9
Area non campionata ²	168	178	3.3	3.4
Totale areale emerso	603	1'583	14.7	38.4
ARSL ³	59	58	8.8	8.7
Deposizioni sul lago	82	61	0.11	0.08
Totale bacino imbrifero	744	1702	23.6	47.1
Carichi in uscita	203	953 (1'095) ⁴	15.0	18.7 (30.4) ⁴

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

² carico estrapolato dai fiumi minori

³ apporti rivieraschi e contributo scaricatori di piena a lago

⁴ carichi misurati con i campionatori automatici in continuo

Tab. 4.3.2 Lago di Lugano, 2005: bilancio dei carichi dell'azoto totale [t N a⁻¹] e del fosforo totale [t P a⁻¹] nei bacini nord (BN) e sud (BS).

	CARICO AZOTO		CARICO FOSFORO	
	BN	BS	BN	BS
Cassarate	96 (94) ⁴	-	6.3 (2.5) ⁴	-
Cuccio	53	-	3.6	-
Livone ¹	49	-	2.4	-
Vedeggio	-	372 (526) ⁴	-	4.3 (5.2) ⁴
Magliasina	-	40	-	0.7
Laveggio	-	190 (193) ⁴	-	1.5 (1.6) ⁴
Bolletta	-	57	-	4.6
Scairolo	-	55	-	0.2
Apporto da BN	-	83	-	6.2
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	292	892	14.6	19.5
Area non campionata ²	168	178	3.3	3.4
Totale areale emerso	460	1'071	17.9	22.9
ARSL ³	59	58	8.8	8.7
Deposizioni sul lago	57	42	0.08	0.06
Totale bacino imbrifero	576	1'170	26.7	31.7
Carichi in uscita	83	451 (461) ⁴	6.2	7.4 (9.3) ⁴

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

² carico estrapolato dai fiumi minori

³ apporti rivieraschi e contributo scaricatori di piena a lago

⁴ 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 (bacino nord), e Melide e Figino (bacino sud), scelte in considerazione delle diversità geomorfologiche ed idrochimiche presenti nel lago e sul suo bacino imbrifero.

5.1. Trasparenza

Durante il biennio l'andamento stagionale della trasparenza (Fig. 5.1.) è stato molto simile nelle tre stazioni: ad un inverno caratterizzato da valori elevati, fa seguito in aprile una fase con trasparenze molto ridotte legate all'inizio del periodo vegetativo, seguita da un breve periodo di chiarificazione delle acque, che ne aumenta temporaneamente la trasparenza (fine maggio – inizio giugno). Nel corso dell'autunno, con l'attenuarsi della produzione algale, si assiste ad un progressivo aumento dei valori.

Nel bacino nord i valori estremi sono stati registrati nel 2004, con un massimo di trasparenza in gennaio di 16.6 m ed un minimo in aprile di 2.7 m.

Per quanto riguarda il bacino sud, a Melide sono stati riscontrati un massimo di 11.9 m nel dicembre 2004 ed un minimo di 1.8 m a inizio aprile 2004. Anche a Figino la trasparenza minima è stata rilevata nell'aprile 2004 (2.1 m), mentre il massimo si è verificato nel febbraio 2005 con 10.3 m.

La trasparenza media del biennio, calcolata su 48 osservazioni, è stata di 8.1 m a Gandria, 6.6 m a Melide, e 5.7 m a Figino. L'escursione annua della trasparenza ha raggiunto 13.9 m a Gandria, 10.1 m a Melide e 8.2 m a Figino.

5.2. Assorbanza della luce

Nella figura 5.2. è riportato graficamente l'andamento dei valori d'assorbanza luminosa, calcolata in base alle misure di trasmittanza effettuate tramite sonda multiparametrica (assorbanza=100%-trasmittanza).

Nello strato epilimnico l'andamento dell'assorbanza nei tre siti è simile e si osservano punte legate allo sviluppo stagionale del fitoplancton (vedi paragrafo 6.3.). Il picco di fine marzo/inizio aprile rileva la presenza di diatomee nei primi 5 metri di profondità, mentre in estate si susseguono con minore intensità incrementi di torbidità connessi alla presenza di altri gruppi algali. Al pari del 2003 non si è riscontrata la presenza di correnti di torbida d'origine fluviale.

Variazioni significative del valore d'assorbanza sono state rilevate nel bacino sud tra agosto e settembre 2005 tra 20 e 60 m di profondità con valori intorno al 20% e riconducibili probabilmente a precipitazioni intense verificatesi ad inizio agosto. Per quanto attiene lo strato sovrastante il sedimento (nefeloide), a Melide la torbidità presenta una certa dinamica in primavera in entrambi gli anni, mentre a Figino si riscontra un debole gradiente in ottobre e novembre, parallelamente allo sviluppo delle condizioni d'anossia. Nel bacino nord nel

corso del 2005 per la prima volta dopo alcuni decenni si osserva un gradiente stagionale di assorbanza sopra il sedimento.

5.3. Temperatura dell'acqua

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

L'evento più importante si è verificato nel febbraio 2005 a Gandria quando l'isoterma di 5.8 °C è sprofondata da 120 m fino sul fondo e la temperatura sulla colonna d'acqua ha raggiunto una situazione prossima all'omoterma, con valori compresi tra 5.6 e 5.7 °C. Sull'arco del biennio la fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio è iniziata in maggio ed è proseguita fino a fine luglio/inizio agosto, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno (agosto 2004: 24.56 °C; luglio 2005: 24.71 °C).

Nel bacino sud entrambi gli inverni hanno portato a condizioni di omoterma nei mesi di febbraio con isoterme in abbassamento fino a 5.0 °C sulla colonna nel 2005. I valori massimi sono stati raggiunti nel mese di luglio di entrambi gli anni (Melide 2005: 25.35 °C; Figino 2004: 25.01 °C). Al pari dell'inverno 2004-2005 lo sprofondamento dell'isoterma di 5.2 °C nel dicembre 2005 indicano condizioni favorevoli per il successivo rimescolamento invernale.

5.4. Ossigeno disciolto

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

Nel bacino nord risulta evidente nel marzo 2005 l'ossigenazione degli strati ipolimnici profondi, indotta dallo sprofondamento di acque ossigenate. Nei 50 m sovrastanti il sedimento sono state riscontrate fino al maggio 2005 concentrazioni di ossigeno disciolto intorno ad $1.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Questa debole riserva di ossigeno è stata poi rapidamente consumata durante la degradazione aerobica della biomassa sedimentata. Nell'epilimnio la marcata dinamica stagionale è riconducibile all'attività fotosintetica del fitoplancton. Il massimo assoluto dell'anno è stato misurato ad inizio di aprile 2004, in prossimità della superficie ($15.75 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$). 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) è cresciuta da una profondità di 80 m nel marzo 2004 ai 20 m dell'estate 2005, sprofondando temporaneamente fino a 110 m durante l'evento sopra descritto.

Come l'anno precedente, nel biennio 2004-2005 il rimescolamento invernale delle acque del bacino sud è stato particolarmente intenso, ed ha portato, nel febbraio 2005, a concentrazioni sull'intera colonna di ca. $9 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Durante il periodo vegetativo, le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, toccando il valore massimo nell'aprile 2004: $22.82 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a Melide (in aprile) e $17.33 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a Figino (in giugno). Per contro le condizioni d'ossigenazione degli strati profondi sono peggiorate gradatamente a partire dal mese di maggio in tutto il

bacino sud. L'isolinea di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ ha mostrato forti escursioni nel 2004 quando in dicembre a Melide si è innalzata fino alla profondità di 50 m e a Figino si è posizionata in attorno a 25 m tra i mesi di novembre e dicembre di entrambi gli anni.

In tutte le stazioni è stato misurato in settembre/ottobre un minimo metalimnico alla profondità di 15-20m.

5.5. Valore pH ed alcalinità

In tutto il lago le maggiori variazioni del 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 instaura a partire da marzo, mentre l'alcalinità, essendo un parametro più conservativo, inizia a ridursi circa due mesi dopo. Nell'epilimnio i massimi di pH ed i minimi di alcalinità sono stati riscontrati in entrambi i bacini tra luglio e agosto, ad eccezione del minimo di alcalinità a Melide, verificatosi nel settembre 2004.

Nel bacino nord, il valore più alto di pH del biennio è stato rilevato nel luglio 2005 in superficie, pari a 8.99 unità, mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.50 e 7.80. L'alcalinità ha raggiunto un minimo epilimnio di 1.78 eq m^{-3} nell'agosto 2004. Tra i 20 m di profondità e il fondo si è mantenuto durante il 2004 un debole gradiente d'alcalinità, con valori crescenti da 2.30 a 2.70 eq m^{-3} , mentre dopo la destratificazione invernale a partire dall'aprile 2005 il gradiente è stato quasi annullato con valori compresi tra 2.4 e 2.5 eq m^{-3} .

Per quanto concerne l'epilimnio del bacino sud i valori massimi di pH e minimi d'alcalinità sono stati misurati nel 2004, con rispettivamente 9.21 e 1.47 eq m^{-3} a Melide, e 9.16 e 1.40 eq m^{-3} a Figino. A partire dai mesi di maggio/giugno, nell'ipolimnio del bacino sud si sono instaurati deboli gradienti verticali di pH e d'alcalinità, con valori compresi rispettivamente tra 7.4 e 7.7 unità, e tra 2.20 e 2.50 eq m^{-3} . Nel febbraio 2005, in seguito al rimescolamento della colonna d'acqua, il pH è temporaneamente aumentato toccando valori di 7.8 – 7.9 unità.

5.6. Conducibilità elettrica specifica

L'andamento della conducibilità (normata a 20°C ; Fig. 5.6.), misurata ogni metro con la sonda multiparametrica, presenta forti analogie con quello dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.). Nel febbraio 2005 i valori sono risultati omogenei sull'intero lago, a riprova di una circolazione invernale eccezionale, una conducibilità intorno ai $240 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Nell'epilimnio dei due bacini a partire dai mesi di aprile/maggio, l'assimilazione dei nutrienti e del carbonio inorganico da parte del fitoplancton ha progressivamente fatto scendere i valori della conducibilità che sull'arco del biennio hanno raggiunto il valore minimo nel 2004, in luglio nel bacino nord ($187 \mu\text{S cm}^{-1}$) e in agosto nel bacino sud ($170 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Per quanto attiene l'ipolimnio, nel bacino nord nel 2004 i valori hanno evidenziato un gradiente verticale crescente (da 230 a $250 \mu\text{S cm}^{-1}$), mentre nel 2005 i valori si sono mantenuti prossimi ai $240 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nel bacino sud la

conducibilità ha presentato nel secondo semestre di entrambi gli anni a partire dal sedimento un progressivo aumento, con massimi di $318 \mu\text{S cm}^{-1}$ a Melide (ottobre 2004) e di $463 \mu\text{S cm}^{-1}$ a Figino (novembre 2004).

5.7. Composti del fosforo

L'andamento stagionale del fosforo nei tre siti campionati è caratterizzato da una diminuzione delle concentrazioni epilimniche a partire da marzo, in seguito al forte sviluppo dei popolamenti fitoplanctonici.

Nell'epilimnio del bacino nord l'attività algale ha progressivamente portato i valori di fosforo totale (Fig. 5.7.2) dai 60 mg P m^{-3} del marzo 2004 ai minimi annui di settembre 2004 (11 mg P m^{-3}). Sotto i 40 m di profondità le concentrazioni di questo nutriente si sono mantenute costanti, in progressivo aumento verso il fondo (da 60 a $320\text{-}360 \text{ mg P m}^{-3}$), fino al marzo 2005. In seguito al rimescolamento verificatosi nell'inverno 2004-2005, a fine marzo 2005 si riscontrava una situazione quasi omogenea sulla colonna, con valori compresi tra 100 e 120 mg P m^{-3} . Nell'epilimnio i valori sono rapidamente diminuiti raggiungendo 11 in settembre a 0.4 m. A partire da agosto sul fondo il rilascio di fosforo dal sedimento ha fatto crescere le concentrazioni fino ad un massimo di 278 mg P m^{-3} a fine novembre 2005. Sotto i 40 m l'ortofosfato (Fig. 5.7.1), costituisce l'80-90 % del fosforo totale, mentre negli strati superiori in primavera ed estate il contributo percentuale si riduce al 10 %, in seguito ai processi d'assimilazione da parte della biomassa algale (fosforo particellato).

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto nei mesi di febbraio valori omogenei sulla colonna d'acqua ($50\text{-}60 \text{ mg P m}^{-3}$ a Melide e ca. 40 mg P m^{-3} a Figino). Il consumo della frazione disciolta (fosforo ortofosfato) da parte del fitoplancton ha portato, anche nell'epilimnio di questo bacino, ad una progressiva riduzione dei valori di fosforo totale, il cui minimo annuale è stato registrato nel settembre 2005 (5 mg P m^{-3}). Negli strati profondi, il rilascio di fosforo dai sedimenti durante la fase di stagnazione si è confermato più precoce (aprile) e marcato a Melide rispetto a Figino (giugno). Le concentrazioni massime di fosforo totale sono state misurate nel settembre 2004, a due metri dal fondo (Melide: 752 mg P m^{-3} , Figino 266 mg P m^{-3}). A Melide la percentuale di fosforo ortofosfato sul totale è risultata, durante il periodo vegetativo, in progressione da 10-30 % in superficie fino a 80-90 % in prossimità del fondale. La situazione è simile a Figino, dove però la percentuale di fosforo ortofosfato al di sotto dei 30 m è risultata inferiore (60-70%).

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, superiore al 70 % nell'ipolimnio. Questa componente disciolta può però ridursi al 10% negli strati superficiali quando l'azoto è presente soprattutto in forma organica particellata (biomassa algale). Le maggiori fluttuazioni quantitative dell'azoto totale dipendono perciò dall'andamento delle concentrazioni di questi tre composti, in particolare del nitrato e dell'ammonio.

Nel bacino nord, l'azoto nitrico è stato rilevato unicamente nello strato d'acqua ossigenato, risultando assente sotto i 130 m dal gennaio 2004 fino a fine febbraio 2005 quando si è verificata l'ossigenazione degli strati profondi. Per contro l'azoto ammoniacale è stato riscontrato solo nell'ipolimnio anossico. Nell'epilimnio si osserva una riduzione dell'azoto nitrico dal mese di marzo, in seguito alla sua assimilazione da parte del fitoplancton: nel luglio 2004 alla profondità di 0.4 m è stato rilevato il minimo biennale, pari a $0.01 \text{ g NO}_3^- \text{-N m}^{-3}$. Nell'ipolimnio ossico si è mantenuto un gradiente più o meno costante, con tenori in declino verso il fondo da 0.3-0.4 a $0.1 \text{ g NO}_3^- \text{-N m}^{-3}$. Fino al febbraio 2005 nello strato anossico compreso tra 100 e 286 m l'ammonio ha mantenuto un gradiente verticale crescente verso il fondo, da 0.1 a $1.0 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$. Nel marzo 2005 l'ossigenazione degli strati profondi ha abbattuto le concentrazioni di ammonio, che da maggio hanno ripreso ad aumentare a partire dal fondo raggiungendo $0.48 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$ a novembre. Concentrazioni rilevanti di azoto nitroso (20-80 $\text{mg NO}_2^- \text{-N m}^{-3}$) sono state misurate solamente da marzo a settembre 2005 sotto i 60 m, probabilmente come prodotto intermedio della nitrificazione dell'ammonio.

Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale (Fig. 5.8.4.) nel bacino nord rilevano fino al marzo 2005 l'esistenza di tre strati distinti: nell'epilimnio la concentrazione si riduce sotto il 0.5 g N m^{-3} in estate in seguito all'assimilazione dell'azoto nitrico; tra 100 e 120 m le perdite d'azoto riscontrate sono da mettere in relazione con i processi di denitrificazione, che si manifestano in prossimità dell'ossicлина [6], mentre nello strato di fondo il rilascio di azoto ammoniacale dal sedimento ha portato i valori di azoto totale al loro massimo biennale (1.52 g N m^{-3}). Dopo il rimescolamento le concentrazioni si sono ridotte notevolmente e sulla colonna si registrano concentrazioni comprese tra 0.5 e 0.7 g N m^{-3} . A partire da luglio 2005 si instaura sul fondo un debole gradiente di azoto totale.

Il bacino sud presenta nei mesi di febbraio tenori d'azoto nitrico uniformi su tutta la colonna ($1.0\text{-}1.1 \text{ g NO}_3^- \text{-N m}^{-3}$). Da giugno ad agosto si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici (minimo: $0.25 \text{ g NO}_3^- \text{-N m}^{-3}$ a Melide nell'agosto 2005). Con il consolidamento della stratificazione termica e l'instaurarsi di condizioni vieppiù riducenti nell'ipolimnio, a partire dal mese di giugno, anche negli strati in prossimità del sedimento si osserva una progressiva diminuzione dei valori ($0.04 \text{ g NO}_3^- \text{-N m}^{-3}$ in luglio a Melide). All'interno dello strato anossico, le isolinee dell'azoto ammoniacale presentano un andamento pressoché complementare a quelle della frazione nitrica. Le punte massime sono state misurate nel settembre 2004, alla massima profondità (Melide: $2.06 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$, Figino: $1.32 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$). L'azoto nitroso è stato riscontrato in quantità di un certo rilievo in estate, nelle acque più profonde. La concentrazione massima è stata rilevata nell'agosto 2005 a Figino ed è risultata pari a $400 \text{ mg NO}_2^- \text{-N m}^{-3}$.

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, nello strato epilimnico si osservano, da maggio a dicembre, variazioni di rilievo, determinate dai processi d'assimilazione algale della componente nitrica; i tenori d'azoto più bassi sono stati misurati nel campione di superficie di luglio 2005 a Melide (0.94 g N m^{-3}). Sempre in questa stazione, ma nei campioni di fondo, è stato rilevato il massimo d'azoto totale (3.22 g N m^{-3} nel novembre 2004).

5.9. Silice

Negli strati profondi del bacino nord le concentrazioni dei silicati reattivi sono rimaste sostanzialmente stabili fino al marzo 2005, con valori crescenti verso il fondo (da 1.2 a 2.3 g Si m⁻³; Fig. 5.9.). In seguito, la ridistribuzione della silice su tutta la colonna ha portato ad un calo delle concentrazioni con valori intorno a 1.6 g Si m⁻³. I tenori epilimnici sono calati drasticamente a partire nei mesi di marzo in seguito al rapido sviluppo del popolamento di diatomee (cfr. cap. 6.1.) toccando il minimo annuale nel giugno 2005, pari a 0.02 Si m⁻³.

Nel bacino sud durante i mesi invernali la distribuzione delle concentrazioni non è stata omogenea sulla colonna né uniforme nei due sottobacini: 1.2-1.4 g Si m⁻³ a Melide e 1.4-1.6 g Si m⁻³ a Figino. Il forte consumo epilimnico di silice da parte delle diatomee è iniziato nei mesi di marzo ed il minimo biennale è stato raggiunto nel giugno 2005: 0.01 g Si m⁻³ a Melide e 0.02 g Si m⁻³ a Figino. Da aprile a dicembre, il graduale rilascio di silice dal sedimento ne ha lentamente incrementato le concentrazioni dell'ipolimnio profondo, con massimi misurati nel dicembre 2005: 4.70 g Si m⁻³ a Melide, 3.04 g Si m⁻³ a Figino.

5.10. Metano

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

A Gandria è stato costantemente misurato a profondità superiori a 120 m fino a inizio marzo 2005, con concentrazioni in progressiva crescita verso il fondo (da 0.1 a 2.6 g CH₄ m⁻³) ed un massimo nel settembre 2004 di 3.18 g CH₄ m⁻³. Dopo la totale eliminazione del metano in seguito all'intensa ossigenazione indotta dalla circolazione, dall'ottobre 2005 i valori hanno ripreso a crescere a partire dal fondo.

Nel bacino sud la presenza del gas è stata rilevata all'interno dello strato anossico tra luglio e dicembre nel 2004 e nei mesi di novembre e dicembre del 2005. La diffusione di metano dal sedimento ha portato le concentrazioni a toccare valori massimi a Melide di 3.76 g CH₄ m⁻³ (dicembre 2005) e a Figino di 3.26 g CH₄ m⁻³ (settembre 2004).

5.11. Solfuri

Nel corso del 2004 i solfuri sono risultati sempre presenti unicamente nello strato costantemente anossico del bacino nord (Fig. 5.11.). A profondità superiori a 110 m si è mantenuto fino al marzo 2005 un gradiente verticale, crescente verso il fondo; il valore massimo è stato misurato nel novembre 2004, nel campione raccolto a due metri dal fondo (407 mg S²⁻ m⁻³).

Diverso è il quadro del bacino sud, dove i solfuri sono stati riscontrati in concentrazioni rilevanti tra l'agosto ed il novembre 2004 a Melide. Il valore massimo per questo bacino è stato misurato appunto in questa stazione in settembre nel campione di fondo (435 mg S²⁻ m⁻³).

5.12. Ferro disciolto

Nel bacino nord il ferro è presente, nella sua forma ridotta, in concentrazioni rilevanti ($> 50 \text{ mg Fe m}^{-3}$) dove sussistono condizioni di permanente anossia (Fig. 5.12.). Sotto i 150 m il gradiente verticale delle concentrazioni si è mantenuto stabile con valori in crescendo verso il fondo a circa 550-600 mg Fe m^{-3} . In seguito, come è accaduto per gli altri riducenti, nel marzo 2005 l'isolinea dei 50 mg Fe m^{-3} è precipitata da 130 m di profondità fino al fondo. A partire dal novembre 2005 si è nuovamente instaurato un forte gradiente di concentrazione, limitato però ai 10 m sovrastanti il sedimento. Il tenore massimo di ferro disciolto, pari a 776 mg Fe m^{-3} , è stato misurato nel novembre 2004 sopra il sedimento.

Nel bacino sud concentrazioni superiori a 50 mg Fe m^{-3} di ferro disciolto sono state rilevate soprattutto nel 2004 nei 20 m sovrastanti il fondale, in conseguenza del rilascio di ferro dai sedimenti. Le concentrazioni hanno toccato i seguenti massimi biennali a 2 m dal fondo: 1'077 mg Fe m^{-3} nel marzo 2004 a Melide e 584 mg Fe m^{-3} nel settembre 2004 a Figino.

5.13. Manganese disciolto

L'andamento delle concentrazioni di manganese disciolto (Fig. 5.13.) nel bacino nord differisce notevolmente da quello dello del ferro: il manganese è stato rilevato in entrambi gli anni regolarmente sotto i 100 m di profondità e l'isolinea della concentrazione dei 50 mg Mn m^{-3} è oscillata all'interno dello strato 50 – 100 m. Tra luglio ed ottobre 2004 negli 80 m sovrastanti il sedimento sono stati misurati tenori estremamente elevati con un massimo di 3'121 mg Mn m^{-3} in settembre. Fino al marzo 2005 tra 100 e 150 m di profondità si è mantenuto un gradiente elevato e costante, con concentrazioni crescenti da 50 a 350 mg Mn m^{-3} . Dopo il crollo dei valori ipolimnici, a partire dal maggio 2005 si è instaurato un gradiente alimentato dal rilascio a partire dal sedimento.

Nel bacino sud il manganese è stato rilevato a partire dal mese di maggio al di sotto dei 50 m. L'andamento è stato simile in entrambe le stazioni campionate con concentrazioni più elevate rispetto al bacino nord. I valori massimi sono stati riscontrati nel settembre 2004 nel campione di fondo: 4'585 mg Mn m^{-3} a Melide e 5'601 mg Mn m^{-3} a Figino.

5.14. Circolazione del bacino nord

Nel bacino nord la circolazione invernale 2004-2005 ha fatto registrare effetti positivi sullo stato d'ossigenazione delle acque: lo confermano sia il rilevamento (per la prima volta dopo circa 40 anni) di tracce d'ossigeno sul fondo del lago, sia il forte aumento fatto registrare dal bilancio ossido-riduttivo (fig. 5.14.1) tra ottobre 2004 e marzo 2005. Alla fine di marzo il saldo complessivo presenta infatti un incremento di circa 10'000 tonnellate d'ossigeno rispetto all'anno precedente. La miglior ossigenazione delle acque ha portato inoltre alla precipitazione di parte del fosforo accumulato negli strati profondi: il contenuto

complessivo del bacino si è così ridotto da 655 t P (media 2000-2004) a 537 t P, perdendo quindi circa il 20 %.

Accanto a questi aspetti positivi va però anche segnalato che questo eccezionale evento presenta conseguenze negative sulla qualità delle acque superficiali del bacino, che costituiscono l'habitat naturale della biocenosi lacustre (plancton, fauna ittica). Da una parte, infatti, l'afflusso di sostanze nutrienti dagli strati profondi ha portato i valori superficiali di fosforo, al momento di massima circolazione, attorno a 100 mg m^{-3} (fig. 5.14.2); d'altra parte il consumo causato dalle sostanze riducenti accumulate nello strato anossico ha causato un momentaneo crollo del tenore d'ossigeno ($<4 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$) sull'intera colonna d'acqua (vedi fig. 5.4).

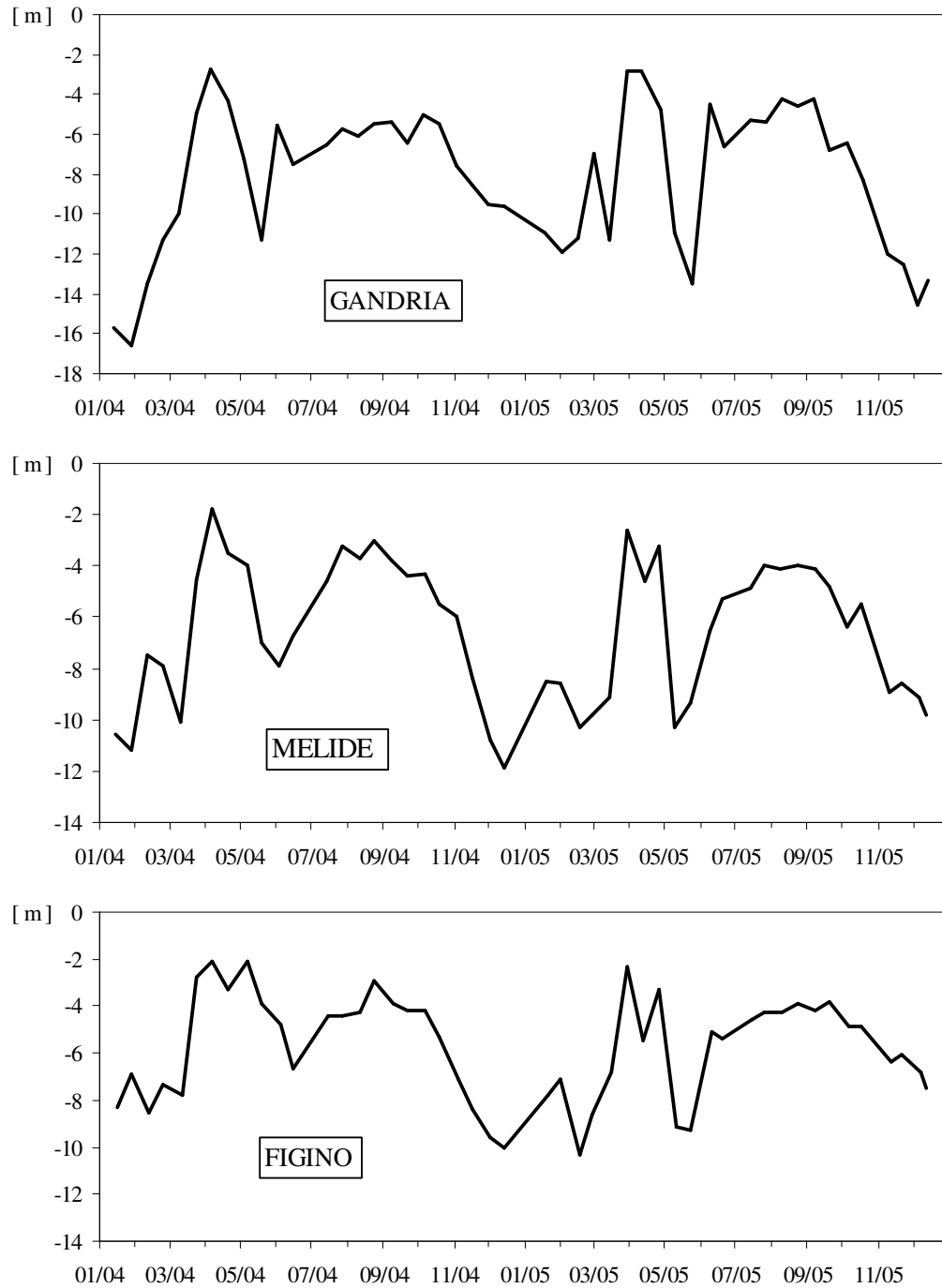
5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale

La figura 5.15 mostra l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale negli ultimi 23 anni (1983-2005) per i due bacini principali; per il bacino nord sono illustrati anche gli andamenti dello strato 0-100 m, che fino a fine 2004 era l'unico strato interessato quasi regolarmente dal rimescolamento annuale (mixolimnio).

Nel bacino nord i valori medi ponderati sull'intero volume sono oscillati in maniera irregolare tra 135 e 170 mg P m^{-3} fino al 2004. In seguito al rimescolamento descritto nel capitolo precedente la concentrazione media è crollata nel 2005 a 115 mg P m^{-3} . Le concentrazioni dello strato 0-100 m sono scese dagli 87 mg P m^{-3} del 1983 ai $52\text{-}58 \text{ mg P m}^{-3}$ del quinquennio 1993-1997, per poi crescere nuovamente fino agli attuali 97 mg P m^{-3} , con un incremento di 20 mg P m^{-3} nel corso dell'ultimo anno.

Il bacino sud presenta un progressivo calo dei tenori di fosforo totale, dai 137 mg P m^{-3} misurati nel 1983 ai 43 mg P m^{-3} del 2005. Il 2004 con 50 mg P m^{-3} ha fatto segnare un aumento, riportando temporaneamente le concentrazioni al livello del 2001.

Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2004-2005: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.



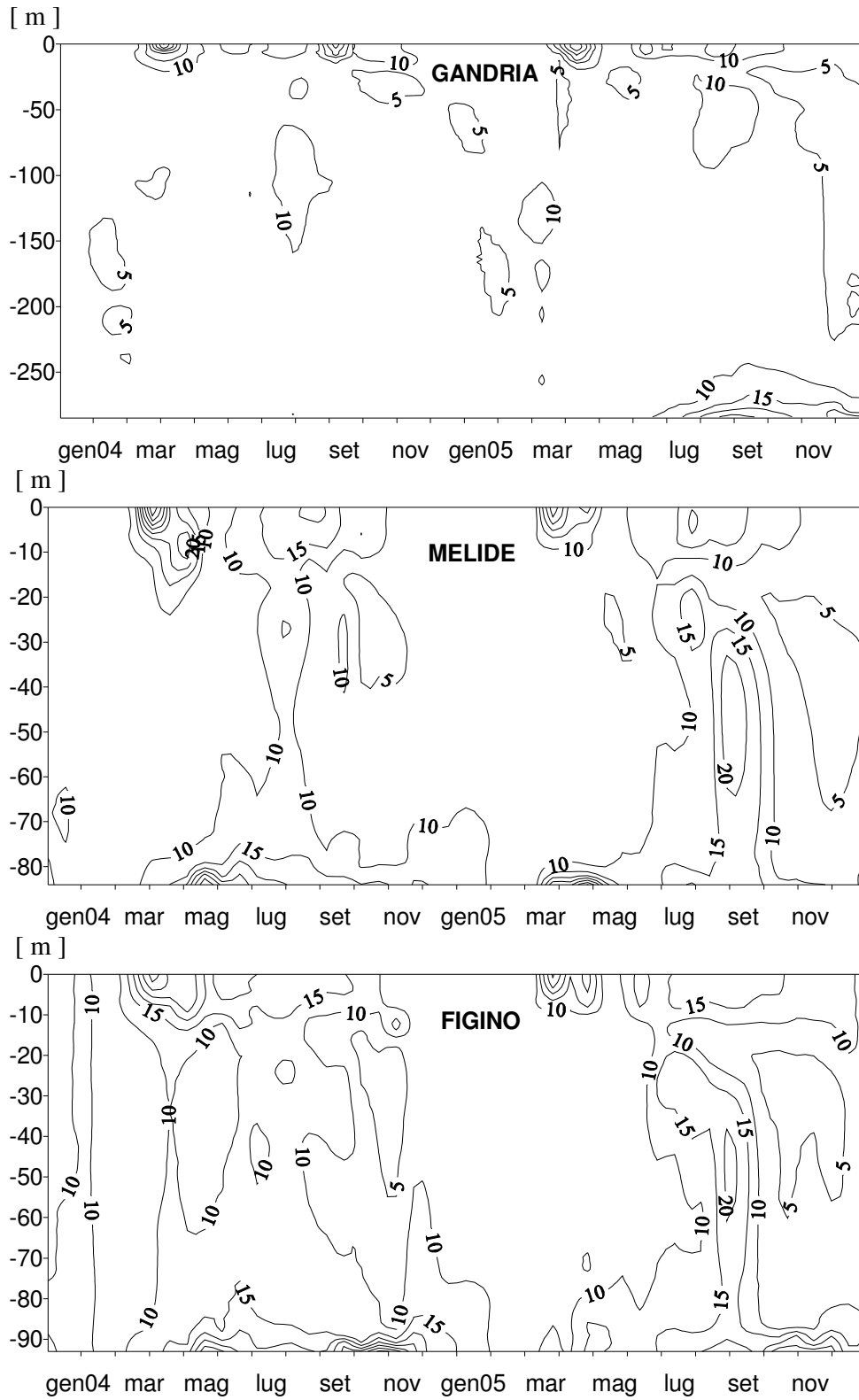


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2004-2005: valori d'assorbimento rilevati ogni metro con la sonda multiparametrica.

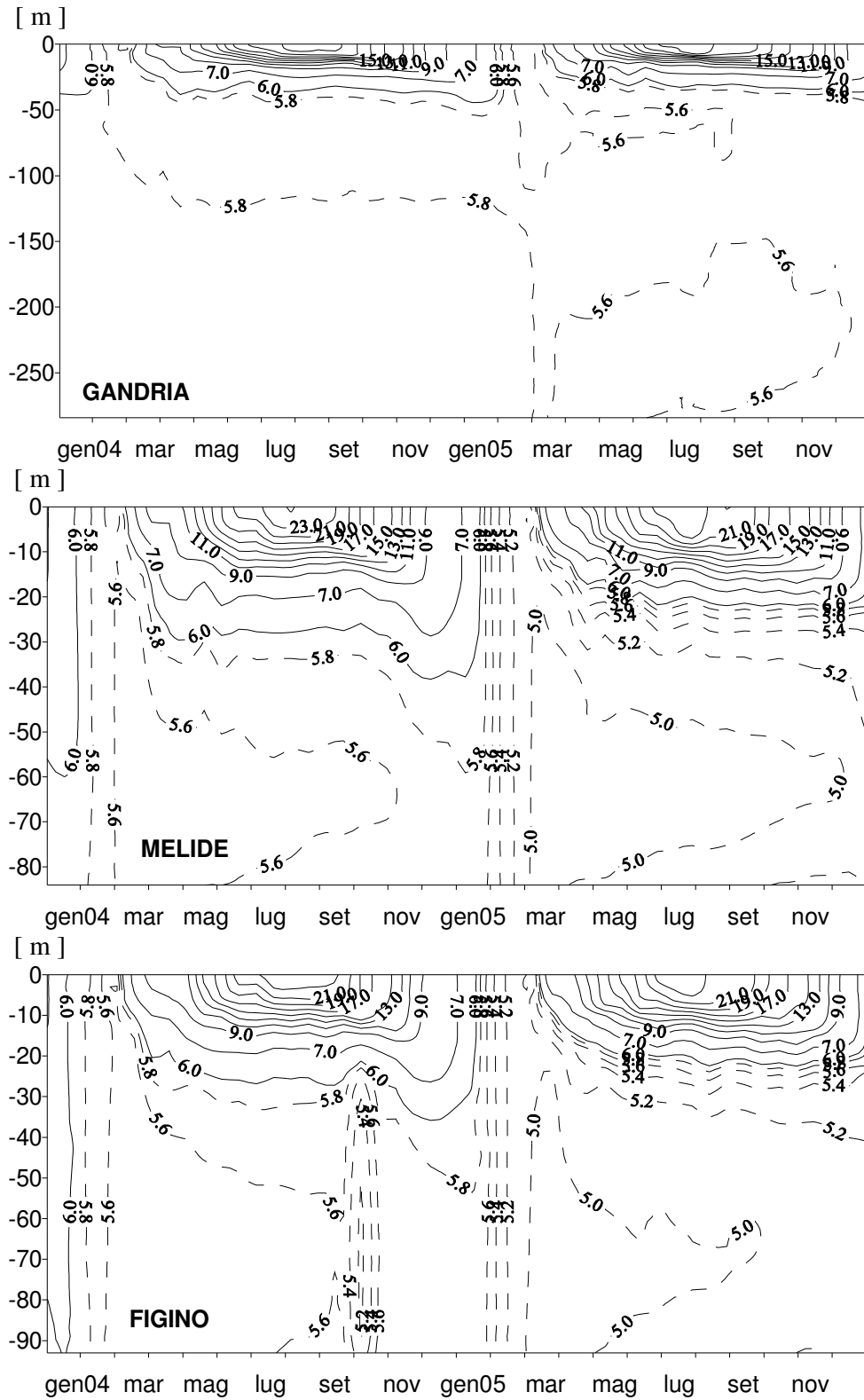


Fig. 5.3.a Lago di Lugano, 2004-2005: andamento della temperatura [$^{\circ}\text{C}$], rilevati ogni metro con la sonda multiparametrica.

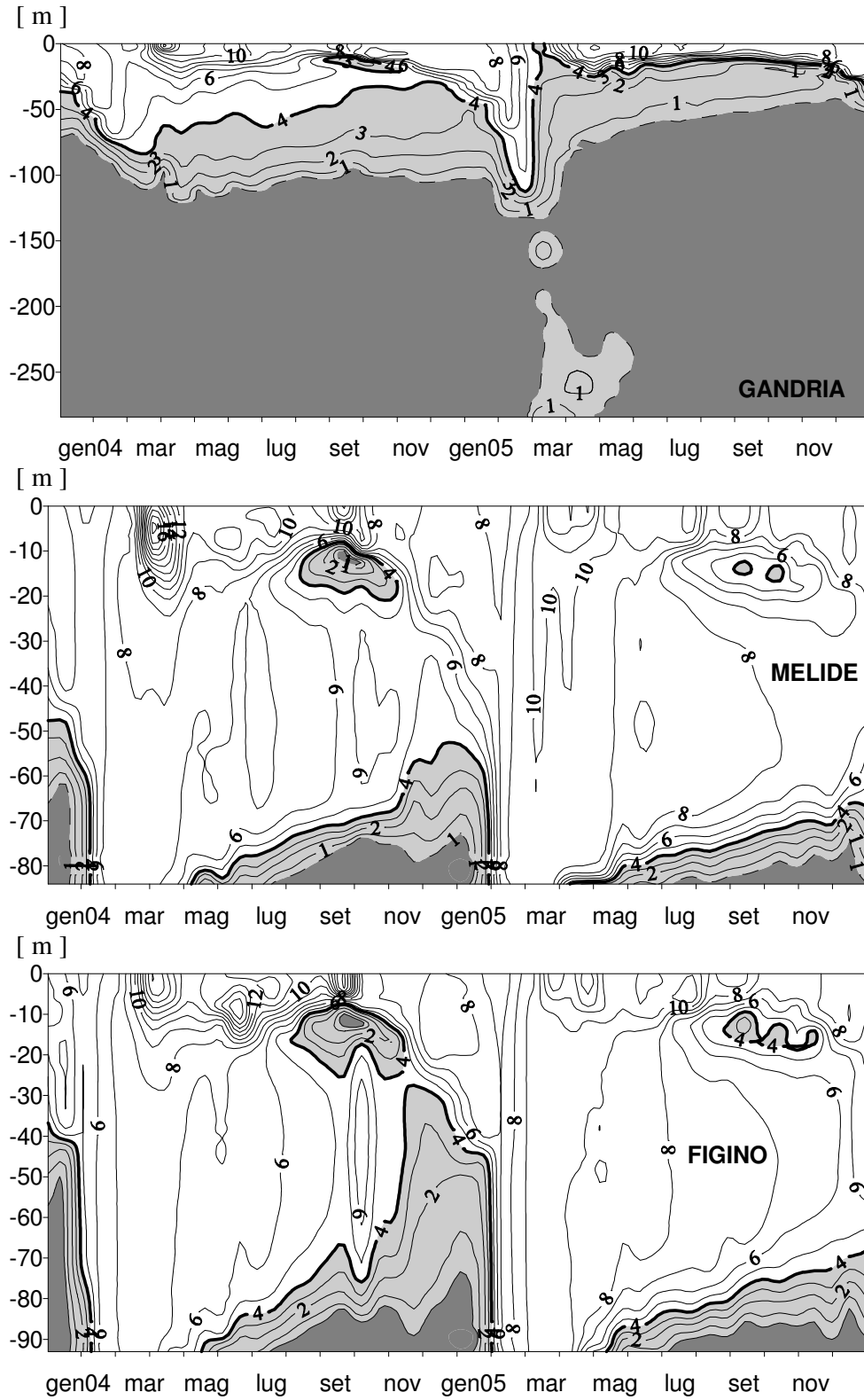


Fig. 5.4. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato ogni metro con la sonda multiparametrica [g m^{-3}].

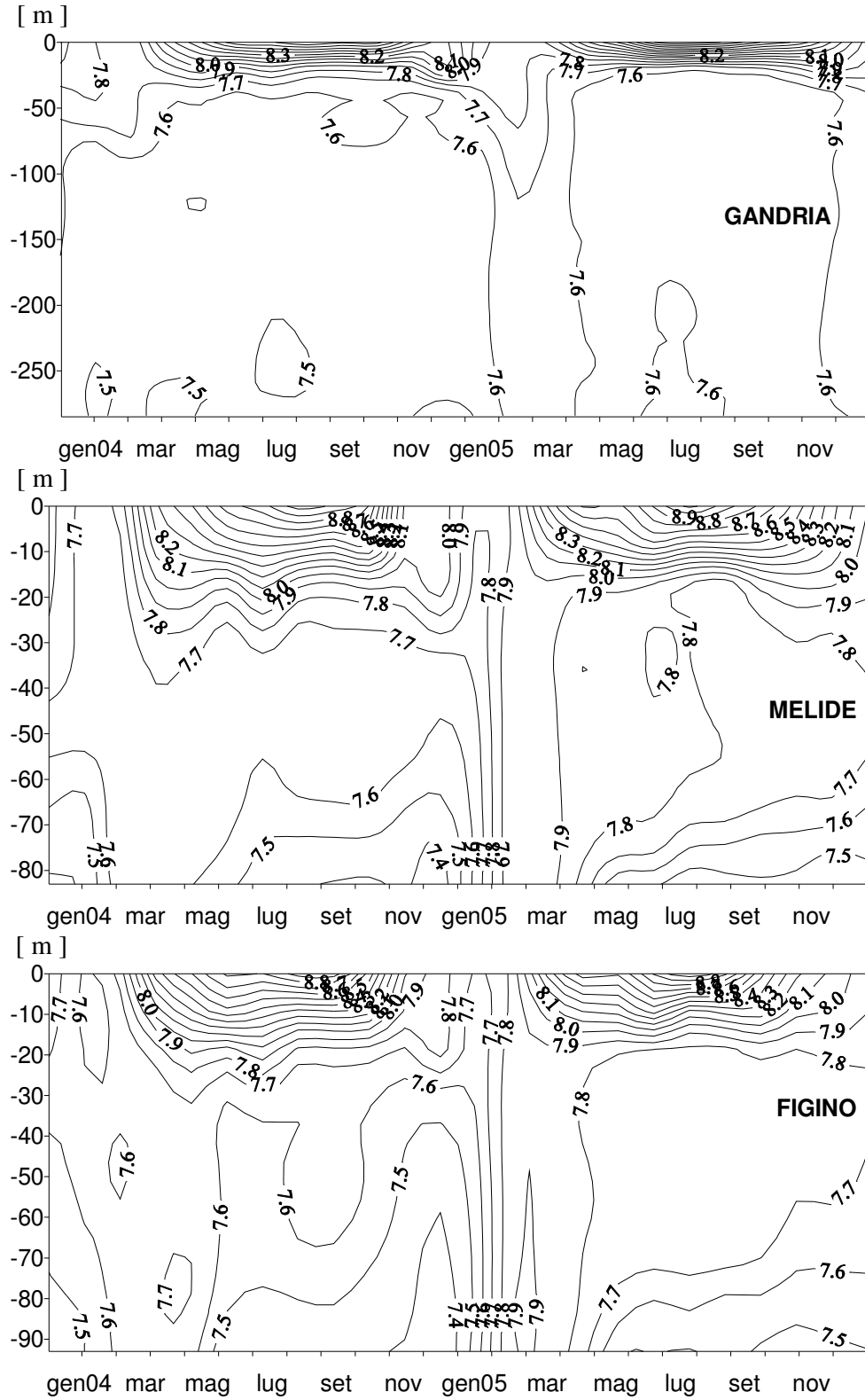


Fig. 5.5.1. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento del valore pH.

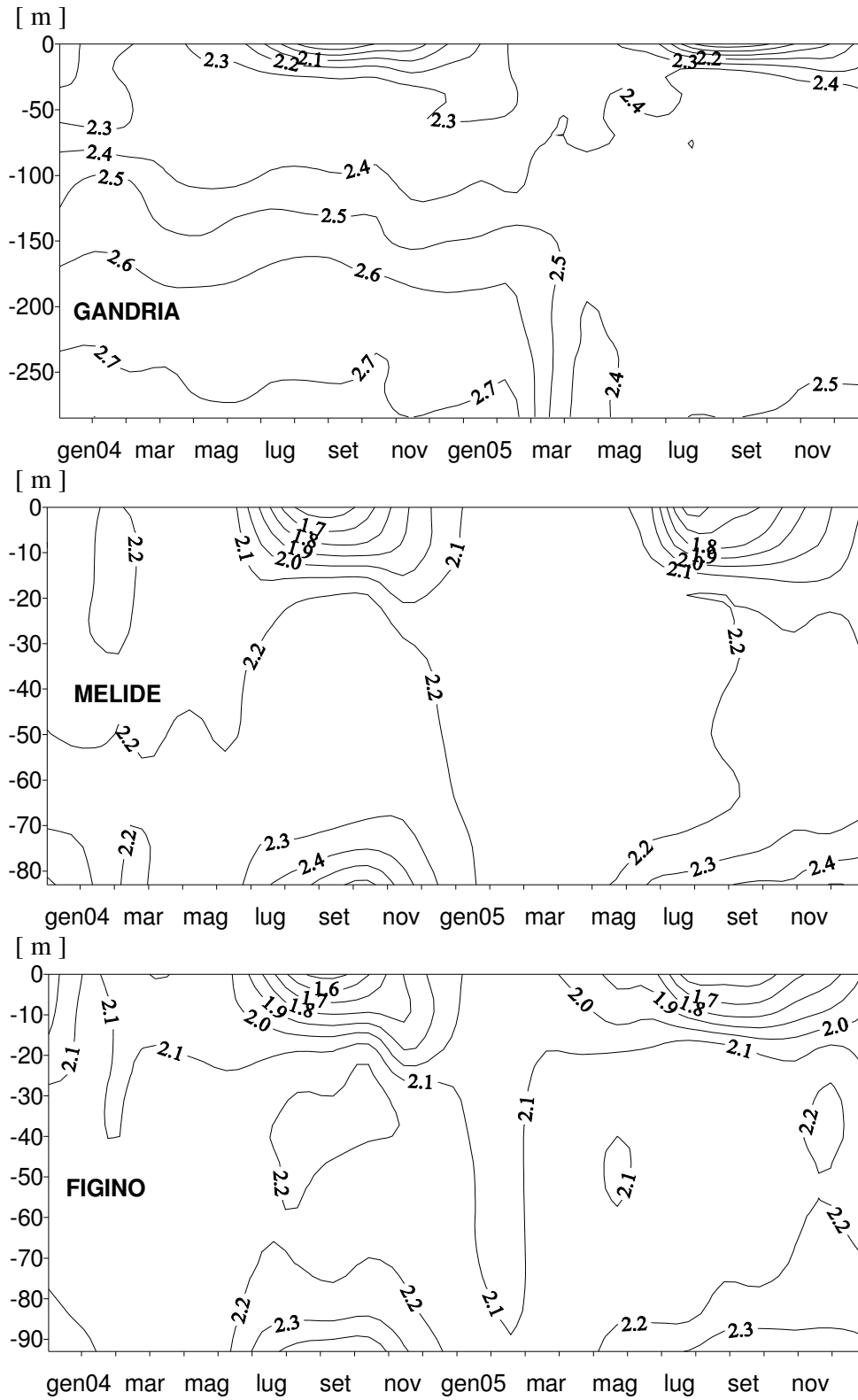


Fig. 5.5.2. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento dell'alcalinità [eq m^{-3}].

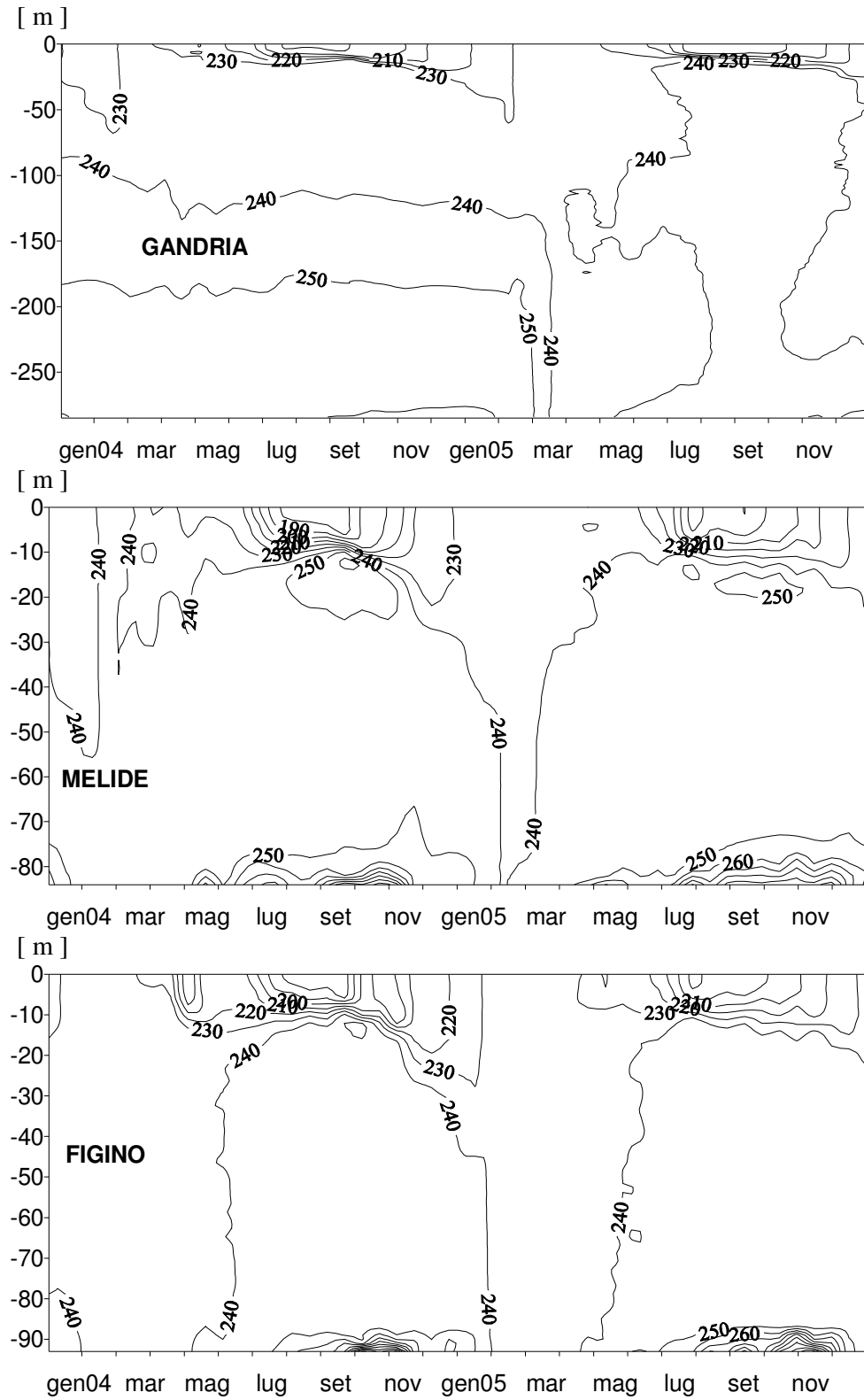


Fig. 5.6. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento della conducibilità elettrica misurata con la sonda multiparametrica [$\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C].

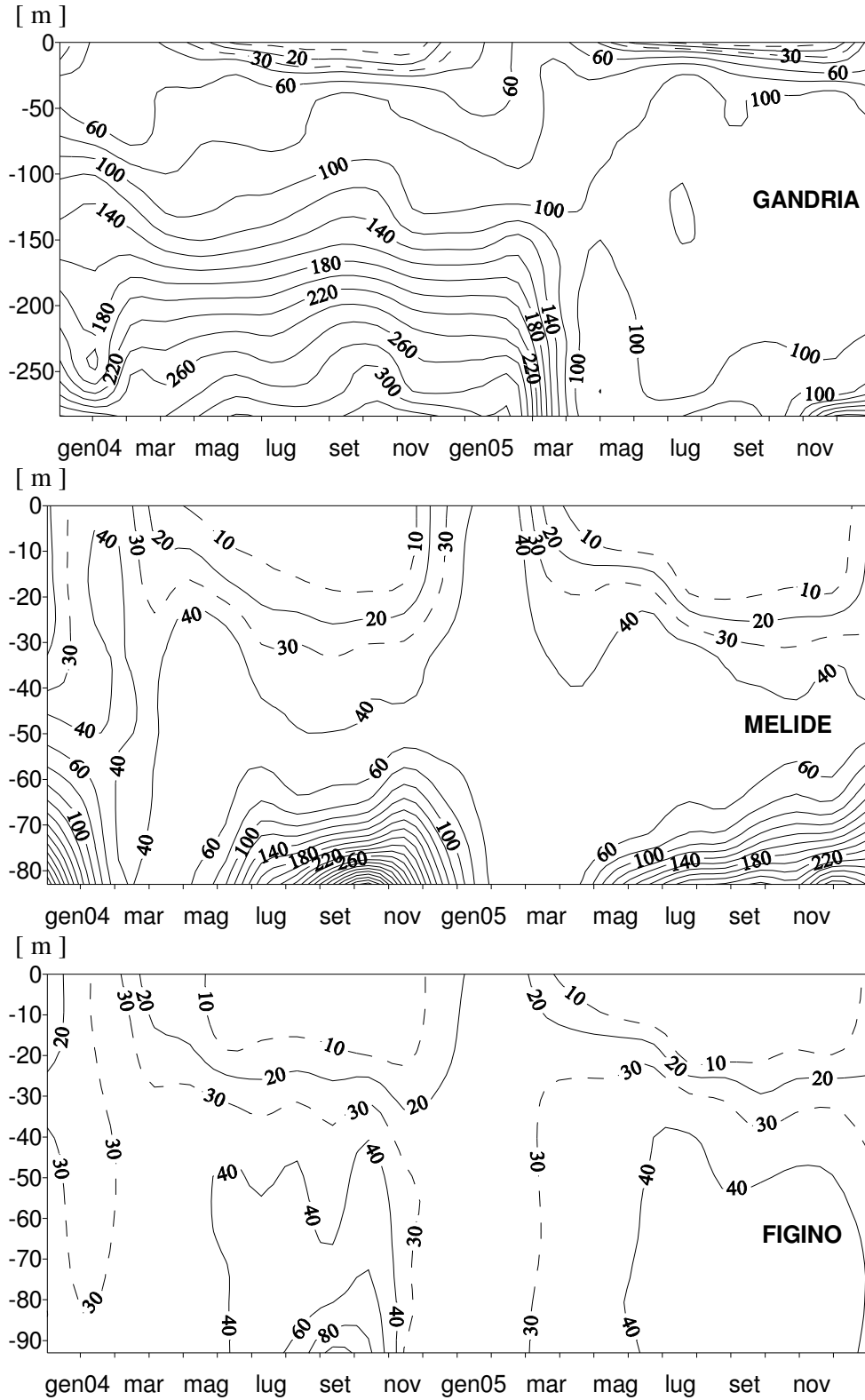


Fig. 5.7.1. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento del fosforo ortofosfato [mg P m^{-3}].

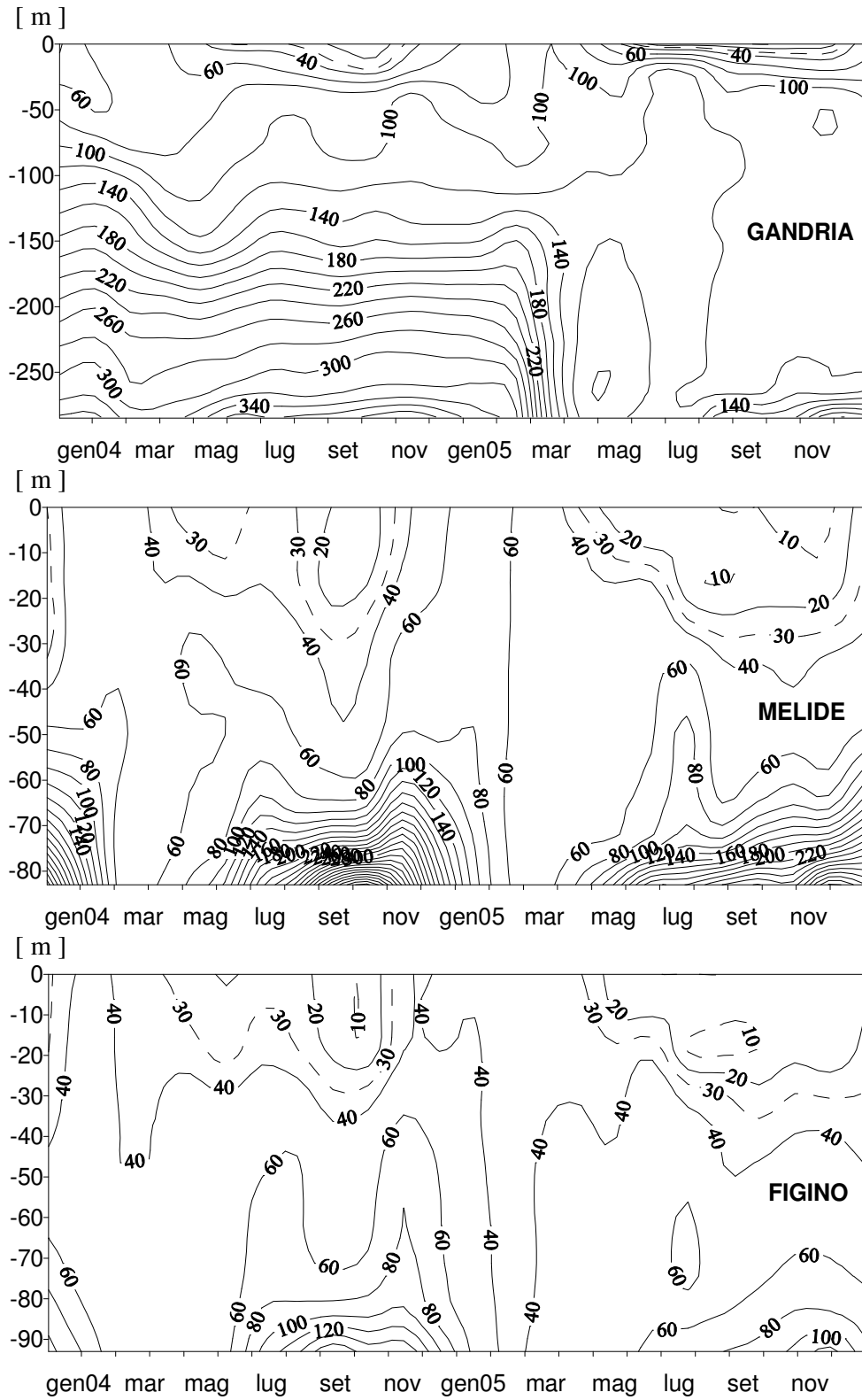


Fig. 5.7.2. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento del fosforo totale [mg P m^{-3}].

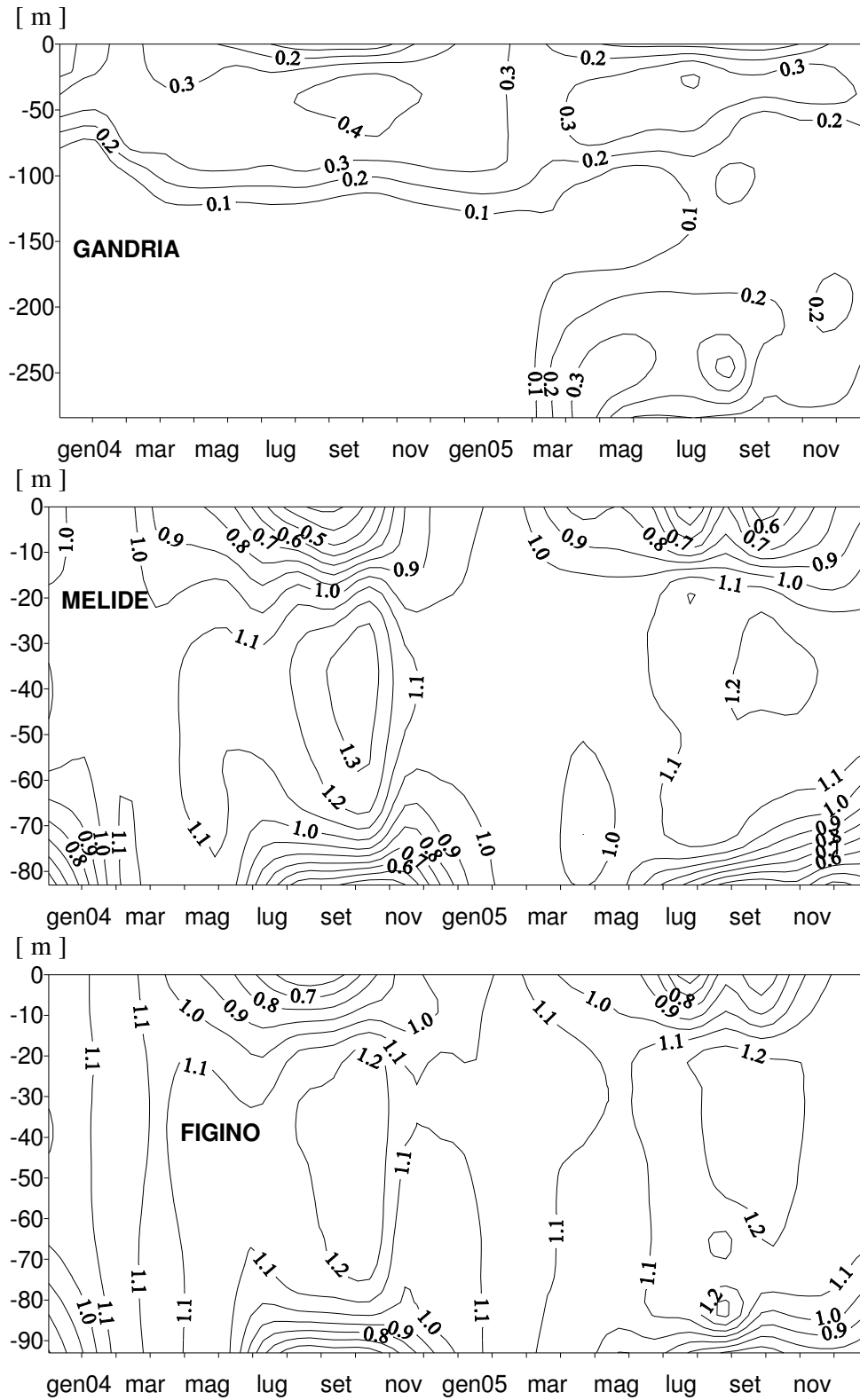


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento dell'azoto nitrico [g N m^{-3}].

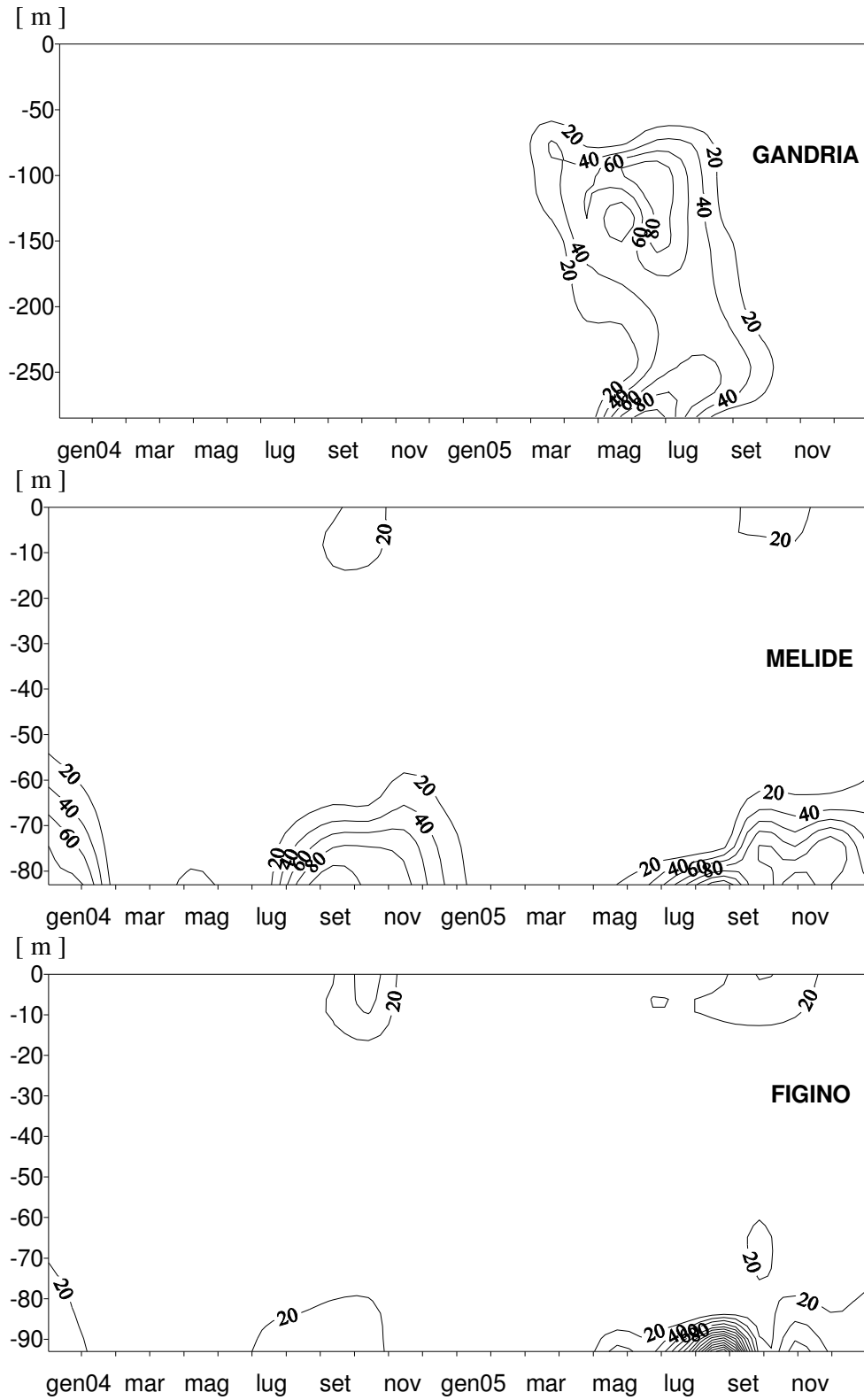


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento dell'azoto nitroso [mg N m^{-3}].

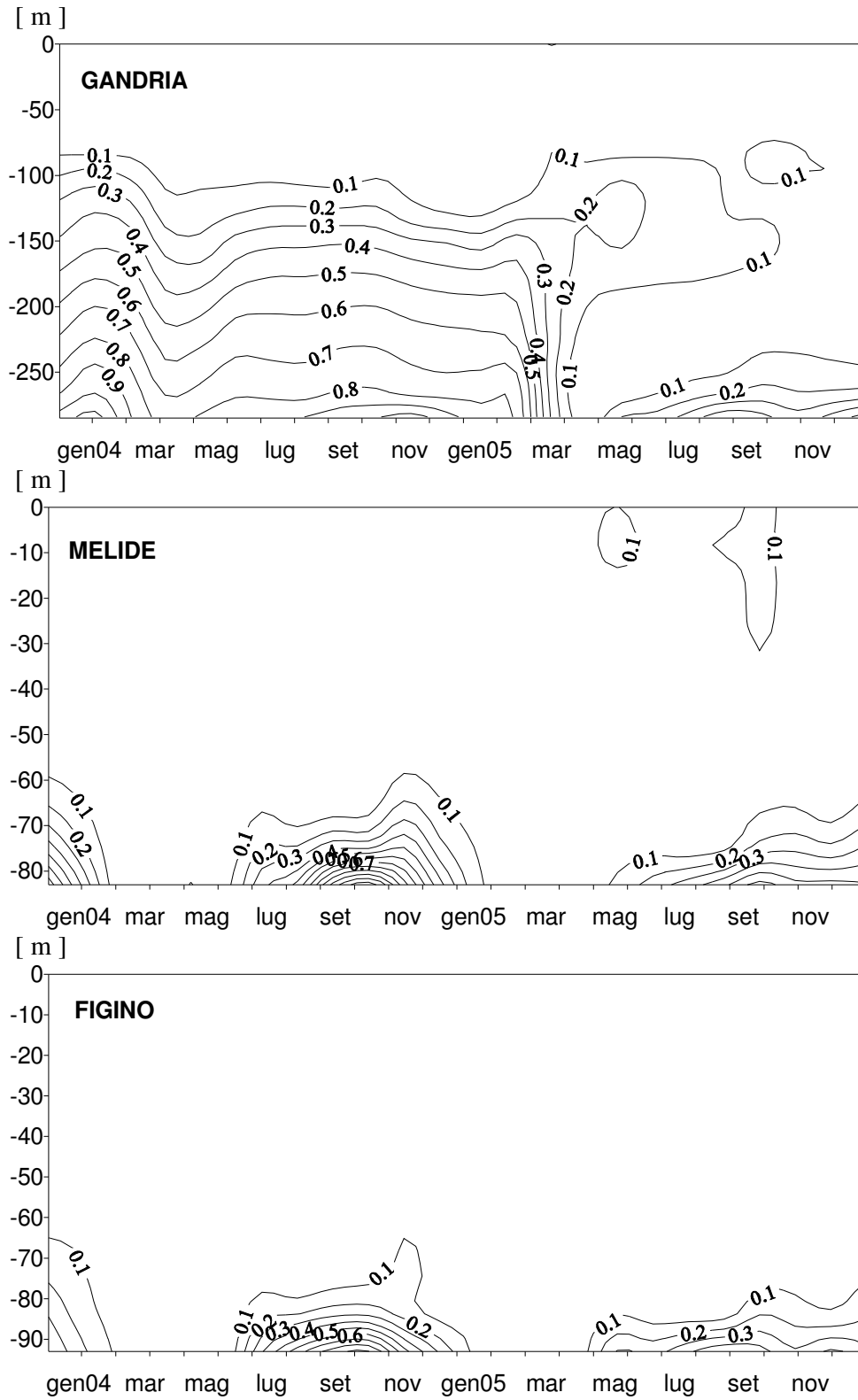


Fig. 5.8.3. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m^{-3}].

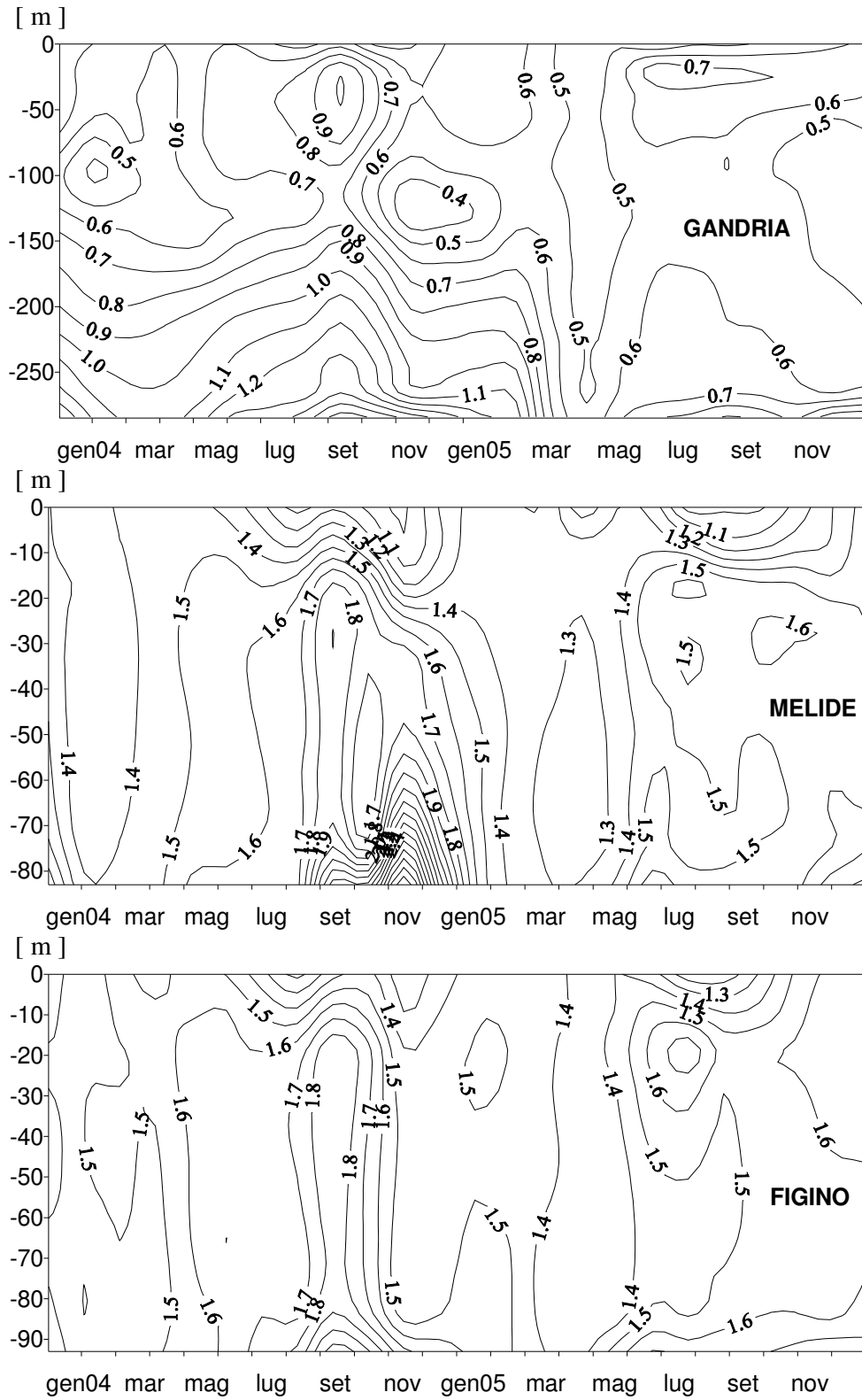


Fig. 5.8.4. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento dell'azoto totale [g N m^{-3}].

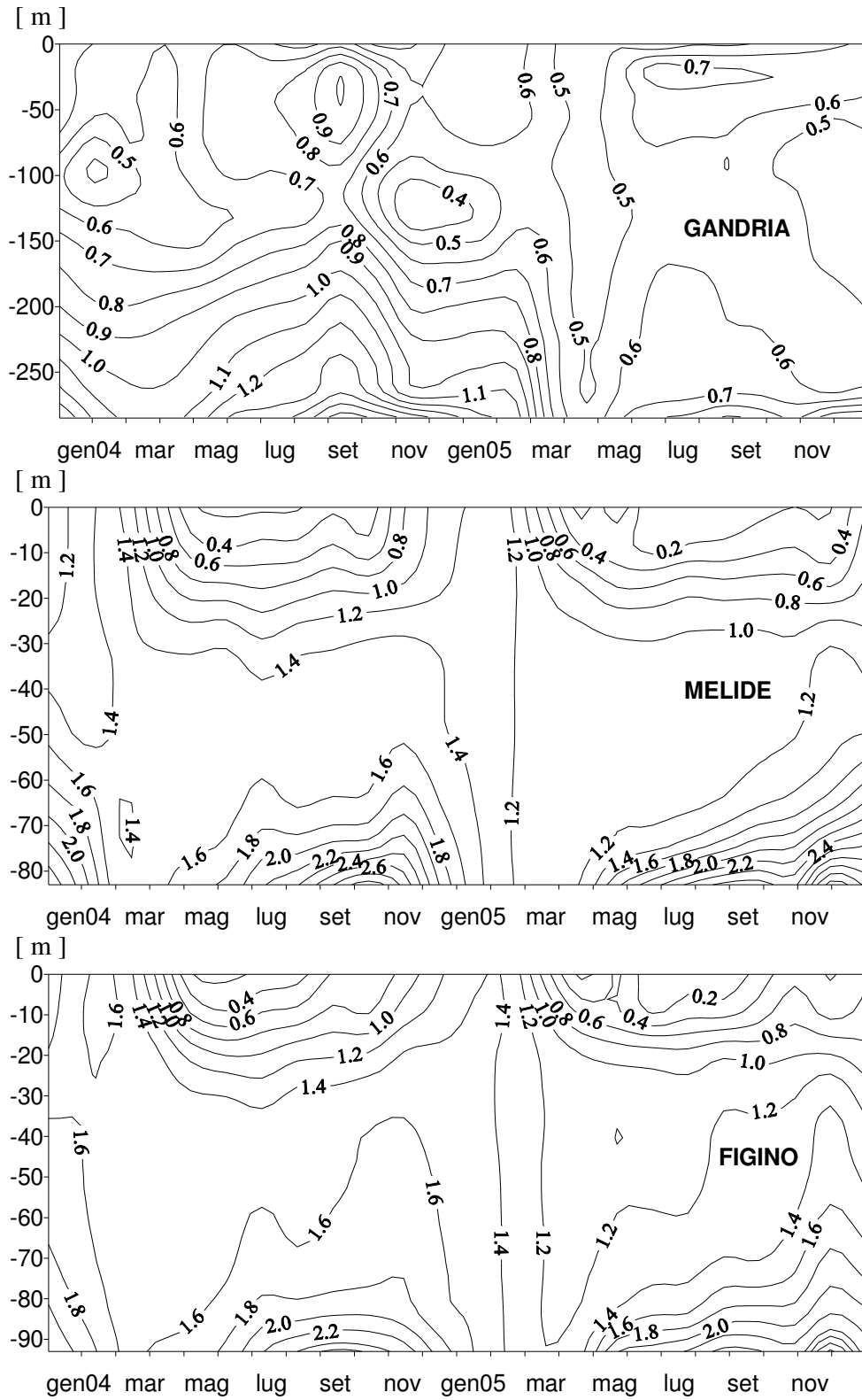


Fig. 5.9. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento dei silicati reattivi [g Si m^{-3}].

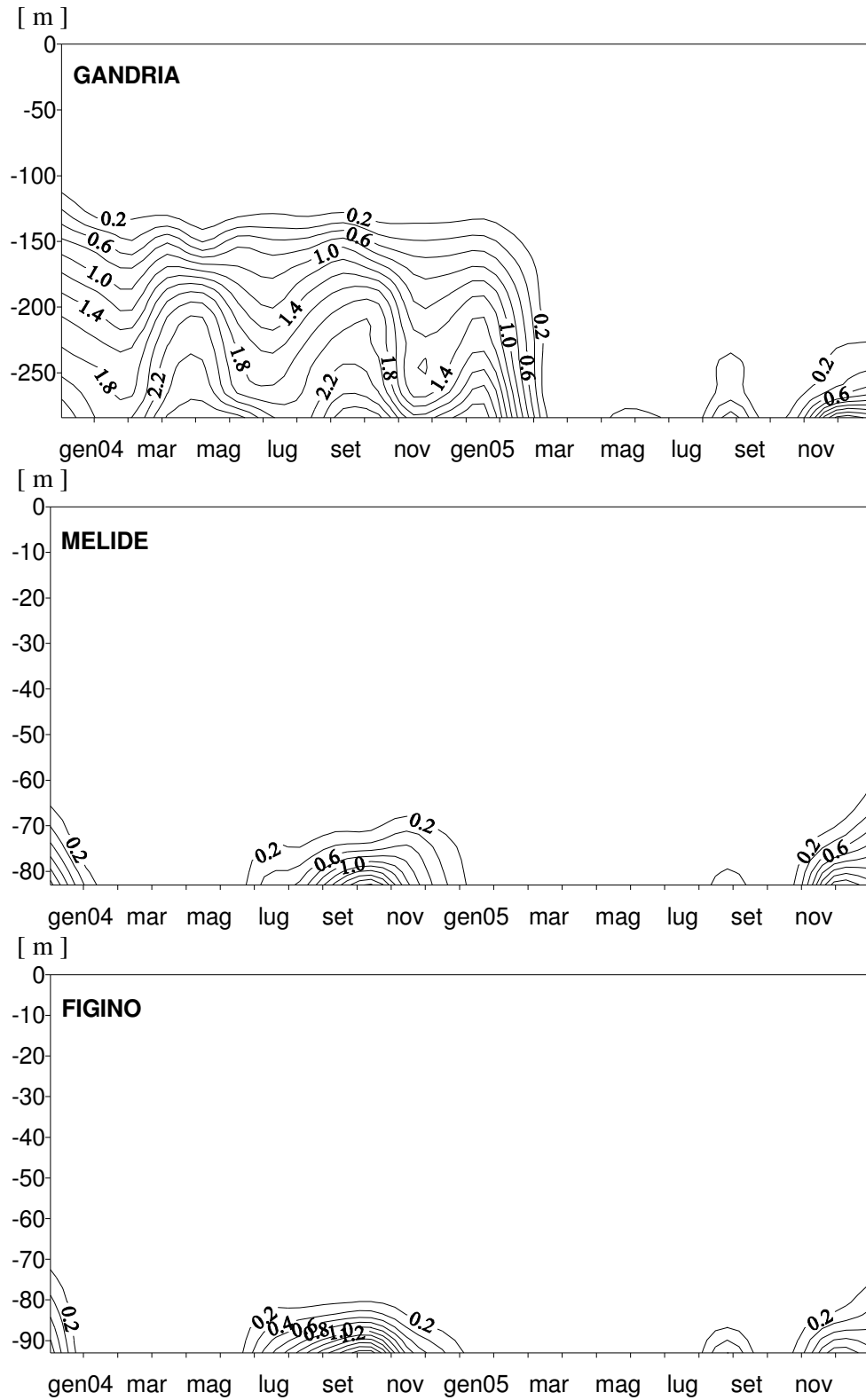


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento del metano [g m^{-3}].

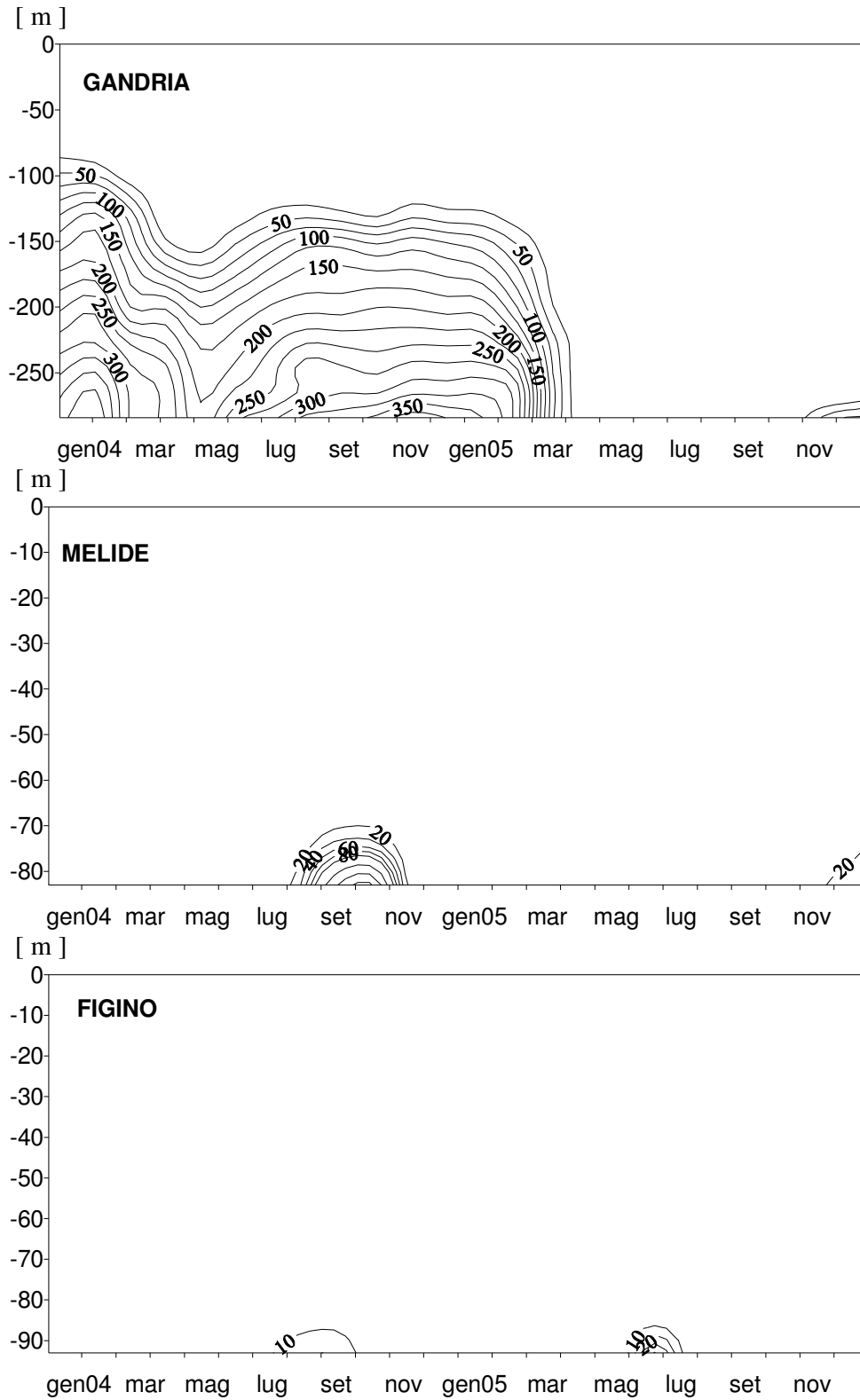


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento del solfuro [mg m^{-3}].

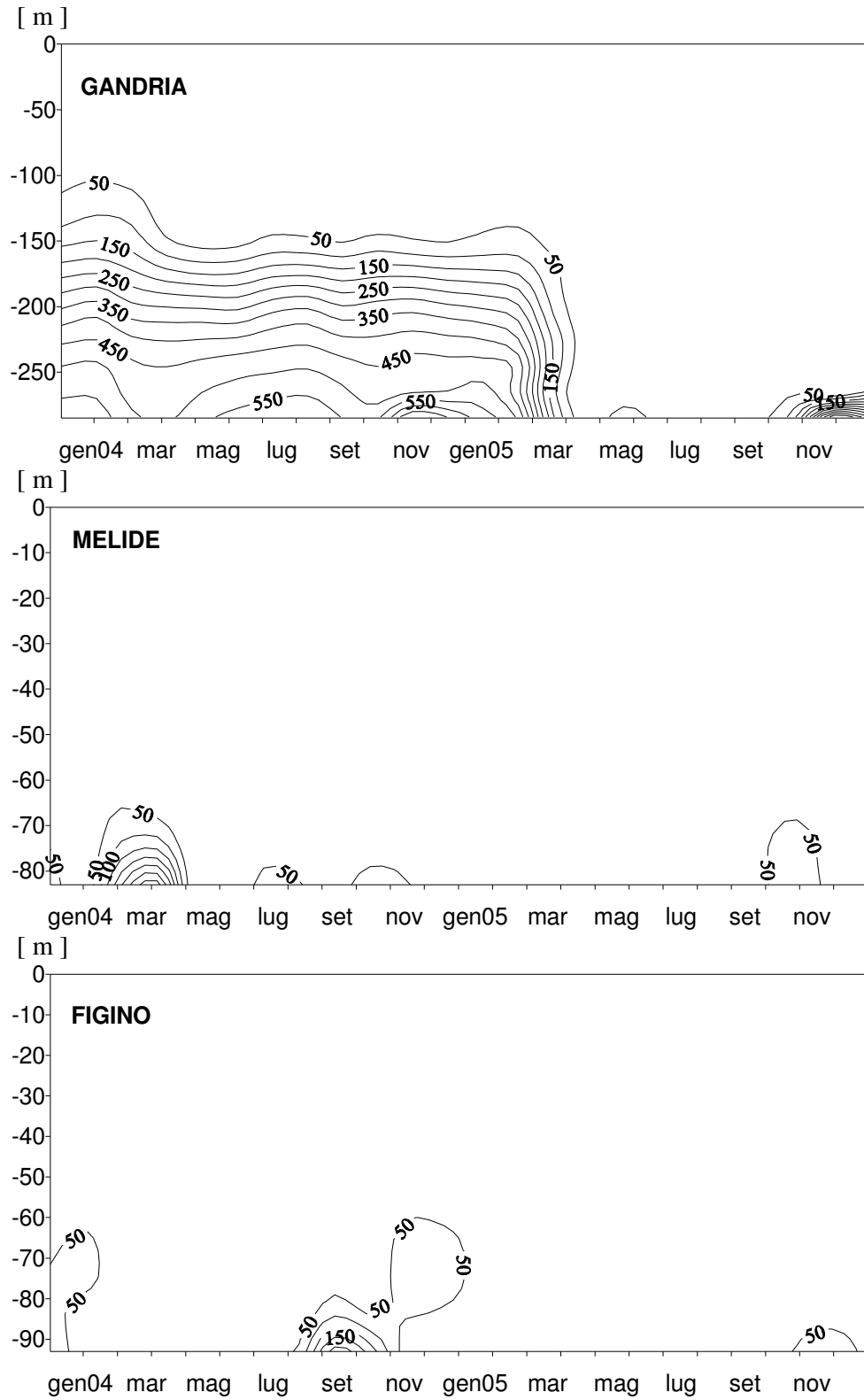


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento del ferro disciolto [mg m^{-3}].

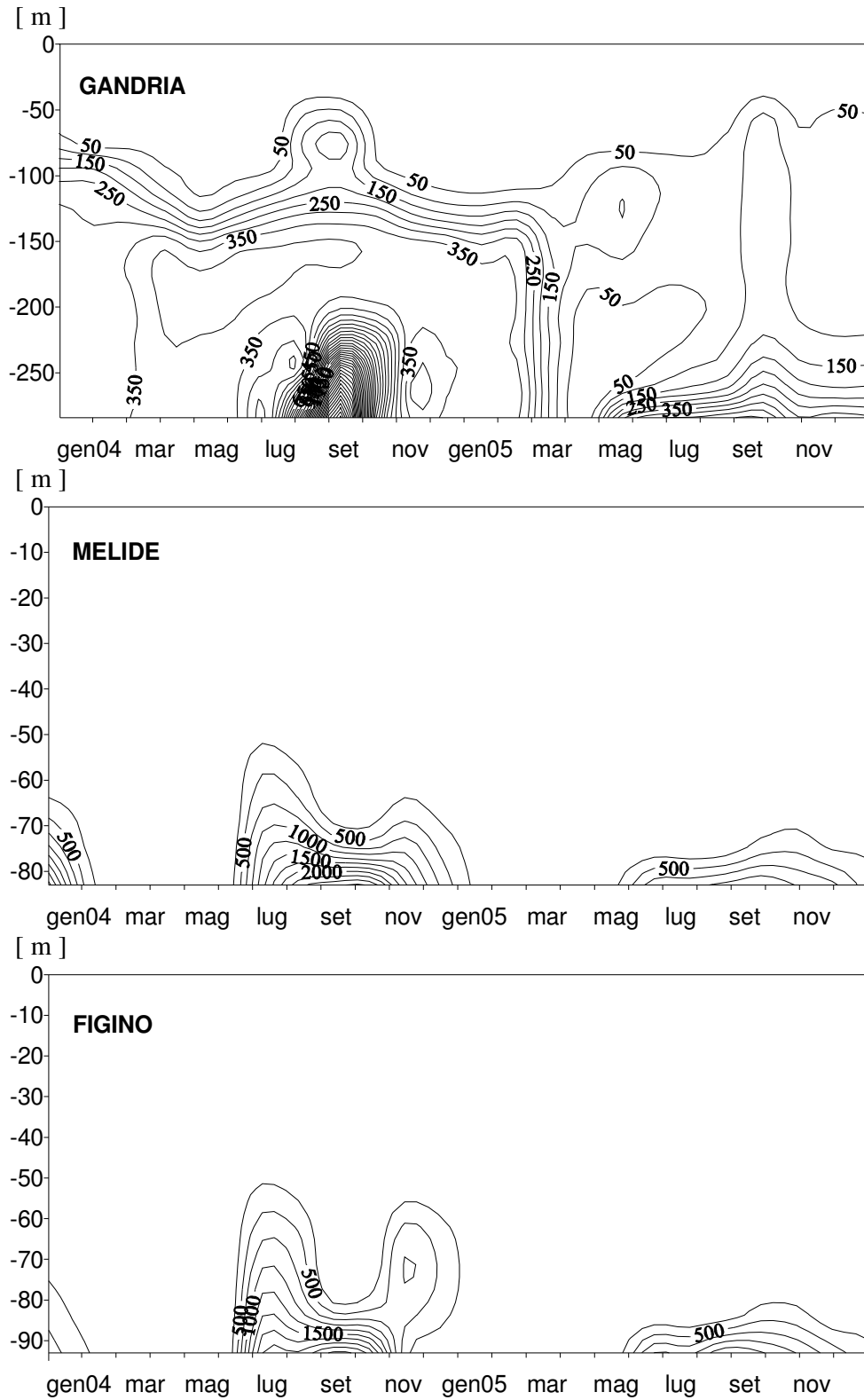


Fig. 5.13. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento del manganese disciolto [mg m^{-3}].

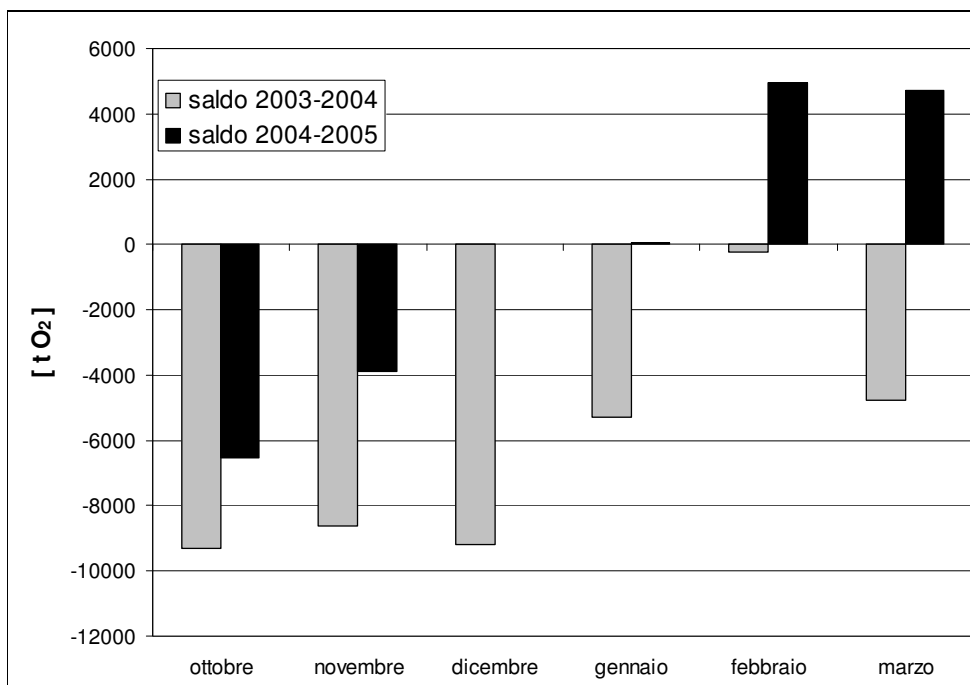


Fig. 5.14.1. Lago di Lugano, bacino nord: bilancio mensile del contenuto d'ossigeno.

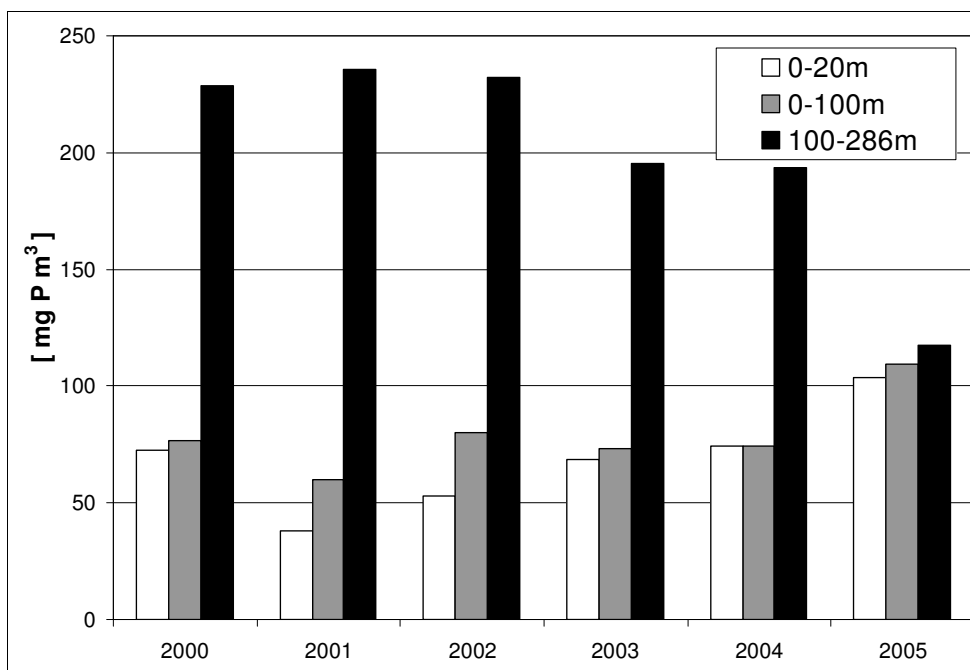


Fig. 5.14.2. Lago di Lugano, bacino nord: concentrazioni di fosforo durante la fase di massima circolazione.

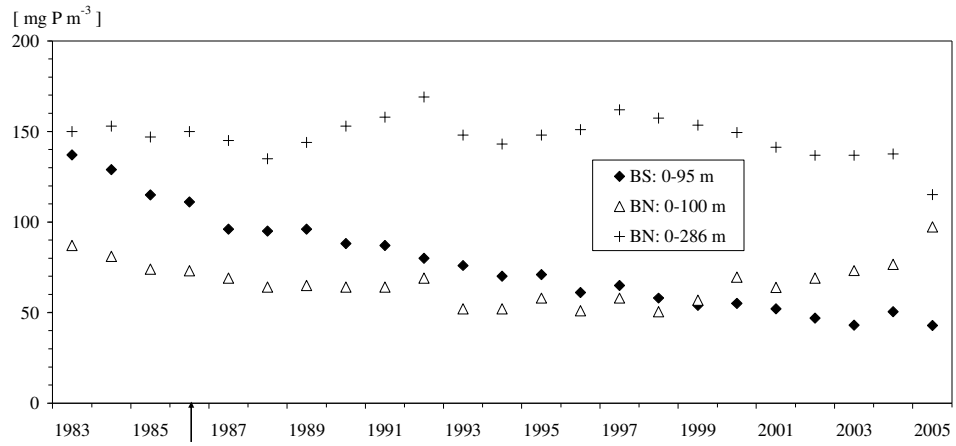


Fig. 5.15. Lago di Lugano, 1983-2005: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud (BS) ed in differenti strati del bacino nord (BN).
La freccia indica l'anno d'entrata in vigore del bando dei fosfati dai detersivi.

6. INDAGINI SUL FITOPLANCTON

6.1. Struttura dei popolamenti

Nel corso del biennio 2004-2005 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 risultano ancor più evidenti per gli effetti della circolazione invernale 2004-05 sulla colonna d'acqua del bacino nord.

L'andamento generale del 2004 è stato contraddistinto da un marcato inizio tardivo della fase di sviluppo primaverile, dovuto alle sfavorevoli condizioni d'irraggiamento solare durante il mese di marzo: elevati valori di densità si osservano perciò solo a partire da aprile, grazie al contributo dapprima delle diatomee e criptoficee, ed in seguito, superata la fase di chiarificazione delle acque in maggio, delle cianoficee filamentose. Le cloroficee, normalmente abbondanti nel plancton estivo, hanno raggiunto densità di rilievo solo a partire da settembre, mentre le coniugatoficee hanno avuto una punta di sviluppo in ottobre, soprattutto nel bacino nord.

Per quanto riguarda il 2005, nel bacino sud la successione dei popolamenti algali è avvenuta seguendo uno schema abbastanza tradizionale (inverno con diatomee pennali, punta primaverile con diatomee centriche e criptoficee, estate con cloroficee e cianoficee filamentose); i valori di densità sono rimasti generalmente contenuti, fatta eccezione per le cianoficee filamentose estive. Nel bacino nord, invece, sono evidenti gli effetti provocati dall'eccezionale rimescolamento invernale sulla biocenosi fitoplanctonica: di fatto lo sprofondamento delle masse d'acqua superficiali fin sul fondo ha portato alla redistribuzione degli organismi presenti nella zona trofoga lungo l'intera colonna d'acqua, e di conseguenza ad una loro diluizione negli strati superficiali. In questo bacino, pertanto, la fase di sviluppo primaverile delle diatomee si è manifestata con circa 15 giorni di ritardo rispetto al resto del lago; vi è inoltre da sottolineare come l'elevato apporto interno di nutrienti dagli strati profondi abbia favorito la crescita delle specie algali componenti la biocenosi, sia estiva (clorococchi e cianoficee filamentose) sia autunnale (coniugatoficee e cloroficee filamentose).

Dall'analisi dei principali gruppi tassonomici risulta che le **cianoficee** sono risultate generalmente più abbondanti nel bacino sud che in quello nord, ed in particolare a Figino. Fra le specie filamentose è risultata predominante *Aphanizomenon flos-aquae*, sia nel 2004 (giugno: 6-20 milioni di cellule l^{-1}) che nel 2005 (luglio: 27-35 milioni di cellule l^{-1}), mentre *Planktothrix rubescens* ha raggiunto un discreto sviluppo unicamente nel bacino sud (giugno-luglio 2004 e ottobre 2005: 16-20 milioni di cellule l^{-1}). Per quanto riguarda le principali specie coccali, nel 2004 vi è da segnalare *Snowella lacustris* (giugno-luglio: 1-3 milioni di cellule l^{-1}), mentre nel 2005 *Chroococcus limneticus*, più abbondante nel bacino nord (agosto: 0.1-1 milione di cellule l^{-1}).

Come di consueto, le **diatomee** hanno presentato la loro principale fase sviluppo all'inizio del periodo vegetativo: i valori di densità più elevati sono stati raggiunti da *Stephanodiscus parvus*, specie centrica di piccole dimensioni, risultata più abbondante a Gandria nel 2004 (16 milioni di cellule l^{-1}), ed a Melide (16 milioni di cellule l^{-1}) e Figino (11 milioni di cellule l^{-1}) nel 2005. Fra le diatomee pennate si segnalano in particolare specie coloniali quali *Fragilaria crotonensis* (con massimi attorno a 1-2 milioni di cellule l^{-1}) ed *Asterionella formosa* (2-3 milioni di cellule l^{-1}), nel bacino sud entrambi abbondanti anche nel periodo invernale 2004-2005.

Tra le **cloroficee** hanno fatto registrare livelli di densità di rilievo unicamente le clorococchi coloniali *Sphaerocystis schraeteri* e *Cælastrum polychordum*: i massimi del 2004 (attorno a 4 milioni di cellule l^{-1}) sono stati raggiunti in settembre, quelli del 2005 in luglio-agosto (attorno a 1 milione di cellule l^{-1}). Le cloroficee filamentose hanno presentato una consistente fase sviluppo in ottobre, con *Oedogonium sp.*, ma limitatamente al bacino nord.

Per quanto riguarda le **coniugatoficee**, vi è senz'altro da segnalare, nell'autunno del 2004, un eccezionale sviluppo di *Staurastrum pingue* (0.2 milioni di cellule l^{-1}), specie di elevate dimensioni cellulari, finora presente nel lago sempre in quantitativi molto più modesti; livelli di densità analoghi sono stati raggiunti dal popolamento di *Closterium acculare*, sviluppatosi nel bacino nord durante il mese di settembre del 2005.

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, contemporaneamente per tutte e tre le stazioni, in aprile del 2004 (3-6 milioni di cellule l^{-1}), ed in marzo del 2005 (1-4 milioni di cellule l^{-1}).

Per quanto concerne le **crisoficee**, le **peridinee** e le **xantoficee**, nessuna delle specie presenti ha evidenziato valori di densità degne di nota durante il periodo d'indagine.

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del biennio 2004-2005, 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.

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).

Tab. 6.1. Lago di Lugano, 2004-2005: sviluppo delle principali specie di fitoplancton strato 0-20 m (densità in 10^6 cellule l^{-1}).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
marzo 04	Ultraplancton (18.7)		
aprile 04	Stephanodiscus parvus (16.2) Rhodomonas (2.6) Fragilaria crotonensis (0.8) Alaucoseira islandica (0.6)	Stephanodiscus parvus (6.9) Rhodomonas (5.8) Fragilaria crotonensis (2.0) Alaucoseira islandica (0.3) Synedra acus (0.2)	Stephanodiscus parvus (5.5) Rhodomonas (3.2) Fragilaria crotonensis (1.3) Alaucoseira islandica (0.5) Synedra acus (0.1)
maggio 04	Asterionella formosa (0.2) Rhodomonas (1.5)	Asterionella formosa (0.6) Rhodomonas (0.7) Fragilaria crotonensis (0.6)	Asterionella formosa (1.9) Rhodomonas (1.8) Fragilaria crotonensis (3.0)
giugno 04	Aphanizomenon flos-aquae (7.5) Rhodomonas (1.2) Fragilaria crotonensis (1.4) Dictyosphaerium pulchellum (0.6)	Aphanizomenon flos-aquae (6.3) Rhodomonas (1.0) Fragilaria crotonensis (0.4) Dictyosphaerium pulchellum (0.1)	Planktothrix rubescens (20.5) Aphanizomenon flos-aquae (6.2) Rhodomonas (1.0) Fragilaria crotonensis (0.7)
luglio 04	Snowella lacustris (0.8) Phacotus lenticularis (0.2) Pandorina morum (0.2)	Planktothrix rubescens (16.0) Snowella lacustris (1.3) Phacotus lenticularis (0.2)	Planktothrix rubescens (16.9) Snowella lacustris (1.8) Phacotus lenticularis (0.2)
agosto 04	Phacotus lenticularis (0.2)	Oscillatoria limnetica (9.3) Snowella lacustris (2.7)	Oscillatoria limnetica (8.3) Snowella lacustris (3.0) Aphanizomenon flos-aquae (6.3) Sphaerocystis schræteri (0.4)
settembre 04	Cœlastrum polychordum (0.3) Sphaerocystis schræteri (4.4)	Cœlastrum polychordum (4.2) Sphaerocystis schræteri (0.5)	Cœlastrum polychordum (2.7) Sphaerocystis schræteri (0.6) Tetraëdron minimum (0.6)
ottobre 04	Staurastrum pingue (0.2) Sphaerocystis schræteri (0.4)	Cœlastrum polychordum (2.3) Fragilaria crotonensis (1.0) Sphaerocystis schræteri (0.3)	Staurastrum pingue (0.2)
novembre 04	Staurastrum pingue (0.1)		
gennaio 05		Asterionella formosa (0.8)	Asterionella formosa (1.6)
febbraio 05		Fragilaria crotonensis (0.5)	Fragilaria crotonensis (0.6)
marzo 05		Stephanodiscus parvus (16.8) Fragilaria crotonensis (0.6) Rhodomonas (1.7)	Stephanodiscus parvus (11.2) Fragilaria crotonensis (0.7) Rhodomonas (0.8)
aprile 05	Stephanodiscus parvus (6.9) Asterionella formosa (2.6) Rhodomonas (1.3) Cyclotella radiosa (0.1)	Asterionella formosa (0.2)	Cyclotella radiosa (0.2)
maggio 05			
giugno 05	Coenocystis sp. (7.5) Fragilaria crotonensis (0.4) Tabellaria fenestrata (0.2)	Coenocystis sp. (0.9) Fragilaria crotonensis (0.4) Tabellaria fenestrata (0.4) Rhodomonas (1.1) Ankyra juday (0.1)	Coenocystis sp. (0.2) Fragilaria crotonensis (1.0) Tabellaria fenestrata (0.6) Rhodomonas (0.8) Ankyra juday (0.3)
luglio 05	Aphanizomenon flos-aquae (34.6) Ankyra juday (0.9) Pandorina morum (0.1)	Aphanizomenon flos-aquae (26.6) Sphaerocystis schræteri (1.0)	Aphanizomenon flos-aquae (31.6) Sphaerocystis schræteri (1.0)
agosto 05	Chroococcus limneticus (1.9) Sphaerocystis schræteri (1.5) Phacotus lenticularis (0.2)	Chroococcus limneticus (0.3) Cœlastrum polychordum (0.6) Tetraëdron minimum (0.3) Phacotus lenticularis (0.1)	Chroococcus limneticus (0.1) Cœlastrum polychordum (0.7) Rhodomonas (1.0)
settembre 05	Closterium aciculare (0.2)	Cyclotella ocellata (0.2)	Cyclotella ocellata (0.4) Tetraëdron minimum (0.3)
ottobre 05	Oedogonium sp. (1.4) Fragilaria crotonensis (0.7)	Oedogonium sp. (0.1) Fragilaria crotonensis (0.1)	Planktothrix rubescens (15.8)
novembre 05	Tabellaria fenestrata (0.2)		Oedogonium sp. (0.2)
dicembre 05		Tabellaria fenestrata (0.6)	Tabellaria fenestrata (1.0)

La **biomassa media annua** presenta valori piuttosto omogenei fra tutte le stazioni campionate, sia nel 2004 (**Gandria: 1.1 g m⁻³; Melide: 1.2; Figino: 1.5**), sia nel 2005 (**Gandria: 1.3 g m⁻³; Melide: 1.2; Figino: 1.4**), e conferma una leggera tendenza all'aumento, per quanto riguarda il bacino sud, passando da Melide a Figino.

Nel bacino nord (**Gandria**) l'andamento stagionale dei due anni risulta abbastanza simile, ed è caratterizzato da un **massimo annuo** primaverile costituito prevalentemente da diatomee (**3.9 g m⁻³**), e da un'importante fase di sviluppo autunnale delle coniugatoficee. La punta di biomassa che si osserva nel corso del mese di luglio, ma unicamente nel 2005 (cianoficee filamentose), è da mettere presumibilmente in relazione con l'arricchimento di nutrienti nello strato trofogeno, provocato dall'eccezionale rimescolamento invernale della colonna d'acqua.

Le curve delle due stazioni del bacino sud (**Melide e Figino**) evidenziano invece un andamento differenziato, con punte di sviluppo primaverile, nettamente più elevate nel 2004 (rispettivamente **4.3 e 4.2 g m⁻³**) che nel 2005 (rispettivamente **2.8 e 2.0 g m⁻³**), e con il **massimo annuo** a Figino, nel 2005, ritardato al mese di giugno (**3.9 g m⁻³**). Anche per quanto riguarda la presenza autunnale delle coniugatoficee, valori di rilievo sono stati raggiunti unicamente nel corso del 2004, in particolare nella stazione di Figino. D'altra parte entrambe le stazioni hanno presentato, nel 2005, evidenti analogie per quanto riguarda l'andamento sia delle cianoficee estive sia delle diatomee tardo-autunnali.

Sotto l'aspetto della composizione percentuale della biomassa algale (valore medio annuo, Fig. 6.2.2.), le diatomee sono tornate a rappresentare la frazione più abbondante del fitoplancton lacustre dopo un biennio di predominio delle cianoficee: a Gandria con valori attorno al 27% (2004) e 26% (2005), e nel bacino sud addirittura con il 31-40% a Melide, ed il 34-50% a Figino.

La quota delle cianoficee si è assestata generalmente tra il 20% ed il 30%, fatta eccezione per il netto calo registrato a Gandria nel 2004 (10%); calo che, per contro, ha permesso alle peridinee (16%) ed alle coniugatoficee (20%), di raggiungere, in questa stazione i livelli percentuali più elevati dell'intero periodo d'osservazione.

Le coniugatoficee sono risultate relativamente abbondanti (5-10%) anche nel bacino sud durante il 2004, ma, a differenza del bacino nord, sono poi drasticamente diminuite nel corso dell'anno successivo (2-3%).

In entrambi gli anni considerati, le criptoficee hanno fornito un cospicuo contributo percentuale (Gandria: 13%; Melide 16-17%; Figino: 11-12%): è utile ricordare come questo gruppo algale rappresenti un'importante fonte di nutrimento per lo zooplancton erbivoro.

6.3. Clorofilla

Quale utile complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, anche nel corso del biennio 2004-2005 è stato analizzato il 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 permette di evidenziare meglio la stratificazione dei popolamenti algali (in particolare di cianoficcee) nell'epilimnio profondo (10-15 m) durante la fase di stagnazione estiva delle acque.

Come di consueto, l'inizio della stagione vegetativa coincide con la fase di maggior intensità nello sviluppo dei popolamenti algali: in questo periodo dell'anno sono state infatti misurate in tutte le stazioni le punte di concentrazione più elevate (nel 2004: a Gandria 39 mg m⁻³, a Melide 70 mg m⁻³, a Figino 54 mg m⁻³; nel 2005: a Gandria e Melide 31 mg m⁻³, a Figino 35 mg m⁻³). A motivo dello stato di rimescolamento della colonna d'acqua, e dell'elevata sedimentabilità delle specie presenti (diatomee), i valori si mantengono elevati in un'ampia fascia dello strato trofogeno.

Durante il periodo estivo la distribuzione dei valori presenta evidenti differenze fra i due bacini del lago. Mentre a Gandria essa risulta perlopiù omogenea lungo il profilo verticale, a Melide e Figino si osserva una tendenza alla stratificazione negli strati inferiori dell'epilimnio, dove vi è una miglior disponibilità di nutrienti per popolamenti algali adattatisi a condizioni di basso irraggiamento (cianoficcee): nel corso del mese di luglio, tra 6.5 e 8 m di profondità, sono state misurate punte di clorofilla di 26-31 mg m⁻³ (2004), ed a 23-27 mg m⁻³ (2005).

Nel bacino nord, il periodo autunnale è stato contraddistinto da una marcata ripresa delle concentrazioni di clorofilla nell'intero strato trofogeno, legata alla fase di sviluppo delle coniugatoficcee (cfr. 6.1.): nell'ottobre del 2004, in particolare, sono stati misurati valori molto elevati (30-32 mg m⁻³) dalla superficie fino a 12.5 m di profondità.

A titolo di confronto, nella figura 6.3.2. è riportato il dettaglio grafico (strato 0-20 m) delle isolinee relative all'andamento dell'assorbanza (cfr. paragrafo 5.2.): i dati di base sono stati rilevati con frequenza quindicinale, e con un intervallo di misura di 1 m. Questo parametro permette di rilevare la distribuzione lungo la colonna d'acqua del materiale particellato, e quindi anche della biomassa fitoplanctonica. Di fatto gli andamenti delle isolinee della clorofilla e dell'assorbanza presentano una buona corrispondenza in presenza di plancton di piccole dimensioni, e nel pieno della fase vegetativa (inizio aprile 2004 e 2005), mentre risultano in parte sfasate in presenza di popolamenti senescenti / detrito (Melide e Figino: fine aprile 2004; Melide: luglio 2004) o di specie di grosse dimensioni (Gandria: ottobre 2004; Figino: dicembre 2005).

- 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.

Le curve presentano un'elevata correlazione con i valori della biomassa fitoplanctonica, sia nel 2004 (0.86-0.94), sia nel 2005 (0.91-0.94). La punta di

sviluppo primaverile del fitoplancton è coincisa con il massimo annuo a Gandria unicamente nel 2005 (18 mg m^{-3}), a Melide in entrambi gli anni (21 e 15 mg m^{-3}) ed a Figino unicamente nel 2004 (18 mg m^{-3}). Per contro, a Gandria nel 2004 ed a Figino nel 2005 le punte più elevate sono state misurate in corrispondenza d'importanti fasi di sviluppo autunnali, costituiti da popolamenti rispettivamente di coniugatoficee (ottobre) e di diatomee (dicembre).

I **valori medi annui** di clorofilla sono risultati leggermente più elevati nel 2004 che nel 2005 (**Gandria: $6.8 / 5.9 \text{ mg m}^{-3}$, Melide: $7.2 / 6.5 \text{ mg m}^{-3}$, Figino: $7.6 / 7.5 \text{ mg m}^{-3}$**), e confermano il gradiente d'aumento del livello trofico lungo l'asse di deflusso del lago: tale tendenza

risulta ancora più evidente se si confrontano i valori di concentrazione della clorofilla presente nello strato produttivo, definito in base alla profondità di penetrazione subacquea dell'energia fotosintetica ($Z_{1\%}$; cfr. paragrafo 6.4.): a Gandria: 8.3 mg m^{-3} , a Melide: 9.4, a Figino: 10.4.

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 [9]. 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., per quanto si riferisce al periodo vegetativo l'irraggiamento è risultato nettamente inferiore alla media nei mesi di maggio e d'agosto del 2004, ed inoltre in marzo 2004 e settembre 2005, ma unicamente per la stazione di Melide. Misurazioni con valori di radiazione nettamente superiori alla media sono state effettuate occasionalmente nel corso del 2004 (in marzo, aprile ed ottobre a Gandria, in luglio a Melide, ed in luglio e settembre a Figino), e durante l'intero trimestre estivo del 2005. Tenendo conto dell'errore di stima legato al dato d'irraggiamento fotosintetico, il valore di produzione primaria può essere considerato sostanzialmente corretto in tutte le stazioni per quanto riguarda il 2004, mentre per il 2005 esso risulta sovrastimato a Melide (circa +10%), ed a Figino (circa +20%), e sottostimato a Gandria (ca. -5%).

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.

Fra i due anni considerati, i valori d'irraggiamento subacqueo presentano un diverso andamento nei due bacini lacustri: in quello nord (Gandria) si registrano minimi primaverili in aprile (0.9-1.1 m), massimi tra dicembre (2005: 19.1 m) e gennaio (2004: 23.1 m), ed un'importante fase di chiarificazione da grazing in maggio (14-17

m). Nelle stazioni del bacino sud l'escursione dei valori appare meno marcata: i minimi del 2004 si situano nel periodo primaverile (Melide 4.4 m; Figino 5.3 m), quelli del 2005 nel mese di luglio (8.2-9.3 m), mentre la massima penetrazione luminosa è risultata piuttosto modesta in entrambi gli anni (14-16 m).

In generale 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. Le differenze fra le tre stazioni risultano più marcate nel 2004 (Gandria: 13.3 m, Melide: 10.5 m, Figino: 9.8 m) rispetto al 2005 (Gandria: 13.3 m, Melide: 12.3 m, Figino: 11.0 m): all'origine di questo riavvicinamento dei valori vi è senz'altro anche il massiccio apporto interno di nutrienti algali nell'epilimnio del bacino nord, provocato dall'eccezionale rimescolamento invernale della colonna d'acqua.

- 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 biennio 2004-2005. 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.

Il primo contributo alla produzione primaria areale è fornito dalla fase di crescita primaverile delle diatomee (marzo-aprile), durante la quale la rata di produzione ha fatto registrare punte elevate, nel 2004 in tutte le stazioni ($1.6-1.9 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$), nel 2005 unicamente a Gandria ($1.4 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$). I massimi annui sono poi stati misurati nel corso dell'estate, a Gandria sempre in giugno ($2.0-2.5 \text{ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), nel bacino sud in luglio del 2004 (Melide: 2.4; Figino $1.9 \text{ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ed in giugno del 2005 (Melide: 2.3; Figino $2.2 \text{ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Complessivamente la **produzione areale annua** del **2004** è risultata abbastanza simile nelle tre stazioni di misura (**$305-330 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$**), mantenendosi sui livelli raggiunti negli ultimi anni. L'impennata generale dei valori annui registrata nel **2005** (**$380-400 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$**), rispecchia, almeno per quanto concerne le stazioni del bacino sud, le condizioni d'irraggiamento solare particolarmente favorevoli in cui sono state effettuate le misurazioni: applicando infatti un fattore di correzione, stimato sulla base del rapporto tra il valore giornaliero di radiazione fotosintetica medio mensile e quello della giornata di misura, il dato di produzione annua delle due stazioni di questo bacino scenderebbe attorno ai livelli consueti. Per la stazione di Gandria si tratta invece di un reale incremento della produzione annua, dal momento che, applicando il fattore di correzione indicato, il valore misurato risulterebbe addirittura leggermente sottostimato. Tale incremento è da mettere senz'altro in relazione con il processo d'eutrofizzazione interna innescato dalla straordinaria circolazione invernale 2004-2005, i cui effetti sono riscontrabili anche nell'andamento dei valori di produttività: nel bacino nord essi sono infatti aumentati da $31 \text{ g C m}^{-3} \text{a}^{-1}$ nel 2004 a $38 \text{ g C m}^{-3} \text{a}^{-1}$ nel 2005, mentre nel bacino sud sono calati da $39-42 \text{ g C m}^{-3} \text{a}^{-1}$ a $34-40 \text{ g C m}^{-3} \text{a}^{-1}$ nel 2005.

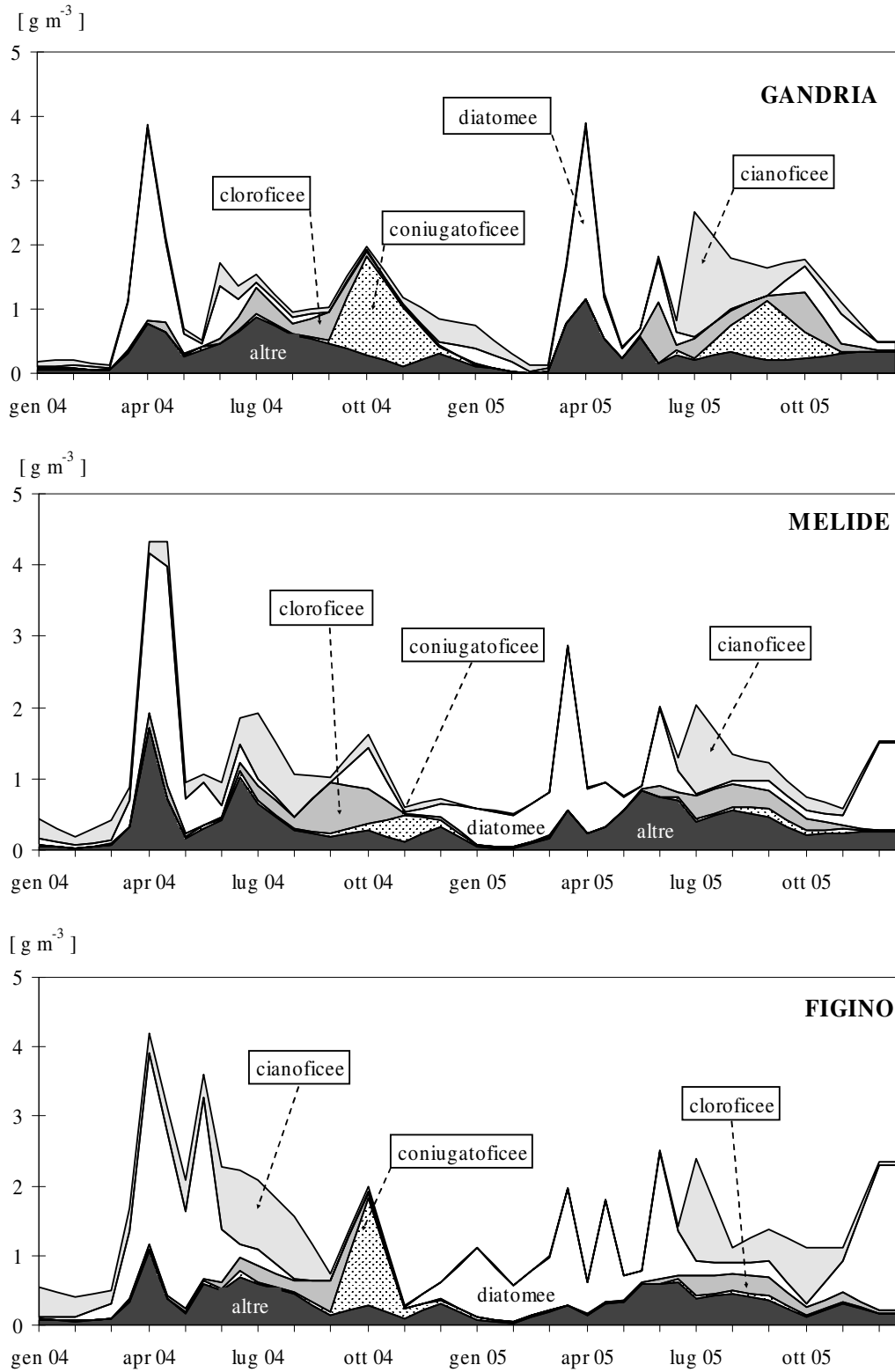


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2004-05: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

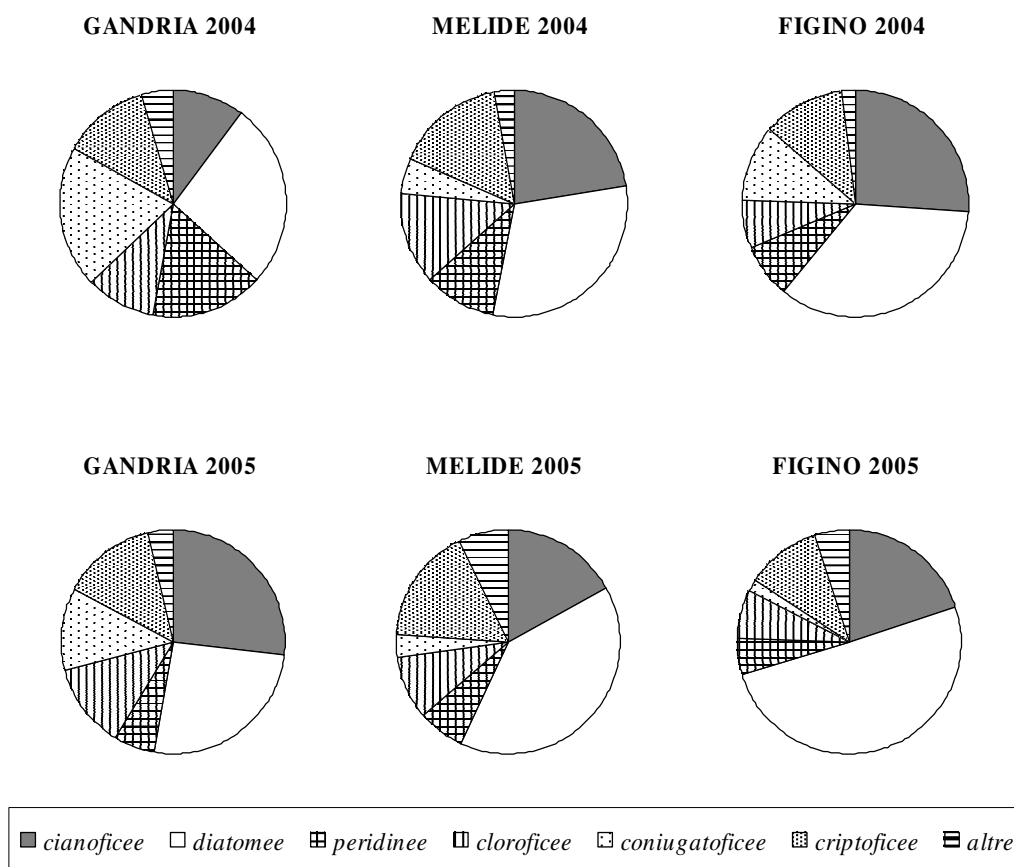


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2004-05: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.

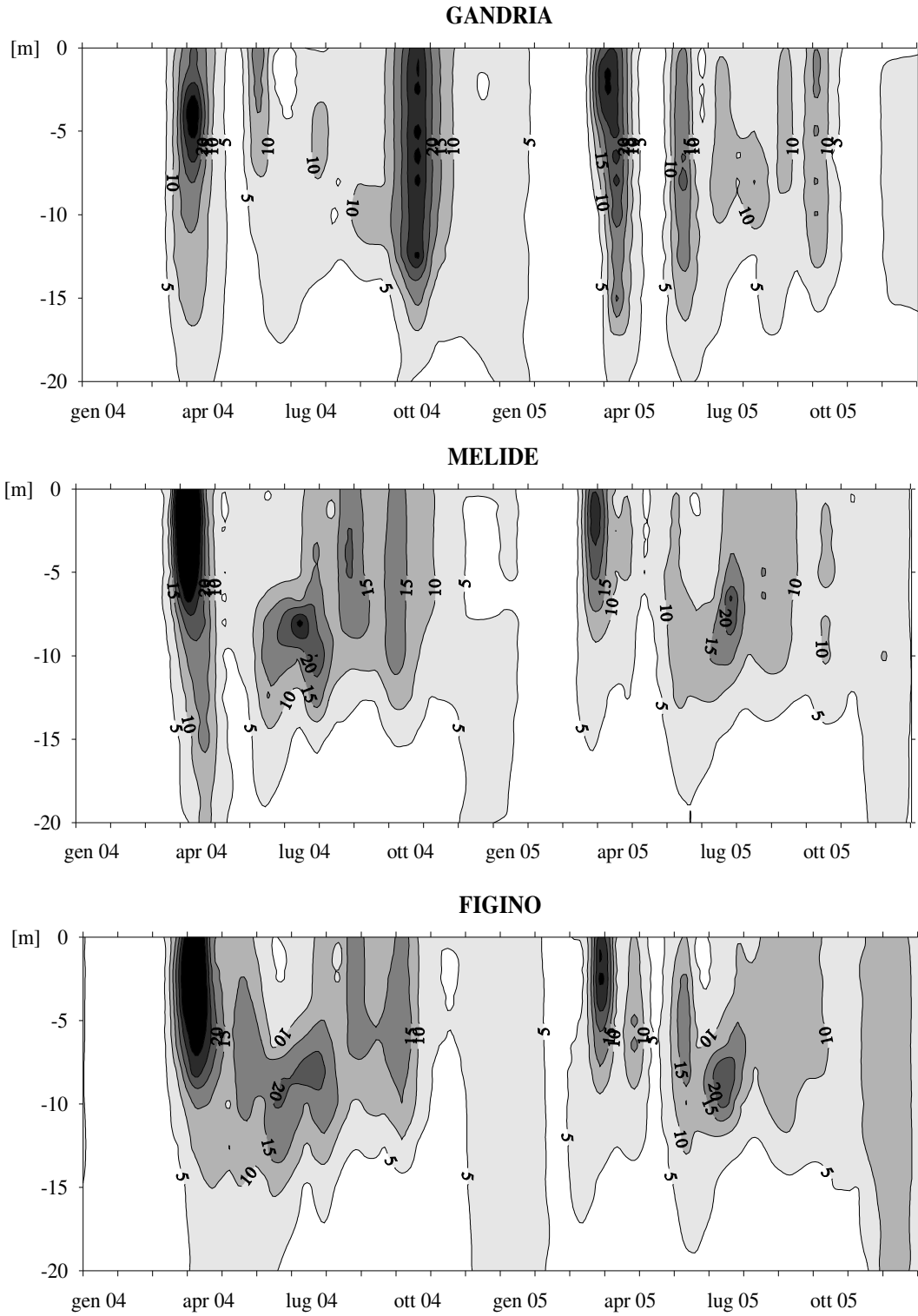


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2004-2005: isolinee della clorofilla *a* [mg m^{-3}]

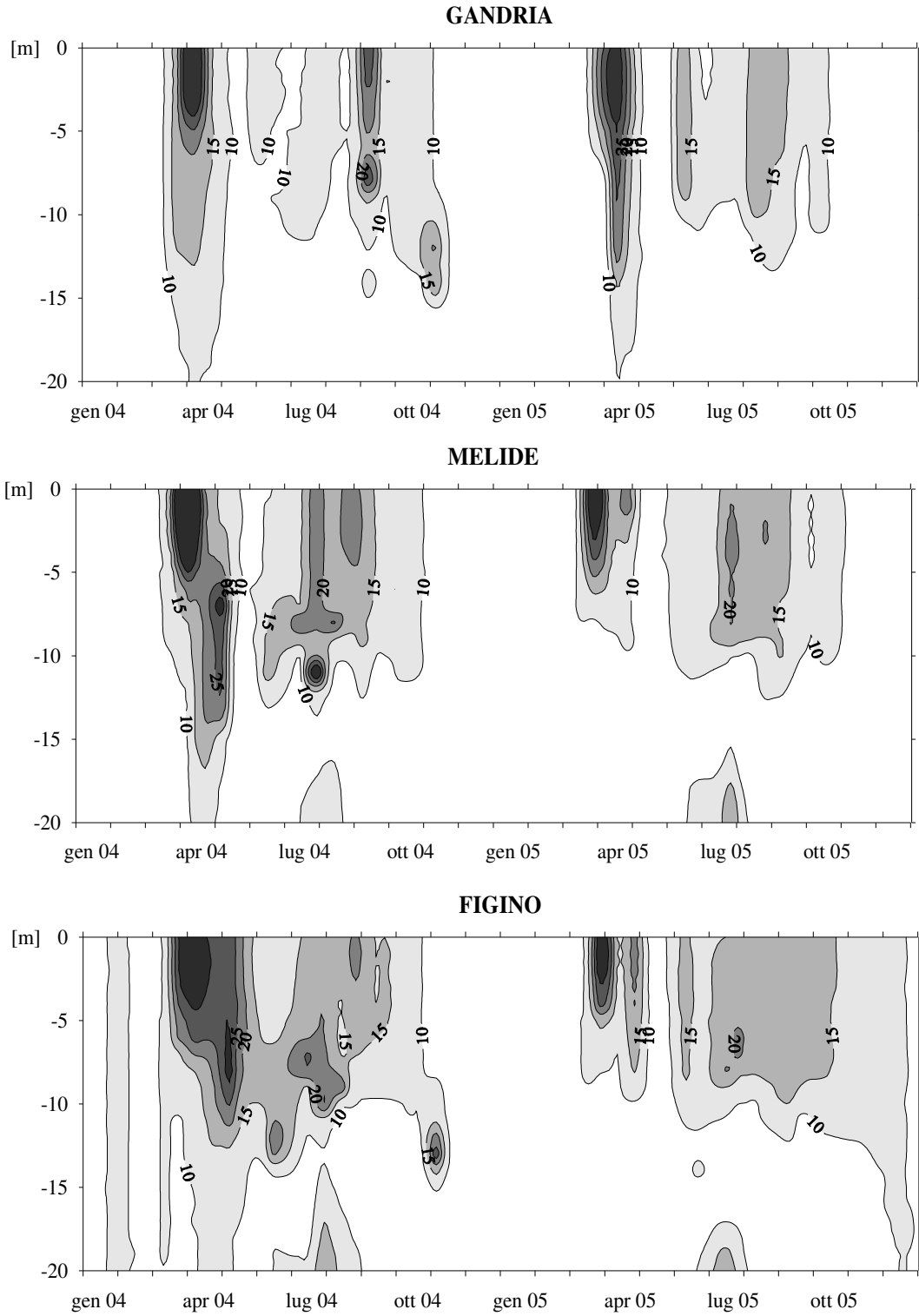


Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2004-2005: isolinee dell'assorbanza luminosa [%]

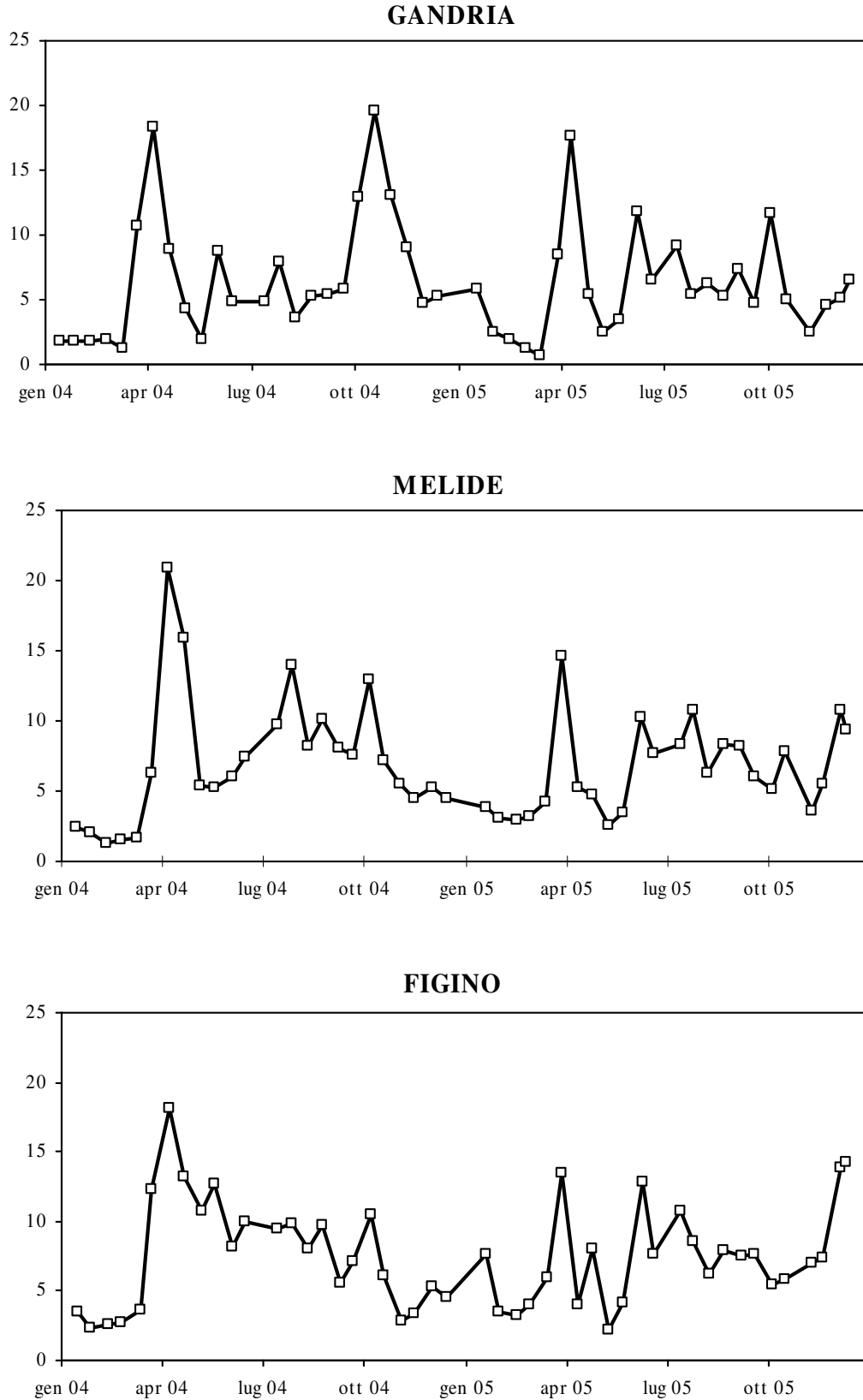


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento della clorofilla *a* nello strato 0-20 m.

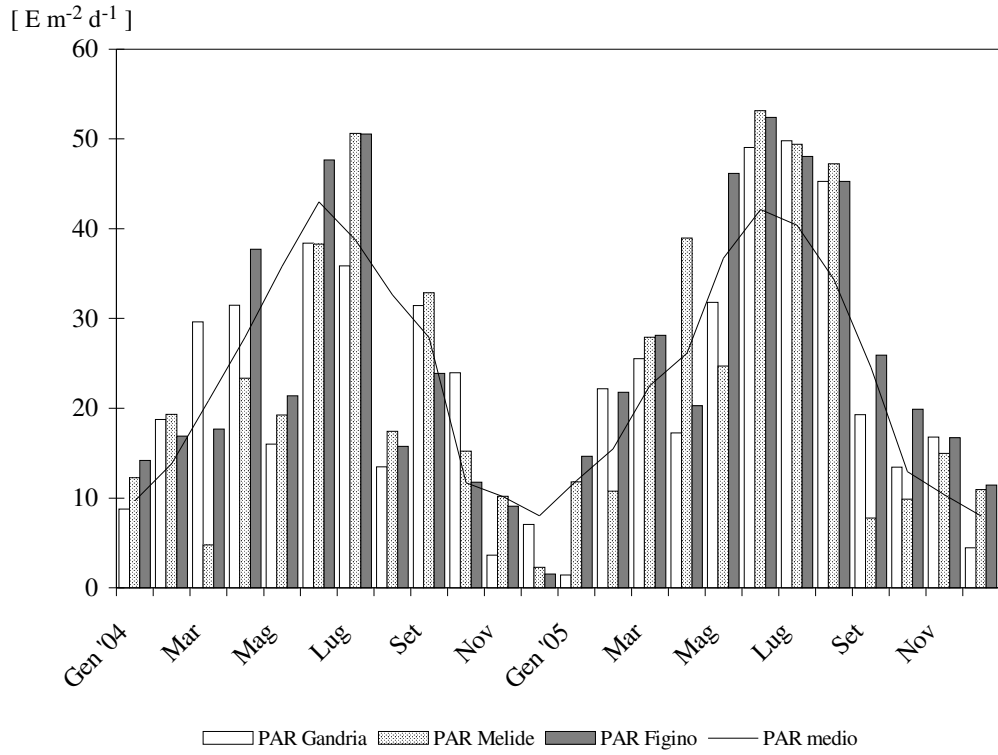


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2004-2005: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

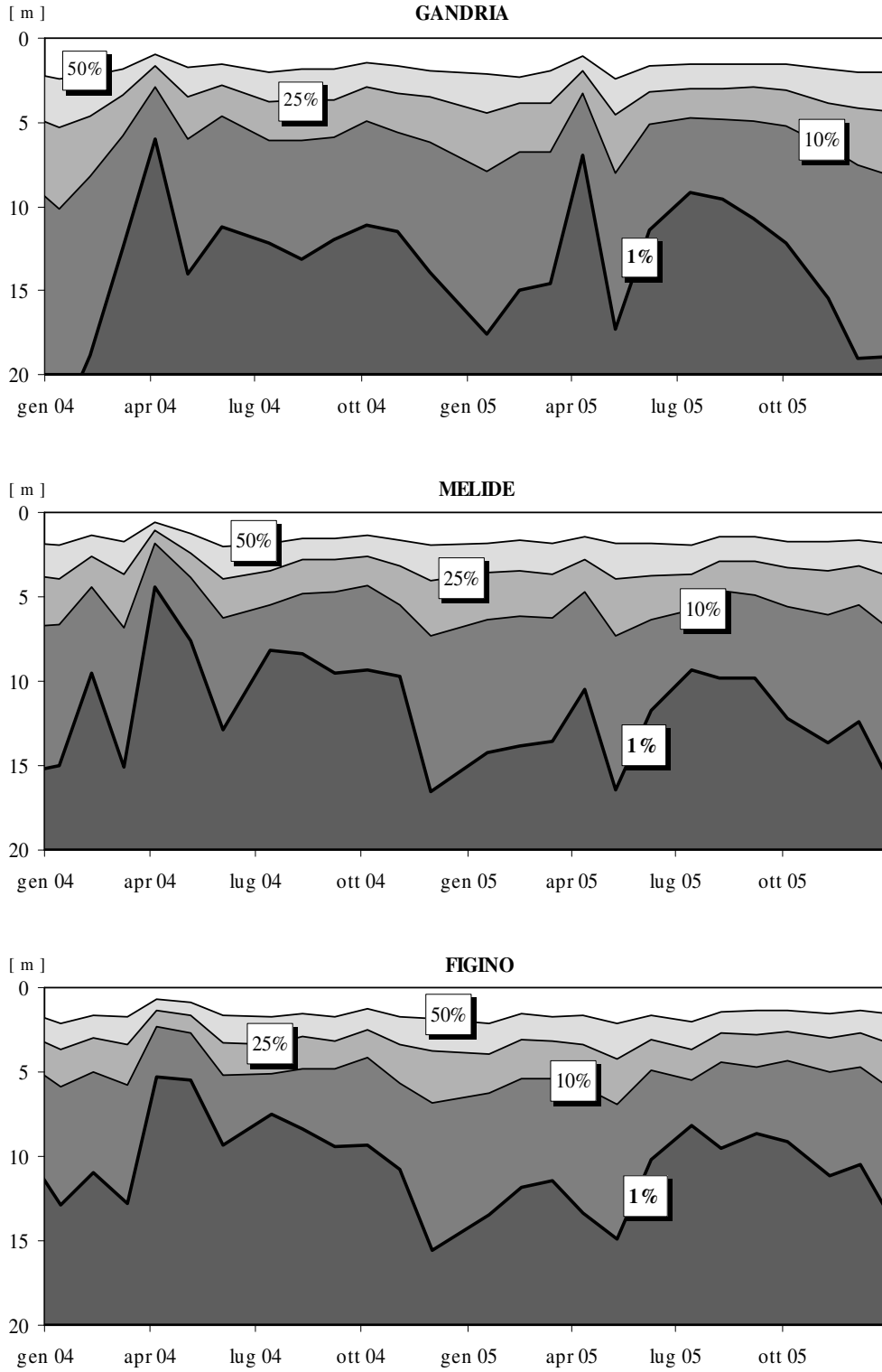


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2003: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

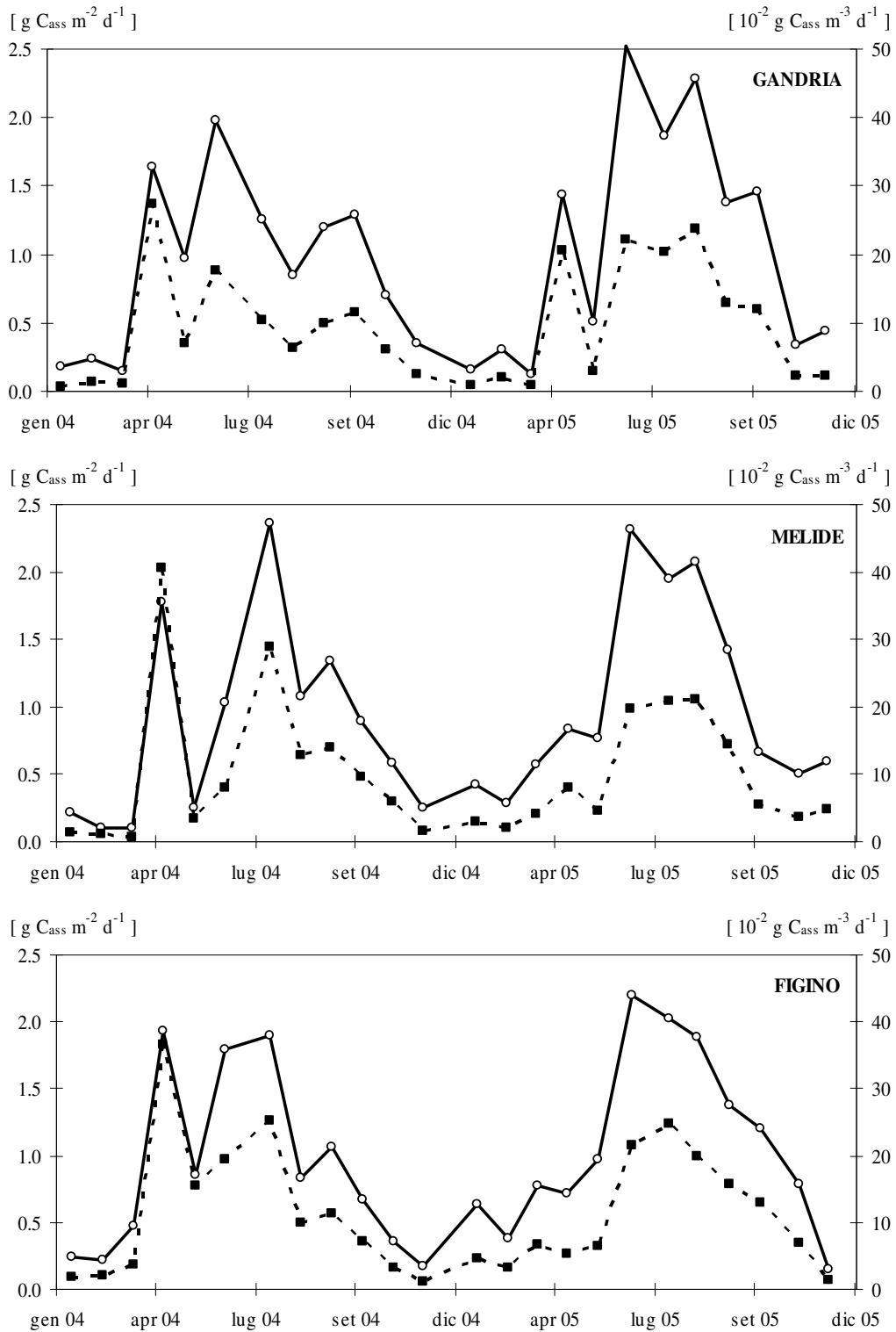


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2004-2005: andamento della produzione primaria areale (linea continua; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$).

7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici sono proseguite nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano nel corso degli anni 2004 e 2005. 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; cfr. [8]).

7.1. Densità dei popolamenti

Nella Fig. 7.1. è riportato l'andamento dei valori cumulati di densità dello zooplankton 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.

In generale, le due stazioni del bacino sud hanno presentato un numero di copepodi superiore alla stazione del bacino nord, dove per contro sono stati sempre più abbondanti i cladoceri. Nel 2004 i valori medi dei copepodi sono risultati molto vicini all'anno precedente (Gandria: 0.80×10^6 ind m^{-2} , Melide: 0.94, Figino: 0.87), mentre per i cladoceri si registra un importante incremento a Gandria (0.45×10^6 ind m^{-2}), uno più contenuto a Melide (0.40×10^6 ind m^{-2}), e nessuno a Figino (0.32×10^6 ind m^{-2}). Nel 2005 si osserva invece una generale ripresa dei copepodi (Gandria: 0.87×10^6 ind m^{-2} , Melide: 1.02, Figino: 0.99), accompagnata da un netto calo dei cladoceri nel bacino sud (Gandria: 0.45×10^6 ind m^{-2} , Melide: 0.33, Figino: 0.27).

Seguendo lo sviluppo stagionale dei popolamenti, in tutte le stazioni sono presenti due punte annue di densità: una secondaria, (sempre in maggio), costituita prevalentemente da copepodi (60-85%), e la principale, (settembre 2004 ed agosto 2005 per il bacino nord, agosto 2004 e luglio 2005 per il bacino sud), con una marcata presenza di cladoceri in tutte le stazioni nel 2004 (dal 53% di Gandria al 31% di Figino), ma solo a Gandria nel 2005 (62%).

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, il popolamento di *Cyclops abyssorum* è risultato sempre presente in tutto il lago, ed ha presentato, come di consueto, il suo massimo tra la seconda metà d'aprile e la prima metà di maggio. Piuttosto contenuti sono risultati i valori di *Thermocyclops crassus* (massimi tra luglio ed agosto), ed ancor più modesti quelli di *Mesocyclops leuckarti*. L'unico rappresentante dei calanoidi, *Eudiaptomus gracilis*, è stato presente durante tutto l'anno, ed ha raggiunto la massima densità in settembre del 2004 ed in luglio 2005.

Fra i **cladoceri**, *Daphnia hyalina* e *Diaphanosoma brachiurum*, le due specie tradizionalmente più abbondanti, sono state affiancate da *Eubosmina coregoni*, il cui popolamento ha fatto segnare un forte incremento soprattutto nel bacino nord, con punte massime in settembre del 2004 (Gandria e Figino: $0.7-0.8 \times 10^6$ ind m^{-2}), ed in agosto del 2005 (Gandria: 1.2×10^6 ind m^{-2}). Mentre per *D. brachiurum* si osserva in tutto il lago un'importante fase di sviluppo nel corso dell'estate 2004 ($0.7-0.9 \times 10^6$ ind m^{-2}), per *D. hyalina* si registrano punte di densità rilevanti (come di consueto in maggio) unicamente a Gandria (2004: 0.7; 2005: 0.9×10^6 ind m^{-2}) e Melide (2005: 1.0×10^6 ind m^{-2}).

Il popolamento di *Leptodora kindtii*, l'unico cladocero carnivoro del lago, ha raggiunto il suo massimo sviluppo in giugno (tranne nel 2004 a Melide, in settembre), risultando in entrambi gli anni complessivamente più abbondante a Gandria (rispettivamente 2300 e 2200 ind m^{-2}) che a Melide (2200 e 2000 ind m^{-2}) e Figino (1300 ind m^{-2}).

Si conferma infine l'assenza, nello zooplancton lacustre, di *Daphnia cucullata*, di cui gli ultimi esemplari erano stati rinvenuti nel 1998.

7.2. Biomassa zooplanctonica

La ripresa dei valori di biomassa osservata nel 2003 si è mantenuta, ed in parte ulteriormente incrementata, nel biennio 2004-2005. Le **medie annue** delle tre stazioni di campionamento sono risultate molto simili (**5.1-5.3 g m^{-2}**), tranne a Figino nel 2004 (**4.0 g m^{-2}**), ed a Gandria nel 2005 (**5.6 g m^{-2}**). Come illustrato dall'andamento stagionale dei valori (Fig. 7.2.), i **massimi annuali** di biomassa (**>10 g m^{-2}**) sono stati misurati in occasione dei campionamenti di maggio (fatta eccezione per Figino, nel 2004), in concomitanza con la principale fase di sviluppo di *Daphnia hyalina*: su tutti distacca quello di Melide nel 2005 (**15.9 g m^{-2}**), risultato della presenza contemporanea di due importanti popolamenti di cladoceri (*Daphnia hyalina*, *Eubosmina coregoni*).

Nel 2004, fra agosto e settembre, si ritrova in tutte le stazioni una punta secondaria (<10 g m^{-2}): a Gandria costituita in parti uguali dai popolamenti di *E. coregoni* (17%), *D. hyalina* (14%) e *D. brachiurum* (14%), mentre nelle stazioni del bacino sud prevalentemente da *E. coregoni* (10-21%) e *D. hyalina* (25-36%). L'andamento dei valori del 2005 risulta più irregolare: mentre a Gandria è nuovamente presente la punta secondaria d'agosto, composta principalmente da *E. coregoni* (28%) assieme a *D. hyalina* (11%) e *D. brachiurum* (11%), nelle stazioni del bacino sud si distinguono almeno due punte secondarie (Melide: giugno con 63% di *D. hyalina*, luglio con 12% di *D. brachiurum* e 8% di *D. hyalina*; Figino: con il 64% di *Cyclops abyssorum*).

La Fig. 7.3. illustra i rapporti percentuali fra i due gruppi zooplanctonici analizzati (copepodi, cladoceri) all'interno della catena alimentare (erbivori e carnivori). I valori medi annui mettono in evidenza come il generale incremento della biomassa zooplanctonica sia d'attribuire alla crescita della componente erbivora, risultata sempre più abbondante nel bacino nord (Gandria: 3.9 g m^{-2}) rispetto a quello sud (Melide: 3.5; Figino: 2.6-3.0 g m^{-2}): le fasi di predominanza (>50%) di questa categoria coincidono con le punte di sviluppo delle principali

specie dei cladoceri, mentre quelle dei carnivori sono legate prevalentemente all'andamento di *Cyclops abyssorum* (copepodi).

Il confronto dell'andamento stagionale dei valori permette di evidenziare, per quanto riguarda il 2005, l'assenza di una marcata fase di sviluppo estivo dei cladoceri erbivori nelle stazioni del bacino sud, e la straordinaria punta dei copepodi carnivori a Figino, nel corso del mese di settembre.

Complessivamente i dati raccolti nel corso del biennio 2004-2005 evidenziano un generale riadattamento dei rapporti tra le principali componenti della biomassa planctonica del lago, caratterizzato da un calo percentuale (6-10%) dei produttori primari (fitoplancton), a vantaggio dei consumatori primari (erbivori) a Gandria (10%) e Melide (6%), e dei consumatori secondari (carnivori) a Figino (6%).

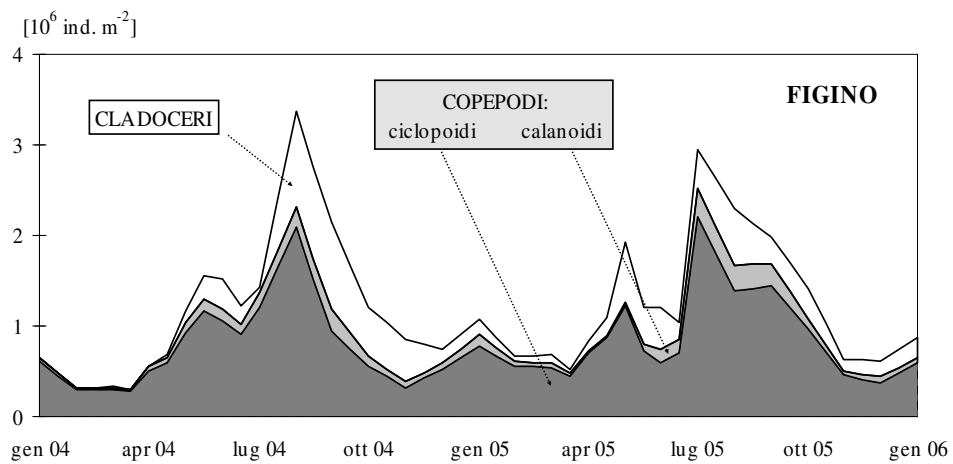
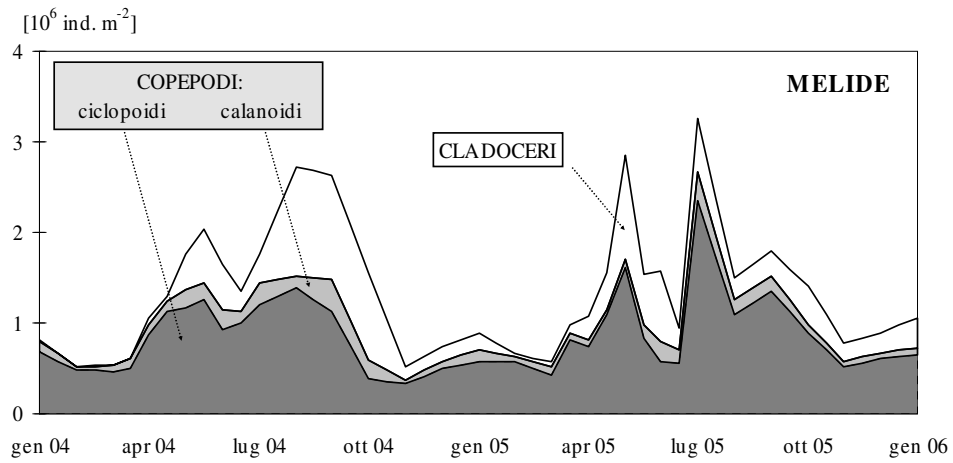
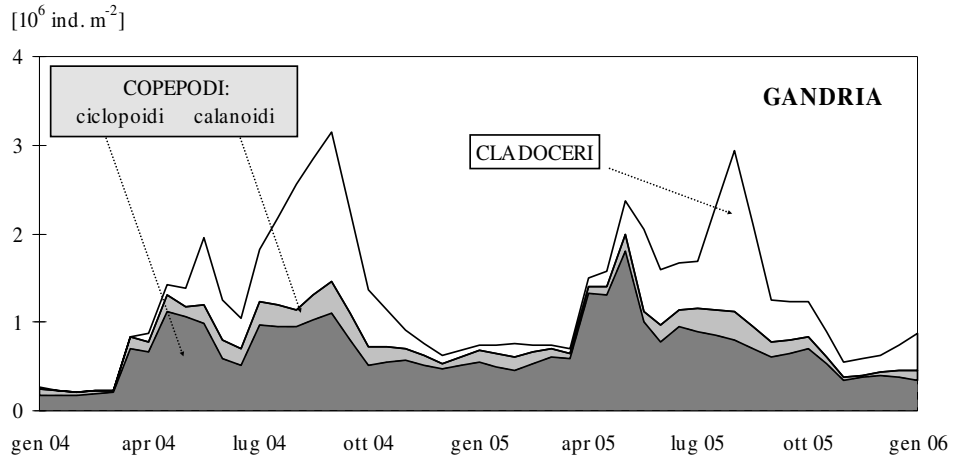


Fig. 7.1. Lago di Lugano, 2004-05: andamento della densità cumulata dello zooplankton da crostacei.

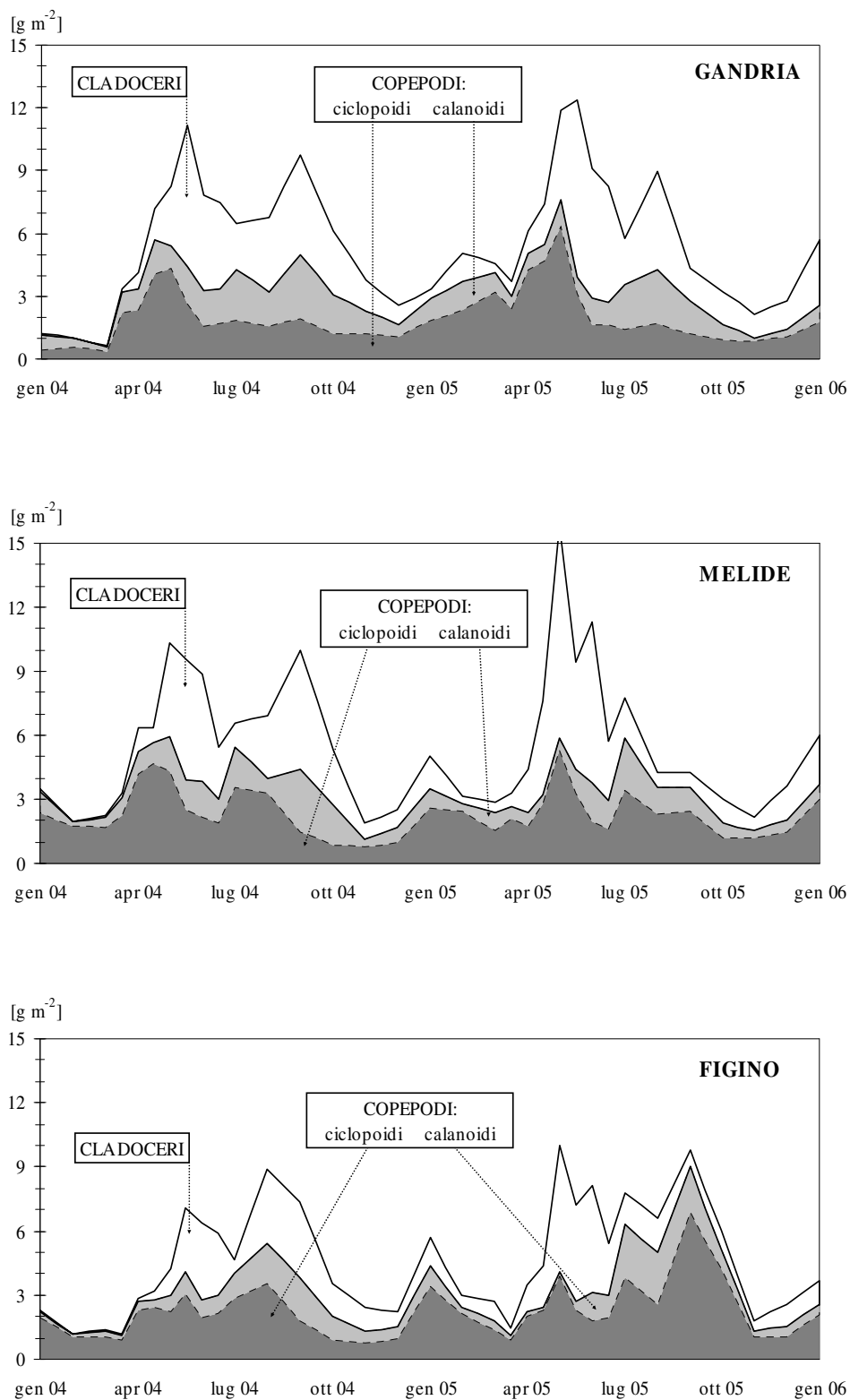


Fig. 7.2. Lago di Lugano, 2004-05: andamento della biomassa cumulata dello zooplankton da crostacei (peso secco).

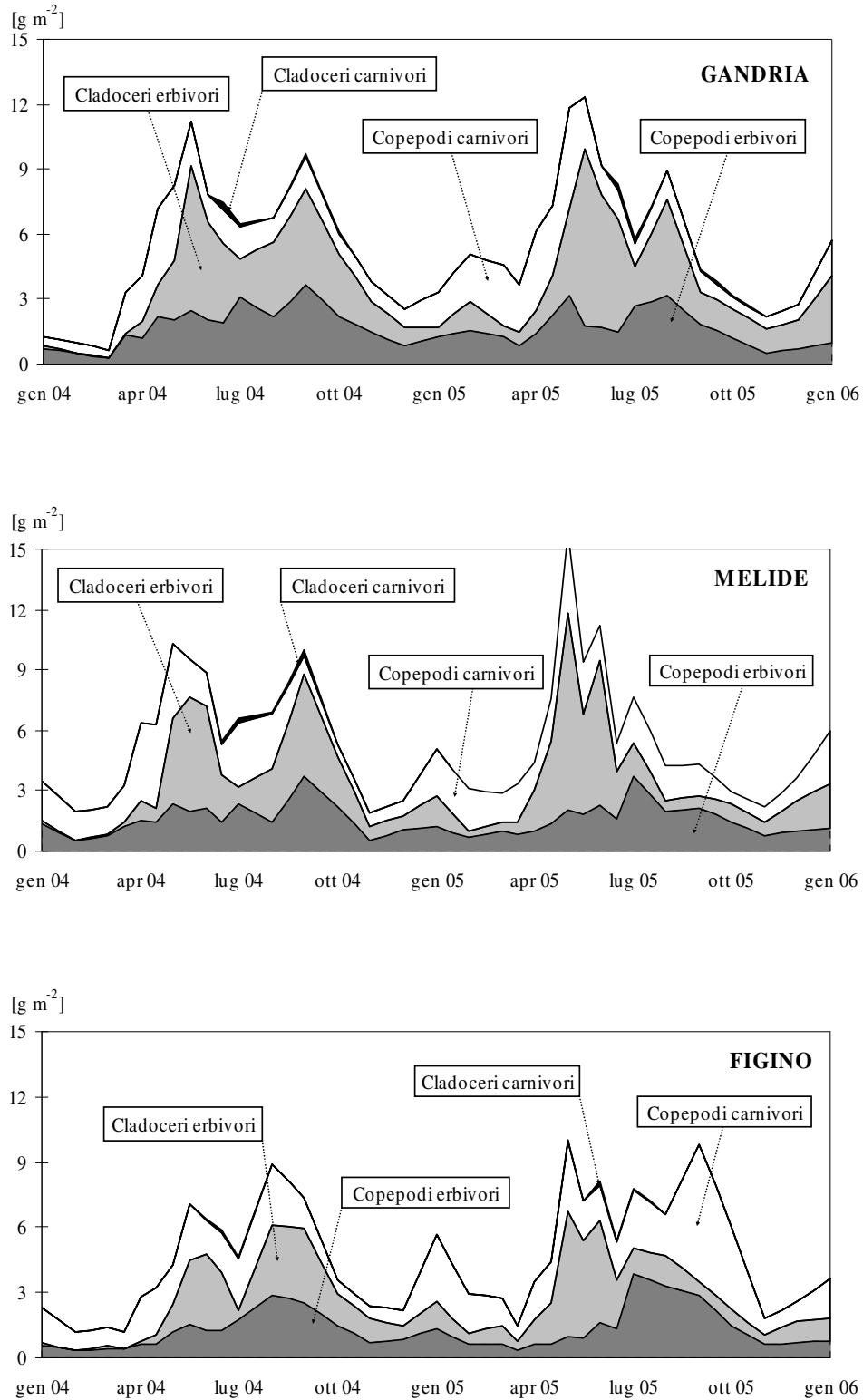


Fig. 7.3. Lago di Lugano, 2004-05: andamento percentuale della biomassa dello zooplancton erbivoro e carnivoro (peso secco).

8. CONCLUSIONI

Gli avvenimenti meteorologici che hanno contrassegnato il biennio d'indagine hanno avuto sullo stato limnologico del Lago di Lugano un impatto di una portata mai osservata negli ultimi decenni. Oltre al perdurare delle condizioni di siccità del 2003, mitigate solo in parte da alcuni periodi piovosi nel 2004, ma ulteriormente aggravatesi durante il 2005, nella fase finale dell'inverno 2004-2005 si è verificata una combinazione di estrema rigidità termica e di elevata attività eolica, che ha provocato uno straordinario rimescolamento della colonna d'acqua lacustre: per la prima volta dopo circa 40 anni nel bacino nord si è manifestata una parziale ossigenazione delle acque più profonde, accompagnata dalla dissoluzione della stratificazione meromittica interna.

Gli effetti della scarsità di precipitazioni si sono manifestati in un drastico calo dei valori di portata dei tributari (-15% nel 2004 e -55% nel 2005), e di conseguenza in una riduzione degli apporti esterni di nutrienti. La stima dei carichi annui confluiti al lago per azoto e fosforo è risultata inferiore rispetto all'ultimo quinquennio, sia nel 2004 (fino a - 20%) che nel 2005 (- 10-30%). Il carico annuo di fosforo, che comprende la quota relativa ai tributari campionati ed la quota non campionata, si è tuttavia allontanato dal valore ammissibile per il bacino nord (+ 10-20%) che era stato raggiunto nel 2003, anno pesantemente deficitario in quanto a precipitazioni, ed è risultato superiore del 115 % nel 2004 e del 45% nel 2005 a quello ammissibile previsto per il bacino sud.

Nonostante questa favorevole evoluzione alcuni corsi d'acqua tributari del lago hanno continuato a presentare condizioni qualitative critiche, o addirittura insufficienti rispetto ai parametri di riferimento previsti. I principali problemi riguardano principalmente il fiume Bolletta (per la richiesta biochimica d'ossigeno ed in parte per il DOC) e secondariamente il Laveggio e lo Scairolo (limitatamente all'azoto ammoniacale e al DOC). Per il Bolletta si conferma, inoltre, un forte superamento dei limiti fissati per le concentrazioni di fosforo totale in funzione degli obiettivi di risanamento del lago, avendo fatto registrare nel biennio un valore mediano elevato (dieci volte superiore al limite auspicato) e valori di punta estremamente alti. Nonostante il suo deflusso relativamente modesto, questo corso d'acqua riversa nel lago, a tutt'oggi, il carico di fosforo più elevato fra i tributari campionati.

Gli effetti dell'andamento meteorologico si sono manifestati in modo rilevante anche nei processi limnologici nel Lago di Lugano. Grazie ad un inverno rigido, prolungato e sufficientemente ventoso, il rimescolamento invernale ha comportato la destratificazione della colonna d'acqua nel bacino nord consentendo alle acque superficiali ricche di ossigeno di sprofondare negli strati ipolimnici profondi. Per la prima volta dopo oltre quarant'anni sono state rilevate tracce d'ossigeno al di sopra del sedimento, mentre in superficie l'ossigenazione é risultata temporaneamente (febbraio-marzo 2005) critica, con tenori compresi tra 3 e 4 mg O₂ m⁻³. Nel bacino sud il rimescolamento invernale ha portato a concentrazioni di circa 7-8 mg m⁻³ su tutta la colonna, ma nonostante le buone condizioni di partenza al di sotto dei 50-60m di profondità

il tenore d'ossigeno degli strati profondi è andato successivamente calando per effetto dell'intensa attività di mineralizzazione.

Per quanto concerne le concentrazioni di fosforo, al termine della fase di circolazione invernale (febbraio-marzo) esse presentavano valori in diminuzione lungo l'asse di deflusso delle acque del lago. La differente disponibilità di fosforo ha condizionato la fase primaverile di sviluppo algale mentre in seguito, durante l'intero periodo vegetativo, le concentrazioni di fosforo nelle acque superficiali si sono mantenute su bassi livelli a causa dell'intensa attività algale e della scarsità di apporti esterni.

Nel bacino nord, i valori annuali di fosforo manifestano dal 1998 una tendenza alla riduzione nell'ipolimnio anossico (100-286 m), ed alla crescita nello strato ossigenato sovrastante (0-100 m): il monitoraggio dei flussi interni di fosforo rappresenta un elemento fondamentale ai fini di una corretta interpretazione dell'evoluzione trofica in questo bacino [9]. In seguito alla destratificazione prodottasi nel marzo 2005 questo trend si è accentuato ed i valori hanno mostrato una forte convergenza (epilimnio: 97 mg P m⁻³; ipolimnio: 133 mg P m⁻³) a riprova di una tendenza all'omogeneizzazione delle concentrazioni sull'intera colonna.

Nel bacino sud, la presenza di fonti di carico esterno più consistenti e regolari rispetto al bacino nord, (scarichi degli impianti di depurazione), hanno verosimilmente permesso d'instaurare nello strato superficiale (0-10 m) condizioni trofiche più elevate rispetto al bacino nord, consentendo ai popolamenti algali di svilupparsi in misura più abbondante.

Con l'obiettivo di ridurre ulteriormente gli apporti esterni di fosforo rimane attuale l'esigenza di procedere all'eliminazione delle immissioni provenienti dagli abitanti rivieraschi e di mantenere un'alta efficienza della rete delle canalizzazioni. Allo scopo di poter meglio quantificare la quota di carico esterno di fosforo attribuibile a queste fonti, oggi stimate sulla base di dati bibliografici e che costituiscono una delle principali componenti del carico complessivo è senz'altro auspicabile un'indagine specifica.

Il quadro della biocenosi planctonica del biennio è caratterizzato da un generale assestamento dei valori di biomassa algale attorno ai livelli del 2003, e da un'ulteriore incremento dello zooplancton erbivoro nelle stazioni di Gandria e Melide.

Nel bacino nord il profondo rimescolamento delle acque verificatosi alla fine dell'inverno 2004-2005 ha provocato dapprima la redistribuzione degli organismi presenti nello strato superficiale (0-20 m) lungo l'intera colonna verticale (0-285 m), ed un momentaneo calo dei valori di concentrazione; successivamente, però, l'aumento del potenziale trofico, innescato dall'afflusso di nutrienti dagli strati profondi, si è manifestato in un incremento dei popolamenti algali, sia durante il periodo estivo (cianofitiche filamentose, clorococcali), sia durante quello autunnale (conjugatofitiche, clorofitiche filamentose). Fra le specie zooplanctoniche erbivore che risultano maggiormente favorite dalla maggior disponibilità alimentare, si distinguono *Daphnia hyalina* ed *Eubosmina coregoni*.

Nel bacino sud la successione dei popolamenti algali è avvenuta seguendo uno schema abbastanza tradizionale, con valori di densità generalmente contenuti, fatta eccezione per le cianofitiche filamentose estive. Riguardo al popolamento zooplanctonico, i copepodi sono risultati particolarmente abbondanti in entrambi

gli anni, mentre i cladoceri hanno evidenziato un vistoso calo nel corso dell'estate del 2005.

In conclusione è possibile 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 lentamente intrapreso il cammino verso uno stato qualitativo più consono con le esigenze di risanamento previste. Dopo aver vissuto un fase di rapido miglioramento tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90, ed aver mantenuto per un decennio un livello d'equilibrio trofico più accettabile e fruibile rispetto al passato, il lago sembra aver iniziato una nuova tappa del suo lungo cammino verso il completo risanamento dopo lo straordinario evento di circolazione invernale 2004-2005, che ha portato, dopo oltre 40 anni, alla dissoluzione della stratificazione meromittica del bacino nord, ed ad un parziale ricambio delle sue acque profonde [10]. Nella situazione attuale risulta quindi più che mai opportuno mantenere sotto stretto controllo l'evoluzione futura di questo importante ecosistema lacustre.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano l'Ufficio Federale dell'Ambiente, delle Foreste e del Paesaggio, l'Ufficio Federale di Meteorologia e Climatologia (Meteo-Svizzera), ed in particolare l'Osservatorio Ticinese di Locarno Monti, l'Istituto di Scienze della Terra (SUPSI), l'Ufficio Federale delle Acque e della Geologia per la cortese collaborazione e per la fornitura dei dati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] LSA (Laboratorio Studi Ambientali); 1981-2002. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano; aspetti limnologici. Campagne annuali 1980-2001. Ed. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.
- [2] 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.
- [3] CIPAIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere); Bollettino dei laghi Maggiore e Lugano n° 6, luglio 2005.
- [4] CIPAIS (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.
- [5] HILGER, S., L. Sigg & A. Barbieri, 1999. Size fractionation of phosphorus (dissolved, colloidal and particulate) in two tributaries to Lake Lugano. *Aquat. Sci.* 61: 337-353.
- [6] MEILE, Ch., 1996. Modellierung des Stickstoffkreislaufes im Luganersee-Nordbecken. Diplomarbeit EAWAG-ETH; 123 pp.
- [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] 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.
- [10] AESCHBACH-HERTIG, W., C.P.HOLZNER, M. HOFER, M. SIMONA, A. BARBIERI, & R. KIPFER, (in prep.). A time series of environmental tracers from deep meromictic Lake Lugano, Switzerland. (submitted to *Limnology and Oceanography*, 2006).

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. ^{ra} Paola Da Rold-Lanfranchi	laboratorista
Sig. ^{ra} Marina Surace-Ecoffey	laboratorista

COLLABORATORI ESTERNI

Dr. ^{ssa} Margherita Canepa	idrobiologa
Sig. ^{ra} Maria Grazia Fusi-Barbieri	tecnico d'idrobiologia
Sig. Stefano Müller	tecnico natante

PRELIEVO CAMPIONATORI AUTOMATICI

Sig.^{ra} Viviana Regazzoni
 Sig. Roberto Bianchi
 Sig. Emilio Baiardi
 Sig. Franco Bernasconi

INDIRIZZO DEGLI AUTORI

UFFICIO PROTEZIONE E DEPURAZIONE ACQUE
 SEZIONE PROTEZIONE ARIA, ACQUA E SUOLO
 Via C. Salvioni 2a
 CH-6501 Bellinzona
 Tel. +41 91 814 38 19 Fax +41 91 814 44 33
 e-mail: alberto.barbieri@ti.ch

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

Segretariato:

Dr.^{ssa} 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
www.cipais.org