

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

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

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003-2007

Campagna 2006

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), 2007: *“Ricerche sull’evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2006.”*
Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 92 pp.

RIASSUNTO

Questo volume presenta i dati limnologici sul Lago di Lugano raccolti dall'Ufficio Protezione e Depurazione Acque del Cantone Ticino durante la campagna 2006, nell'ambito dell'attività di ricerca della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere svolta a partire dal 1978. Le informazioni ottenute nel corso del 2006 permettono di aggiornare le serie storiche disponibili per i principali parametri limnologici e di descrivere le tendenze evolutive del Lago in relazione agli interventi di collettamento e depurazione sinora realizzati.

Durante l'anno è proseguita l'analisi dettagliata dei carichi esterni di fosforo ai due bacini principali, in modo da verificare in quale misura le opere di risanamento contribuiscano al recupero del corpo idrico. Rispetto al quinquennio precedente (1998-2002) gli apporti risultano in diminuzione del 15% nel bacino nord ed in aumento del 10% in quello sud. Il Bolletta, con 14.2 t P a⁻¹, è il corso d'acqua che ha convogliato a lago il carico maggiore di fosforo totale.

Il bacino sud ha confermato una sostanziale stabilizzazione del tenore di fosforo totale con un valore medio sulla colonna di 44 mg P m⁻³. Nel bacino nord la destratificazione dell'inverno 2004-2005 aveva ridotto la concentrazione media annua a 115 mg P m⁻³; dopo il successivo, completo, rimescolamento dell'inverno 2005-2006 i valori sono nuovamente calati per assestarsi a 105 mg P m⁻³. In questo bacino lo stato d'ossigenazione delle acque profonde è ulteriormente migliorato in seguito allo sprofondamento di acque ricche d'ossigeno, anche se nel febbraio 2006 l'ossigenazione in superficie é risultata molto critica allorché le concentrazioni sono temporaneamente scese attorno a 1.6 g O₂ m⁻³.

A livello del popolamento planctonico, il quadro del 2006 è caratterizzato da valori di biomassa fitoplanctonica in forte ribasso rispetto agli ultimi anni, mentre per lo zooplancton si registra un netto incremento della componente erbivora nelle stazioni del bacino sud, ed una generale stabilità di quella carnivora.

Nel bacino nord il processo di eutrofizzazione interna, innescato dalla circolazione invernale, non ha portato inizialmente ad un incremento della biomassa algale primaverile, a motivo dell'elevata pressione di grazing esercitata dallo zooplancton erbivoro (in particolare dei ciclopoidi). D'altra parte, l'episodio di fioritura algale da cianoficee (*Microcystis*, vedi foto) sviluppatasi alla fine del periodo vegetativo, rappresenta un segnale

inequivocabile di criticità per quanto riguarda le attuali condizioni trofiche di questo bacino lacustre.

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

Lago di Lugano - bacino nord, 8 novembre 2006 (© SPAAS)



Lake Lugano – northern basin, November 8th 2006 (© SPAAS)

SUMMARY

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during 2006 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 2006 contributed to update the long term records available for the different limnological parameters and to describe the trend of lake trophic evolution with respect to the recovery programme realised until now.

During the last year emphasis was given to the detailed analysis of phosphorus loads from the main sub-basins, in order to detect to what extent already realised sewage treatment plants contributed to improve the lake situation. With respect to the last five-year period (1998-2002) phosphorus load has decreased of 15% in northern basin and increased of 10% in the southern. River Bolletta has conveyed to the lake the largest phosphorus load: 14.2 t P a^{-1} . In southern basin total phosphorous concentration has stabilised at 44 mg P m^{-3} . In the northern one 2004-2005 winter destratification has reduced phosphorus concentration down to 115 mg P m^{-3} ; after the complete overturn of winter 2005-2006 phosphorus concentration has decreased to 105 mg P m^{-3} . In this latter basin the oxygenation state of hypolimnic water has further improved thanks to the sinking of oxygen rich water, although in February 2006 the epilimnion oxygenation has resulted very critical, with a temporary surface value of $1.55 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$.

The planktonic community has been characterised by very low phytoplankton biomass values. With respect to zooplankton a pronounced increase of the herbivorous component has been observed in southern basin while the carnivorous species have remained generally stable.

In northern basin internal fertilisation induced by the deep winter circulation has not led to an increase of algal biomass in spring, because of the grazing pressure by herbivorous zooplankton (in particular young Cyclopoids). On the other side, the Cyanophyceae bloom (*Microcystis*, see picture) observed at the end of the vegetative period, is a clear signal of the still critical trophic conditions of this sub-basin.

Considering the results obtained in 2006 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 destratification of the northern basin occurred in winter 2004-2005 and its following complete mixing represent two important steps toward the complete recovery of Lake Lugano, on account of their effects on oxygenation state and phosphorus concentration in deep hypolimnion.

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	16
3. <u>CARATTERISTICHE IDROLOGICHE</u>	21
3.1. Regime dei corsi d'acqua	21
3.2. Regime del livello lacustre	21
4. <u>APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI</u>	23
4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari	23
4.2. Carichi chimici	33
4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto	37
5. <u>CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E CHIMICO- FISICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	39
5.1. Trasparenza	39
5.2. Torbidità	39
5.3. Temperatura dell'acqua	40
5.4. Ossigeno disciolto	40
5.5. Valore pH ed alcalinità	41
5.6. Conducibilità elettrica specifica	41
5.7. Composti del fosforo	41
5.8. Composti dell'azoto	42
5.9. Silice	43
5.10. Metano	43
5.11. Solfuri	44
5.12. Ferro disciolto	44
5.13. Manganese disciolto	44
5.14. Circolazione del bacino nord	44
5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale	45
6. <u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	67
6.1. Struttura dei popolamenti	67
6.2. Variazioni della biomassa	68
6.3. Clorofilla	70
6.4. Produzione primaria	72
7. <u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	81
7.1. Densità dei popolamenti	81
7.2. Biomassa zooplanctonica	82

8.	<u>CONCLUSIONI</u>	87
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	90
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	91

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante la campagna d'indagine del 2006, penultimo anno del 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 2006 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]
torb :	torbidità	[FTU]
trasm :	trasmissione luminosa	[%]
k :	conducibilità elettrica specifica a 20°C	[μS 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 reattivo disciolto	[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]
S ²⁻ :	zolfo disciolto	[mg m ⁻³]
Mn ²⁺ :	manganese disciolto	[g 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)	[μE m ⁻² 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

%ile:	percentile
d.s:	deviazione standard

ABBREVIAZIONI

BN:	bacino nord
BS:	bacino sud

*) 1E (Einstein) ≡ 1mole di fotoni PAR s⁻¹ m⁻²; 4.6 μmol s⁻¹ 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).

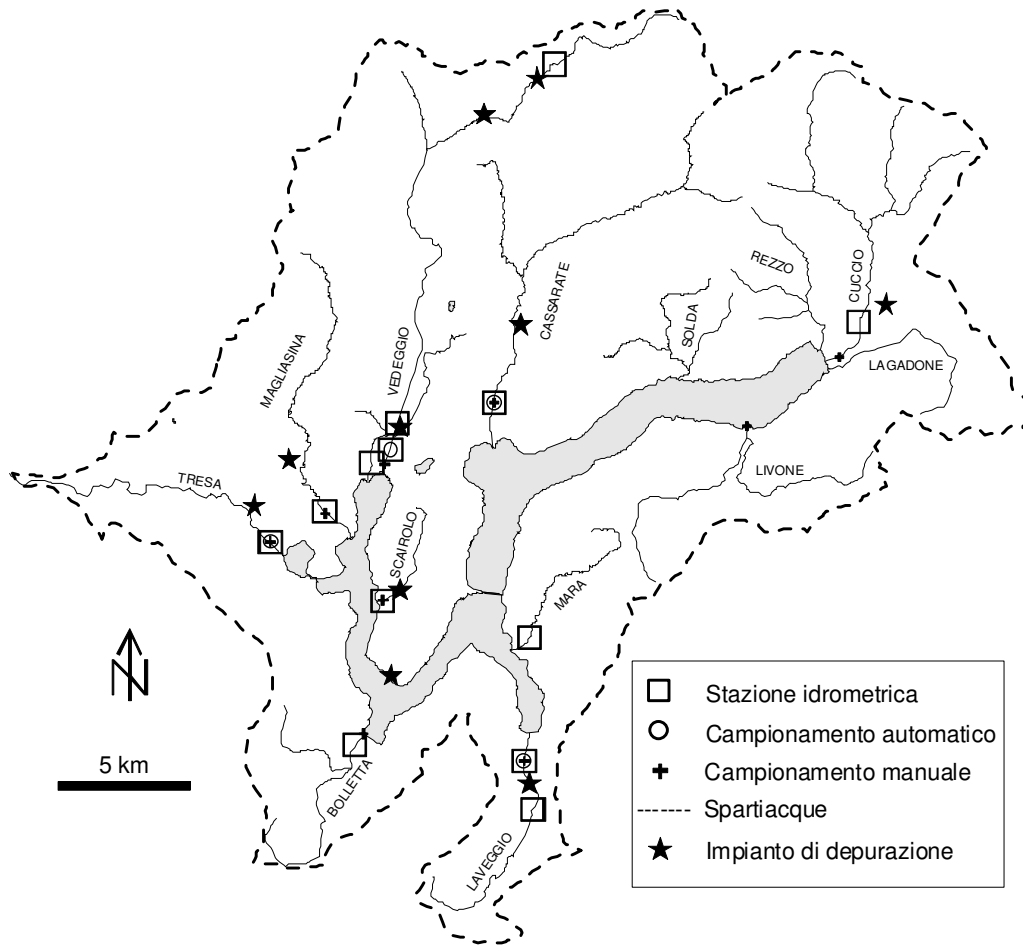


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

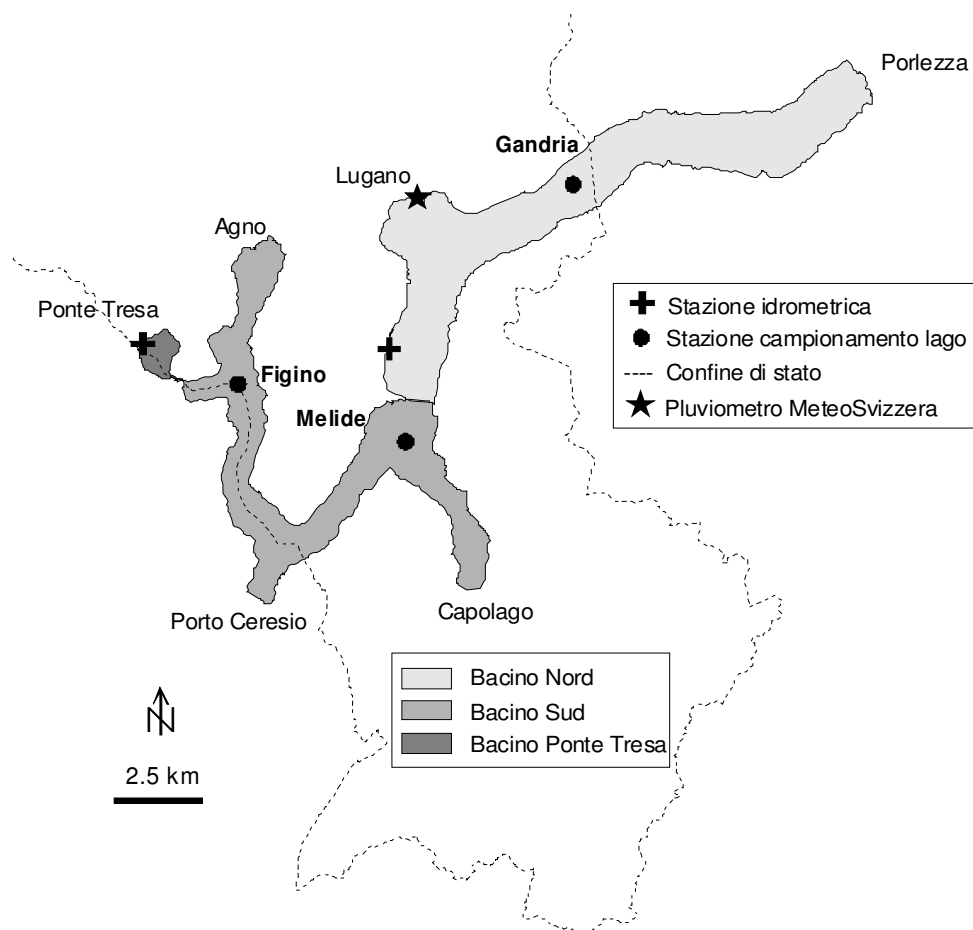


Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

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 2006 sono stati confrontati, come di consueto, con i valori del periodo climatologico di riferimento 1961-90 [1] per quanto concerne i parametri della temperatura atmosferica e delle precipitazioni, mentre per la radiazione solare il confronto viene effettuato con la media del periodo 1980-2005. Per quanto riguarda l'andamento dell'intensità e della direzione dei venti si propone invece il confronto con il ventennio 1986-2005, in quanto le misurazioni degli anni precedenti hanno evidenziato alcuni errori.

A livello generale, lo stato meteorologico del 2006 al sud delle Alpi è risultato complessivamente caldo (tra i 5 anni più caldi dall'inizio delle misurazioni sistematiche, nel 1864), con precipitazioni di nuovo inferiori alla norma, e ben soleggiato. L'anno è stato inoltre ricco di contrasti, in particolare con un inizio freddo e nevoso ed una fine molto mite, e con un unico importante evento di precipitazioni in ottobre [2].

2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2006	4760 MJ m ⁻²
Radiazione - media periodo 1980-2005	4328 MJ m ⁻²

Per il quarto anno consecutivo il dato annuo di radiazione si è situato nettamente al di sopra della media (+ 432 MJ m⁻²): come illustrato dalla grafica dell'andamento dei valori mensili (Fig. 2.1.), i maggiori incrementi si sono avuti soprattutto nel periodo compreso tra marzo ed agosto, mentre in febbraio si è avuto l'unico dato mensile leggermente deficitario (-10 MJ m⁻²). Sotto quest'aspetto, pertanto, le condizioni di crescita per il plancton vegetale sono risultate sostanzialmente favorevoli durante l'intero periodo d'attività vegetativa (marzo-ottobre).

2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2006	13.1 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	12.0 °C

Nonostante un primo trimestre caratterizzato da temperature particolarmente rigide, che hanno nuovamente contribuito ad intensificare il processo di rimescolamento invernale delle acque lacustri, l'andamento termico dei restanti mesi ha riportato il 2006 fra gli anni complessivamente più caldi dell'intero periodo d'osservazione: ed è per la quinta volta, dal 1994, che i valori medi annui hanno superato la soglia dei 13°C.

Dall'andamento delle medie mensili (Fig. 2.2.) è possibile rilevare come, a partire da aprile, i valori si siano mantenuti costantemente al di sopra del dato di riferimento pluriennale (con incrementi compresi tra 1.2 e 2.6°C), fatta eccezione per agosto (con circa 1°C in meno). A partire da settembre fino alla fine dell'anno i singoli valori mensili non hanno mai superato i massimi storici, anche se ottobre e novembre sono risultati tra i 4-5 più caldi delle statistiche, e l'autunno nel suo insieme è stato il più caldo in assoluto.

2.3. Precipitazioni

Precipitazioni - totale 2006	1304 mm
Precipitazioni - media periodo 1961-1990	1606 mm

Anche senza toccare valori estremi, il 2006 ha prolungato il periodo di precipitazioni scarse iniziato nel 2003, totalizzando 300 mm (pari a 300 litri d'acqua per m²) in meno rispetto al periodo di riferimento.

Durante il primo semestre, risultato statisticamente tra i 10 più asciutti, si sono avuti eventi di precipitazione importanti solo in gennaio (abbondante nevicata nei giorni 26-28) ed in giugno (forte attività temporalesca tra il 25 ed il 28 del mese), che non sono però stati sufficienti a colmare il deficit complessivo.

In agosto il numero di giorni con precipitazioni sopra la media ha contribuito a dare un carattere variabile al mese: per la prima volta, nel corso dell'anno, i quantitativi raccolti hanno finalmente superato abbondantemente la norma (+103 mm), contribuendo ad alleviare la situazione di persistente carenza idrica. Successivamente, solo in dicembre si sono misurati nuovamente valori di rilievo (+94 mm), in seguito ad un'importante perturbazione, attiva nel Sottoceneri nel corso della prima decade del mese (Fig. 2.3.).

2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2006	5.87 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media periodo 1986-2005	6.53 km h ⁻¹

Nel 2006 l'intensità dei venti è risultata complessivamente modesta, presentando un valore annuo tra i più bassi del periodo di confronto.

L'andamento dei valori mensili mette in evidenza un'attività eolica molto ridotta nel corso dei due primi mesi dell'anno, come pure durante l'ultimo quadrimestre. Le punte più elevate, tutte comunque inferiori ad 8 km h^{-1} , sono state misurate in giugno ed in agosto, grazie al contributo di alcune giornate con forte vento da nord (raffiche $>80 \text{ km/h}^{-1}$); questi due mesi sono anche gli unici a presentare valori più elevati rispetto alla media pluriennale. Abbastanza ventosi, anche se leggermente inferiori alla media, sono risultati i mesi di marzo e aprile (Fig. 2.4.1.).

Riguardo all'andamento della direzione di provenienza dei venti, sempre nella figura 2.4.1. è riportato il valore medio mensile, costituito dall'angolo ($0-360^\circ$) risultante dalla somma vettoriale delle singole osservazioni. Per facilitare la lettura del valore angolare, sulla scala delle ordinate è riportata la sigla del settore della rosa dei venti ad esso corrispondente.

Durante il 2006 la **direzione media mensile** del vento ha fatto registrare per 8 mesi una predominanza dei settori N/NW (gennaio-febbraio e luglio-dicembre), e per i restanti 4 dei settori E/NE (marzo-giugno). Questa distribuzione non si discosta sostanzialmente dal quadro generale, che emerge dai rilevamenti pluriennali.

La **distribuzione annua** delle percentuali di frequenza della direzione dei venti, suddivisa negli otto settori principali del quadrante, è riportata nella figura 2.4.2.. Il grafico del 2006, che ricalca in maniera quasi identica la situazione dei tre anni precedenti, conferma il predominio delle correnti lungo l'asse nord-sud, a differenza della curva pluriennale, che presenta invece un orientamento prevalente lungo la direttrice NW-SE. Una valutazione riguardo all'effettivo spostamento delle frequenze della direzione dei venti nel corso degli ultimi anni potrà essere formulata unicamente sulla base di un più ampio periodo di confronto.

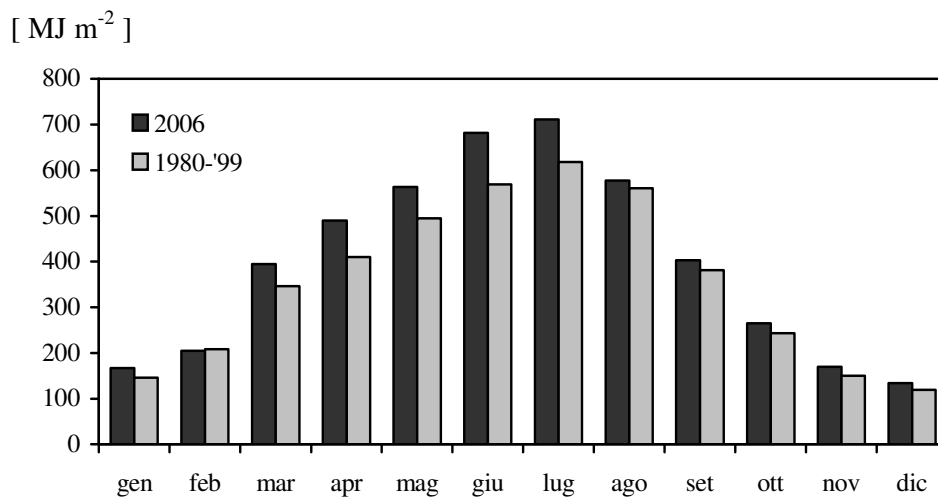


Fig. 2.1. Regime mensile della radiazione globale rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

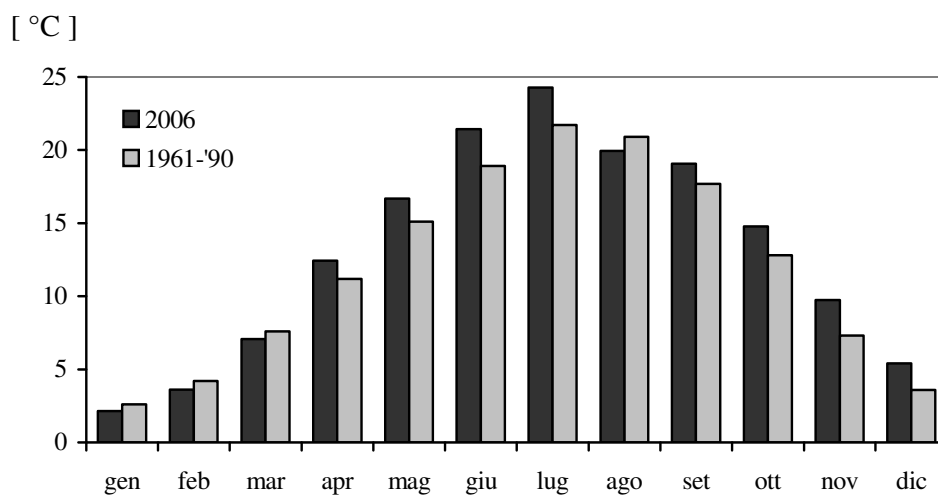


Fig. 2.2. Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

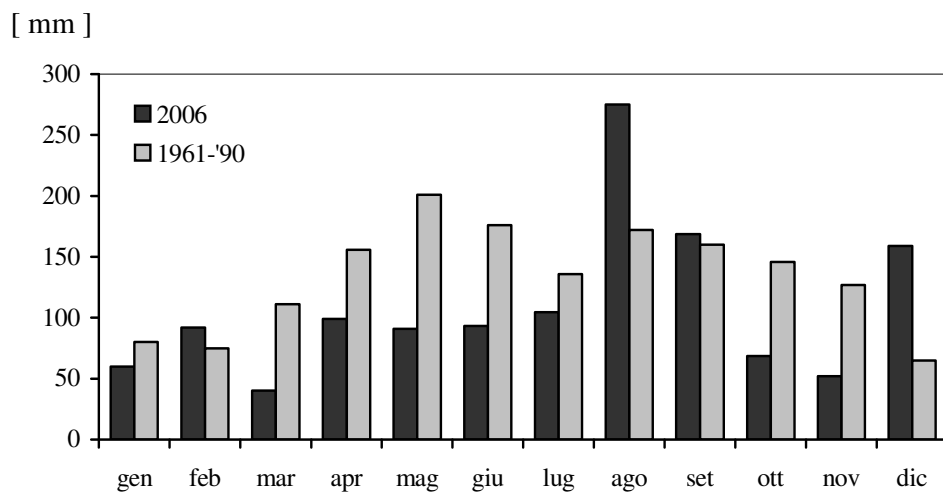


Fig. 2.3. Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

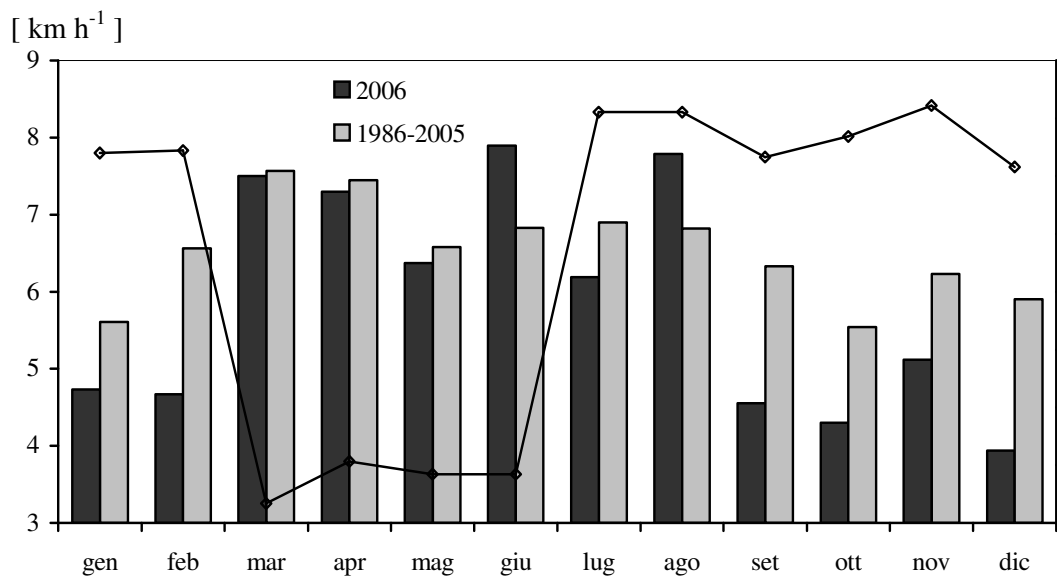


Fig. 2.4.1.: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media (linea), rilevato presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

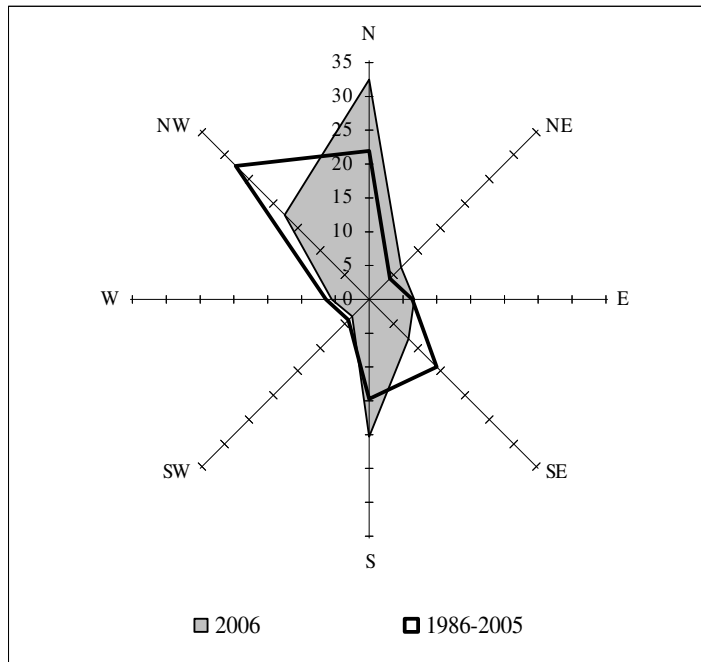


Fig. 2.4.2.: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

3. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

3.1. Regime dei corsi d'acqua

La tabella 3.1. presenta i valori di deflusso (medie mensili e annue) degli otto corsi d'acqua controllati, relativi all'anno 2006 ed ai corrispondenti periodi di confronto.

Come riferito nel capitolo precedente, il 2006 è stato un anno povero di precipitazioni, per cui le portate hanno segnato una riduzione del 25-40% rispetto alle medie pluriennali di riferimento. Lo scarto maggiore è stato rilevato sullo Scairolo, con una perdita complessiva annua del 40%. Il mese più deficitario è risultato giugno, in cui nei tributari è defluito il 40-75% d'acqua in meno rispetto alla norma. Nei quattro mesi di aprile, maggio, settembre e dicembre è per contro scorso il 50% del volume complessivo annuo.

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

Corso d'acqua	Periodo	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
Bolletta	2006	0.19	0.65	0.50	0.81	0.39	0.17	0.18	0.24	0.38	0.37	0.31	1.30	0.46
	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	2006	0.52	1.13	1.60	3.43	1.63	1.13	1.53	1.52	1.80	1.38	0.99	3.95	1.72
	1963-2005	1.33	1.35	2.08	3.52	4.35	3.36	2.18	1.85	2.48	3.05	3.13	1.60	2.53
Cuccio	2006	0.60	0.79	1.18	2.29	1.80	1.07	1.29	1.31	1.67	1.79	1.20	2.50	1.46
	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	2006	0.51	1.41	1.18	1.35	0.99	0.70	0.62	0.47	0.55	0.44	0.44	1.26	0.82
	1978-2005	0.94	0.88	1.10	1.50	1.61	1.24	0.91	0.72	0.87	1.24	1.25	0.90	1.10
Magliasina	2006	0.22	0.59	0.83	1.42	0.58	0.36	0.47	0.83	0.81	0.88	0.51	2.12	0.80
	1980-2005	0.67	0.58	0.85	1.73	2.16	1.59	0.92	0.57	1.14	1.75	1.61	0.74	1.19
Scairolo	2006	0.09	0.24	0.18	0.21	0.15	0.13	0.14	0.18	0.23	0.15	0.12	0.32	0.18
	1982-2005	0.25	0.22	0.23	0.36	0.42	0.34	0.25	0.21	0.26	0.37	0.38	0.24	0.30
Vedeggio	2006	1.12	1.80	2.05	4.21	2.65	2.23	2.52	2.70	2.85	3.20	2.17	6.08	2.81
	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	2006	5.31	9.74	11.70	24.21	14.26	7.30	10.42	12.66	15.50	14.11	9.63	32.04	13.94
	1923-2005	15.50	13.80	18.10	28.50	37.70	32.60	22.70	17.50	21.10	27.30	31.10	20.30	23.90

3.2. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre nel 2006 è stata di m 270.47 m s.l.m. risultando di 1 cm inferiore a quella del periodo di riferimento (1965-2005: 270.48 m s.l.m.). Il minimo assoluto è stato toccato il 10 settembre con 270.33 s.l.m., mentre la punta massima, pari a 270.90 s.l.m., è stata raggiunta il 10 dicembre per cui l'escursione massima per il 2006 è stata di 57 cm (Fig. 3.2.).

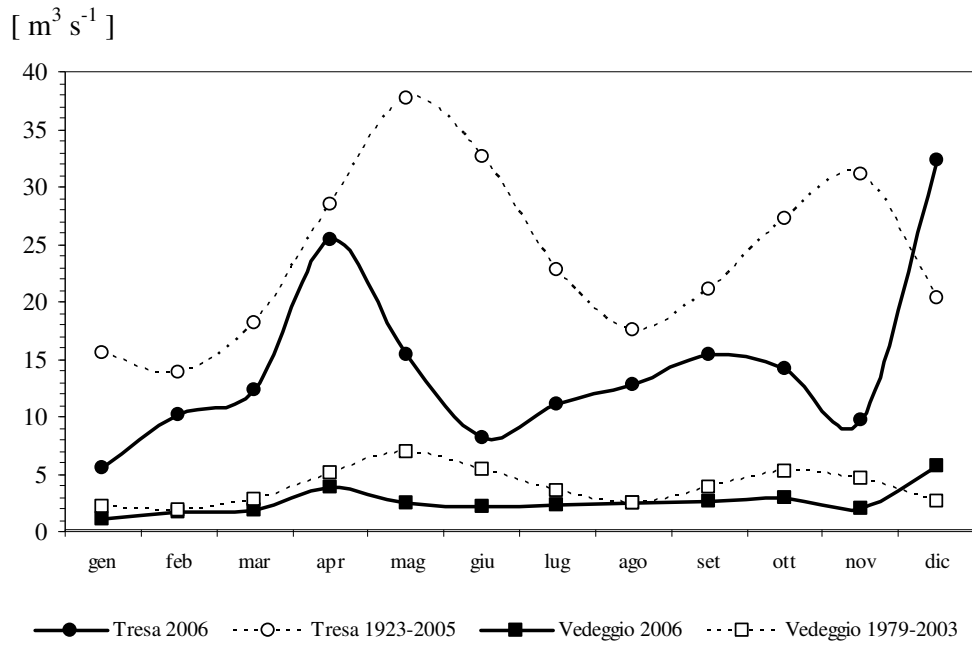


Fig. 3.1. Regime mensile di deflussi dei fiumi Tresa (emissario) e Veduggio (principale immissario) nel 2006 e nel periodo di riferimento.

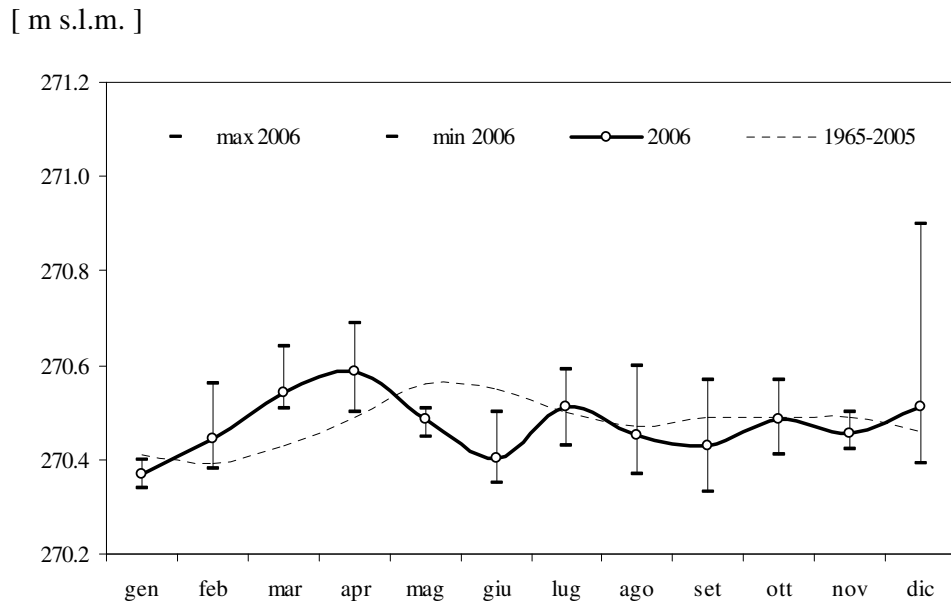


Fig. 3.2. Lago di Lugano, 2006: regime mensile (o) e valori estremi (-) del livello lacustre, e confronto con periodo di riferimento.

4. APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI

4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari

Nelle figure 4.1.3a.-e. sono rappresentati graficamente i principali valori statistici (mediana, 25%ile, 75%ile, massimo e minimo) per tutti i parametri indagati sui nove tributari, nel corso del 2006.

La distribuzione dei valori di deflusso per i diversi corsi d'acqua, rilevati al momento del campionamento, mostra che i 13 prelievi rispecchiano in maniera soddisfacente il regime idrologico annuale (Fig. 4.1.3a.), anche se il confronto con la curva di frequenza delle portate medie giornaliere annue (Fig. 4.1.1.) evidenzia, per il Tresa, un'eccessiva rappresentatività delle situazioni di piena (dati UFAM: www.hydrodaten.admin.ch). Durante i campionamenti su questo fiume sono stati rilevati la mediana più alta ($11.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ed il massimo annuale, raggiunto ad inizio aprile ($81.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Vedeggio, Cuccio e Cassarate hanno fatto segnare valori mediani compresi tra 1.0 e $2.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ mentre per i rimanenti fiumi i valori si sono mantenuti inferiori a $1.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

I valori di temperatura nel 2006 hanno mostrato forti escursioni (Fig. 4.1.3a.) legate all'andamento stagionale della temperatura dell'aria (cfr. paragrafo 2.2.). Su Tresa, Magliasina e Scairolo lo scarto tra valore massimo e minimo è stato superiore ai 20°C , mentre sugli altri tributari l'escursione termica è risultata compresa tra 13°C e 19°C . La temperatura mediana più elevata è stata misurata sullo Scairolo (14.0°C). La punta massima è stata rilevata in luglio sul Tresa (27.4°C), mentre il minimo assoluto è stato misurato in febbraio sulla Magliasina (0.7°C). Le misurazioni dell'UFAM effettuate sul Tresa a Ponte Tresa riportano un massimo di 29.1°C il 25 luglio (Fig. 4.1.2.).

Per quanto concerne la conducibilità elettrica (Fig. 4.1.3a.) il Laveggio presenta la mediana più elevata ($720 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguito dai tributari Bolletta, Scairolo e Livone, con valori compresi tra 420 e $510 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nei rimanenti cinque fiumi, le mediane sono oscillate tra 130 e $250 \mu\text{S cm}^{-1}$. Il massimo annuale è stato rilevato in settembre sul Laveggio ($983 \mu\text{S cm}^{-1}$). Su questo tributario, unitamente al Bolletta, si sono osservate le maggiori variazioni di conducibilità: rispettivamente 610 e $520 \mu\text{S cm}^{-1}$ tra massimo e minimo annuale.

I valori d'alcalinità più elevati, con mediane comprese tra 3.3 e 4.2 eq m^{-3} , sono stati misurati su Laveggio, Livone e Bolletta (Fig. 4.1.3b.), fiumi che drenano bacini costituiti prevalentemente da rocce calcaree. Le alcalinità più basse ($<1.3 \text{ eq m}^{-3}$) sono state registrate per contro negli affluenti Cassarate, Vedeggio, Cuccio e Magliasina, che raccolgono l'acqua da aree caratterizzate da rocce cristalline. Scairolo e Tresa occupano una posizione intermedia, con valori mediani pari a rispettivamente 2.20 eq m^{-3} e 1.88 eq m^{-3} . Le variazioni più marcate sono state osservate su Laveggio e Bolletta che presentano un'escursione di 2.2 eq m^{-3} .

Il valore pH mostra un andamento simile all'alcalinità (Fig. 4.1.3b.): Livone e Laveggio hanno fatto registrare la mediana più elevata, pari a 8.48 unità, mentre sul Vedeggio è stato riscontrato il valore più basso (7.6). I rimanenti tributari presentano mediane pH comprese tra 7.8 e 8.4 . I minimi ed i massimi annuali sono stati rilevati rispettivamente in aprile sul Vedeggio (7.30) e in settembre sul Tresa (9.13). Su quest'ultimo fiume, l'elevata variabilità annuale (escursione di 1.22 unità) è fortemente influenzata dall'attività fotosintetica nell'epilimnio

lacustre, mentre per lo Scairolo le variazioni (1.55) potrebbero essere riconducibili agli apporti dell'impianto di depurazione situato circa 700 m più a monte.

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.3b.) ha mostrato concentrazioni regolarmente superiori a $6.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$, ad eccezione del Cassarate che durante il prelievo di aprile, in un periodo di intense precipitazioni, ha fatto registrare un tenore d'ossigeno di $3.74 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. 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. 4.1.3c.).

Per quanto concerne l'azoto nitroso, nel Bolletta sono stati misurati valori estremi per la mediana ed il massimo annuale, con rispettivamente 65 e 332 mg N m^{-3} (luglio), mentre negli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane si sono mantenute tra 3 mg N m^{-3} (Veduggio) e 17 mg N m^{-3} (Cassarate). Su Bolletta e Cassarate sono state osservate forti escursioni dei valori annui, pari a rispettivamente 320 e 236 mg N m^{-3} .

Per l'azoto nitrico i fiumi Scairolo e Laveggio mostrano mediane molto elevate rispetto agli altri tributari, rispettivamente di 11.4 N m^{-3} e di 10.9 N m^{-3} . Il valore massimo è stato misurato nel Laveggio con 17.6 g N m^{-3} in settembre. Gli altri fiumi hanno mostrato mediane comprese tra 4.33 (Veduggio) e 0.98 g N m^{-3} (Tresa).

Nel caso dell'azoto ammoniacale il Bolletta è risultato il fiume più problematico con una mediana di 0.33 g N m^{-3} , mentre sugli altri corsi d'acqua i valori si sono mantenuti compresi tra 0.01 e 0.06 g N m^{-3} . Il massimo annuale è stato misurato sul Veduggio in marzo con 6.75 g N m^{-3} .

I valori di azoto totale (Fig. 4.1.3d.) più elevati sono stati registrati nello Scairolo e nel Laveggio con mediane di rispettivamente 14.8 e 14.1 g N m^{-3} . Seguono Veduggio e Bolletta con 6.74 e 6.51 g N m^{-3} , mentre i rimanenti 5 fiumi hanno evidenziato valori compresi tra 1.5 e 4.0 g N m^{-3} . Sul Laveggio è stata inoltre registrata la concentrazione massima: 24.3 g N m^{-3} in novembre.

I tenori più elevati di fosforo reattivo (Fig. 4.1.3d.) sono stati misurati nel Bolletta (mediana: 267 mg P m^{-3} ; massimo annuale assoluto in settembre: 496 mg P m^{-3}), e nel Livone (mediana di 129 mg P m^{-3}). I valori mediani degli altri sei tributari si sono situati al di sotto di 30 mg P m^{-3} , ad eccezione del Cuccio con 68 mg P m^{-3} .

Per quanto riguarda il fosforo totale (Fig. 4.1.3d.), il valore ammissibile nei tributari è stato calcolato partendo dai carichi critici dei due bacini lacustri [3] e dai valori di deflusso. Nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata, pari a 416 mg P m^{-3} , valore che supera di 17 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 in occasione di tutti i prelievi. Gli altri affluenti hanno presentato mediane superiori ai rispettivi valori di riferimento, ad eccezione di Magliasina, Tresa e Cassarate. Il massimo assoluto dell'anno ($2'378 \text{ mg P m}^{-3}$) è stato misurato in aprile nel Bolletta. Durante il medesimo campionamento, caratterizzato da intense precipitazioni, sul Cassarate è stata rilevata una concentrazione di fosforo totale pari a 937 mg P m^{-3} .

I valori mediani di carbonio organico disciolto (DOC; Fig. 4.1.3e.) si sono sempre mantenuti sotto i 3.0 g C m^{-3} . Il Bolletta, oltre a presentare la mediana più elevata (2.8 g C m^{-3}) ha mostrato le escursioni più marcate: 6.0 g C m^{-3} tra massimo e minimo. Sempre su questo tributario in febbraio è stato riscontrato il massimo assoluto, pari a 7.32 g C m^{-3} .

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; Fig. 4.1.3e.), si evidenzia il Bolletta per la sua mediana elevata: $6.03 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$, mentre il massimo assoluto ($13.07 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$) è stato misurato nel Vedeggio in febbraio. Il grafico è abbastanza simile a quello del DOC, ad indicare come nei tributari del Ceresio la degradazione della materia organica sia il principale responsabile del consumo d'ossigeno.

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.3e.) sono state registrate nel Vedeggio (mediana: 4.34 g Si m^{-3}), seguito dallo Scairolo (4.24 g Si m^{-3}) il cui bacino imbrifero è costituito prevalentemente da porfiriti. Su quest'ultimo affluente è stato misurato in ottobre anche il massimo annuale (6.28 g Si m^{-3}). Le concentrazioni più basse di silice sono state rilevate nell'emissario Tresa (mediana: 0.65 g Si m^{-3}), in seguito alla sua assimilazione da parte delle diatomee fitoplanctoniche nell'epilimnio lacustre. I valori mediani degli altri tributari sono risultati compresi tra 2.47 (Livone) e 4.01 g Si m^{-3} (Bolletta).

Gli andamenti settimanali di alcuni parametri fisico-chimici e chimici 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 e i dati raccolti hanno evidenziato forti escursioni di valori (Figg. 4.1.4a.-d.), non rilevabili con i soli campionamenti istantanei. In particolare forti precipitazioni provocano repentini e considerevoli aumenti nelle concentrazioni d'azoto e fosforo totali e di carbonio organico particellato nei fiumi, come si è verificato a metà maggio ed a inizio giugno. Nei corsi d'acqua a carattere torrentizio, come il Cassarate, questa dinamica è particolarmente evidente. I campionamenti settimanali hanno inoltre consentito di rilevare brevi episodi di carico eccessivo di nutrienti provenienti, ad esempio, da industrie, scaricatori di piena o impianti di depurazione, come pure di ridimensionare punte estemporanee registrate durante i campionamenti istantanei. Infatti durante il prelievo manuale di aprile sul Cassarate, quando erano in corso forti precipitazioni, sono stati misurati 937 mg P m^{-3} di fosforo totale, mentre i prelievi cumulati settimanali di quel mese hanno prodotto valori compresi tra 30 ed 80 mg P m^{-3} .

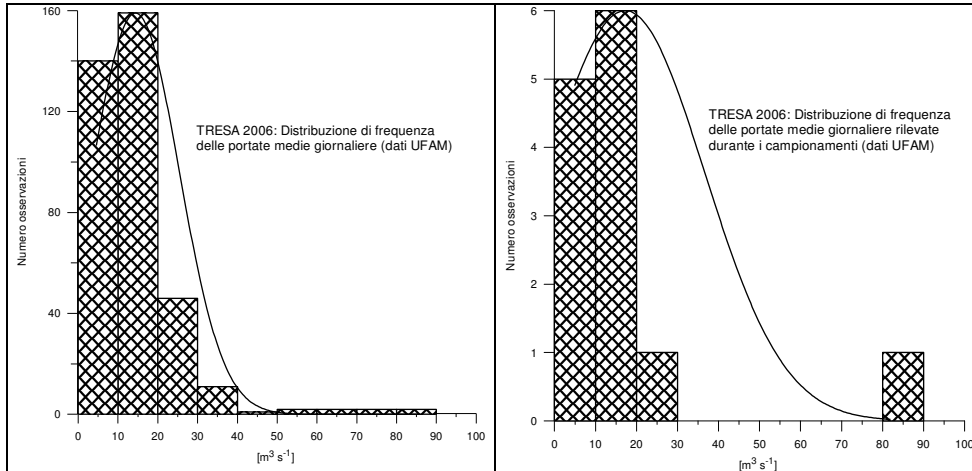


Fig. 4.1.1. Lago di Lugano, 2006: curve di frequenza delle portate medie giornaliere sul fiume Tresa; confronto tra l'intero set di dati annuale (a sinistra) e le 15 portate rilevate durante i campionamenti (dati UFAM).

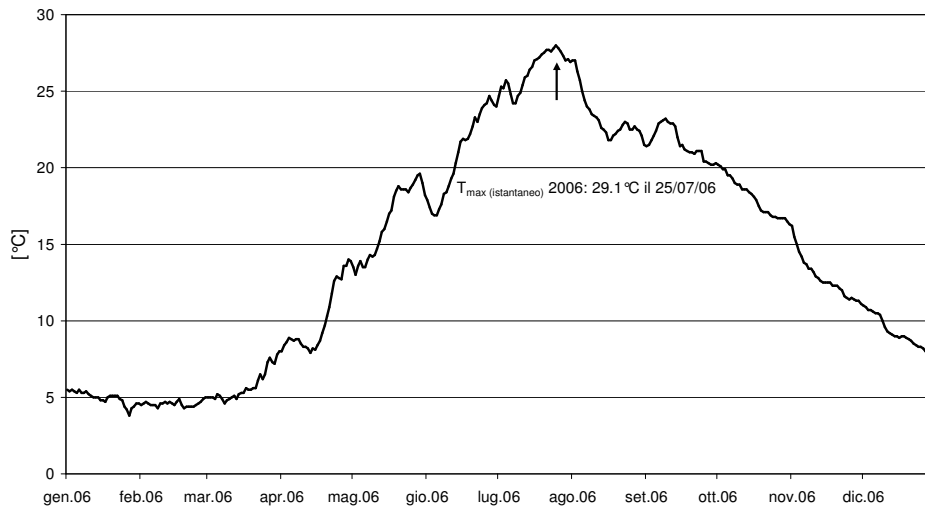


Fig. 4.1.2. Lago di Lugano, 2006: andamento della temperatura media giornaliera nel fiume Tresa a Ponte Tresa, località Rocchetta (dati UFAM).

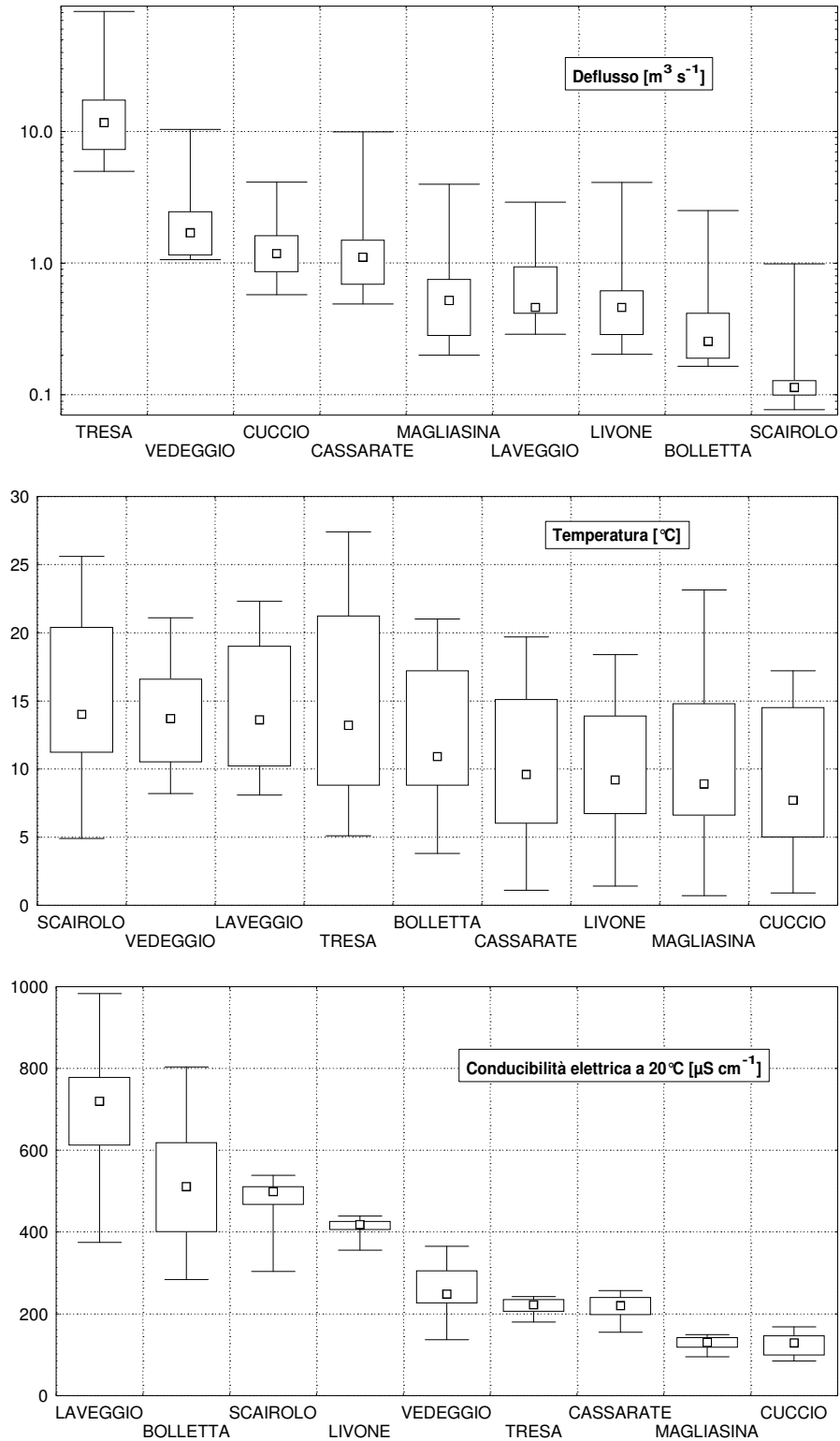


Fig. 4.1.3a. Lago di Lugano, 2006: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

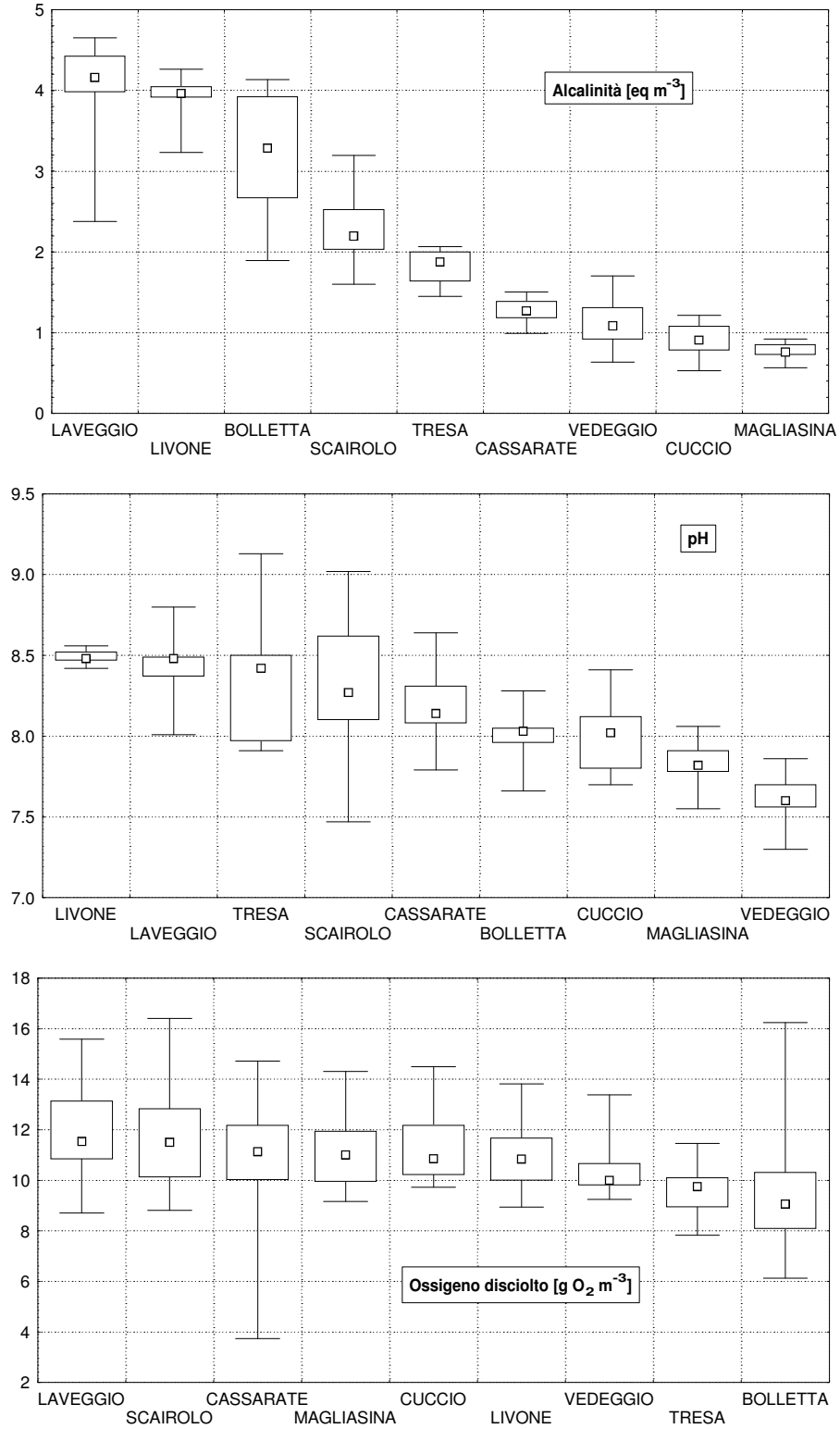


Fig. 4.1.3b. Lago di Lugano, 2006: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

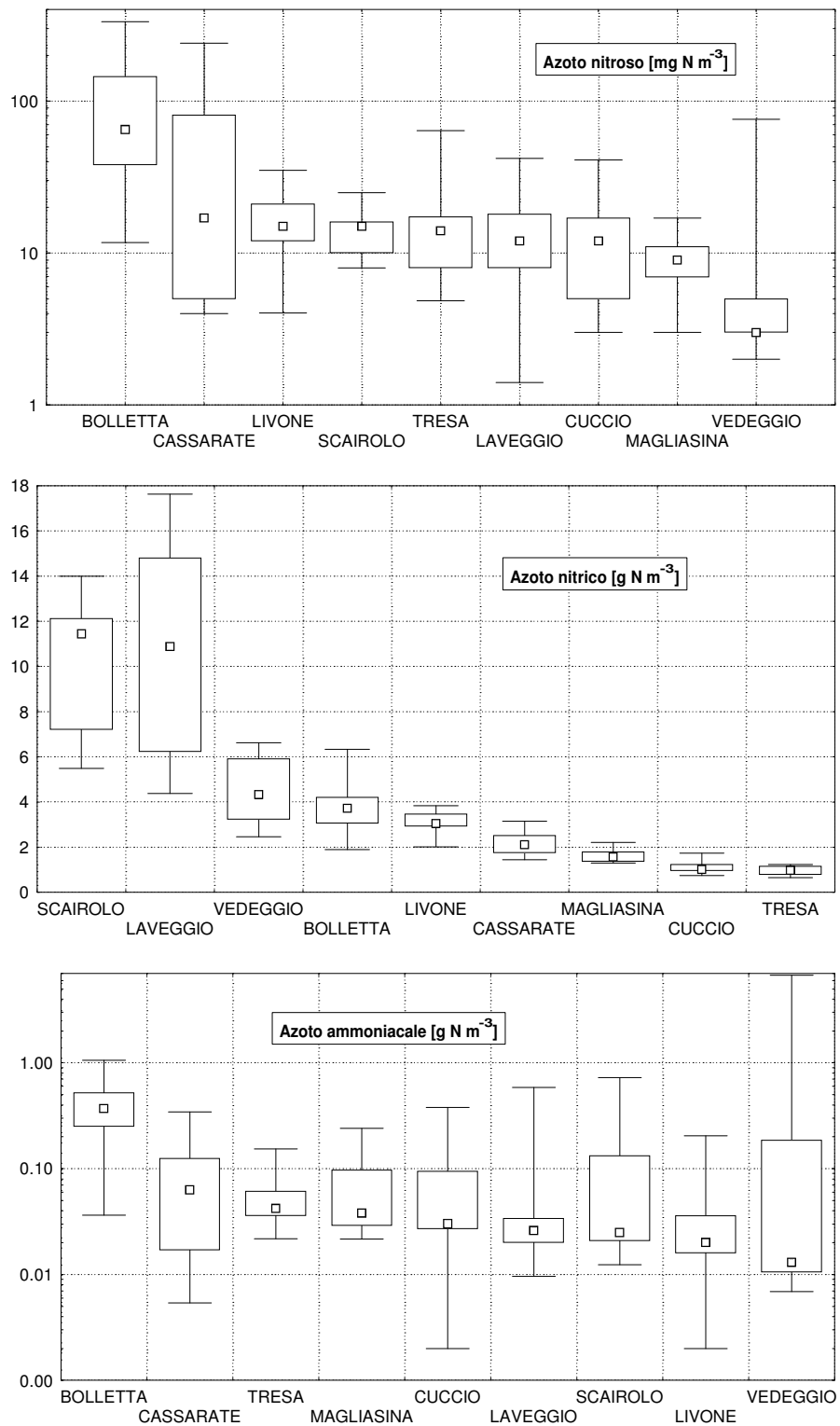


Fig. 4.1.3c. Lago di Lugano, 2006: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

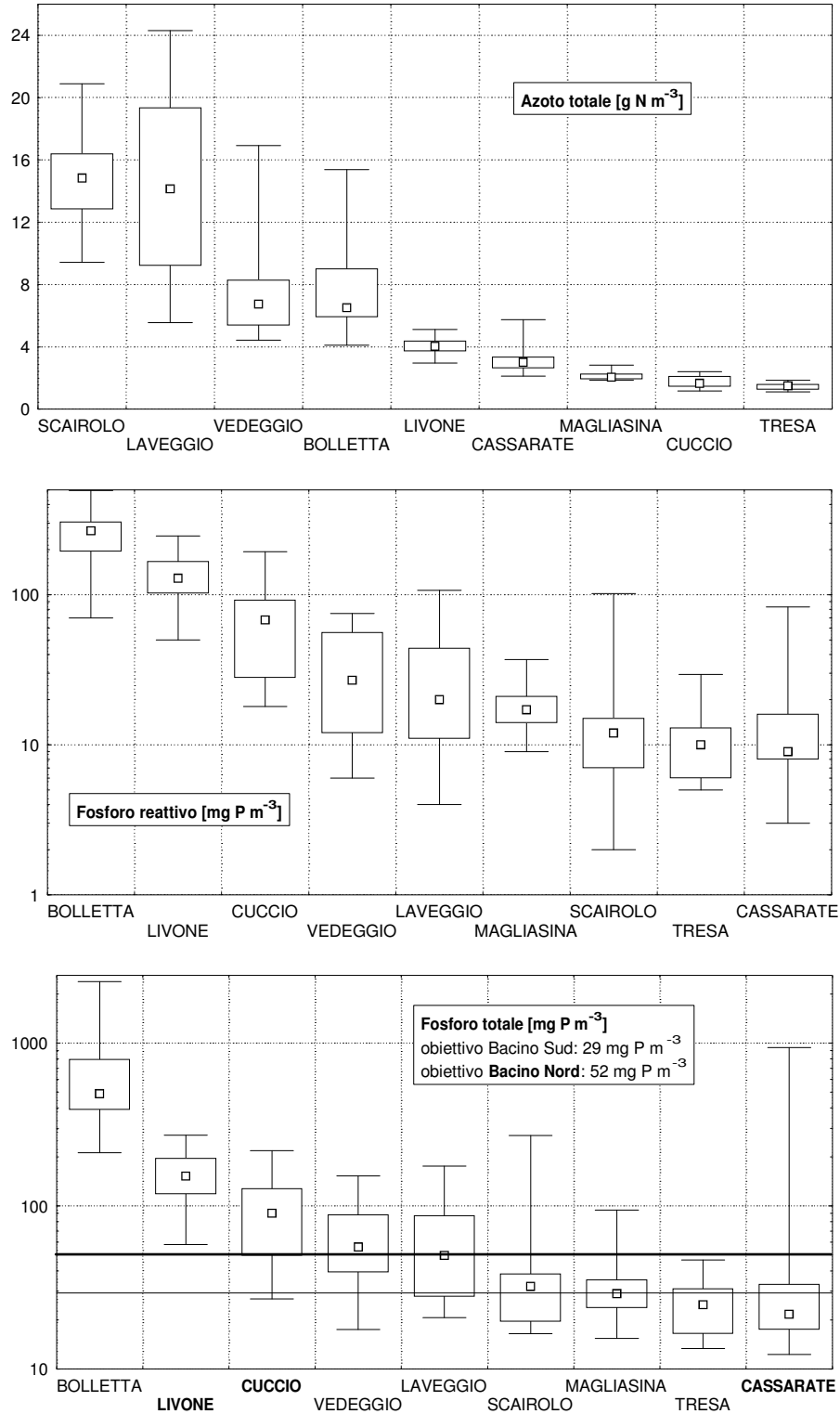


Fig. 4.1.3d. Lago di Lugano, 2006: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo. Nel grafico relativo al fosforo totale i tributari del bacino nord sono indicati in grassetto.

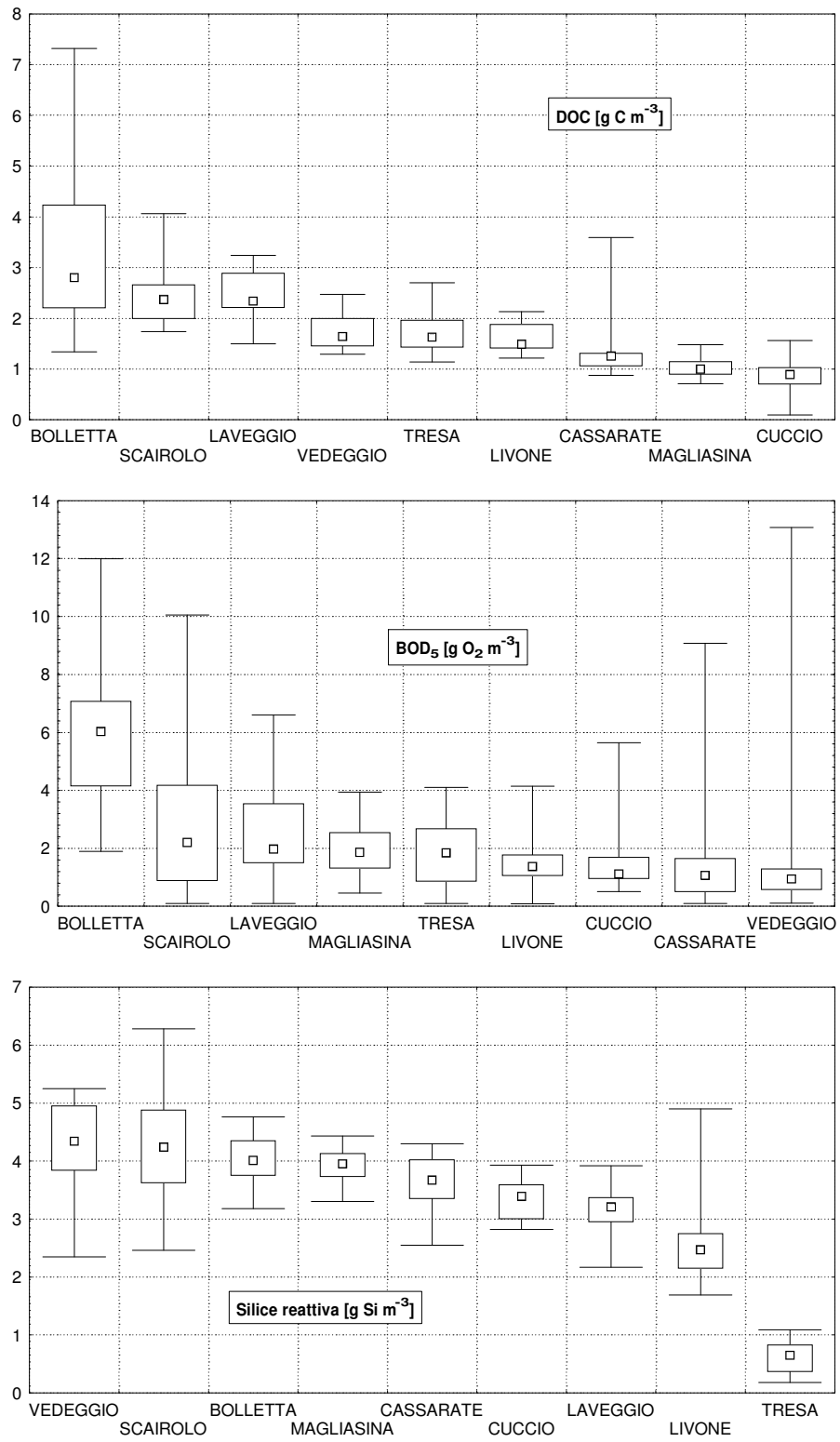


Fig. 4.1.3e. Lago di Lugano, 2006: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

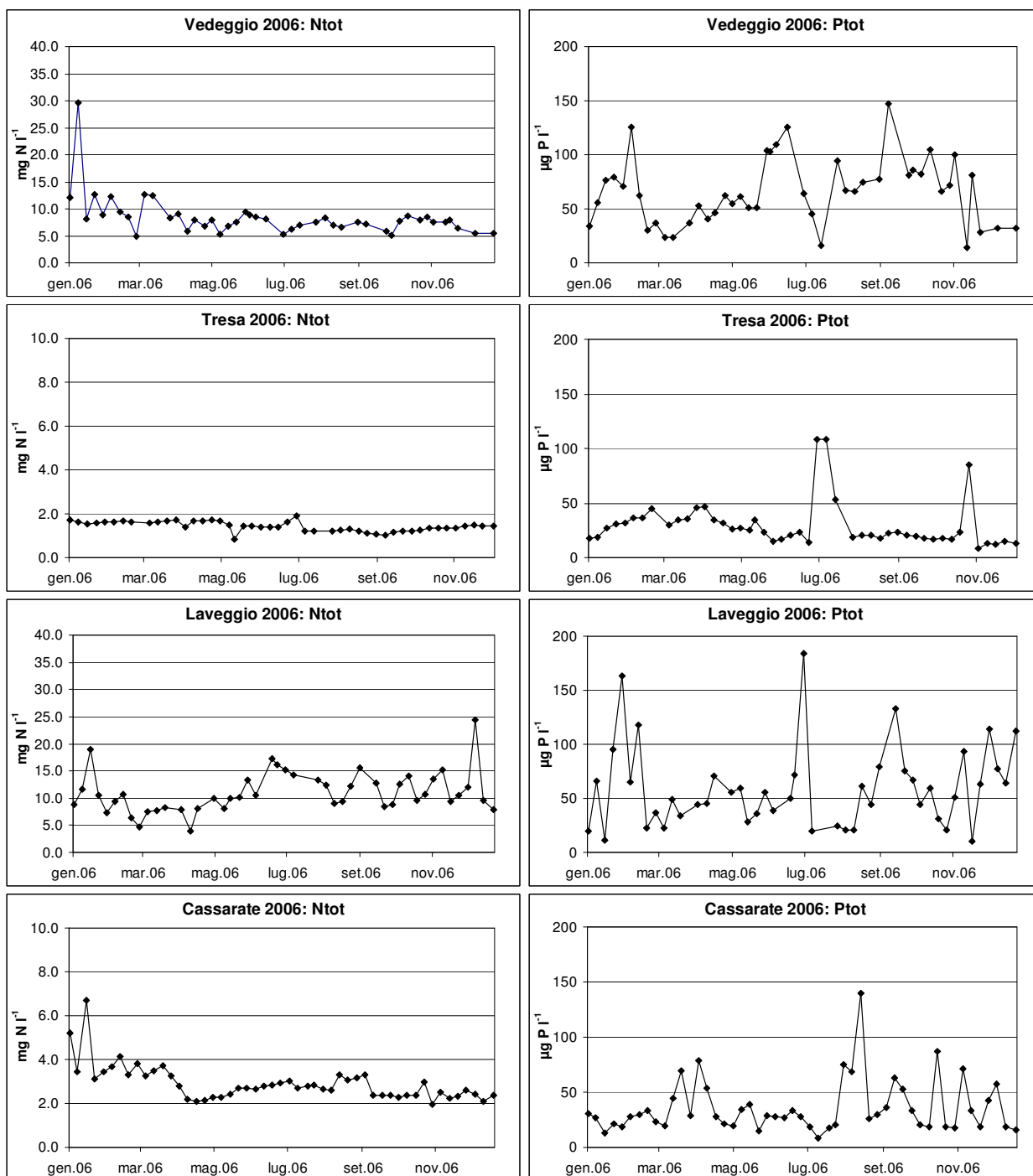


Fig. 4.1.4.: Lago di Lugano, 2006: andamento settimanale delle concentrazioni di azoto e fosforo totali nei fiumi Veduggio, Tresa, Laveggio e Cassarate (campionamento in continuo).

4.2. Carichi chimici

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

Tra gli immissari, il Bolletta ha convogliato al lago i carichi più elevati di fosforo totale (14.2 t P a^{-1}), mentre il Laveggio è stato responsabile del principale apporto di carbonio inorganico ($1'113 \text{ t C a}^{-1}$). Tramite il Cassarate è giunto a lago il carico più elevato per quanto concerne l'azoto nitroso (2.4 t N a^{-1}) e la richiesta biochimica d'ossigeno ($216 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$). Il Vedeggio ha costituito la principale fonte di carico dei rimanenti parametri, ossia fosforo reattivo (2.6 t P a^{-1}), azoto nitrico (312 t N a^{-1}), azoto ammoniacale (33 t N a^{-1}), azoto totale (334 t N a^{-1}), silicati reattivi (316 t Si a^{-1}) e ossigeno disciolto ($850 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti consente una valutazione più qualitativa sullo stato dei corsi d'acqua (Tab. 4.2.2. e Fig. 4.2.2.). Rispetto alla tabella 4.2.1. sul Vedeggio si registrano solo due massimi (azoto ammoniacale: $0.36 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$; silice: $3.4 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), mentre dal Laveggio provengono i maggiori contributi areali per carbonio inorganico ($38.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), azoto nitrico ($6.8 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e totale ($9.8 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Dal Bolletta si confermano gli apporti più elevati di fosforo reattivo e totale (117 e $728 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), a cui si aggiungono i massimi per azoto nitroso ($62 \text{ mg N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e richiesta d'ossigeno ($4.7 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Per quanto attiene l'ossigeno i contributi più elevati di sono veicolati dal Cuccio ($10.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Per il fosforo totale, i carichi areali ammissibili stimati per il recupero del Lago di Lugano sono stati largamente (di oltre 18 volte) superati sul Bolletta e del doppio sullo Scairolo.

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2006: 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
Cassarate	787	2.0	2.5	2.4	106	9	209	209	562	216
Cuccio	437	2.3	3.9	0.5	48	3	75	153	539	66
Livone ¹	1102	2.4	3.3	0.6	68	2	96	56	277	56
Diga Melide	5963	6.5	10.9	0.4	26	3	102	106	1939	-
Bolletta	401	2.3	14.2	1.2	51	6	130	55	139	92
Laveggio	1113	0.8	2.1	0.5	197	5	284	74	286	86
Magliasina	197	0.4	1.1	0.2	41	2	54	100	286	70
Scairolo	144	0.3	0.8	0.1	44	2	73	21	58	34
Vedeggio	878	2.6	5.8	0.8	312	33	334	316	850	167
Tresa	9937	4.3	10.2	5.3	474	29	676	331	4091	544

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2006: 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
Cassarate	10.7	(*)	(*)	(*)	1.4	0.12	2.8	2.8	7.6	2.9
Cuccio	8.1	43	73	9	0.9	0.06	1.4	2.8	10.0	1.2
Livone ¹	36.0	80	107	19	2.2	0.06	3.1	1.8	9.1	1.8
Diga Melide	20.1	22	37	2	0.1	0.01	0.3	0.4	6.5	-
Bolletta	20.6	117	728	62	2.6	0.32	6.6	2.8	7.1	4.7
Laveggio	38.5	27	72	17	6.8	0.17	9.8	2.6	9.9	3.0
Magliasina	5.7	12	33	5	1.2	0.05	1.6	2.9	8.3	2.1
Scairolo	14.9	30	81	14	4.6	0.25	7.6	2.1	6.0	3.5
Vedeggio	9.4	28	62	9	3.4	0.36	3.6	3.4	9.1	1.8
Tresa	16.2	7	17	9	0.8	0.05	1.1	0.5	6.7	0.9

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

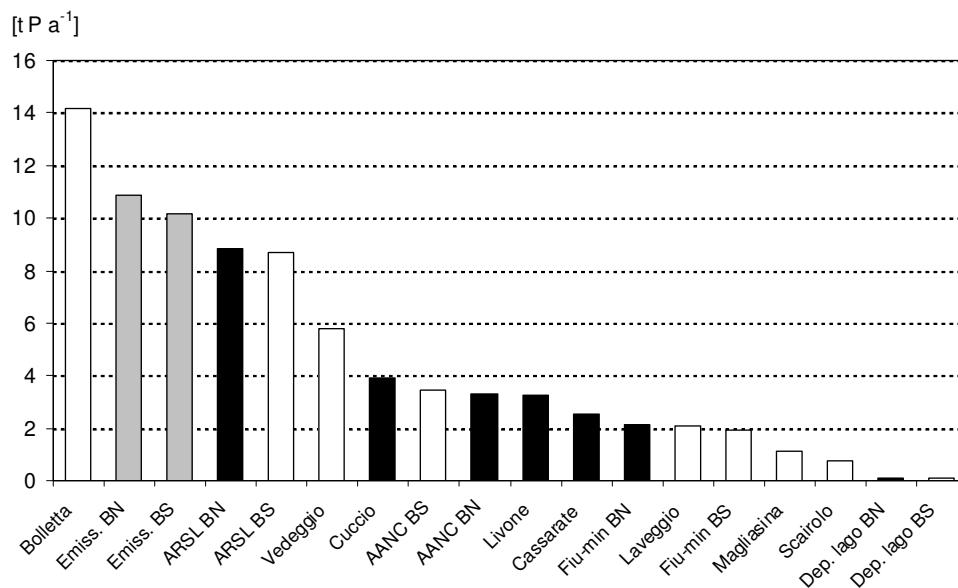


Fig. 4.2.1. Lago di Lugano, 2006: apporti al lago di fosforo totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

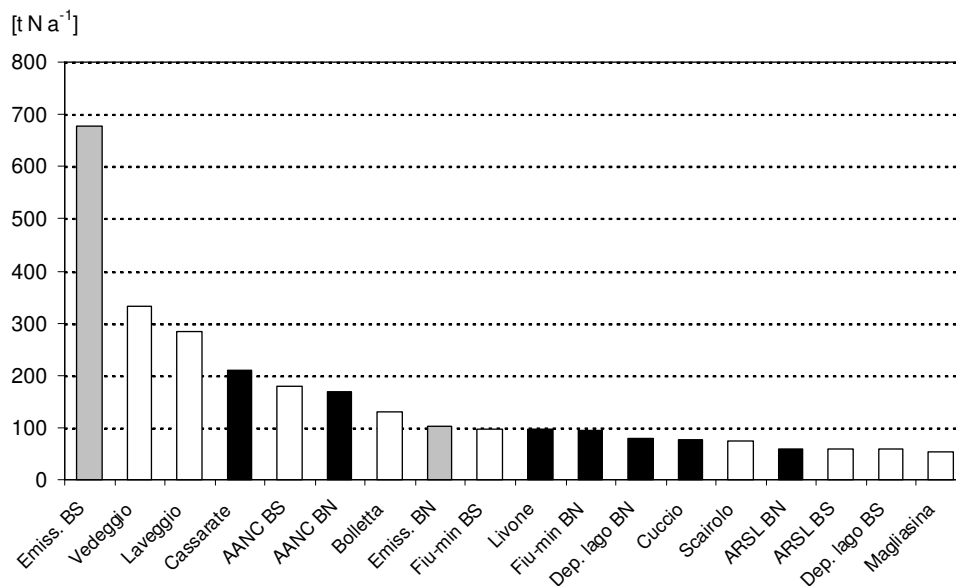


Fig. 4.2.2. Lago di Lugano, 2006: apporti al lago d'azoto totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

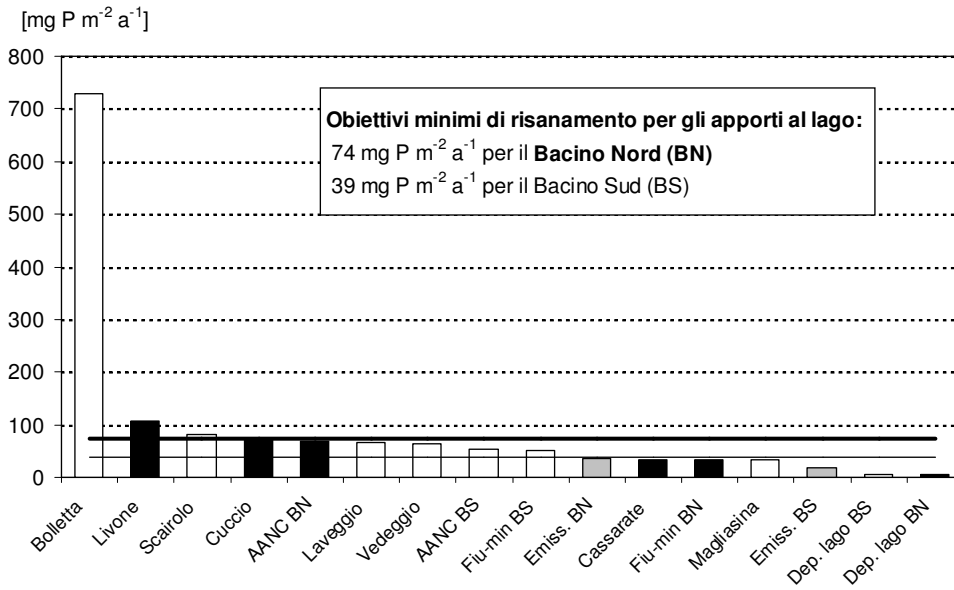


Fig. 4.2.3. Lago di Lugano, 2006: carichi areali di fosforo totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

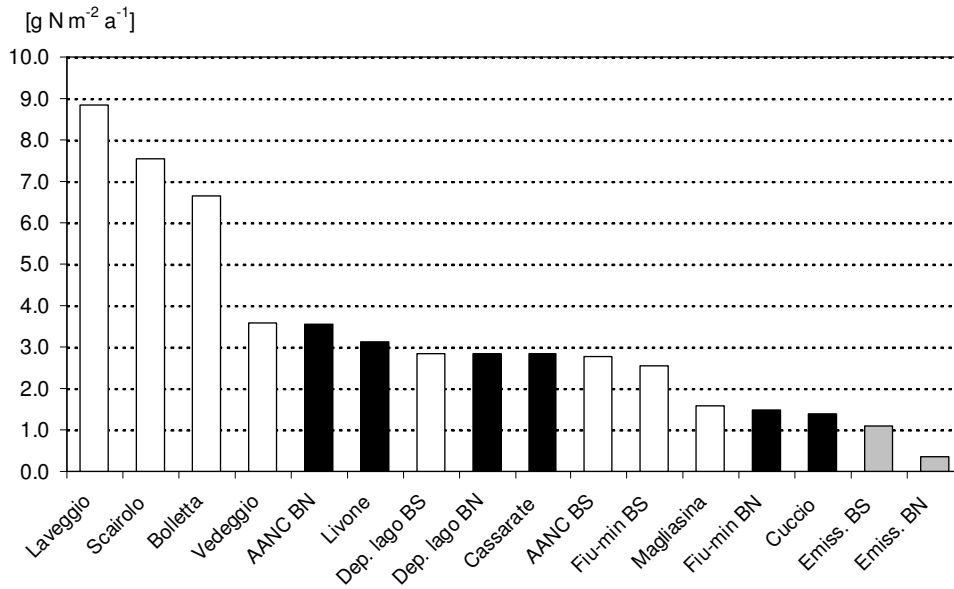


Fig. 4.2.4. Lago di Lugano, 2006: carichi areali d'azoto totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto

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

L'apporto complessivo di fosforo totale equivale a 24.1 t P a⁻¹ per il bacino nord ed a 49.0 t P a⁻¹ per il bacino sud: questi due valori sono rispettivamente inferiori di circa il 15% e superiori del 10% in confronto alla media dell'ultimo quinquennio (1998-2002). Nel 2006 il principale carico di fosforo è stato riversato nel bacino nord dagli scaricatori di piena a lago e dagli abitanti rivieraschi (8.8 t P a⁻¹, valore stimato), mentre nel bacino sud il maggior contributo proviene dal Bolletta (14.2 t P a⁻¹). Il carico esportato nel 2006 dall'emissario Tresa ha raggiunto un valore pari al 40% della media pluriennale (10.2 t P a⁻¹).

Gli apporti d'azoto sono risultati inferiori alla media quinquennale, con 780 t N a⁻¹ (-6%) nel bacino nord, e 1'367 t N a⁻¹ (-19%) nel bacino sud. I carichi più rilevanti sono provenuti dal Cassarate (209 t N a⁻¹) per il bacino nord, e dal Vedeggio (334 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 49% degli apporti di fosforo ed il 61% 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: 37%), e per l'azoto dalle aree non campionabili (21%).

Nel bacino sud viene controllato direttamente l'86 % dell'area del bacino imbrifero, dalla quale viene convogliato al lago il 75% del fosforo e ed il 79% dell'azoto. Le quote rimanenti provengono prevalentemente dagli ARSL per il fosforo (18 %), e dalle aree non campionabili per l'azoto (13%).

Nella tabella 4.3. sono riportati inoltre, per i fiumi Cassarate, Vedeggio, Laveggio e Tresa, i carichi di fosforo totale ed azoto totale calcolati in base alle concentrazioni dei campioni settimanali cumulati, raccolti con i campionatori automatici (vedi capitolo 4.1.). Questi campioni, denominati "CAut", fungono da controllo del dato fornito dal campionamento istantaneo ("CIst"). Dal confronto tra i valori dei carichi calcolati sulla base dei dati relativi ai due tipi di campionamento emergono alcune differenze di rilievo. Come anticipato nel capitolo 4.1 per la stima del carico di fosforo dal Cassarate è stato utilizzato il valore del "CAut" (2.5 t P a⁻¹) in quanto quello da "CIst" (17.1 t P a⁻¹) risultava sovrastimato dal singolo episodio piovoso di aprile. Sul Tresa il carico "CAut" coincide sostanzialmente quello stimato con "CIst" per l'azoto, mentre eccede del 20% per il fosforo. Nel caso del Vedeggio i campionamenti automatici indicano un carico differente rispetto a quelli istantanei, superiore dell'80% per l'azoto totale e inferiore del 14% per il fosforo totale. Il forte divario per la stima degli apporti di azoto risiede in alcuni singoli eventi campionati col metodo automatico che sono invece sfuggiti ai campionamenti manuali. Per contro sul Laveggio il carico da "Cist" coincide esattamente per l'azoto ed è inferiore del 24% per il fosforo.

Tab. 4.3. Lago di Lugano, 2006: 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	209 (163) ⁴	-	17.1* (2.5) ⁴	-
Cuccio	75	-	3.9	-
Livone ¹	96	-	3.3	-
Vedeggio	-	334 (604) ⁴	-	5.8 (4.9) ⁴
Magliasina	-	54	-	1.1
Laveggio	-	284 (284) ⁴	-	2.1 (1.6) ⁴
Bolletta	-	130	-	14.2
Scairolo	-	73	-	0.8
Apporto da BN	-	102	-	10.9
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	476	1073	11.9	36.8
Area non campionata ²	168	178	3.3	1.9
Totale areale emerso	643	1251	15.2	40.2
ARSL ³	59	58	8.8	8.7
Deposizioni sul lago	78	58	0.11	0.1
Totale bacino imbrifero	780	1367	24.1	49.0
Carichi in uscita	102	676 (659) ⁴	10.9	10.2 (12.4) 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

* valore sovrastimato da prelievo istantaneo di aprile 2006 (937 mg P m⁻³)

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

Le indagini chimiche sull'ambiente pelagico sono state svolte nelle stazioni di Gandria per il bacino nord, e di Melide e Figino per il bacino sud: la loro scelta è stata effettuata in considerazione delle diversità geomorfologiche ed idrochimiche esistenti nel lago e sul suo bacino imbrifero.

5.1. Trasparenza

A Gandria la trasparenza delle acque (Fig. 5.1.) ha mostrato una temporanea riduzione agli inizi di febbraio, legata alla massiccia presenza di ossidi/idrossidi di ferro e manganese precipitati in seguito alla circolazione completa della colonna d'acqua. I valori sono nuovamente diminuiti nel corso di marzo in concomitanza con l'inizio del periodo vegetativo, raggiungendo il minimo annuale (2.9 m) in aprile. In maggio si è verificata una fase di chiarificazione delle acque favorita dall'attività dello zooplancton erbivoro che ha temporaneamente fatto aumentare la trasparenza a 10 m. Dopo un nuovo calo registrato in giugno e luglio (4.7 m) i valori sono gradualmente aumentati per toccare a dicembre i livelli di inizio marzo (14.8 m).

Per quanto riguarda il bacino sud, l'andamento della trasparenza è stato simile nelle due stazioni, anche se a Melide le fluttuazioni sono risultate più marcate. In questa stazione sono stati rilevati i valori estremi di questo parametro: massimo di 15.3 m in gennaio e minimo di 2.2 m a fine aprile. Durante il periodo di chiarificazione delle acque (maggio) la trasparenza ha raggiunto 11.9 m a Melide, per poi nuovamente diminuire toccando un minimo estivo di 2.8 m in luglio.

Il valore medio annuo del 2006, calcolato su 24 osservazioni, è stato di 8.5 m a Gandria, 7.8 m a Melide, e 6.8 m a Figino. L'escursione annua della trasparenza ha raggiunto 12.0 m a Gandria, 13.1 m a Melide e 9.1 m a Figino.

5.2. Torbidità

Nella figura 5.2. è riportata graficamente la distribuzione spazio-temporale dei valori della torbidità. Dal aprile è stata utilizzata una nuova sonda multiparametrica che rileva il particolato sospeso non più come assorbanza percentuale, bensì come valore di torbidità espresso in FTU (Formazine Turbidity Units). I valori dei primi tre mesi del 2006 sono stati convertiti in FTU trasformando i valori percentuali d'assorbanza sulla base del coefficiente di correlazione rilevato tra i due parametri.

Nello strato epilimnico l'andamento della torbidità nei tre siti è simile, e si distinguono le punte legate allo sviluppo stagionale del fitoplancton (cfr. Fig. 6.3.1.). Il picco di fine aprile-inizio maggio, mette in evidenza la presenza di diatomee nei primi metri della colonna d'acqua, mentre nei mesi successivi sono soprattutto le clorofee a determinare forti torbidità più in profondità (cfr. Fig. 6.2.1.). A partire da novembre, a Gandria, spicca al di sotto di 220-250 m

un'elevata torbidità generata dalla presenza di materiale in sospensione di probabile origine alloctona.

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

5.3. Temperatura dell'acqua

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

Già a fine gennaio, grazie all'inverno particolarmente rigido, la colonna d'acqua ha raggiunto in tutte le stazioni una situazione d'omotermia sull'intera colonna. I minimi dell'anno a 0.4m di profondità sono stati misurati in febbraio (5.49 °C a Gandria, 4.74 °C a Melide e 4.56 °C a Figino). La fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio è iniziata a metà marzo ed è proseguita fino a luglio, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno: 26.81 °C a Gandria, 28.18 °C a Melide e 27.99 °C a Figino. La successiva fase di raffreddamento si è svolta in modo regolare fino a dicembre, con gradienti di temperatura meno forti rispetto al periodo di riscaldamento.

5.4. Ossigeno disciolto

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

Nel bacino nord si sono riscontrate condizioni di ossigenazione critiche in febbraio quando la circolazione invernale ha portato alla diluizione dell'ossigeno presente sull'intera colonna d'acqua ed al crollo delle concentrazioni (1.4 g O₂ m⁻³, media sulla colonna). Solo a fine marzo, all'instaurarsi di un debole epilimnio è partita l'attività fotosintetica del fitoplancton in grado di fornire l'ossigeno mancante in superficie. Il massimo assoluto dell'anno è stato misurato a fine giugno a 5 m di profondità (10.8 g m⁻³). L'isolinea corrispondente al valore di 4.0 g O₂ m⁻³, sotto la quale le condizioni d'ossigenazione sono considerate critiche (area in grigio), è scesa fino alla profondità di 60 m in agosto per poi assestarsi sui 20 m per il resto dell'anno.

Parimenti, il rimescolamento invernale delle acque del bacino sud è stato completo, ed ha portato, in febbraio, a concentrazioni sulla colonna intorno a 7.0 g O₂ m⁻³. Durante il periodo vegetativo, le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, fino a toccare il valore massimo ad aprile (16.3 g O₂ m⁻³ a Melide e 15.9 g O₂ m⁻³ a Figino). Le condizioni d'ossigenazione degli strati profondi sono peggiorate gradatamente a partire da giugno in tutto il bacino sud e l'isolinea di 4.0 g O₂ m⁻³ si è innalzata fino alla profondità di 25-30 m in dicembre. Il minimo metalimnico è stato rilevato in settembre-ottobre ed ha portato ad un'ossigenazione critica all'interno dello strato 10-15m.

5.5. Valore pH ed alcalinità

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

Nel bacino nord, il valore più alto di pH dell'anno è stato pari 8.89 unità (giugno), mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.5 e 7.7. L'alcalinità ha raggiunto in luglio un minimo annuo di 2.01 eq m^{-3} in superficie. Sotto i 30 m di profondità i valori si sono mantenuti compresi tra 2.4 e 2.6 eq m^{-3} in assenza di gradienti di rilievo.

Per quanto concerne l'epilimnio del bacino sud i valori massimi di pH e minimi d'alcalinità sono stati misurati in settembre nella stazione di Figino, con rispettivamente 9.11 e 1.46 eq m^{-3} . A partire da giugno, nell'ipolimnio del bacino sud si sono instaurati deboli gradienti verticali di pH e d'alcalinità, con valori compresi rispettivamente tra 7.4 e 7.8 unità, e tra 2.2 e 2.5 eq m^{-3} .

5.6. Conducibilità elettrica specifica

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

Nell'epilimnio di Gandria, a partire da maggio, l'assimilazione dei nutrienti e del carbonio inorganico da parte del fitoplancton ha progressivamente fatto scendere i valori della conducibilità che, a 0.4 m di profondità, è passata da 240 a $200 \mu\text{S cm}^{-1}$ (luglio). Dalla profondità di 20 m fino al fondo i valori sono risultati compresi tra 240 e $250 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Nell'epilimnio del bacino sud la conducibilità si è gradualmente ridotta dai $245 \mu\text{S cm}^{-1}$ iniziali fino a toccare un minimo a Melide di $186 \mu\text{S cm}^{-1}$ (luglio) e a Figino di $182 \mu\text{S cm}^{-1}$ (settembre). Da giugno, i valori ipolimnici del bacino sud hanno mostrato un leggero aumento che ha portato, sul fondo, a valori prossimi a $270 \mu\text{S cm}^{-1}$.

5.7. Composti del fosforo

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

Nel bacino nord la completa circolazione invernale ha portato in marzo a concentrazioni di fosforo totale (Fig. 5.7.2) intorno a 100 mg P m^{-3} su tutta la colonna. Sul fondo i valori sono lentamente aumentati a partire da settembre toccando il massimo annuale di 176 mg P m^{-3} in novembre, per poi diminuire drasticamente in dicembre al di sotto dei 250 m a valori di $20-30 \text{ mg P m}^{-3}$, probabilmente a causa del suo adsorbimento al materiale particellato in

sospensione (cfr. paragrafo 5.2.) Nell'epilimnio l'attività algale ha progressivamente ridotto le concentrazioni di questo nutriente dai 100 mg P m⁻³ di marzo ai minimi annui di luglio e settembre (13 mg P m⁻³). Sotto i 50-60 m il fosforo reattivo disciolto (Fig. 5.7.1.) costituisce l'80-90% del fosforo totale, mentre negli strati superiori in primavera ed estate il suo contributo percentuale si riduce a meno del 10%, in seguito alla produzione di biomassa algale (fosforo particellato).

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto, in febbraio, valori omogenei sulla colonna d'acqua (circa 50 mg P m⁻³ a Melide, e 40 mg P m⁻³ a Figino). Il consumo della frazione disciolta da parte del fitoplancton è stato accompagnato, anche nell'epilimnio di questo bacino, da una progressiva riduzione dei valori di fosforo totale, il cui minimo annuale è stato registrato in ottobre (6 mg P m⁻³ a Melide). Negli strati profondi, il rilascio del fosforo dai sedimenti anossici durante la fase di stagnazione è risultato più precoce e molto più marcato a Melide rispetto a Figino. Le concentrazioni massime di fosforo totale sono state misurate a due metri dal fondo, in settembre a Melide (511 mg P m⁻³) e in novembre a Figino (95 mg P m⁻³). A Melide la percentuale di fosforo reattivo sul totale durante il periodo vegetativo è passata progressivamente dal 10% (in superficie) fino al 80-90% (sotto i 40 m). La situazione è simile a Figino, dove però la percentuale della frazione reattiva al di sotto dei 30 m è risultata minore (50-80%).

5.8. Composti dell'azoto

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

Nel bacino nord l'azoto nitrico è stato rilevato a concentrazioni basse (<0.4 g NO₃-N m⁻³), mentre quello ammoniacale è presente solo nell'ipolimnio anossico, sotto i 250 m. In estate nei primi 10 m il primo si è ridotto al di sotto dei limiti di deteazione in seguito alla sua assimilazione da parte del fitoplancton, mentre l'ammonio presenta gradienti verticali crescenti verso il fondo (da 0.1 a 0.5 g NH₄-N m⁻³). Le concentrazioni di azoto nitroso, rilevato solamente sotto i 200 m, sono sempre risultate inferiori a 0.1g NO₂-N m⁻³.

Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale nel bacino nord (Fig. 5.8.4.) rivelano l'esistenza di due strati con una propria dinamica stagionale: nell'epilimnio le concentrazioni estive scendono sotto i 0.3 g N m⁻³ in seguito all'assimilazione dell'azoto nitrico, mentre nello strato di fondo il rilascio dell'azoto ammoniacale dal sedimento ha contribuito ad aumentare i valori di azoto totale all'inizio e alla fine dell'anno (massimo in novembre: 1.22 g N m⁻³).

Il bacino sud presenta in marzo, al termine della circolazione, tenori d'azoto nitrico quasi uniformi sull'intera colonna (1.1-1.2 g NO₃-N m⁻³). Da aprile a settembre si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici, fino a

toccare il minimo in settembre ($0.22 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ a Melide). Con il consolidamento della stratificazione termica e l'instaurarsi di condizioni d'anossia nell'ipolimnio, a partire da giugno anche negli strati in prossimità del sedimento si osserva una progressiva diminuzione dei valori di questo ione, legata presumibilmente ai processi di denitrificazione che avvengono all'altezza dell'interfaccia ossido-riducente [4]. In gennaio, a Melide, l'azoto nitrico ha fatto segnare la concentrazione più bassa ($0.05 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$) a due metri dal fondo. All'interno dello strato anossico, le isolinee dell'azoto ammoniacale presentano un andamento pressoché complementare a quelle della frazione nitrica. Le punte di ammonio sono state misurate nei punti di massima profondità, in giugno a Melide ($1.76 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$) e in ottobre a Figino ($0.70 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$). L'azoto nitroso è stato riscontrato in quantitativi di un certo rilievo nel corso del secondo semestre principalmente a Melide, dove la concentrazione massima è stata rilevata in luglio ($0.22 \text{ g NO}_2\text{-N m}^{-3}$).

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, nello strato epilimnico si osservano, da maggio a ottobre, variazioni di rilievo, determinate in larga misura dai processi d'assimilazione algale della componente nitrica; i tenori d'azoto più bassi sono stati misurati a Melide nel campione superficiale di settembre (0.62 g N m^{-3}). Sempre in questa stazione, ma nei campioni di fondo, è stato rilevato il massimo d'azoto totale (2.26 g N m^{-3} in dicembre), in seguito al rilascio d'azoto ammoniacale da parte del sedimento.

5.9. Silice

Le concentrazioni dei silicati reattivi del bacino nord (Fig. 5.9.) hanno raggiunto in marzo una concentrazione omogenea sull'intera colonna d'acqua ($1.5\text{-}1.6 \text{ g Si m}^{-3}$). I valori epilimnici sono poi calati drasticamente in seguito al rapido sviluppo del popolamento di diatomee (cfr. Fig. 6.2.1.) per poi toccare in ottobre, in superficie, il livello minimo (0.09 g Si m^{-3}). Negli strati profondi le concentrazioni sono rimaste sostanzialmente stabili, con valori compresi tra 1.4 e 1.6 g Si m^{-3} . Nel corso del secondo semestre si è instaurato sul fondo un debole gradiente che ha portato alla concentrazione massima dell'anno (2.45 g Si m^{-3}).

Nel bacino sud, ad inizio marzo la distribuzione delle concentrazioni è risultata uniforme sull'intera colonna (1.0 g Si m^{-3}). In seguito si è verificato un forte consumo epilimnico da parte delle diatomee, che ha fatto scendere progressivamente le concentrazioni ai minimi annui (0.02 g Si m^{-3} a Melide e 0.05 g Si m^{-3} a Figino, in agosto). Da maggio a novembre, il graduale rilascio di silice dal sedimento ha lentamente incrementato le concentrazioni dell'ipolimnio profondo, fino a giungere in estate ai massimi annui (4.50 g Si m^{-3} a Melide in settembre; 2.70 g Si m^{-3} a Figino in agosto).

5.10. Metano

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

A Gandria, nel corso del 2006, il metano è stato riscontrato costantemente a profondità superiori a 220 m, ad eccezione del periodo primaverile, con valori in progressiva crescita verso il fondo (da 0.1 a 1.6 g CH₄ m⁻³). La concentrazione più elevata (2.69 g CH₄ m⁻³) è stata misurata nel corso del mese di dicembre, in prossimità del sedimento

Nel bacino sud la presenza di questo gas disciolto è stata rilevata all'interno dello strato anossico, dapprima in gennaio e quindi nel corso del secondo semestre. La diffusione di metano dai sedimenti lacustri ha portato le concentrazioni dei campioni di fondo ad un massimo in novembre a Melide (2.15 g CH₄ m⁻³), ed in ottobre a Figino (1.49 g CH₄ m⁻³).

5.11. Solfuri

Nel corso del 2006 i solfuri sono stati rilevati solo occasionalmente nello strato costantemente anossico (Fig. 5.11.).

Nel bacino nord si sono misurate concentrazioni significative nei primi due mesi dell'anno con un massimo a due metri dal fondo di 148 mg S²⁻ m⁻³ in gennaio, mentre nel bacino sud i solfuri sono stati rilevati solamente a Melide, in settembre, a due metri dal fondo (148 mg S²⁻ m⁻³).

5.12. Ferro disciolto

Nel bacino nord il ferro è presente, nella sua forma ridotta, in concentrazioni rilevanti nei primi due mesi dell'anno sotto i 250 m di profondità, in situazioni di marcata anossia (Fig. 5.12.). Le concentrazioni più elevate sono state rilevate in gennaio, con un massimo di 844 mg Fe m⁻³, mentre in settembre si registra una punta momentanea sul fondo (95 mg Fe m⁻³).

Nel bacino sud la presenza di ferro disciolto è stata rilevata in quantità significative solo a Figino, nell'ultimo quadrimestre, al di sotto dei 70 m. In questo periodo il rilascio di questo ione dai sedimenti ha portato le concentrazioni a toccare il massimo annuale in settembre (112 mg Fe m⁻³).

5.13. Manganese disciolto

Nel bacino nord il manganese disciolto è stato rilevato anch'esso all'interno dello strato anossico, ed ha presentato un costante gradiente di concentrazione verticale durante l'anno al di sotto dei 220 m (Fig. 5.13.), interrotto durante i mesi successivi alla circolazione invernale profonda. Il massimo annuale (1.88 g Mn m⁻³) è stato misurato in agosto a due metri dal fondo.

Nel bacino sud il manganese è stato rilevato in concentrazioni rilevanti a partire da maggio, sotto i 60 m: esso presenta un andamento simile in entrambe le stazioni campionate, e concentrazioni più elevate rispetto al bacino nord. A Melide il valore massimo è stato raggiunto in settembre (2.68 g Mn m⁻³), mentre a Figino in ottobre (1.68 g Mn m⁻³), entrambi nei campioni di fondo.

5.14. Circolazione del bacino nord

Nel bacino nord, la circolazione completa della colonna d'acqua durante l'inverno 2005-2006 [5] ha portato ad un ulteriore incremento positivo del bilancio ossido-riduttivo (Fig. 5.14.1.), malgrado le concentrazioni d'ossigeno siano temporaneamente scese a livelli critici per la fauna ittica (cfr. 5.4.). Alla fine di marzo 2006 il saldo complessivo ammontava a +10'700 tonnellate d'ossigeno.

La miglior ossigenazione delle acque ha portato inoltre ad un'ulteriore precipitazione di parte del fosforo presente sulla colonna d'acqua: il contenuto complessivo del bacino si è così ridotto dalle 537 t P del 2005 alle attuali 489 t P (-10%). In seguito a questo nuovo evento di rimescolamento le concentrazioni di fosforo totale nei vari strati del bacino nord risultano ora perfettamente identiche (Fig. 5.14.2.) a riprova della definitiva scomparsa della barriera meromittica.

5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale

La figura 5.15. mostra l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale nei due bacini principali del lago durante gli ultimi 24 anni (1983-2006).

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 dell'inverno 2004-2005 la concentrazione media è crollata a 115 mg P m⁻³, per poi assestarsi, nel 2006, attorno a 105 mg P m⁻³. Le concentrazioni dello strato 0-100 m sono scese da 87 mg P m⁻³ nel 1983 a 52-58 mg P m⁻³ nel quinquennio 1993-1997, per poi risalire nuovamente fino agli attuali 101 mg P m⁻³, con un incremento di 24 mg P m⁻³ nel corso dell'ultimo biennio.

Il bacino sud ha presentato nel corso dell'ultimo ventennio un progressivo calo del tenore di fosforo totale, da 137 mg P m⁻³ (nel 1983) a 43 mg P m⁻³ (nel 2003). In seguito i valori si sono stabilizzati, e nel 2006 la concentrazione media è risultata pari a 44 mg P m⁻³.

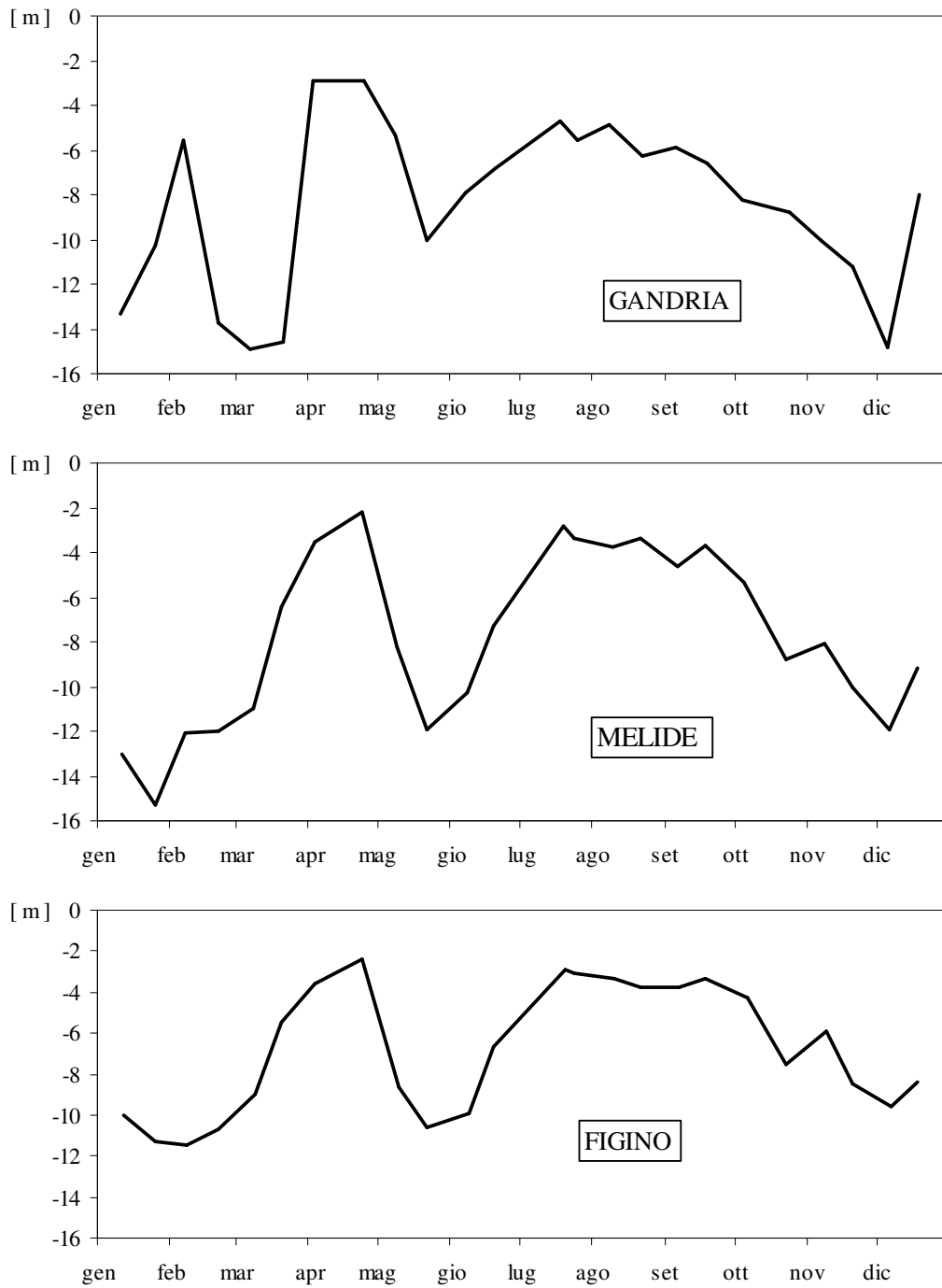


Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2006: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.

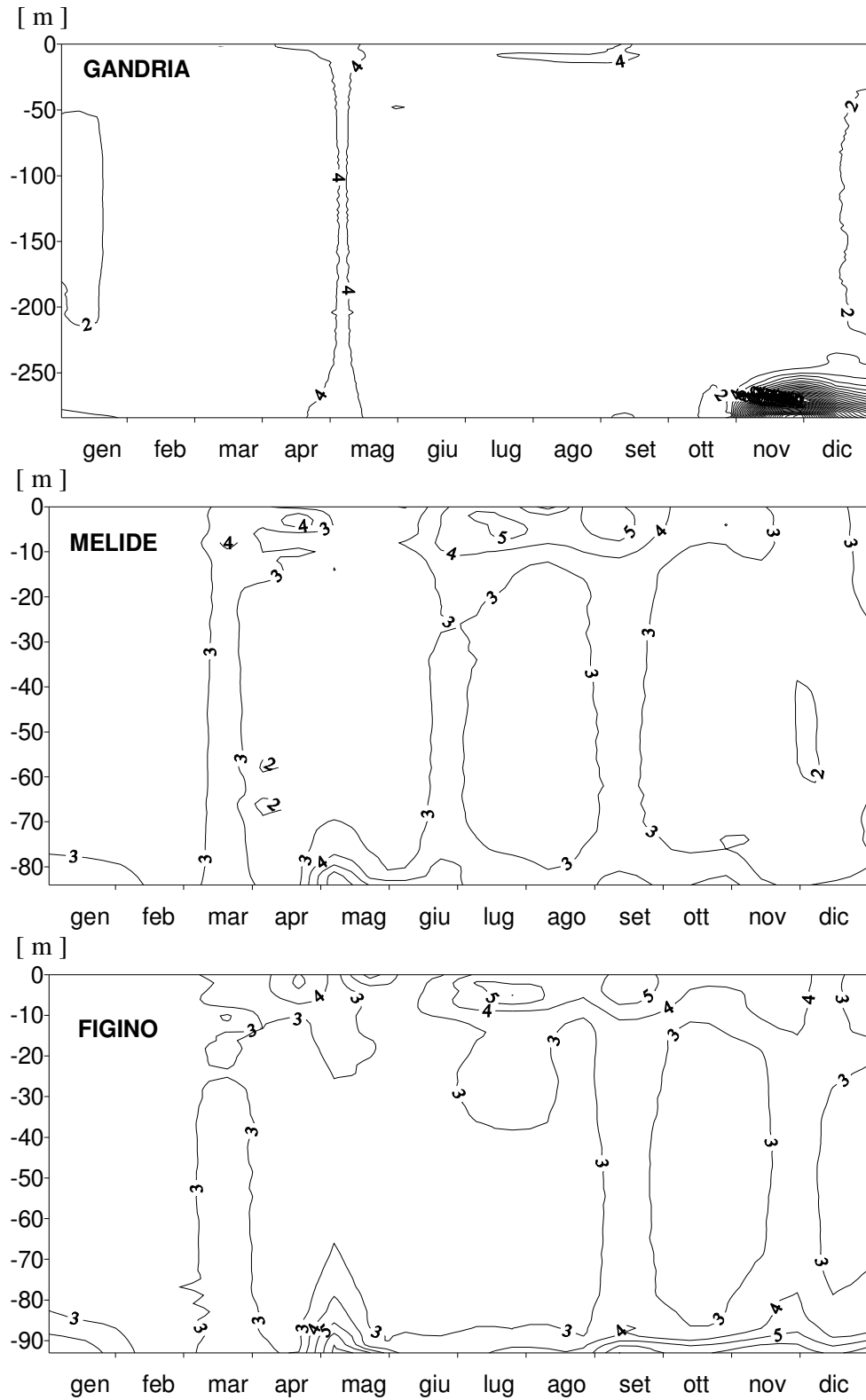


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2006: andamento della torbidità rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica.

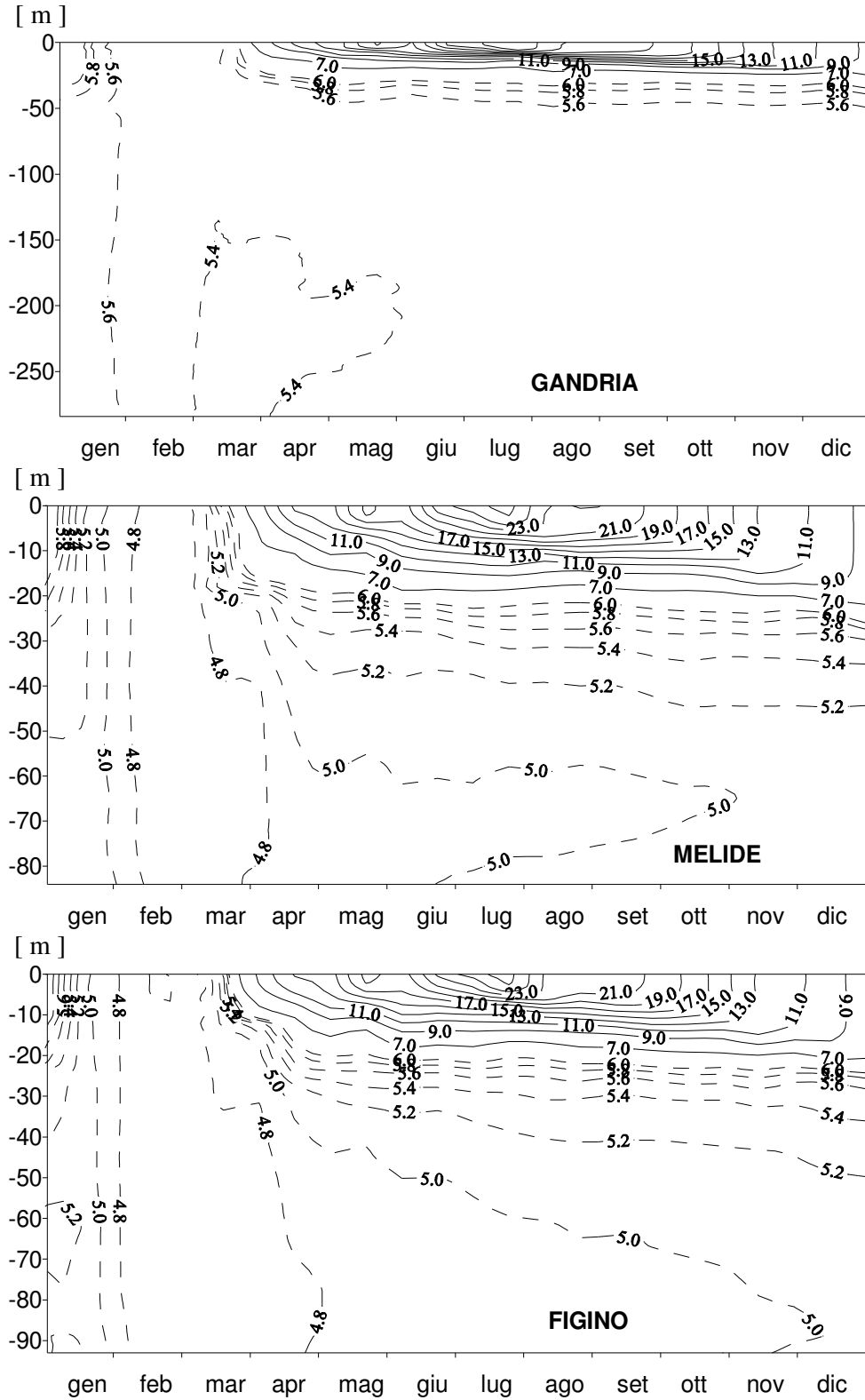


Fig. 5.3. Lago di Lugano, 2006: andamento della temperatura rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [°C].

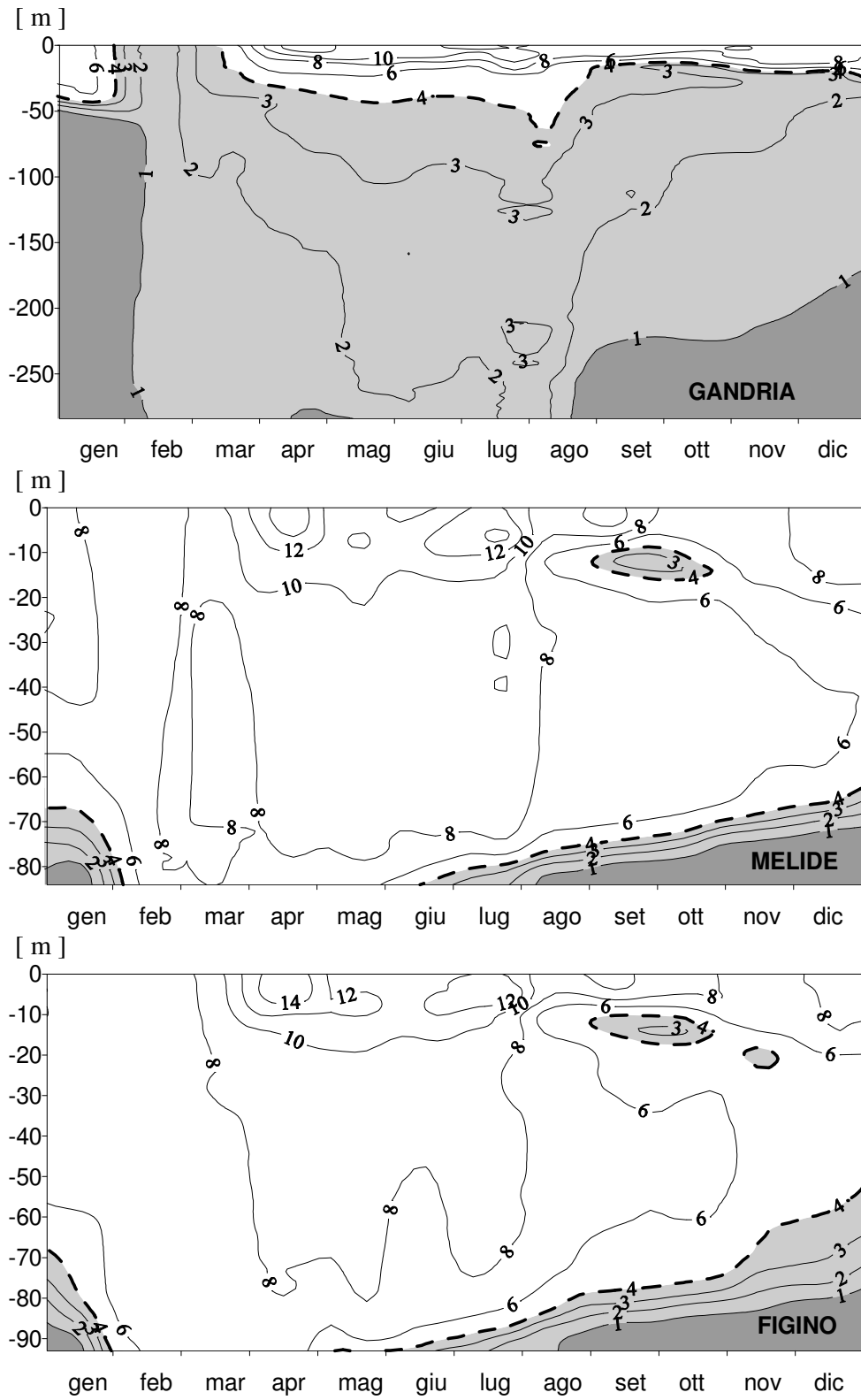


Fig. 5.4. Lago di Lugano, 2006: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [g m^{-3}].

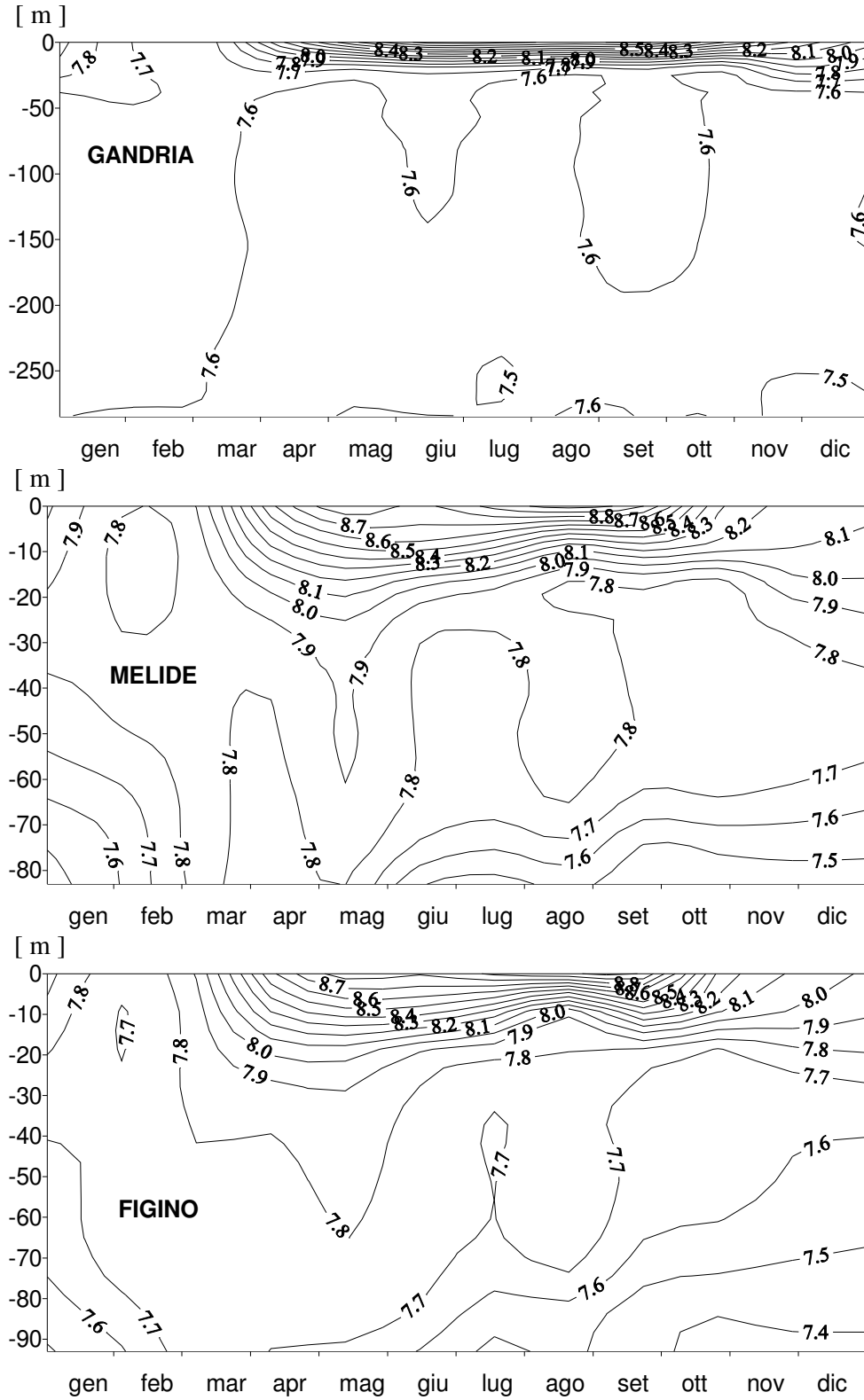


Fig. 5.5.1. Lago di Lugano, 2006: andamento del valore pH.

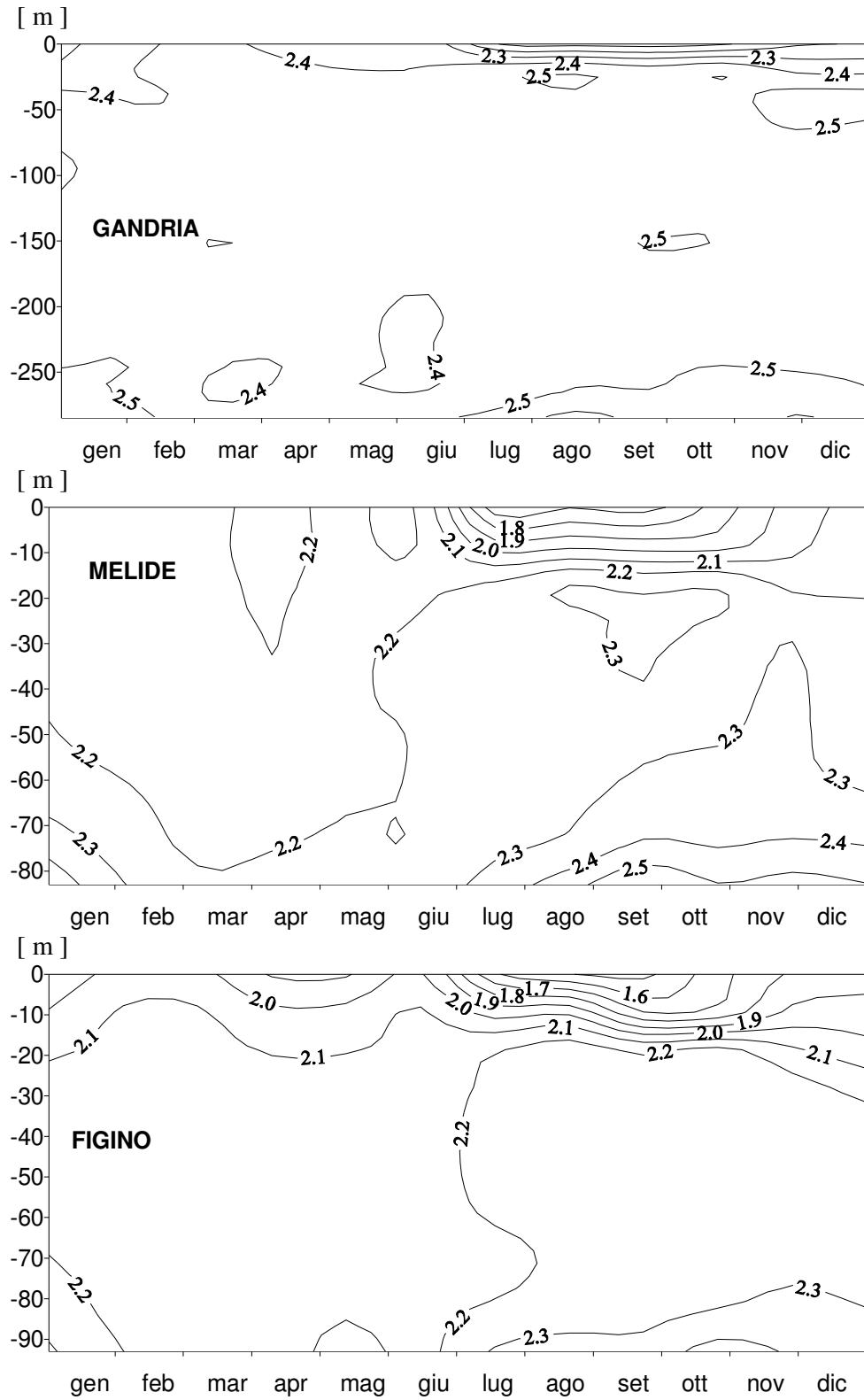


Fig. 5.5.2. Lago di Lugano, 2006: andamento dell'alcalinità [eq m⁻³].

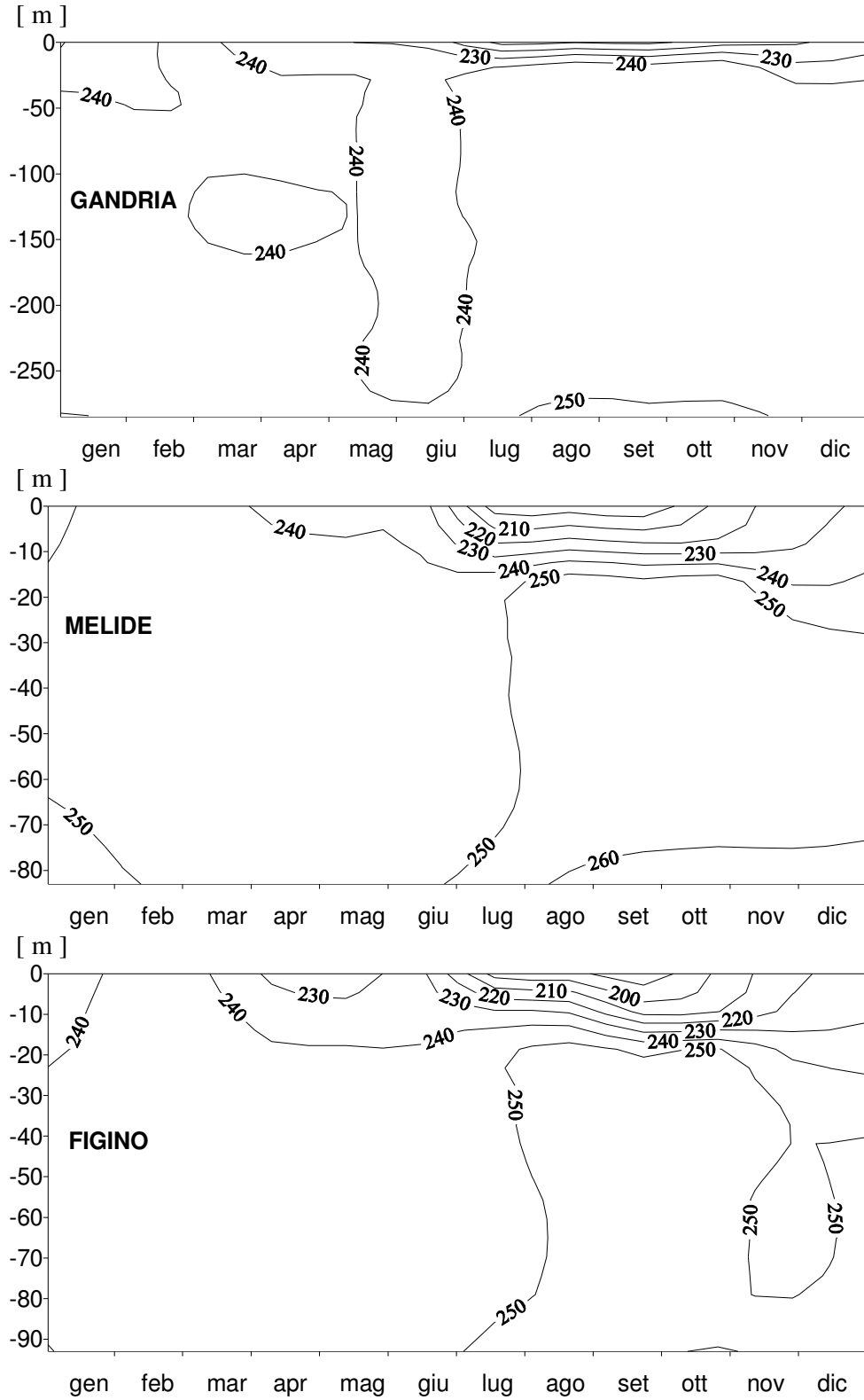


Fig. 5.6. Lago di Lugano, 2006: andamento della conducibilità elettrica [$\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C].

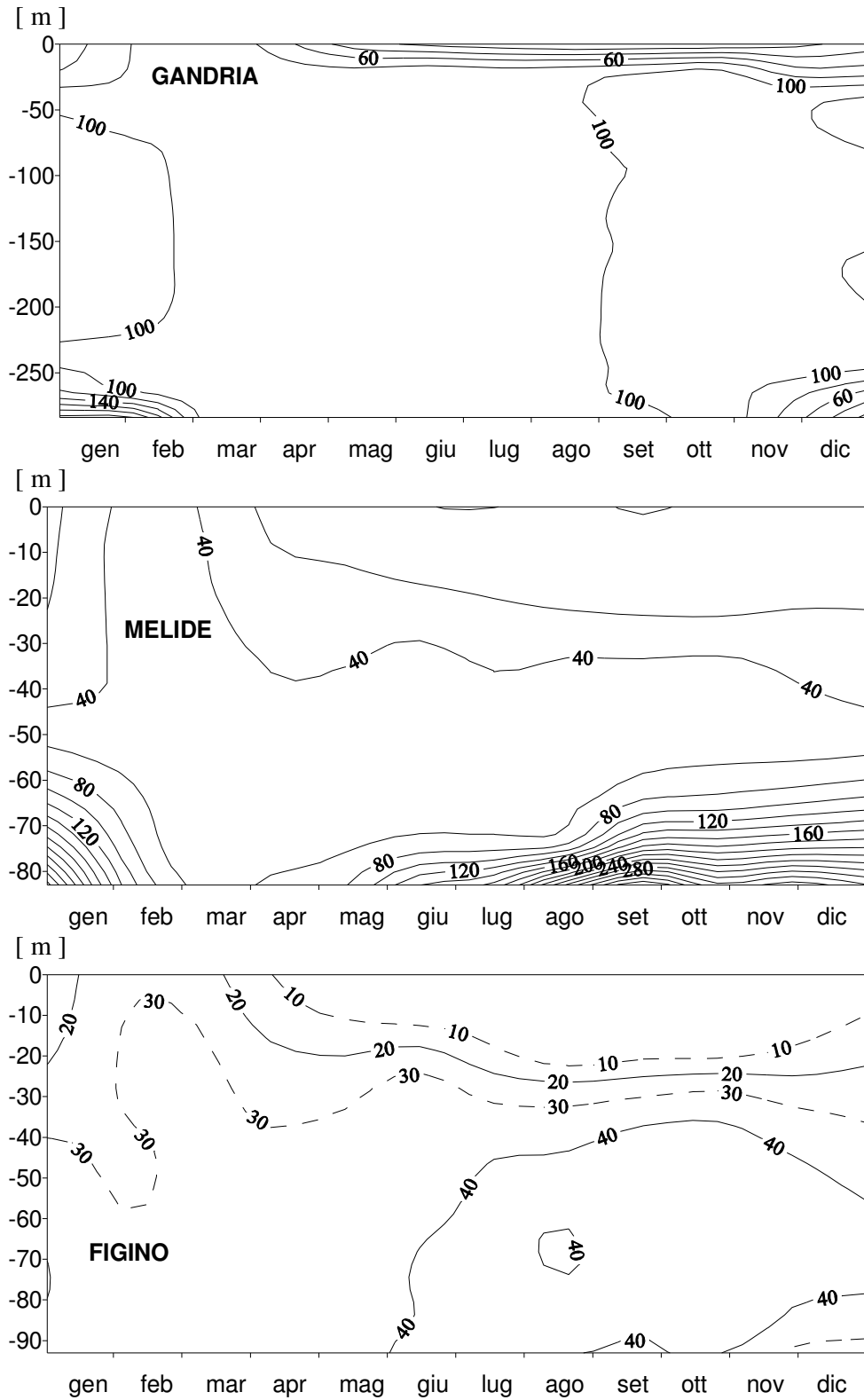


Fig. 5.7.1. Lago di Lugano, 2006: andamento del fosforo ortofosfato [mg P m^{-3}].

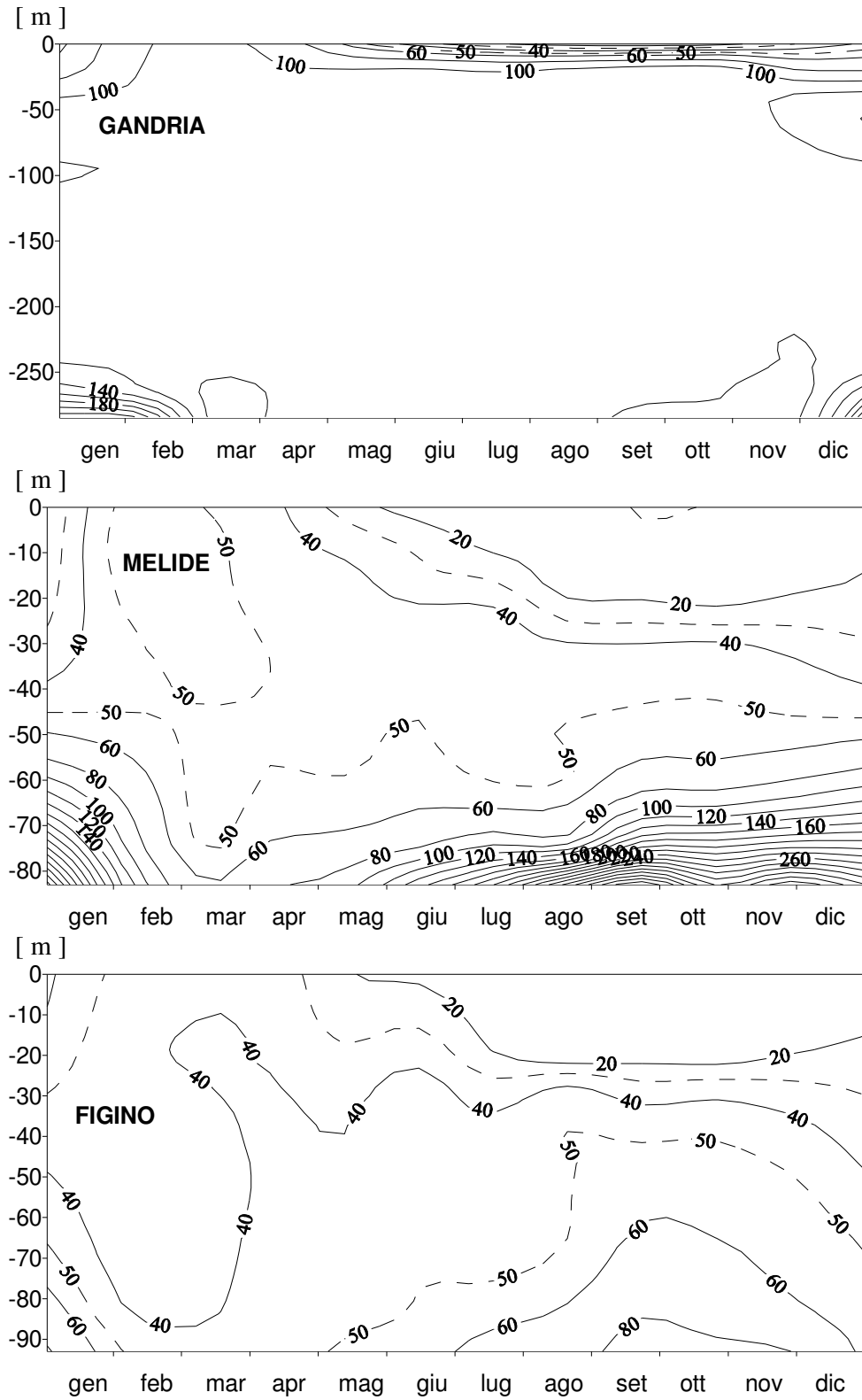


Fig. 5.7.2. Lago di Lugano, 2006: andamento del fosforo totale [mg P m^{-3}].

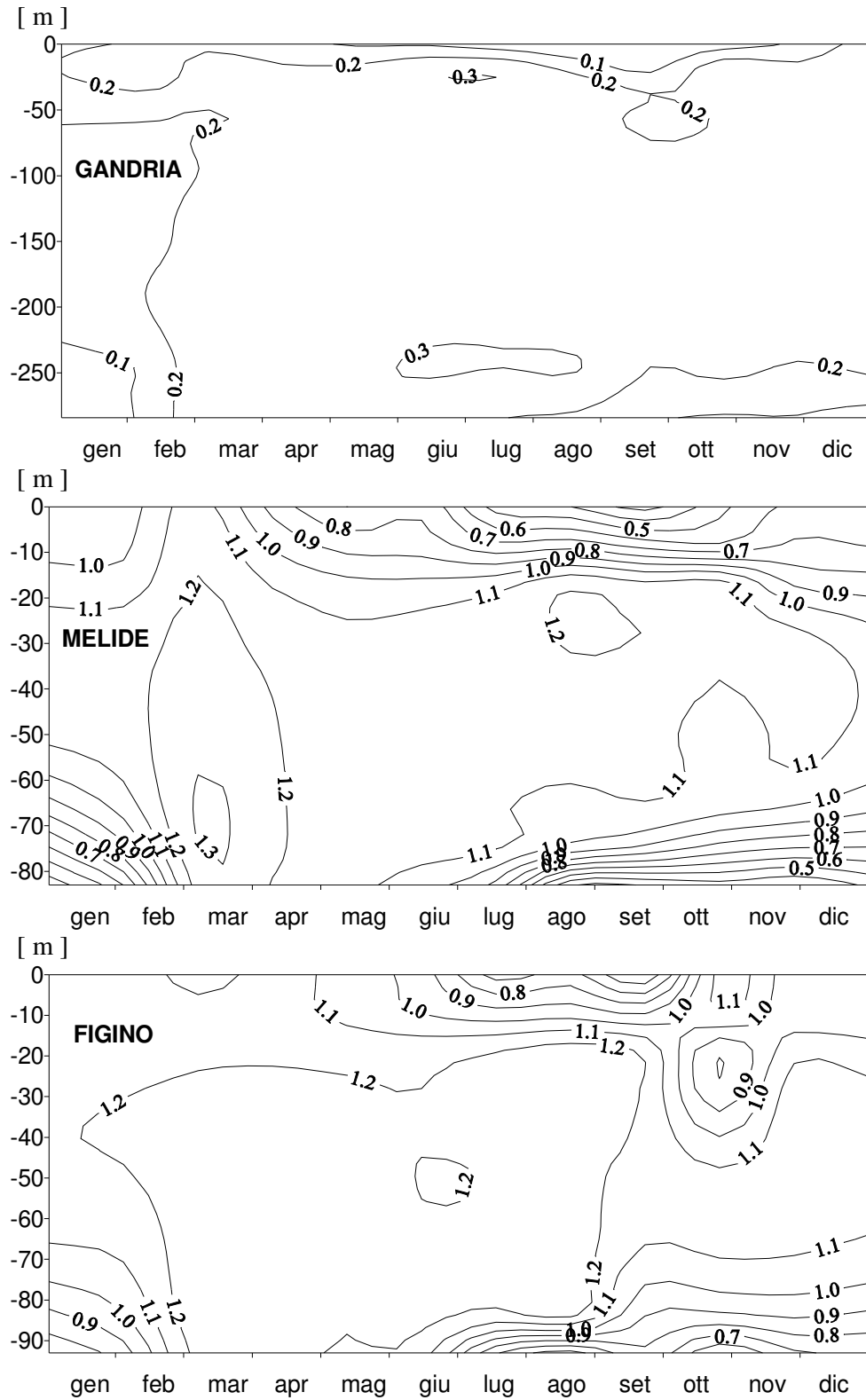


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2006: andamento dell'azoto nitrico [g N m^{-3}].

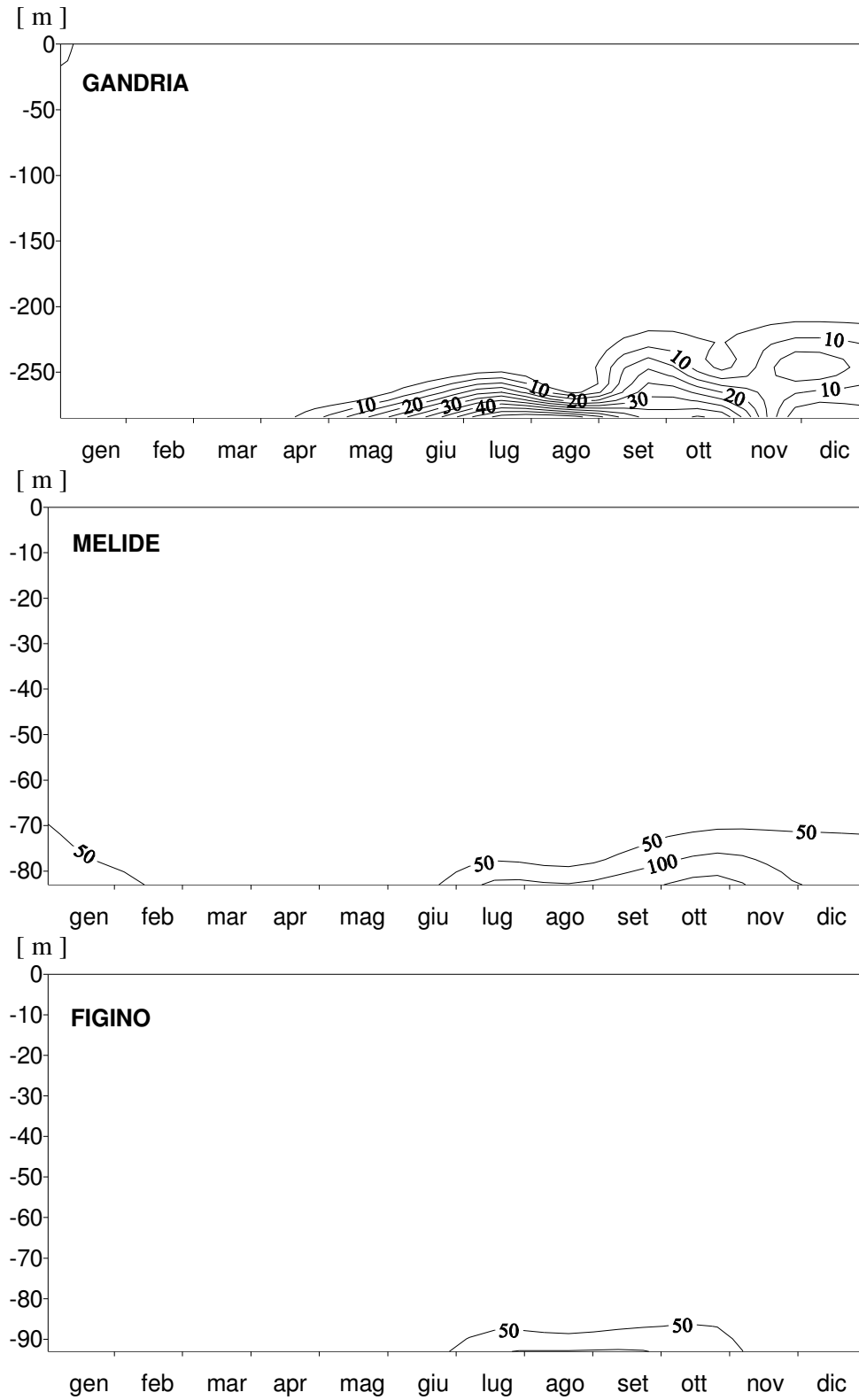


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2006: andamento dell'azoto nitroso [mg N m^{-3}].

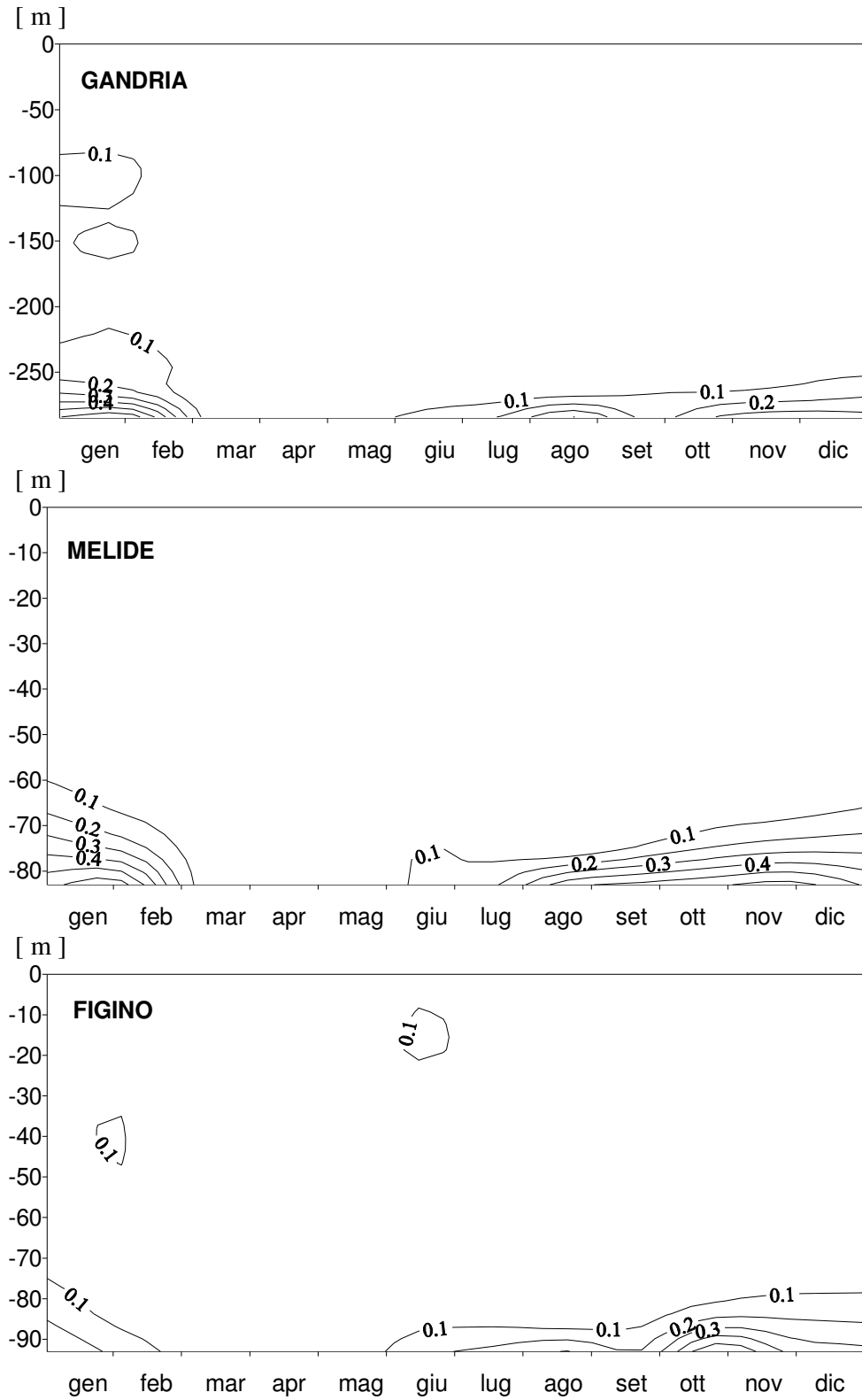


Fig. 5.8.3. Lago di Lugano, 2006: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m^{-3}].

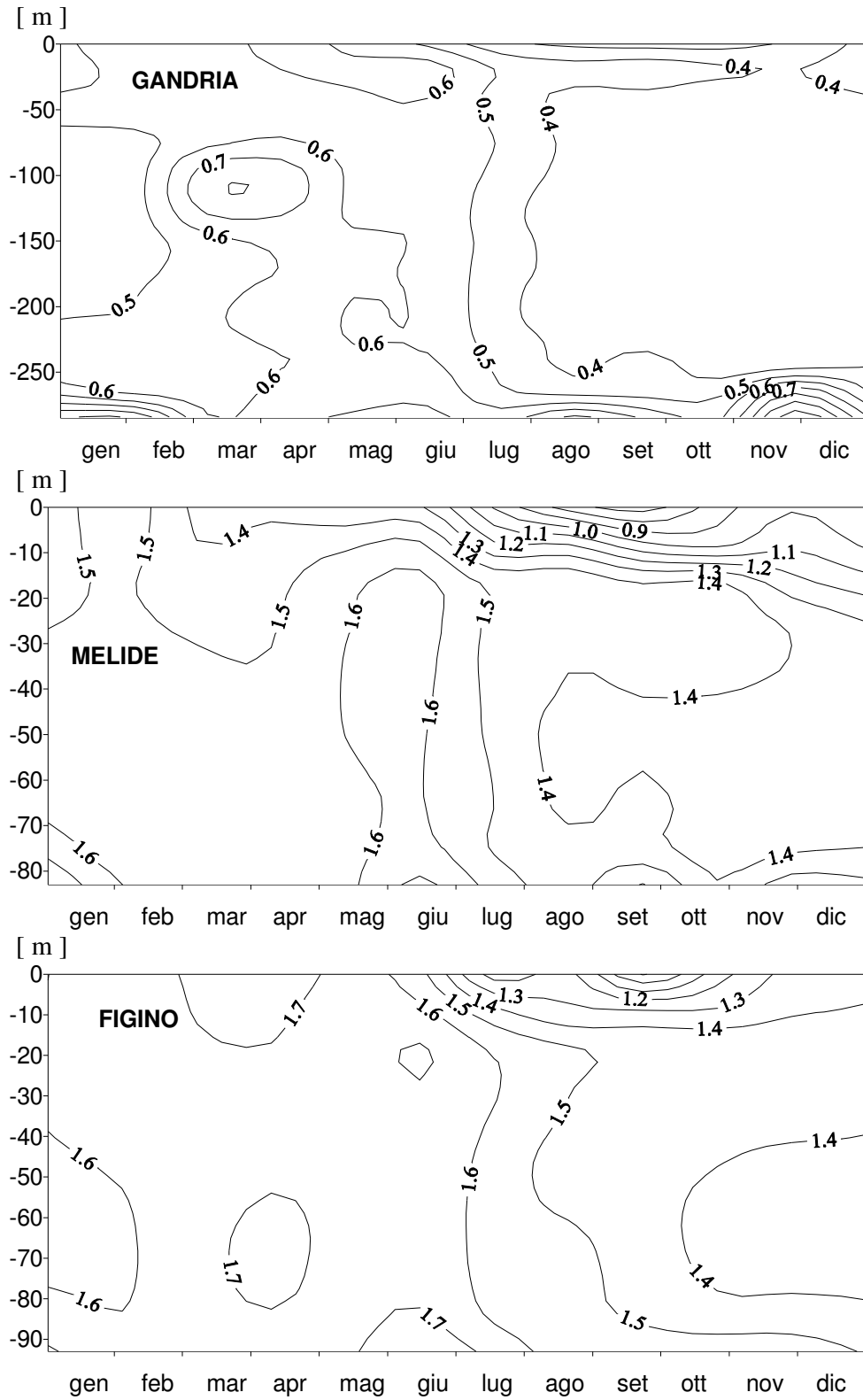


Fig. 5.8.4. Lago di Lugano, 2006: andamento dell'azoto totale [g N m^{-3}].

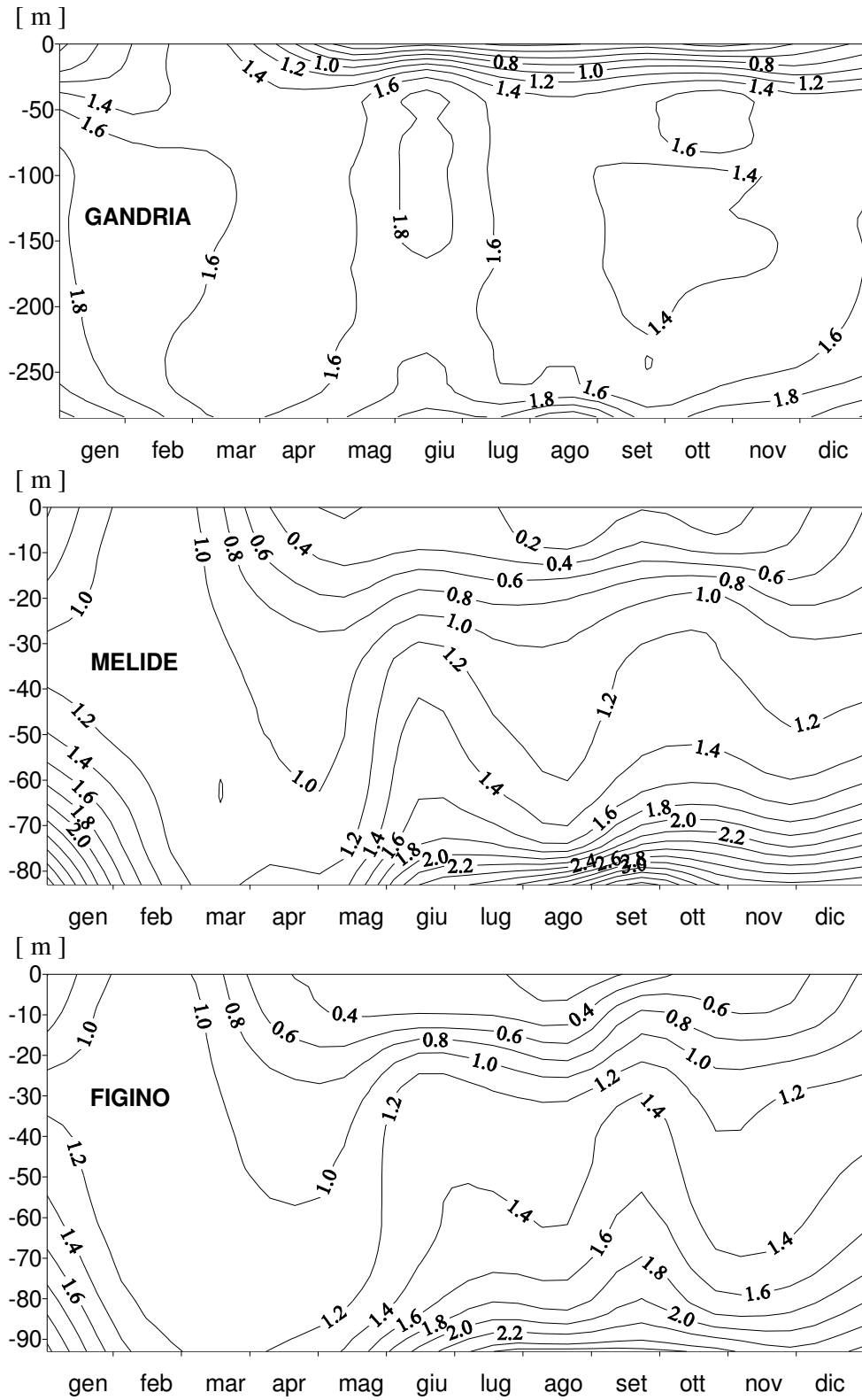


Fig. 5.9. Lago di Lugano, 2006: andamento dei silicati reattivi [g Si m^{-3}].

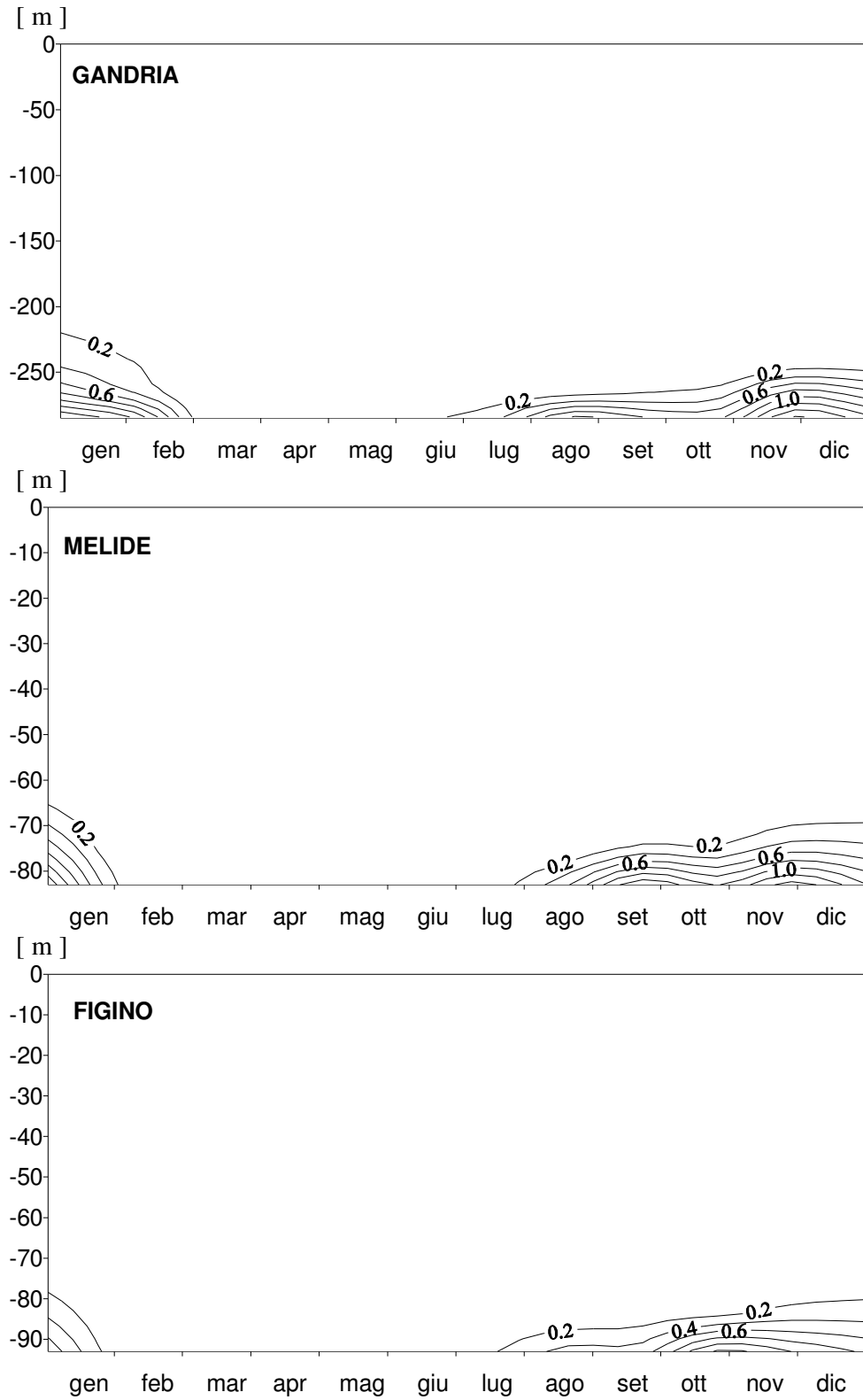


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2006: andamento del metano [g m^{-3}].

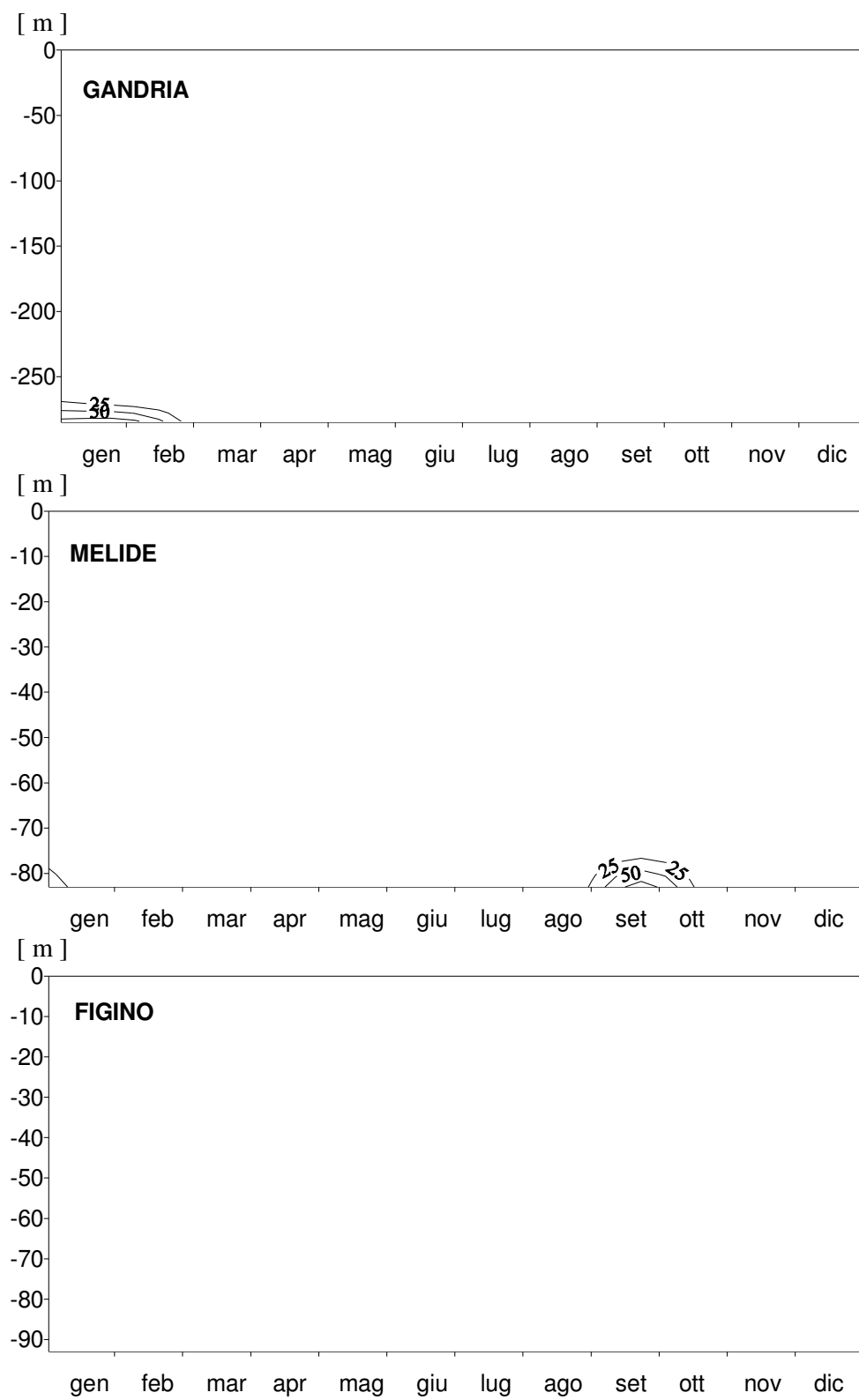


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2006: andamento del solfuro [mg m^{-3}].

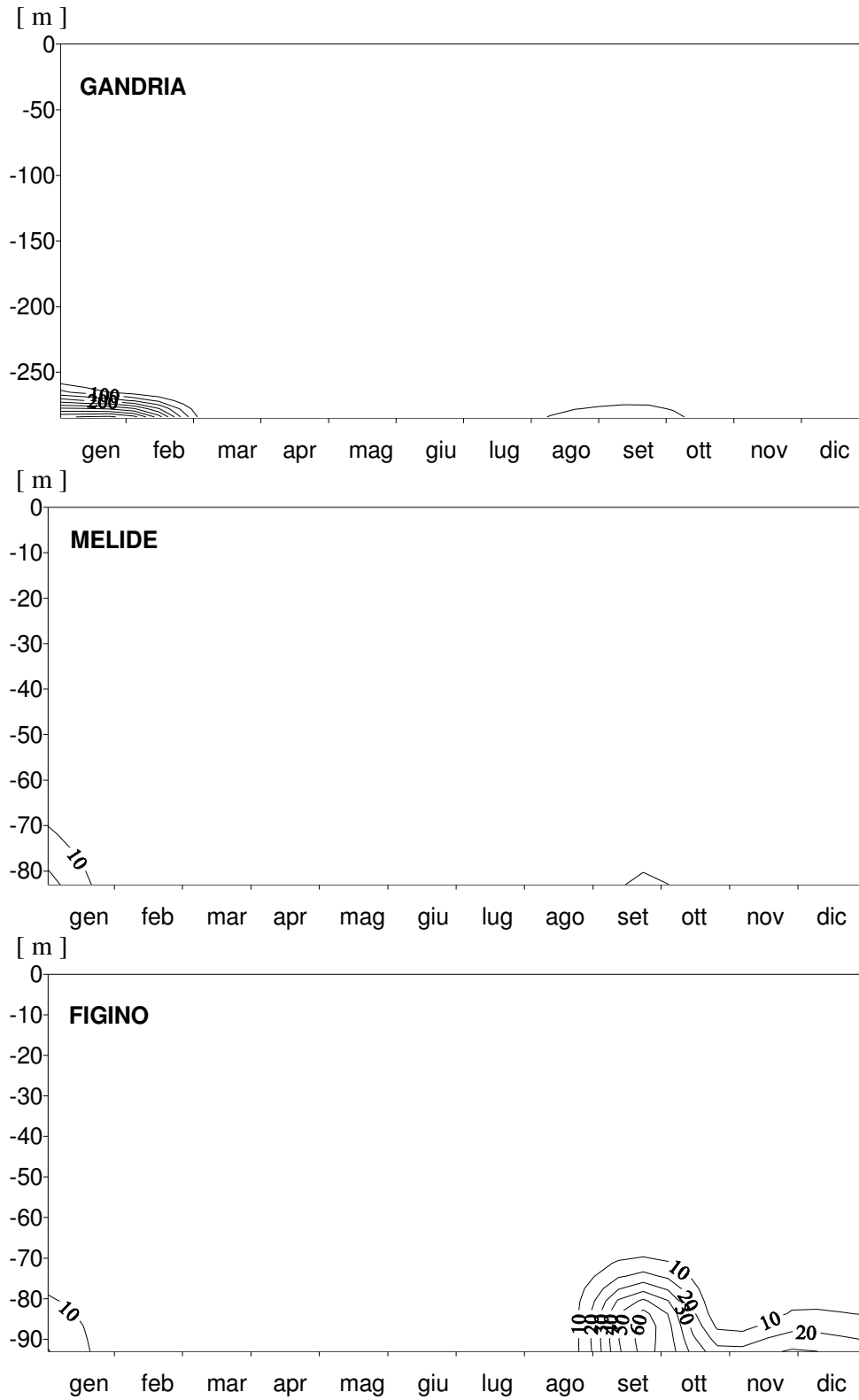


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2006: andamento del ferro disciolto [mg m^{-3}].

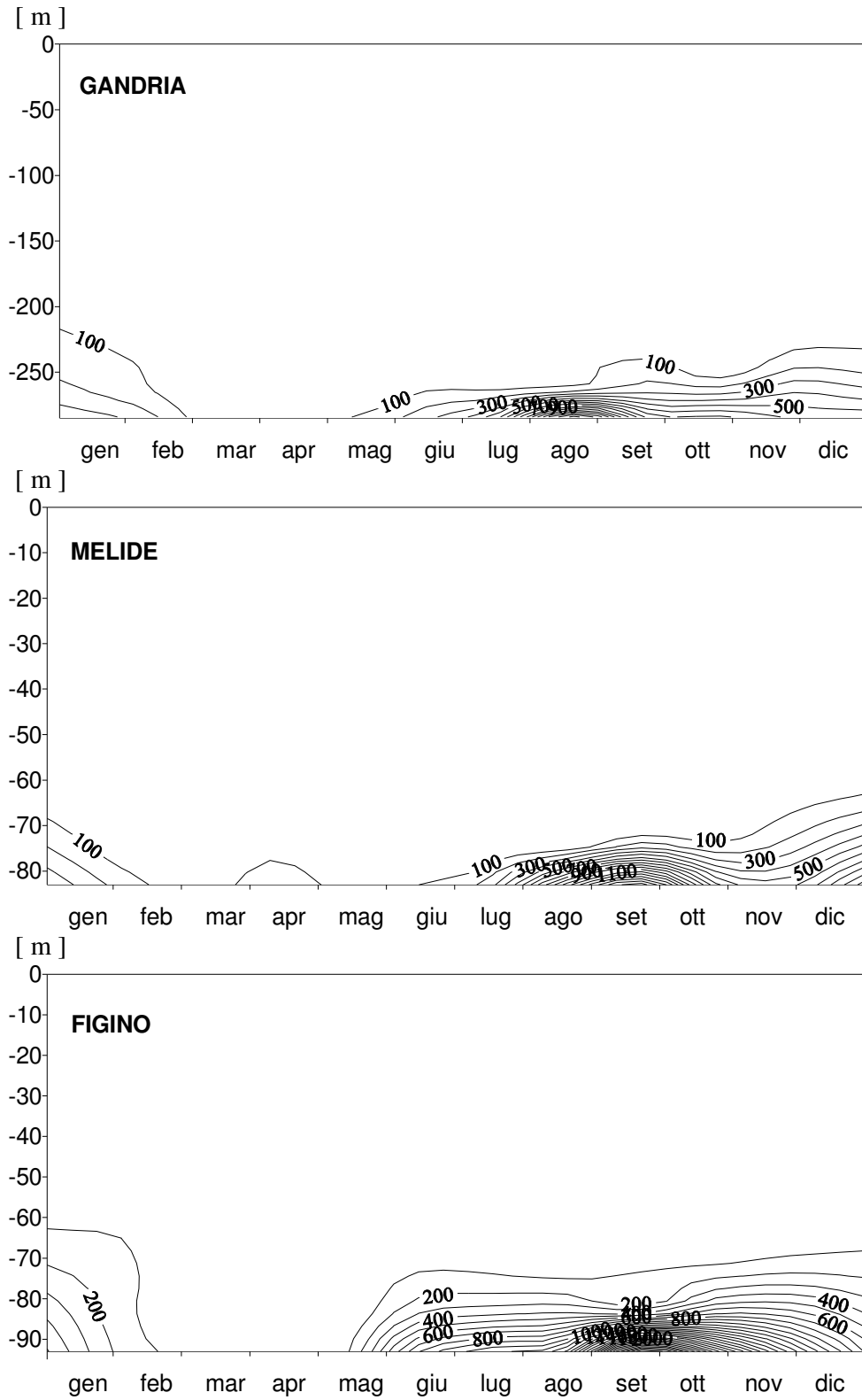


Fig. 5.13. Lago di Lugano, 2006: andamento del manganese disciolto [mg m^{-3}].

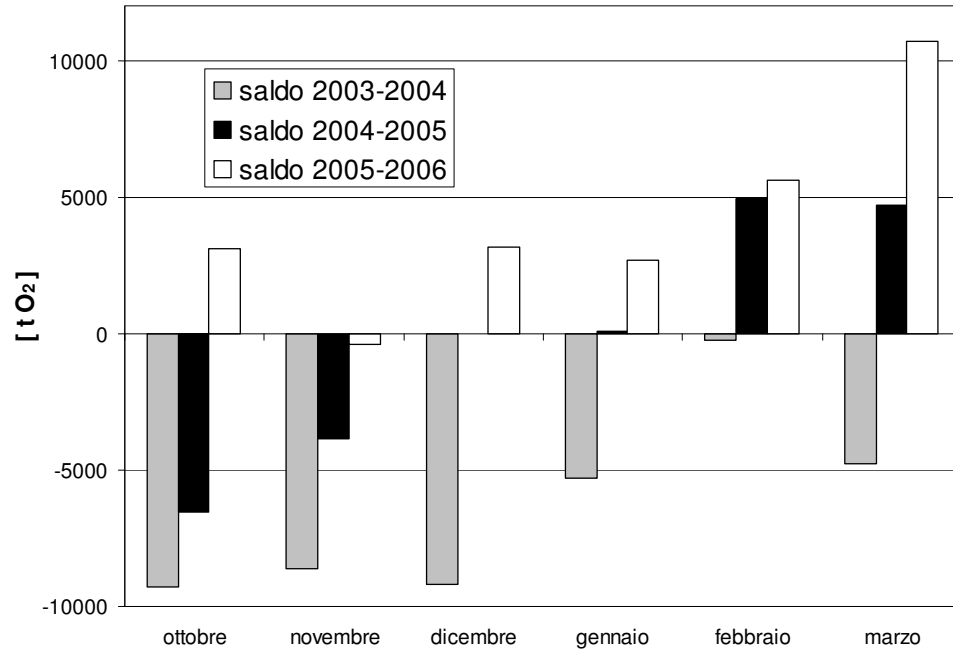


Fig. 5.14.1. Lago di Lugano, bacino nord: bilancio mensile del contenuto d'ossigeno.

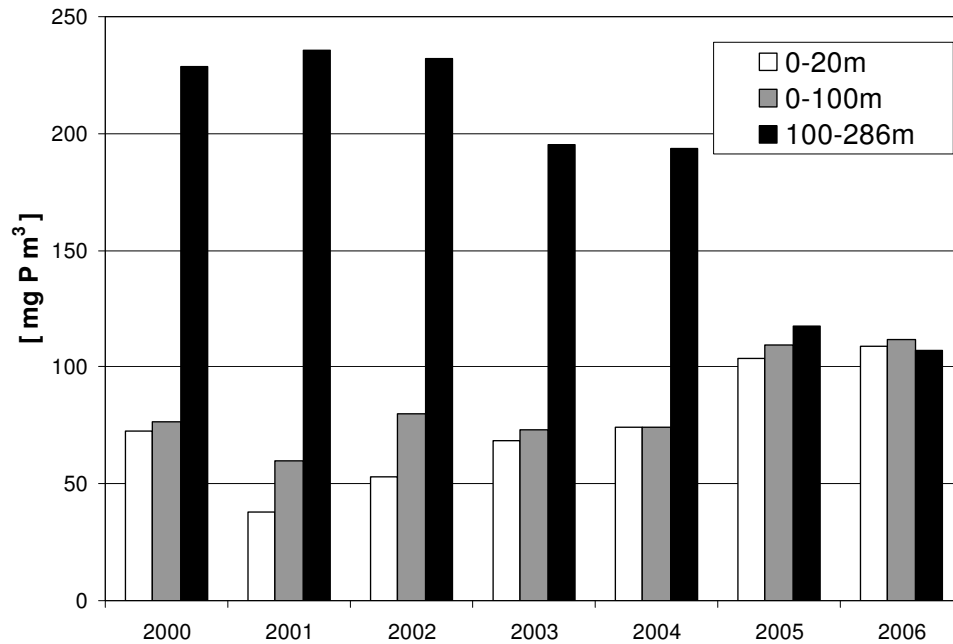


Fig. 5.14.2. Lago di Lugano, bacino nord: concentrazioni di fosforo durante la fase di massima circolazione.

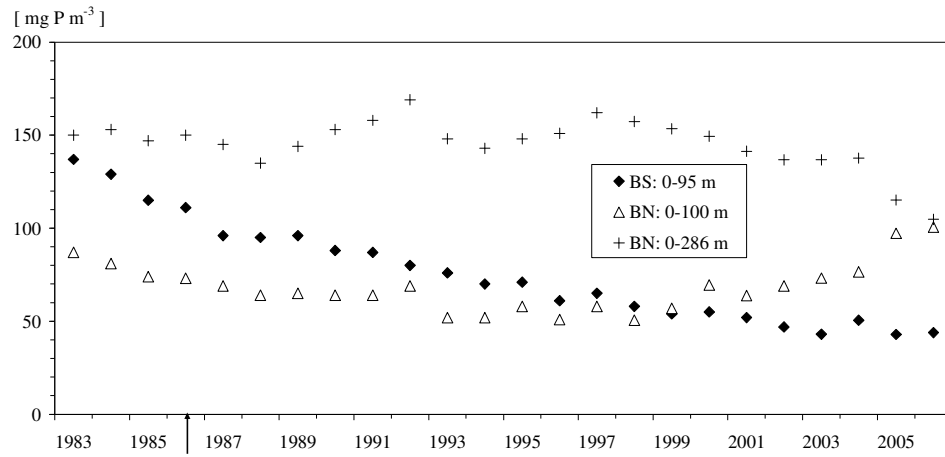


Fig. 5.15. Lago di Lugano, 1983-2006: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud (BS) ed in differenti strati del bacino nord (BN).

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 2006 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 delle ultime profonde circolazioni invernali (2004-05, 2005-06) sulla colonna d'acqua del bacino nord.

In linea generale, l'andamento del 2006 è stato contraddistinto da un calo dei popolamenti di cianofitiche filamentose, da un tardivo inizio della fase di sviluppo delle diatomee primaverili e da una relativa abbondanza di clorofitiche estive. Vi è inoltre da segnalare un'appariscenza fioritura algale alla fine d'ottobre, dovuta al genere *Microcystis*, che si è manifestata dapprima nella zona litorale del bacino nord (Lugano-Gandria), e che successivamente è andata estendendosi nel golfo di Melide (bacino sud). Nonostante la potenziale tossicità di questo genere algale, il fenomeno non ha prodotto effetti negativi sulla fauna lacustre (pesci, uccelli acquatici).

Rispetto alla consueta successione stagionale dei popolamenti algali (diatomee centriche e criptofitiche in primavera, clorofitiche in estate, e cianofitiche in autunno) nel 2006 si è aggiunta un'importante fase di sviluppo di diatomee pennate in aprile, mentre in autunno non si sono mai registrate punte di rilievo nei valori di densità delle cianofitiche filamentose.

Nel bacino nord, come già accennato, sono evidenti gli effetti del completo rimescolamento invernale della colonna d'acqua sulla biocenosi fitoplanctonica (cfr. Figg. 5.3. e 5.4.): la redistribuzione degli organismi presenti nella zona trofogenica lungo l'intera colonna d'acqua (285 m) all'inizio di febbraio ha infatti provocato, come già l'anno precedente, una forte diluizione dei valori di densità, i quali si sono mantenuti su livelli estremamente bassi fino all'inizio d'aprile (cfr. Fig. 6.3.1.).

Dall'analisi dei principali gruppi tassonomici risulta che le **cianofitiche** sono risultate estremamente scarse nel bacino nord, dove l'unica presenza di un certo rilievo riguarda il popolamento della specie coccale *Microcystis flos aquae*, all'inizio di novembre, che ha raggiunto valori di densità (media 0-20 m) relativamente modesti (7 milioni di cellule Γ^{-1}): ciò nonostante, in seguito alla tendenza di questa specie ad affiorare verso la superficie, per diversi giorni lo specchio d'acqua (in particolare nella fascia litorale) ha assunto una marcata colorazione verde-azzurro. L'unica specie filamentosa presente in quantità rilevanti, *Aphanizomenon flos-aquae*, ha presentato un discreto sviluppo unicamente nel bacino sud, e limitatamente al mese d'ottobre (Melide: 0.4; Figino: 1.2 milioni di cellule Γ^{-1}). Sempre in questo bacino lacustre vi è da

segnalare in luglio la fase di sviluppo di un'altra specie coccale, *Snowella lacustris* (2-3 milioni di cellule l^{-1}).

Come di consueto, le **diatomee** hanno presentato il loro principale momento di crescita all'inizio del periodo vegetativo. Valori di densità elevati sono stati raggiunti da *Stephanodiscus parvus*, specie centrica di piccole dimensioni, che ha avuto la sua punta massima all'inizio d'aprile, a Melide (14 milioni di cellule l^{-1}), e a metà marzo, a Figino (6 milioni di cellule l^{-1}); nel bacino nord il suo sviluppo è risultato più contenuto (<4 milioni di cellule l^{-1}), ed ha avuto luogo tra aprile e maggio. Fra le diatomee pennate si segnala in particolare la specie coloniale *Asterionella formosa* che ha fatto registrare una punta importante in aprile, in tutto il lago (1.1-3.7 milioni di cellule l^{-1}), e successivamente, ma solo nel bacino sud, all'inizio di giugno (2.1-2.9 milioni di cellule l^{-1}).

Le **cloroficee** sono risultate predominanti durante l'intero periodo estivo, grazie soprattutto a specie clorococcali coloniali quali *Sphaerocystis schræteri*, *Nephrocytium agardhianum*, e *Celastrum polychordum*: a Gandria e Melide i valori più elevati sono stati raggiunti da *N. agardhianum*, tra agosto e settembre (2.2-2.8 milioni di cellule l^{-1}); a Figino da *S. schræteri*, in luglio (5.3 milioni di cellule l^{-1}).

Per quanto riguarda le **coniugatoficee**, vi è senz'altro da segnalare nella stazione di Gandria, in giugno, l'eccezionale sviluppo di *Closterium acutum* (0.4 milioni di cellule l^{-1}), specie di elevate dimensioni cellulari, finora presente nel lago sempre in quantitativi molto più modesti.

Le **criptoficee** hanno avuto nel genere *Rhodomonas* il loro principale rappresentante: le punte di massimo sviluppo, che normalmente si manifestano all'inizio del periodo vegetativo, sono state rilevate, contemporaneamente in tutte e tre le stazioni del lago, durante il mese d'aprile (0.9-2.2 milioni di cellule l^{-1}), e successivamente, ma solo nelle due stazioni del bacino sud, in giugno (0.8-1.0 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 sull'arco dell'anno.

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del 2006, 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 2006. Il contributo dei principali gruppi tassonomici è deducibile dalle singole curve cumulate, la superiore delle quali corrisponde al valore totale (peso fresco da biovolume).

I valori di **biomassa media annua** hanno fatto registrare un drastico calo rispetto agli anni precedenti, collocandosi tra i più bassi dell'ultimo trentennio. Le tre stazioni campionate evidenziano valori simili, in leggera crescita lungo l'asse di deflusso (**Gandria: 0.9 g m⁻³; Melide: 1.0; Figino: 1.1**).

Tab. 6.1. Lago di Lugano, 2006: sviluppo delle principali specie di fitoplancton strato 0-20 m (densità in 10^6 cellule l^{-1}).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
gennaio	Tabellaria fenestrata (0.2)		
febbraio			
marzo		Stephanodiscus parvus (5.5) Tabellaria fenestrata (0.2)	Stephanodiscus parvus (5.8) Tabellaria fenestrata (0.6)
aprile	Stephanodiscus parvus (3.7) Asterionella formosa (1.1) Rhodomonas (2.2)	Stephanodiscus parvus (13.7) Asterionella formosa (1.7) Tabellaria fenestrata (0.1) Rhodomonas (1.0)	Stephanodiscus parvus (3.6) Asterionella formosa (3.5) Tabellaria fenestrata (0.9) Rhodomonas (0.9)
maggio	Stephanodiscus parvus (3.7) Fragilaria crotonensis (0.4) Tabellaria fenestrata (0.1)	Ankyra juday (0.2)	Ankyra juday (0.2)
giugno	Coenocystis sp. (0.5) Closterium acutum (0.4)	Asterionella formosa (2.1) Ankyra juday (0.2) Rhodomonas (1.0)	Asterionella formosa (2.9) Ankyra juday (0.3) Rhodomonas (0.8)
luglio	Sphaerocystis schroeteri (1.0) Nephrocystium agardhianum (0.9) Ankyra juday (0.4) Phacotus lenticularis (0.3)	Snowella lacustris (2.3) Sphaerocystis schroeteri (1.0) Cœlastrum polychordum (0.6)	Snowella lacustris (3.1) Sphaerocystis schroeteri (5.3) Cœlastrum polychordum (0.8)
agosto	Nephrocystium agardhianum (2.2) Phacotus lenticularis (0.2)	Scenedesmus sp. (1.1) Cœlastrum polychordum (0.4) Nephrocystium agardhianum (0.6) Cœlastrum polychordum (1.7)	Scenedesmus sp. (1.4) Cœlastrum polychordum (0.7) Nephrocystium agardhianum (0.8) Cœlastrum polychordum (0.5)
settembre	Nephrocystium agardhianum (1.0)	Nephrocystium agardhianum (2.8) Aphanizomenon flos-aquae (0.4) Cœlastrum polychordum (0.5)	Nephrocystium agardhianum (0.5) Aphanizomenon flos-aquae (1.2) Cœlastrum polychordum (0.7)
ottobre			
novembre	Microcystis (7.1)	Microcystis (4.9)	Microcystis (1.7)

Nel bacino nord (**Gandria**) l'andamento stagionale risulta condizionato dall'eccezionale evento di circolazione invernale, che ha provocato un completo rimescolamento della colonna d'acqua. A causa dell'intenso ricambio idrico verticale, infatti, il contenuto di biomassa algale dello strato trofogeno si è mantenuto su livelli molto bassi fino all'inizio della stratificazione termica (fine marzo). Anche la fase di crescita delle diatomee in aprile è stata meno intensa del solito: la punta di biomassa totale di questo mese, corrispondente al **massimo annuo (1.9 g m^{-3})**, è risultata pertanto nettamente inferiore rispetto alle stazioni del bacino sud. Su livelli piuttosto consistenti, invece, si sono mantenuti i valori del quadrimestre estivo (giugno-settembre), grazie all'importante e costante contributo delle cloroficee, mentre nell'ultimo trimestre dell'anno i popolamenti non hanno più raggiunto valori degni di rilievo.

L'andamento dei valori nelle due stazioni del bacino sud è caratterizzato da un buon sviluppo primaverile delle diatomee, che, nella seconda metà d'aprile, hanno permesso di raggiungere i massimi annui di biomassa algale (**Melide: 2.7 ; Figino: 3.8 g m^{-3}**). Analogamente al bacino nord, anche in quello sud l'estate ha visto il predominio delle cloroficee, pur con un'importante contributo delle diatomee, in luglio. Nel corso del secondo semestre i valori di biomassa totale appaiono in costante calo, soprattutto nella stazione di Figino, come conseguenza del progressivo consumo dei nutrienti all'interno dello strato produttivo del lago.

Sotto l'aspetto della composizione percentuale della biomassa algale (valore medio annuo, Fig. 6.2.2.), il 2006 ha fatto registrare un forte calo delle cianoficee soprattutto nel bacino sud, dove non hanno raggiunto nemmeno il 5% sul totale, mentre nel bacino nord sono tornate sui livelli del 2004 (10%).

L'incremento relativo più marcato riguarda le cloroficee, che in tutte le stazioni hanno superato la soglia del 20%: a Gandria questo gruppo tassonomico ha costituito addirittura la frazione principale della biomassa fitoplanctonica (27%). Sostanzialmente stabili attorno al 25% nel bacino nord, le diatomee hanno confermato il loro ruolo di gruppo predominante nel bacino sud (Melide: 37%; Figino: 49%). Al terzo posto, in ordine d'importanza percentuale, ed in leggera crescita, si collocano le criptoficee (Gandria e Melide: 19%; Figino: 14%): è utile ricordare come questo gruppo algale rappresenti un'importante fonte di nutrimento per lo zooplancton erbivoro.

Tra i gruppi restanti, le peridinee hanno guadagnato qualche punto percentuale in tutte le stazioni (situandosi attorno al 10%), mentre le coniugatoficee sono risultate dovunque in calo (1%-5%), anche a Gandria, dove momentaneamente, nella seconda metà di giugno, erano arrivate a costituire oltre il 20% della biomassa totale, durante l'eccezionale fase di sviluppo di *Closterium acutum*.

6.3. Clorofilla

Quale utile complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, nel corso del 2006 sono proseguite le analisi sul contenuto di clorofilla *a* nelle acque epilimniche del lago. Come di consueto i campioni d'acqua sono stati prelevati lungo la colonna d'acqua compresa tra la superficie e 20 m, sia a profondità discrete, sia in modo integrale.

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

La figura 6.3.1. presenta le isolinee delle concentrazioni di clorofilla *a*, misurata mensilmente ad undici profondità discrete tra 0 e 20 m, nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino. Per poter meglio seguire la rapida evoluzione della biocenosi planctonica, dal mese di maggio fino alla fine d'ottobre la raccolta di campioni lungo il profilo verticale ha assunto una frequenza quindicinale: ciò che permette di evidenziare meglio la distribuzione dei popolamenti algali nell'epilimnio profondo (10-15 m) durante la fase di stagnazione estiva delle acque.

A motivo dell'eccezionale evento di circolazione che ha riguardato il bacino nord, nella stazione di Gandria l'attività vegetativa è iniziata con circa un mese di ritardo rispetto al bacino sud, ed ha riguardato soprattutto la parte superiore dello strato trofogeno (0-8m), con massimi di clorofilla (25 mg m^{-3}) localizzati in prossimità della superficie (1.25-2.5 m). A Melide ed a Figino, invece, la fase di sviluppo primaverile del fitoplancton (diatomee) ha riguardato uno strato più ampio (0-15 m), facendo registrare punte di concentrazione ancor più elevate (30 mg m^{-3}).

Dopo la consueta fase di chiarificazione delle acque, in maggio, valori elevati sono stati misurati unicamente nel bacino sud, ed a maggiori profondità: a Melide il massimo assoluto annuo (33 mg m^{-3}) è stato misurato in luglio, a 5 m, mentre a Figino, sempre in questa fascia di profondità, si osservano punte importanti dapprima in luglio (22 mg m^{-3}), e quindi in settembre (29 mg m^{-3}). A Gandria, l'andamento estivo della clorofilla si presenta decisamente più

contenuto, in accordo con il quadro dei popolamenti fitoplanctonici (cfr. paragrafo 6.1.): concentrazioni relativamente elevate ($9-15 \text{ mg m}^{-3}$) sono state rilevate, sempre tra 8 e 10 m di profondità, ininterrottamente a partire dall'inizio di maggio fino all'inizio di settembre.

Dalla distribuzione spazio-temporale dei valori di clorofilla non emergono indicazioni riguardo alla presenza di importanti popolamenti algali negli strati inferiori dell'epilimnio (10-15m): questo dato trova un'importante conferma dall'analisi tassonomica delle specie, che ha evidenziato lo scarso sviluppo dei popolamenti di cianofitiche filamentose nel corso del 2006.

A titolo di confronto, nella figura 6.3.2. è riportato il dettaglio grafico delle isolinee dei valori di torbidità lungo la colonna d'acqua dell'epilimnio (strato 0-20 m; cfr. paragrafo 5.2.): i dati di base sono stati rilevati con frequenza quindicinale, con un intervallo di misura di 1 m fino a febbraio, e di 0.5 m a partire da marzo. Questo parametro permette di rilevare la distribuzione lungo la colonna d'acqua del materiale particellato, e quindi anche della biomassa fitoplanctonica. Di fatto l'andamento delle isolinee della torbidità ricalca abbastanza fedelmente le principali fasi di sviluppo dei popolamenti algali, e, nonostante la sovrapposizione del segnale dovuto alla componente detritica o inorganica, esso fornisce un utile complemento d'informazione sulla struttura della biocenosi lacustre. A Gandria i valori di torbidità più elevati ($>5 \text{ FTU}$) sono stati misurati all'inizio di maggio, in coda alla fase di sviluppo primaverile delle diatomee, ed alla fine d'agosto; nel bacino sud i segnali più marcati corrispondono invece ai mesi di luglio e settembre (sviluppo estivo delle clorofitiche). Il valore massimo assoluto (7.9 FTU) è stato misurato a Figino, il 20 luglio, a 4 m di profondità.

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

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

L'andamento generale presenta una notevole similitudine con le curve della biomassa fitoplanctonica (Fig. 6.2.1.), come confermato dal coefficiente di correlazione dei valori ($R^2=0.87$ a Gandria; 0.93 a Melide; 0.91 a Figino).

Le punte primaverili, che rappresentano in tutte le stazioni il massimo annuo, coincidono con la fase di sviluppo primaverile del fitoplancton: a Gandria si tratta di un valore tutto sommato modesto (11 mg m^{-3}), raggiunto dopo una fase di forte diluizione delle concentrazioni epilimniche ($0.3-0.4 \text{ mg m}^{-3}$), indotta dal completo rimescolamento della colonna d'acqua (febbraio-marzo); nelle stazioni del bacino sud, i valori sono risultati nettamente più elevati ($15-16 \text{ mg m}^{-3}$).

L'andamento della seconda parte dell'anno evidenzia valori generalmente modesti ed in progressivo calo nel bacino nord (da 8 a 3 mg m^{-3}), mentre in quello sud esso è caratterizzato da importanti momenti di ripresa dei valori, in luglio e settembre a Melide ($11-13 \text{ mg m}^{-3}$), ed in settembre a Figino (14 mg m^{-3}).

I **valori medi annui** di clorofilla del 2006 (**Gandria: 4.7 mg m⁻³, Melide: 6.1 mg m⁻³, Figino: 6.3 mg m⁻³**), in ulteriore calo rispetto ai bassi livelli registrati l'anno precedente, rappresentano i minimi dell'intero periodo d'indagine, e per il quarto anno consecutivo si ordinano in progressiva crescita lungo l'asse di deflusso del lago.

6.4. Produzione primaria

- Radiazione fotosintetica e strato trofogeno

La misura della radiazione fotosintetica viene utilizzata ai fini della stima della produzione primaria giornaliera, calcolata secondo la relazione di Gächter [6]. L'applicazione di tale relazione richiede condizioni d'irraggiamento solare sufficienti durante il periodo di misura in situ. Per una corretta stima dei dati mensili di produzione risulta quindi opportuno confrontare le condizioni d'irraggiamento rilevate durante le giornate di prelievo con il corrispondente valore medio mensile. Come si può osservare dalla figura 6.4.1., le misure effettuate durante il periodo vegetativo (marzo-ottobre) sono coincise con giornate d'irraggiamento particolarmente deficitario unicamente in aprile a Figino, ed in maggio a Gandria; in tutti gli altri casi, fatta eccezione per il mese di maggio, i valori sono risultati vicini o superiori al dato d'irraggiamento medio. Di conseguenza, per quanto si riferisce all'errore di stima legato alle condizioni d'irraggiamento fotosintetico, il valore di produzione primaria calcolato per il 2006 è da considerare sovrastimato in tutte le stazioni: a Gandria circa del 20%, a Melide del 10%, ed a Figino del 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.

L'andamento della curva dei valori $Z_{1\%}$ riflette, nelle grandi linee, lo sviluppo stagionale della biomassa fitoplanctonica, con momenti di forte riduzione dello strato trofogeno in marzo-aprile, in tutte le stazioni (Gandria: 7.6 m; Melide e Figino: 9.2 m), ed in luglio, nelle due stazioni del bacino sud (7.4-7.7 m); a Gandria si osserva inoltre un improvviso calo della penetrazione luminosa (7.6 m) in occasione del campionamento di febbraio, effettuato durante lo straordinario evento di circolazione invernale nel bacino nord: è da supporre che questa fase d'intorbidamento delle acque sia da mettere in relazione con i processi ossidativi indotti dalla risalita di acque anossiche dagli strati profondi.

La penetrazione massima della luce, che generalmente corrisponde al periodo invernale, ha raggiunto a Gandria la profondità di 19 m all'inizio di marzo, ed a Melide 17.7 m in dicembre; nella stazione di Figino, invece, il massimo invernale (15.2 m in febbraio) è stato superato dal valore di giugno (15.6 m), misurato durante la fase di chiarificazione delle acque da parte dello zooplancton erbivoro (grazing).

Come negli anni precedenti, si conferma la tendenza decrescente del valore medio annuo di $Z_{1\%}$ lungo l'asse di deflusso del lago, in accordo con il gradiente di potenziale trofico dello strato produttivo (Gandria: 13.0 m, Melide: 12.5 m, Figino: 11.5 m). Rispetto alla media degli ultimi sette anni, il 2006 presenta un incremento di spessore dello strato eufotico di 1.3 m nel bacino nord, e di circa 2 m in quello sud.

- 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 2006. 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.

In tutte le stazioni del lago l'inizio del periodo vegetativo è avvenuto con un certo ritardo: la prima importante punta di produzione primaria, legata alla fase di crescita primaverile delle diatomee, si è infatti manifestata solo in aprile, mentre a marzo si sono misurati valori estremamente bassi soprattutto a Gandria, dove il popolamento fitoplanctonico ha subito un'importante diluizione in seguito al completo rimescolamento invernale della colonna d'acqua. La punta d'aprile (Gandria: 1.6; Melide: 1.4 $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) risulta assente sulla curva di Figino a motivo delle sfavorevoli condizioni d'irraggiamento solare del giorno di campionamento.

Dopo il calo di maggio, provocato dall'intensa attività di grazing da parte dello zooplancton erbivoro, i valori sono tornati su livelli elevati tra giugno e settembre, raggiungendo i massimi annui nel corso del mese di luglio (Gandria 1.6; Melide: 2.1; Figino 1.7 $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Complessivamente, dopo l'impennata dell'anno precedente, la **produzione areale annua** del 2006 è tornata su valori più contenuti, assestandosi su livelli molto simili nelle tre stazioni di misura (**Gandria: 300; Melide: 306; Figino 279 $\text{g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$**).

Tenuto conto della correzione richiesta dal dato sottostimato di aprile, per Figino, e della sovrastima dei valori di Gandria e Melide, imputabile alle condizioni d'irraggiamento solare nei giorni di misura, il dato annuo di produzione risulterebbe pari a circa 250 $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ per Gandria, 275 per Melide, e 290 per Figino, ad ulteriore conferma di un livello trofico in crescita lungo l'asse di deflusso del lago.

Per quanto riguarda la **produttività annua** nelle tre stazioni, essa risulta in leggero calo rispetto agli ultimi anni: nonostante il considerevole apporto interno di nutrienti originato dal completo rimescolamento della colonna d'acqua, la stazione di **Gandria (26 $\text{C m}^{-3} \text{a}^{-1}$)** continua a presentare valori di produttività inferiori, anche se di poco, rispetto alle due stazioni del bacino sud (**Melide: 32; Figino: 29 $\text{C m}^{-3} \text{a}^{-1}$**).

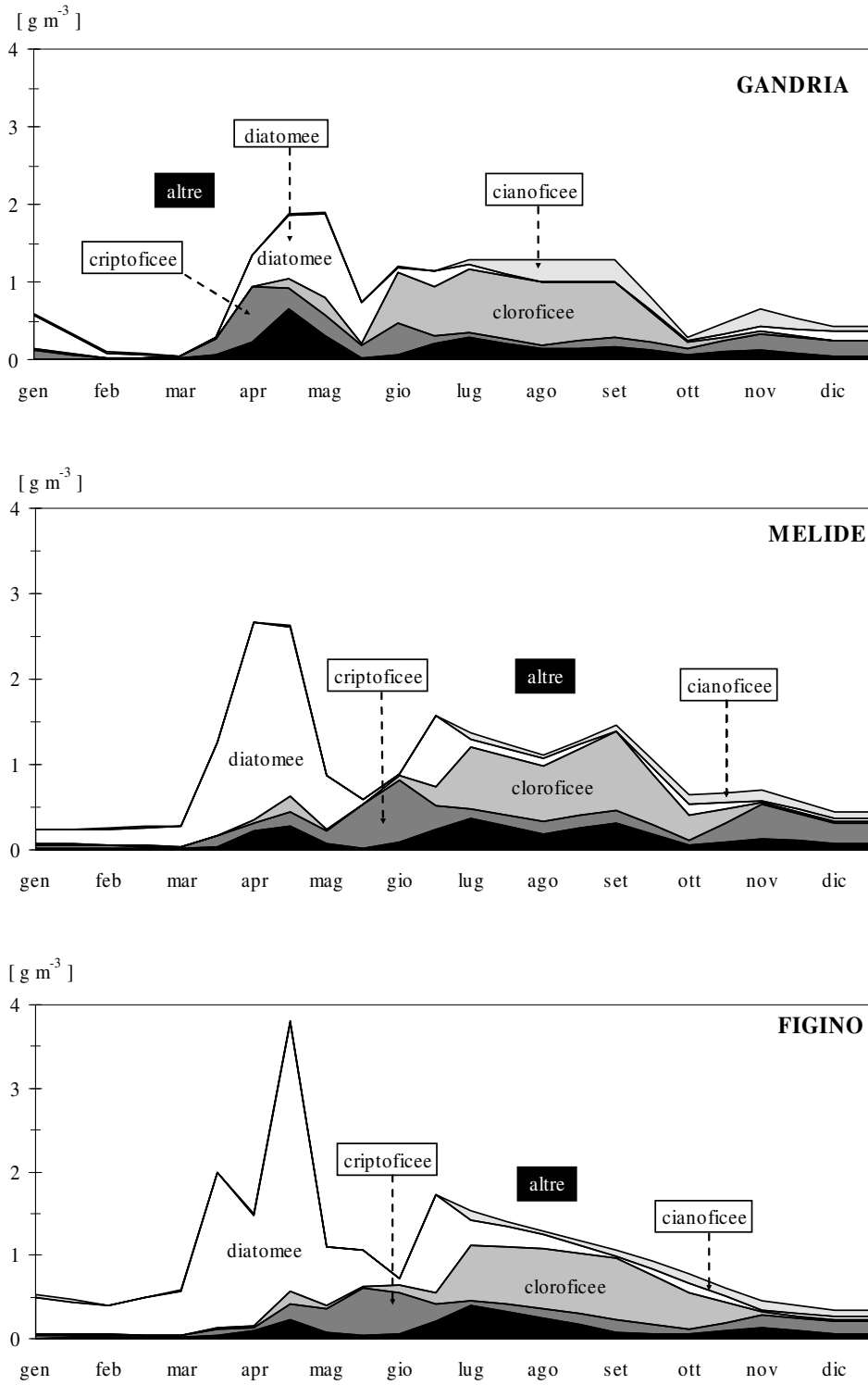


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2006: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

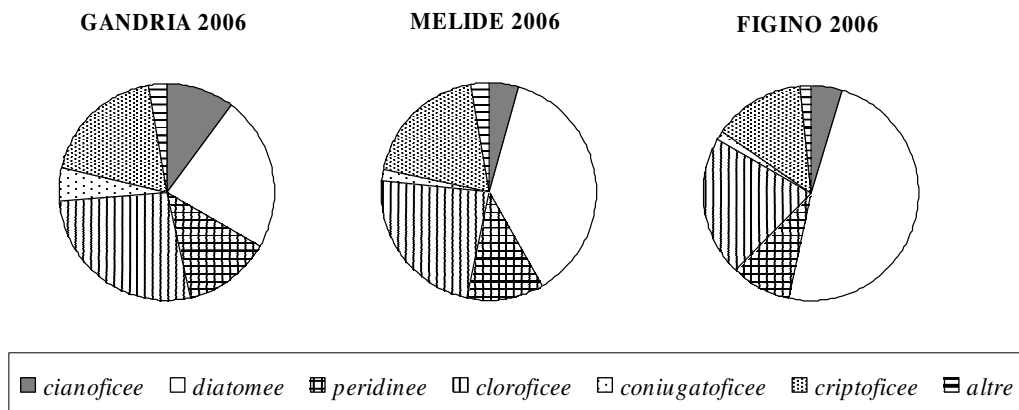


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2006: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.

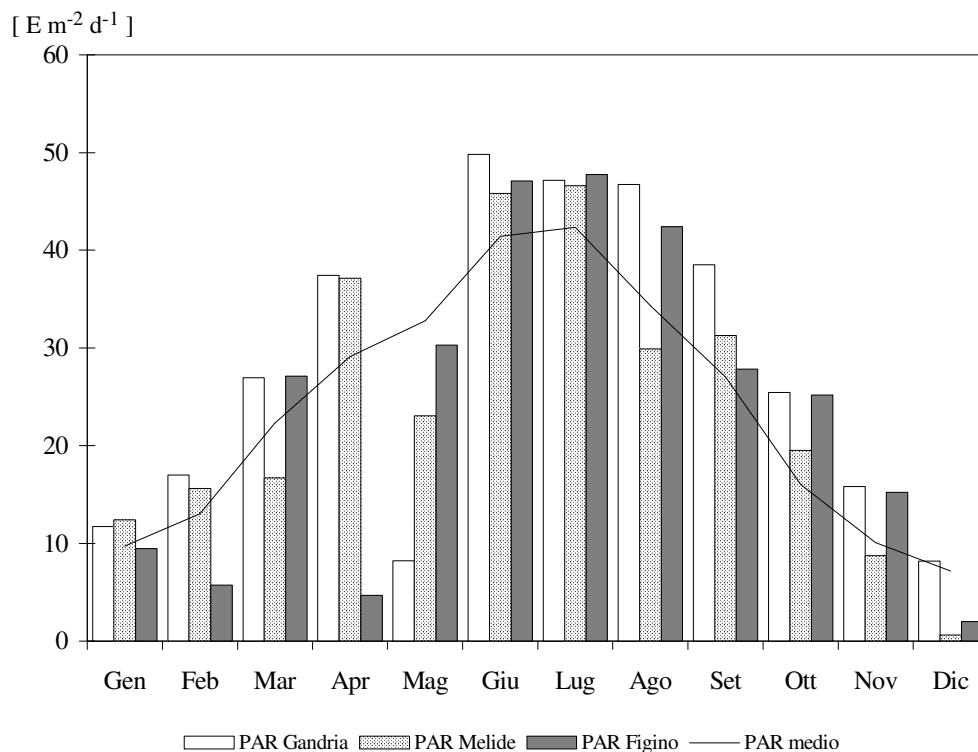


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2006: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

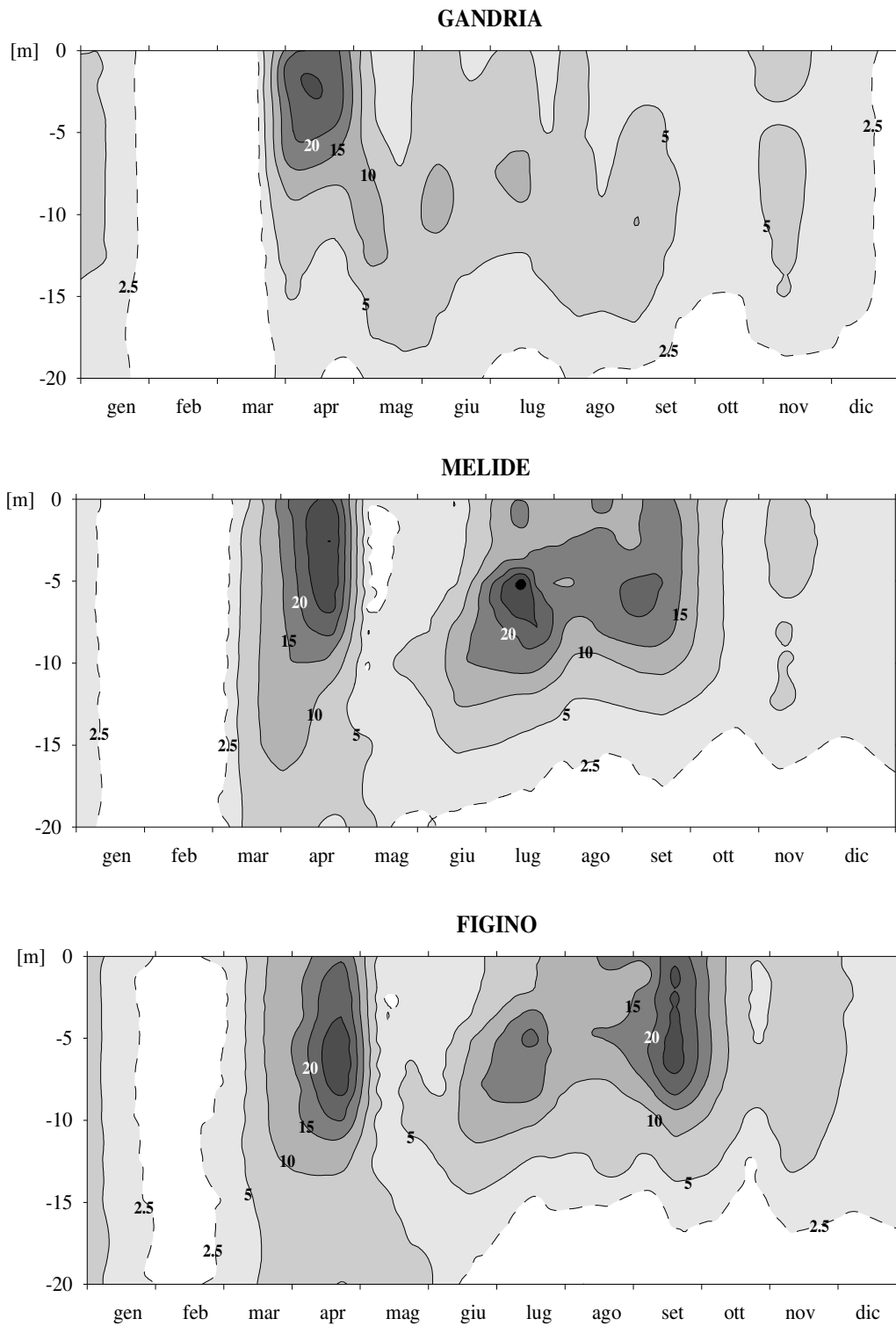


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2006: isolinee della clorofilla *a* [mg m^{-3}]

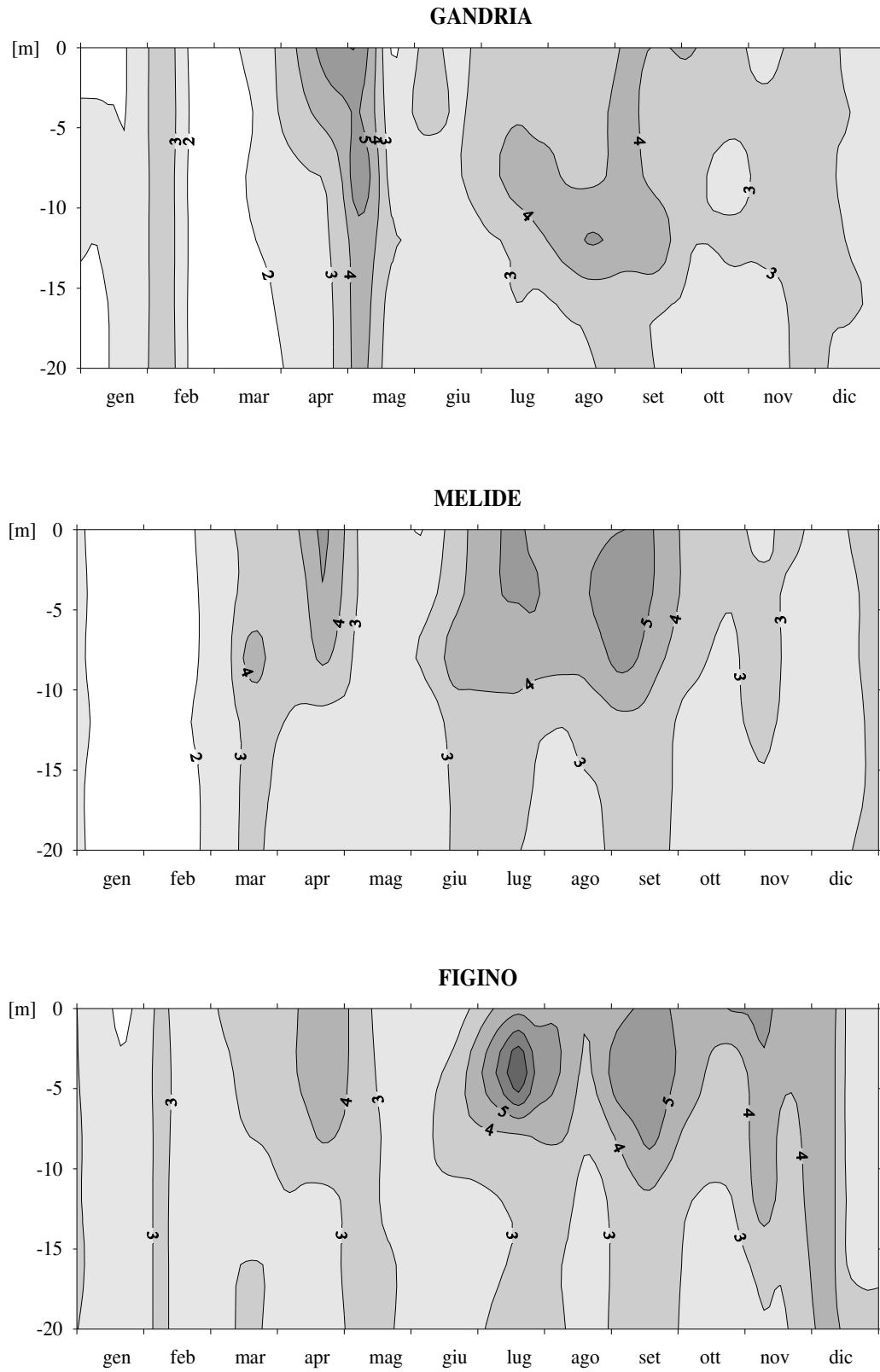


Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2006: isolinee dei valori di torbidità dell'acqua [FTU]

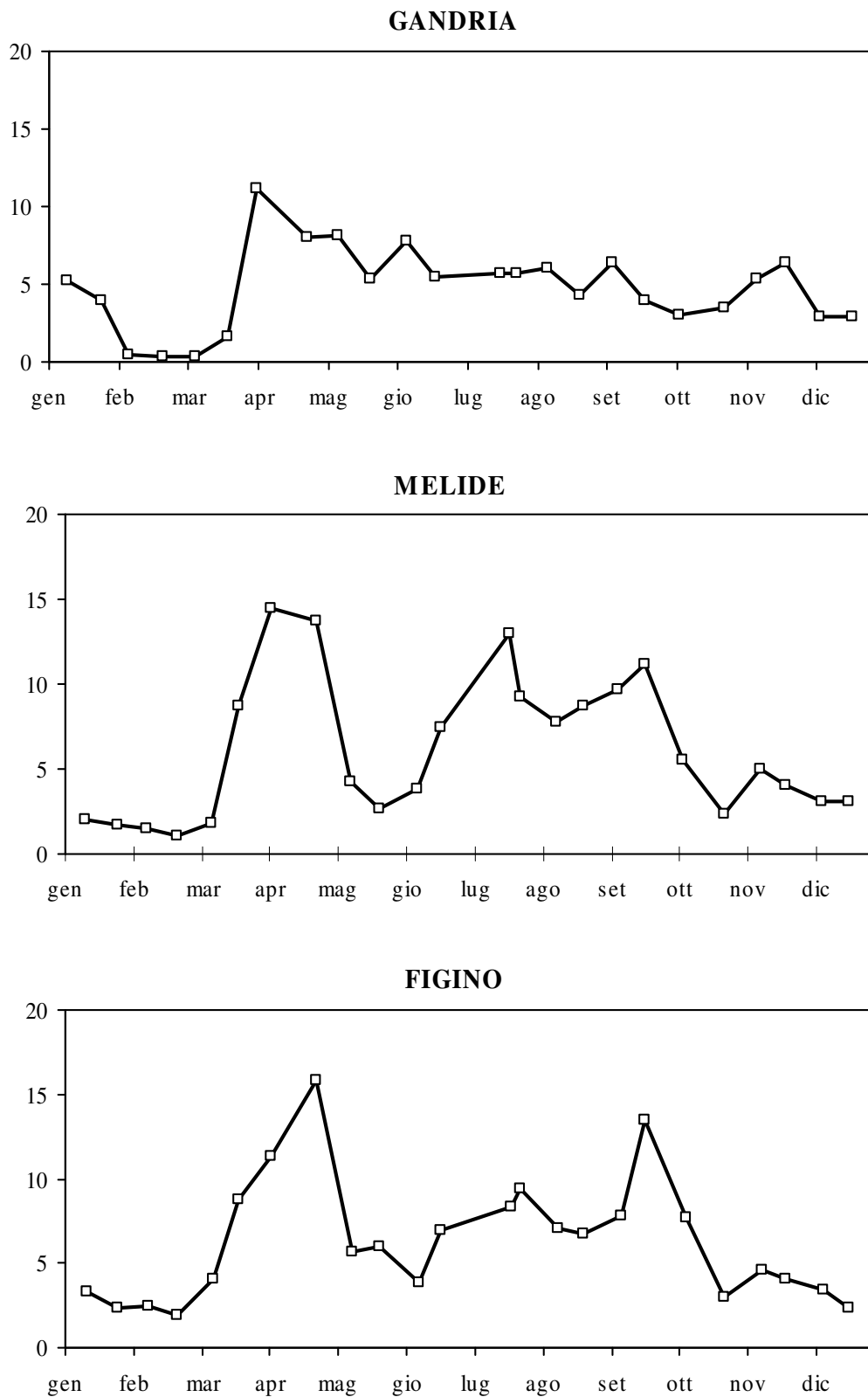


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2006: andamento della clorofilla a nello strato 0-20 m [mg m⁻³].

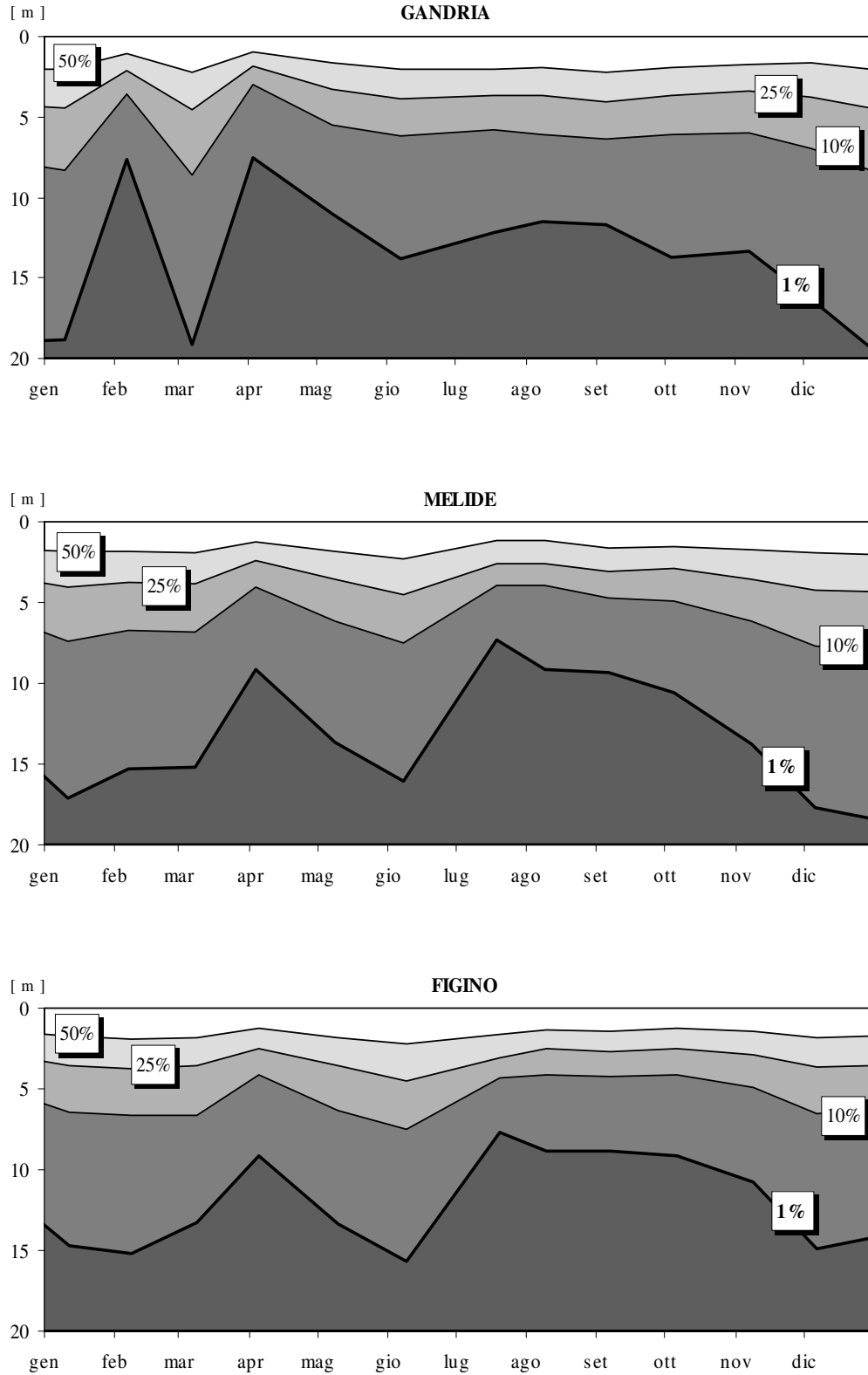


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2006: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

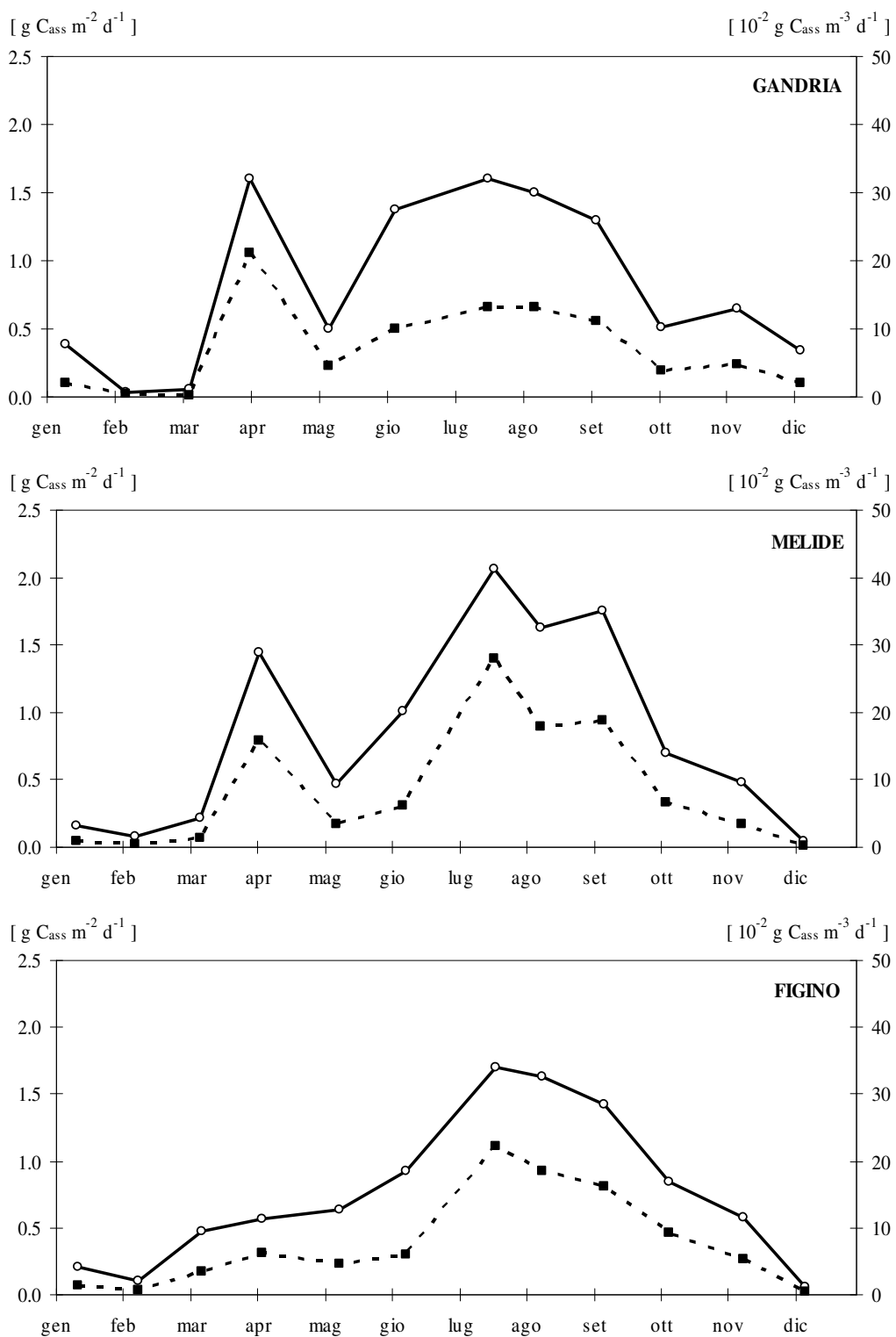


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2006: andamento della produzione primaria areale (linea continua; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$).

7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici sono proseguite nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano nel corso del 2006. 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; [7]).

7.1. Densità dei popolamenti

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

Sulla base della media annuale, il numero totale d'individui è risultato più elevato nelle stazioni del bacino sud (1.36×10^6 ind m^{-2}) rispetto al bacino nord (1.26×10^6 ind m^{-2}), a motivo della maggior abbondanza del popolamento di copepodi: per tutte le stazioni si tratta di valori fra i più elevati dell'ultimo decennio.

L'andamento stagionale presenta una punta di sviluppo primaverile, corrispondente al massimo annuo, nel corso della prima decade di maggio: a Gandria (2.5×10^6 ind m^{-2}) essa è costituita per circa il 90% da copepodi, metà dei quali ciclopidi allo stadio larvale (naupli), mentre a Melide (3.0×10^6 ind m^{-2}) e Figino (2.8×10^6 ind m^{-2}) cladoceri e copepodi sono presenti in numero pressochè uguale. Il ritardo di un paio di settimane nello sviluppo del popolamento dei cladoceri a Gandria sembra da ricondurre alle perdite subite nel corso dello straordinario evento di rimescolamento invernale, come pure alla forte concorrenza alimentare iniziale, rappresentata dagli stadi giovanili dei ciclopidi.

La fase di sviluppo estiva, meno marcata ma più prolungata, ha raggiunto il suo massimo nella prima metà d'agosto ($2.3-2.4 \times 10^6$ ind m^{-2}), ed ha evidenziato una maggior abbondanza di cladoceri a Gandria rispetto alle stazioni del bacino sud.

Come di consueto i **copepodi** hanno costituito la frazione più abbondante del lago, grazie anche all'elevato numero di forme larvali (naupli) e giovanili (copepoditi). Fra i ciclopidi, *Cyclops abyssorum* costituisce la specie principale del lago, ed ha raggiunto il suo massimo tra aprile e maggio, anche se a Gandria ha evidenziato un forte sviluppo già durante il mese di marzo, immediatamente dopo l'evento di circolazione invernale.

Per quanto riguarda *Thermocyclops crassus*, l'unica importante punta di densità si è avuta in luglio nel bacino nord, ed in agosto in quello sud; mentre *Mesocyclops leuckarti* è rimasto sempre su livelli molto modesti.

L'unico rappresentante dei calanoidi, *Eudiaptomus gracilis*, è risultato sempre presente in tutto il lago, ma a livelli di densità di un certo rilievo unicamente nel corso del secondo semestre dell'anno. La massima densità di questa specie è stata rilevata durante il mese di giugno.

Il periodo di maggior sviluppo dei **cladoceri** ha avuto inizio, come di consueto, nel mese di maggio, dopo la prima importante fase di crescita del fitoplancton. Fra le specie più abbondanti si ritrovano *Daphnia hyalina*, il cui popolamento ha raggiunto il suo massimo in maggio a Gandria e Melide (rispettivamente 0.7 e 0.6×10^6 ind m^{-2}) ed in luglio a Figino (0.8×10^6 ind m^{-2}), e *Diaphanosoma brachiurum*, con massimi in agosto a Gandria e Figino (1.0 e 0.9×10^6 ind m^{-2}) ed in settembre a Melide (0.7×10^6 ind m^{-2}). A queste due specie tradizionali si è affiancata *Eubosmina coregoni*, il cui popolamento negli ultimi anni si è mostrato in costante ripresa, e che nel corso del 2006 non solo ha raggiunto punte rilevanti di densità (0.7 - 0.9×10^6 ind m^{-2}) in agosto (bacino nord) ed in maggio (bacino sud), ma che ha fatto anche registrare una consistente presenza durante tutto l'anno, soprattutto nel bacino sud.

Il popolamento di *Leptodora kindtii*, l'unico cladocero carnivoro del lago, ha presentato un'entità modesta, con valori in netto calo a Gandria e Melide, ed in leggera ripresa a Figino.

Dopo sette anni d'assenza si segnala infine il ritorno fra lo zooplancton lacustre di *Daphnia cucullata*, di cui sono stati ritrovati alcuni individui nei campioni di maggio, agosto e settembre, ma unicamente a Figino. Per poter valutare le reali prospettive di reinsediamento di questa specie nel Ceresio, questo primo segnale isolato dovrà comunque trovare conferma nel proseguimento delle indagini.

7.2. Biomassa zooplanctonica

I valori di biomassa del 2006 hanno confermato il buon livello dell'anno precedente, con **medie annue** abbastanza simili nelle tre stazioni di campionamento (**Gandria: 5.1; Melide: 5.7; Figino: 5.2 g m^{-2}**).

Come illustrato dall'andamento stagionale dei valori (Fig. 7.2.), i **massimi annuali** di biomassa sono stati misurati in occasione dei campionamenti della prima decade di maggio a Melide (**16.1 g m^{-2}**) ed a Figino (**13.2 g m^{-2}**), mentre per effetto dello sfasamento temporale provocato dal profondo rimescolamento della colonna d'acqua, la punta di Gandria (**14.4 g m^{-2}**) è stata misurata un paio di settimane più tardi, contemporaneamente ad una seconda punta, a Figino (**13.2 g m^{-2}**). Il principale contributo a questi valori è dato dal popolamento di *Daphnia hyalina*, al quale si aggiungono i ciclopoidi (in tutte le stazioni) ed *Eubosmina coregoni* (nel bacino sud). Nella seconda punta di Figino, invece, il contributo dei ciclopoidi e di *E. coregoni* ha fatto registrare un netto calo, ed è stato compensato dall'incremento dei calanoidi. Durante l'estate si assiste ad un'ulteriore ripresa dei valori di biomassa, sostenuta in larga misura dalla fase di sviluppo di *Diaphanosoma brachiurum*, in agosto, in tutto il lago.

La Fig. 7.3. illustra i rapporti percentuali fra i due gruppi zooplanctonici analizzati (copepodi, cladoceri) all'interno della catena alimentare (erbivori e carnivori). Mentre la biomassa erbivora è costituita prevalentemente dai

cladoceri, per i carnivori si tratta soprattutto degli stadi adulti dei copepodi ciclopidi.

Dal momento che i valori assoluti (medie annue) risultano sostanzialmente simili nelle tre stazioni (erbivori: 3.8-4.0 g m⁻²; carnivori: 1.4-1.6 g m⁻²), la composizione relativa della biomassa permette di evidenziare le differenze nella dinamica stagionale dei due bacini del lago. Per quanto riguarda il bacino nord, si osserva una costante predominanza della componente erbivora (>50%), interrotta unicamente durante la fase di circolazione invernale delle acque (febbraio-marzo: 42-49%). Con l'avvento della fase di sviluppo dei cladoceri (maggio), e fino al termine del periodo vegetativo (ottobre), gli erbivori hanno costituito oltre il 75% della biomassa zooplanctonica. Nel bacino sud la componente carnivora è risultata predominante (60-70%) nei primi mesi dell'anno fino alla fine d'aprile, in particolare nella stazione di Figino, e successivamente in luglio (52-53%).

Complessivamente i dati raccolti nel corso del 2006 confermano la tendenza degli ultimi anni riguardo ai rapporti tra le principali componenti della biomassa planctonica del lago: tendenza caratterizzata dal progressivo calo dei produttori primari (fitoplancton) a vantaggio dei consumatori primari (erbivori), e dalla sostanziale stabilità dei consumatori secondari (carnivori). Percentualmente la componente fitoplanctonica ha toccato i minimi dell'intero periodo d'indagine (Gandria 44%; Melide: 46%; Figino: 50%), mentre gli erbivori sono saliti attorno ai massimi (Gandria 41%; Melide: 39%; Figino: 36%), ed i carnivori si mantengono attorno al 14-15%.

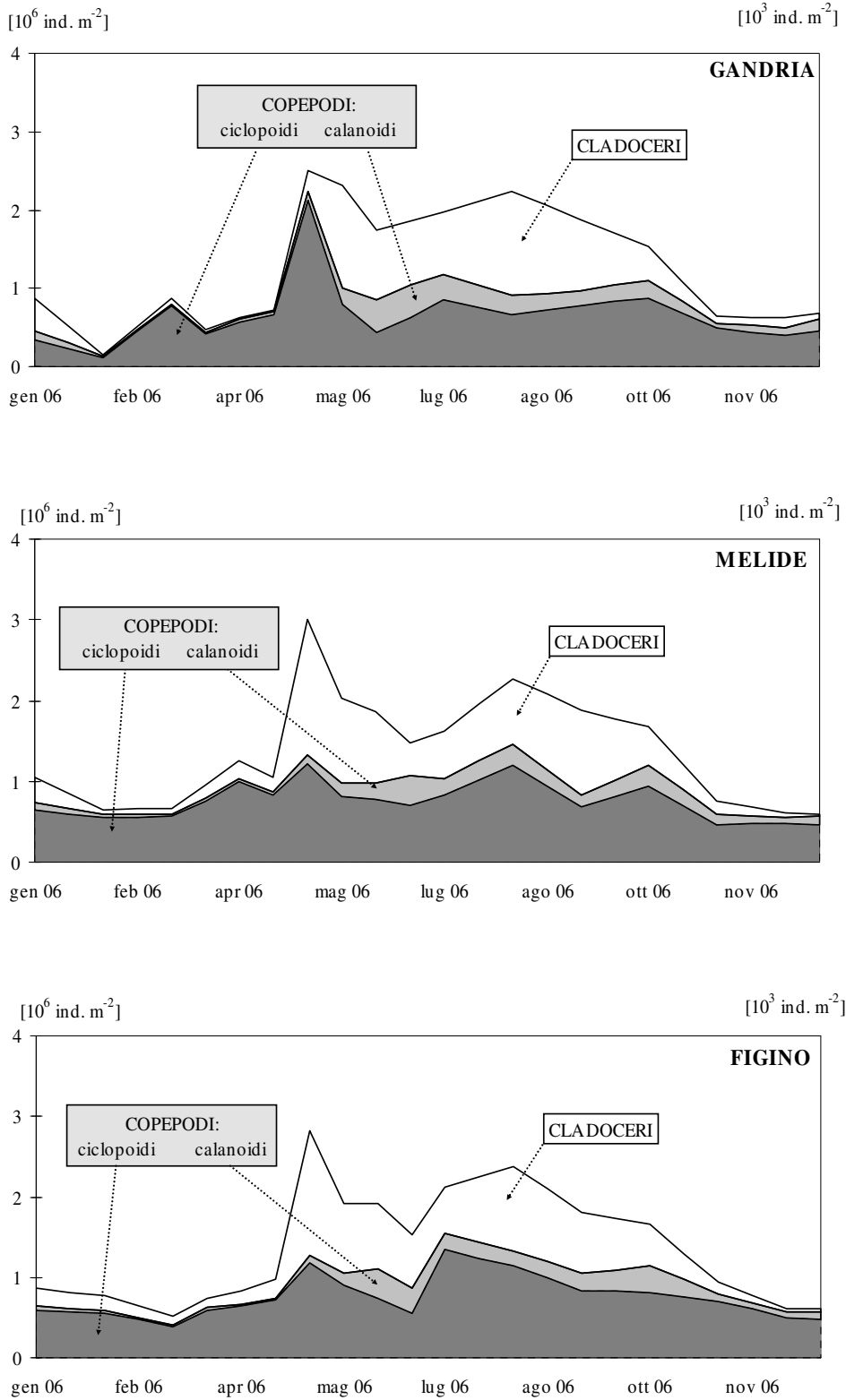


Fig. 7.1. Lago di Lugano, 2006: andamento della densità cumulata dello zooplankton da crostacei.

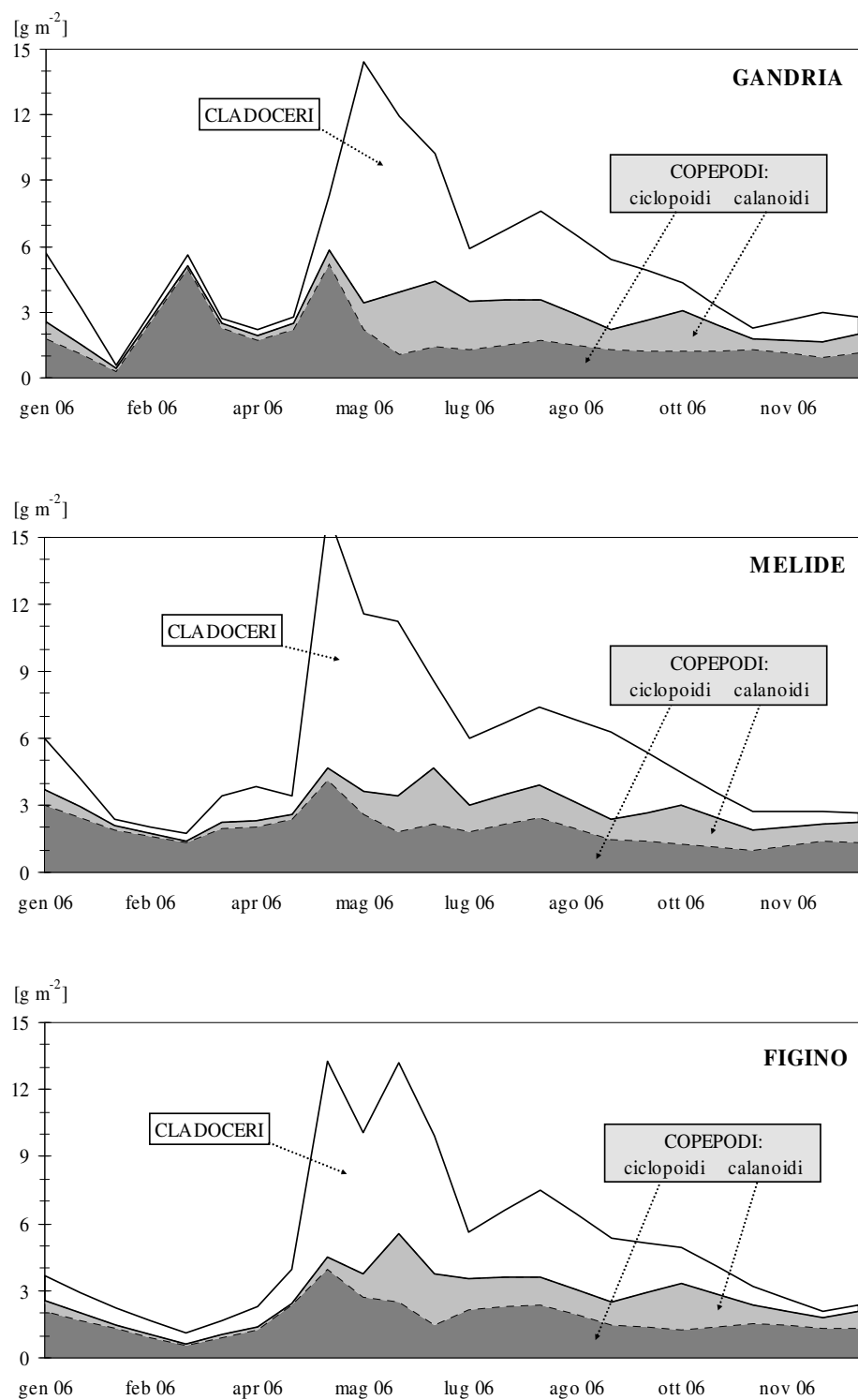


Fig. 7.2. Lago di Lugano, 2006: andamento della biomassa cumulata dello zooplankton da crostacei (peso secco).

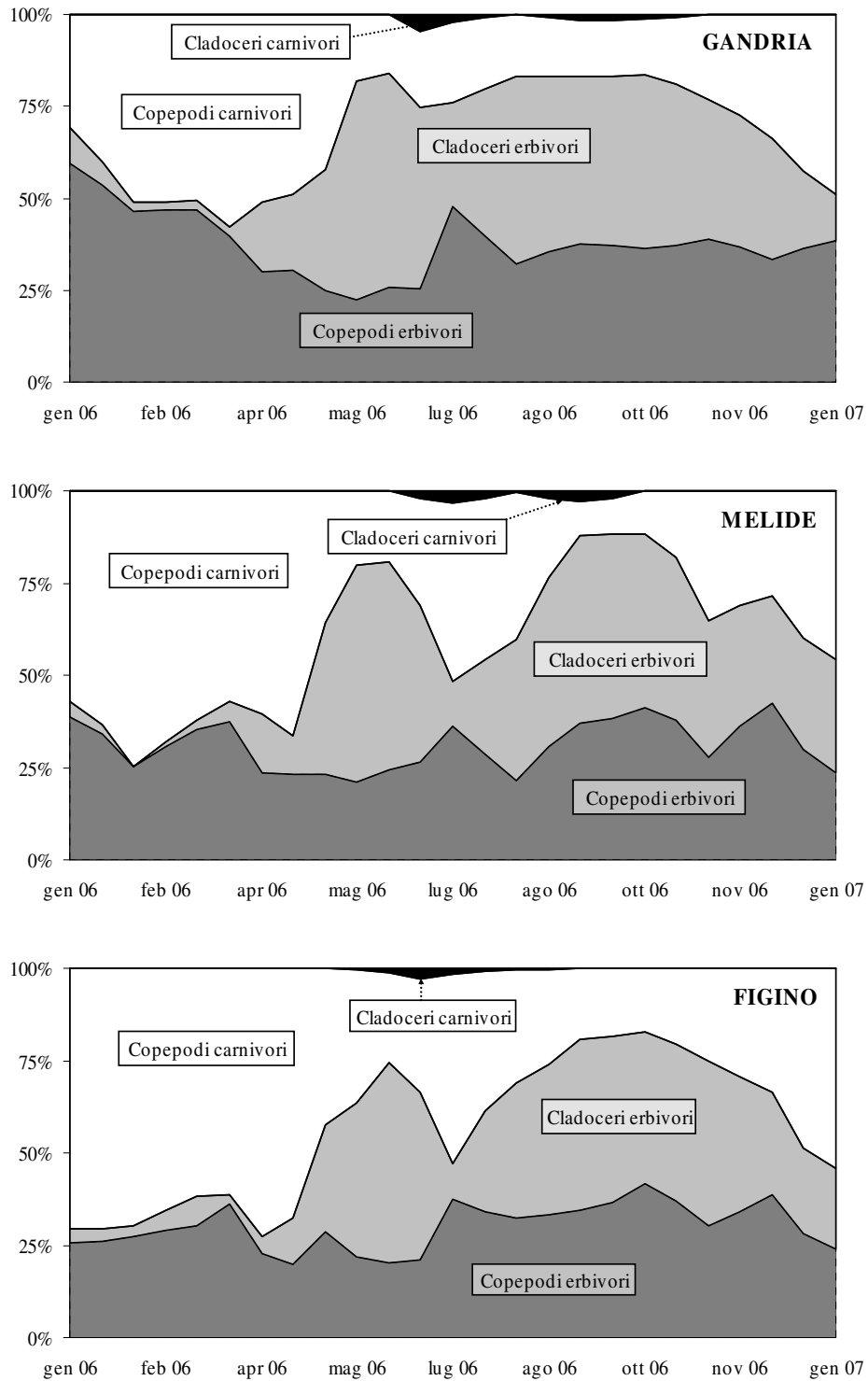


Fig. 7.3. Lago di Lugano, 2006: andamento percentuale della biomassa dello zooplancton erbivoro e carnivoro (peso secco).

8. CONCLUSIONI

Gli avvenimenti meteorologici degli ultimi anni hanno avuto un impatto sullo stato limnologico del Lago di Lugano di una portata mai osservata negli ultimi decenni. Dopo la dissoluzione della stratificazione meromittica del bacino nord, verificatasi nell'inverno 2004-2005, nel corso dell'inverno successivo si è assistito al completo rimescolamento della colonna d'acqua, favorito da un primo trimestre caratterizzato da temperature particolarmente rigide.

La scarsità di precipitazioni (-20%) si è manifestata in un ancor più drastico calo dei valori di portata dei tributari (da -25% a -40%), anche se in una riduzione degli apporti esterni di nutrienti si è riscontrata unicamente nel bacino nord, dove, rispetto al quinquennio precedente (1998-2002) gli apporti risultano in diminuzione del 15%; nel bacino sud, nonostante le favorevoli condizioni idrologiche il carico esterno è aumentato del 10%. Il Bolletta, con 14.2 t P a^{-1} , è il corso d'acqua che ha convogliato a lago il carico maggiore di fosforo totale, seguito dagli apporti stimati degli scaricatori a lago e degli abitanti rivieraschi (8.8 t P per il bacino nord e 8.7 t P per il bacino sud). Il carico complessivo annuo di fosforo, che comprende la quota relativa ai tributari campionati e la quota non campionata, risulta tuttavia ancora superiore al valore ammissibile, sia per il bacino nord (+ 35%) che per il bacino sud (+ 125%).

Alcuni corsi d'acqua tributari del lago hanno presentato condizioni qualitative critiche. I principali problemi riguardano principalmente il fiume Bolletta, in particolare per le concentrazioni dell'azoto ammoniacale e nitroso, per la richiesta biochimica d'ossigeno e per il carbonio organico disciolto. In questo corso d'acqua 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 un valore mediano elevato (17 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 del lago. Grazie all'inverno rigido e prolungato, il completo rimescolamento nel bacino nord ha consentito alle acque superficiali ricche di ossigeno di sprofondare negli strati ipolimnici profondi migliorandone ulteriormente lo stato d'ossigenazione. D'altra parte, tuttavia, in febbraio le concentrazioni d'ossigeno in superficie sono risultate temporaneamente molto critiche ($1.6 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$) in seguito al mescolarsi con le acque ipolimniche atossiche riemergenti.

Anche il rimescolamento invernale delle acque del bacino sud è stato completo, ed ha portato, in febbraio, a concentrazioni sulla colonna intorno a $7.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$: nonostante queste buone condizioni di partenza, a partire da giugno il tenore d'ossigeno degli strati profondi è andato successivamente calando per effetto dell'intensa attività di mineralizzazione nei sedimenti.

Per quanto concerne le concentrazioni di fosforo, al termine della fase di circolazione invernale (febbraio-marzo) esse si presentavano in diminuzione lungo l'asse di deflusso delle acque del lago (Gandria: 100 mg P m^{-3} ; Melide: 50 mg P m^{-3} ; Figino: 40 mg P m^{-3}). 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 negli strati superficiali si sono mantenute basse a causa dell'intensa attività algale e della scarsità di apporti esterni. Sotto quest'aspetto, il monitoraggio dei flussi interni di fosforo rappresenta un elemento fondamentale ai fini di una corretta interpretazione dell'evoluzione trofica di questo bacino [8].

Nel bacino nord, già a partire dal 1998, i valori annuali del fosforo avevano manifestato una tendenza alla riduzione nell'ipolimnio anossico (100-286 m) ed alla crescita nello strato ossigenato sovrastante (0-100 m). In seguito alla destratificazione dell'inverno 2004-2005 ed al rimescolamento conclusosi nel marzo 2006 questa convergenza si è accelerata ed attualmente i valori nei differenti strati coincidono (103 mg P m^{-3}), a riprova dell'avvenuta omogeneizzazione delle concentrazioni sull'intera colonna.

Nel bacino sud, la presenza di fonti di carico esterne più consistenti e regolari (scarichi dei maggiori impianti di depurazione) rispetto al bacino nord ha verosimilmente permesso d'instaurare nello strato produttivo superficiale condizioni trofiche più favorevoli 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 2006 è caratterizzato dal generale calo dei valori di biomassa algale attorno ai livelli più bassi dell'ultimo trentennio, e da un'ulteriore incremento dello zooplancton erbivoro in tutte le stazioni del lago.

Nel bacino nord, il completo rimescolamento invernale delle acque ha provocato la redistribuzione degli organismi presenti nello strato superficiale (0-20 m) lungo l'intera colonna verticale (0-285 m), con il conseguente crollo dei valori di concentrazione, e parallelamente l'afflusso di nutrienti dagli strati profondi, che ha incrementato considerevolmente il livello trofico dell'epilimnio. Nonostante l'elevata disponibilità di nutrimento, il popolamento fitoplanctonico si è però mantenuto su livelli piuttosto contenuti, a motivo della forte pressione di grazing esercitata dallo zooplancton erbivoro, ed in particolare dagli stadi giovanili dei copepoidi. Le condizioni di eutrofia del bacino si sono manifestate in modo evidente solo verso la fine del periodo vegetativo, sotto forma di un'intensa fioritura di alghe cianoficee del genere *Microcystis*.

Nel bacino sud è risultata molto marcata la fase di sviluppo primaverile delle diatomee (fra le quali numericamente predominante la piccola specie *Stephanodiscus parvus*), come pure quella estiva delle cloroficee, rappresentate prevalentemente da forme coccali: assieme alle criptoficee, anch'esse di piccole dimensioni e pertanto facilmente edibili, questi tre gruppi algali hanno costituito oltre il 75% della biomassa media annua del fitoplancton.

Le specie zooplanctoniche erbivore hanno sicuramente potuto beneficiare di questa situazione: le due principali specie di cladoceri filtratori (*Daphnia hyalina*, *Diaphanosoma brachiurum*) hanno toccato punte di densità elevate, la prima in maggio-giugno, la seconda in agosto-settembre, e anche *Eubosmina*

coregoni ha potuto confermare i segnali di ripresa osservati sin dal 2003, raggiungendo punte elevate di densità in tutte le stazioni (in maggio nel bacino sud, ed in agosto in quello nord), ed arrivando a costituire addirittura la specie più abbondante di cladoceri nella stazione di Figino (valore medio annuo).

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 progressivamente intrapreso il cammino verso uno stato qualitativo più consono con le esigenze di risanamento previste. Dopo un fase di rapido miglioramento tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90 il lago ha mantenuto per un decennio un livello d'equilibrio trofico più accettabile e fruibile rispetto al passato. In seguito agli straordinari eventi di circolazione invernale degli ultimi due anni (2004-2005 e 2005-2006), il lago è entrato in una nuova tappa del suo lungo cammino verso il completo risanamento. Nelle attuali condizioni risulta quindi più che mai opportuno continuare a mantenere sotto stretto controllo, nei prossimi anni, l'evoluzione dell'ecosistema lacustre.

RINGRAZIAMENTI

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

BIBLIOGRAFIA

- [1] 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.
- [2] SPINEDI F., 2007. Stato meteorologico 2006. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 95: 109-110.
- [3] CIP AIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere); 1994. Controllo dei carichi di fosforo gravanti sui corpi idrici comuni italo-svizzeri. Gruppo di Lavoro "Interventi di risanamento"; Gruppo di lavoro "Ricerca e stato delle acque"; Milano.
- [4] MEILE, Ch., 1996. Modellierung des Stickstoffkreislaufes im Luganersee-Nordbecken. Diplomarbeit EAWAG-ETH; 123 pp.
- [5] HOLZNER, C.P., W. AESCHBACH-HERTIG, M. SIMONA, M. VERONESI, R. KIPFER, & D.M. IMBODEN (in prep.). Exceptional mixing events in Lake Lugano, Switzerland, studied using environmental tracers. (submitted to Limnology and Oceanography, 2007).
- [6] GÄCHTER, R., 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion: Modelle und in-situ-Messungen. Schweiz. Z. Hydrol. 34:211-244.
- [7] 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
- [8] 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.

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. Attilio Pirolini	laboratorista
Sig. ^{ra} Marina Surace-Ecoffey	laboratorista

COLLABORATORI ESTERNI

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

PRELIEVO CAMPIONATORI AUTOMATICI

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

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