

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

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

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003-2007

Campagna 2003

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

Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 94 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 2003, 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 2003 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. Gli apporti risultano in diminuzione del 30% rispetto al quinquennio precedente in seguito alla scarsità di precipitazioni e alla conseguente riduzione dei deflussi. La progressiva riduzione della concentrazione di fosforo riscontrata nell'ultimo decennio è proseguita nel bacino sud, dove il valore sulla colonna è sceso a quasi 40 mg P m⁻³, mentre all'interno dello strato soggetto a rimescolamento del bacino nord (0-80 m) presenta un ampio margine di variazione (30-70 mg P m⁻³). In questo bacino lo stato d'ossigenazione delle acque profonde si mantiene critico, con una situazione di anossia permanente sotto 80 m. A livello del popolamento planctonico il quadro del 2003 conferma la risposta della biocenosi all'andamento del carico di nutrienti (interno ed esterno): complessivamente si osserva ancora nelle tre stazioni campionate, un livello di nutrienti eccessivamente elevato.

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso del 2003 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. Tuttavia, è possibile affermare che la qualità delle acque del Lago di Lugano si sono lentamente avviate, a partire dai primi anni '90, verso un nuovo stato limnologico, caratterizzato da una certa variabilità e instabilità dell'ecosistema, sicuramente più accettabile e fruibile rispetto agli anni '70-'80, quando era stato raggiunto il massimo livello di eutrofizzazione.

SUMMARY

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during 2003 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 2003 contributed to update the long term records available for the different limnological parameters and to describe the trend of lake trophic evolution with respect to the recovery programme realised until now.

In particular, during the last year emphasis was given to the detailed analysis of phosphorus loads from the different sub-basins of the drainage area, in order to detect to what extent already realised sewage treatment plants contributed to improve the lake situation. Phosphorus load has decreased by about 30% following rain scarcity and subsequent discharge reduction. The progressive decrease in phosphorous concentration, observed during the last decade, has continued in the whole southern basin approaching 40 mg P m^{-3} , whereas is showing high variations ($30\text{-}70 \text{ mg P m}^{-3}$) in the mixed layer of the northern basin (0-80 m). In this latter basin the oxygenation state of hypolimnic water has remained critical, with permanent anoxia below 80 m depth. With respect to the planctonic community, in 2003 the biocenosis has reflected the trend of (both internal and external) nutrient loads: altogether trophic conditions in the three sampled stations are still excessively high.

Considering the results obtained in 2003 it can be affirmed that, notwithstanding the observed improvement, Lake Lugano is still high eutrophic, with nutrient concentrations in progressive and steady development. However, it can be affirmed that since the first Nineties water quality has slowly moved to a new limnological state characterised by variability and instability of the ecosystem. This situation is more acceptable and usable with respect to the Seventies and Eighties, when the highest eutrophication level was reached.

INDICE

	pagina
1. <u>INTRODUZIONE</u>	7
1.1. Prefazione	7
1.2. Simbologia e unità di misura	8
1.3. Caratteristiche morfometriche e idrologiche	9
1.4. Ubicazione delle stazioni di prelievo e misura	10
2. <u>CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'AREALE LACUSTRE</u>	13
2.1. Radiazione solare globale	13
2.2. Temperatura atmosferica	14
2.3. Precipitazioni	14
2.4. Intensità e direzione del vento	15
3. <u>CARATTERISTICHE IDROLOGICHE</u>	19
3.1. Regime dei corsi d'acqua	19
3.2. Regime del livello lacustre	19
4. <u>APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI</u>	21
4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari	21
4.2. Carichi chimici	32
4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto	36
5. <u>CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E CHIMICO- FISICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	39
5.1. Trasparenza	39
5.2. Assorbimento della luce	39
5.3. Temperatura dell'acqua	40
5.4. Ossigeno disciolto	40
5.5. Valore pH ed alcalinità	41
5.6. Conduttività elettrica specifica	41
5.7. Composti del fosforo	42
5.8. Composti dell'azoto	42
5.9. Silice	43
5.10. Metano	44
5.11. Solfuri	44
5.12. Ferro disciolto	44
5.13. Manganese disciolto	45
6. <u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	67
6.1. Struttura dei popolamenti	67
6.2. Variazioni della biomassa	68
6.3. Clorofilla	73
6.4. Produzione primaria	78
7. <u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	83
7.1. Densità dei popolamenti	83
7.2. Biomassa zooplanctonica	84

8.	<u>CONCLUSIONI</u>	89
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	91
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	93

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante la campagna d'indagine del 2003, anno che segna l'inizio 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 risulta quindi necessaria 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 2003 sono depositati presso la Segreteria della Commissione.

1.2. Simbologia e unità di misura

CHIMICA E FISICA

prof. :	profondità	[m]
m s.l.m. :	metri sul livello del mare	[m]
h :	ora	[h]
d :	giorno	[d]
m :	mese	[-]
a :	anno	[a]
Q :	portata	[m ³ s ⁻¹]
T :	temperatura	[°C]
trasm :	trasmittanza luminosa	[%]
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 ortofosfato	[mg m ⁻³]
PT :	fosforo totale	[mg m ⁻³]
SiO ₂ -Si :	silicati reattivi	[g m ⁻³]
NO ₂ ⁻ -N :	azoto nitroso	[mg m ⁻³]
NO ₃ ⁻ -N :	azoto nitrico	[g m ⁻³]
NH ₄ ⁺ -N :	azoto ammoniacale	[g m ⁻³]
NT :	azoto totale	[g m ⁻³]
Fe ²⁺ :	ferro disciolto	[mg m ⁻³]
S ²⁻ :	solfo 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

% :	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 (Veduggio, Cassarate, Laveggio e Tresa).

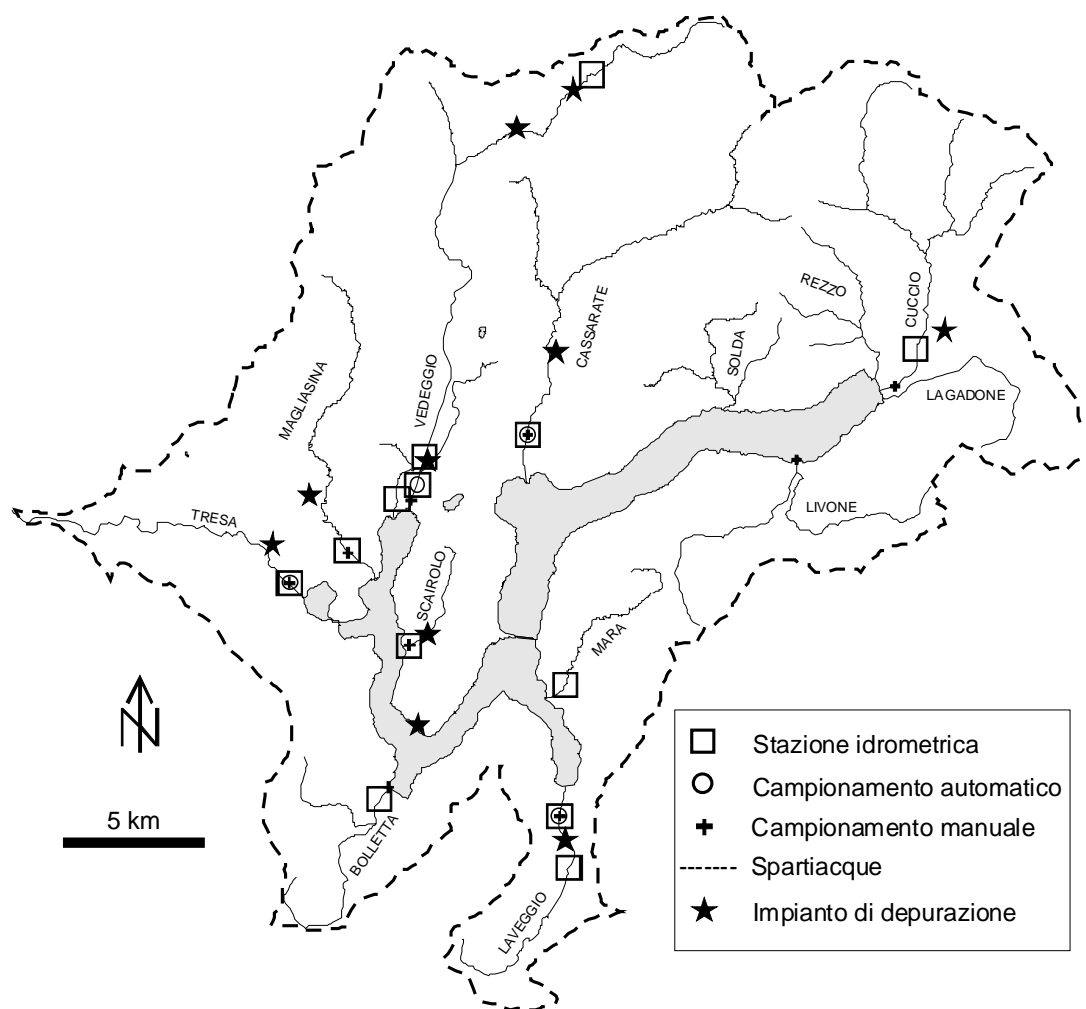


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

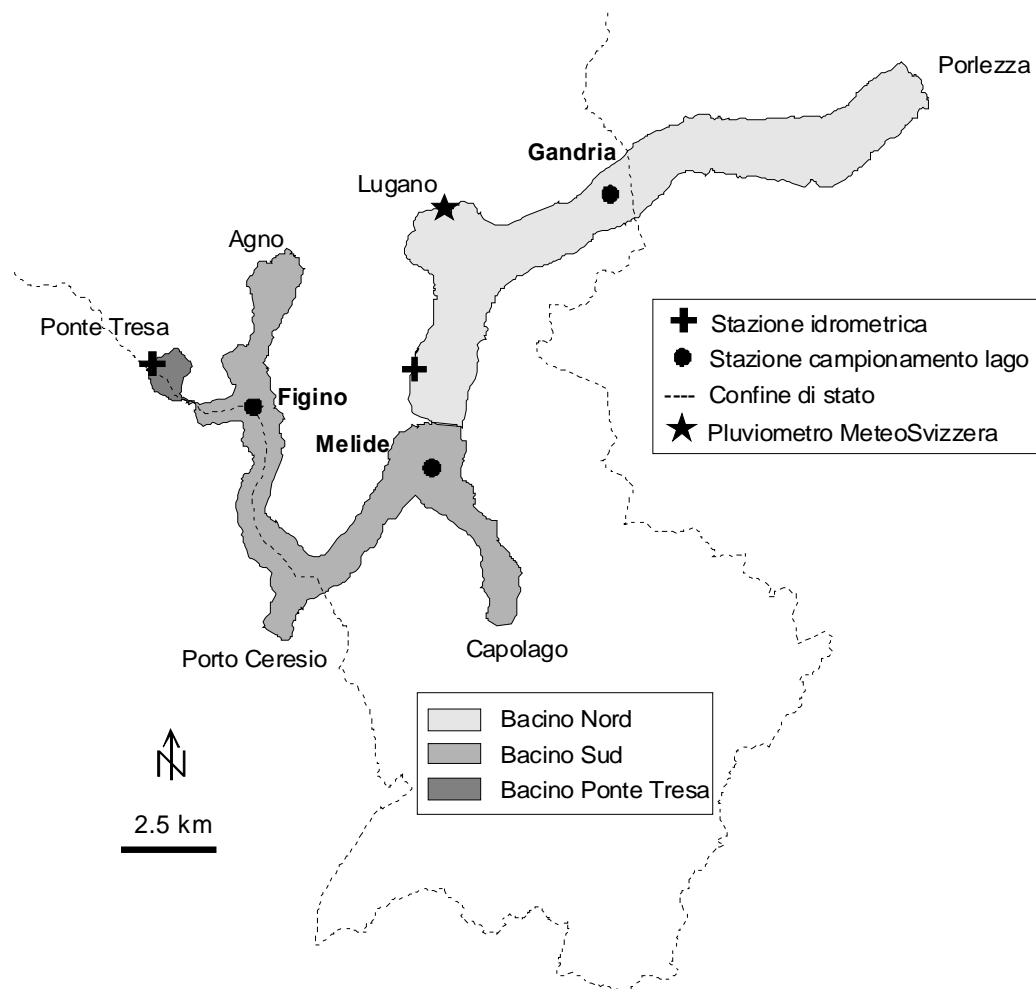


Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

STAZIONE	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), 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 dell'anno 2003 sono stati confrontati, come di consueto, utilizzando quale riferimento il periodo climatologico ufficiale 1961-90 [2] per i parametri della temperatura atmosferica e delle precipitazioni, mentre per i dati relativi alla radiazione solare il confronto è invece effettuato rispetto al ventennio 1980-99. Per quanto riguarda l'andamento generale dell'intensità e della direzione dei venti è stato scelto il periodo di confronto 1986-2000, poiché le misurazioni degli anni precedenti hanno evidenziato alcuni errori.

A livello generale, l'anno 2003 è stato caratterizzato da una combinazione di siccità e caldo mai osservata da quando esistono le misurazioni meteorologiche regolari al sud delle Alpi (circa 140 anni): in particolare si segnala sull'intero territorio cantonale un regime di precipitazioni in netto contrasto con l'anno precedente, ed un'estate durante la quale sono stati superati la maggior parte dei record precedenti legati alla temperatura (il giorno più caldo, l'agosto più caldo, il semestre più caldo, il numero di giornate tropicali, ecc.).

2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2003	4780 MJ m ⁻²
Radiazione - media periodo 1980-99	4244 MJ m ⁻²

L'irraggiamento complessivo del 2003 è risultato il più elevato dell'intero periodo di confronto, con un incremento di quasi 100 MJ m⁻² rispetto al precedente massimo (1997). Per il nono anno consecutivo si registra così un superamento della media ventennale, e per il terzo anno consecutivo un superamento della media del secondo decennio del periodo di riferimento (1990-1999: 4382 MJ m⁻²).

Per tutti i mesi dell'anno, tranne novembre, la radiazione solare è risultata superiore alla media, ma in particolare sono stati registrati incrementi di rilievo in maggio (+112 MJ m⁻²) ed in giugno (+105 MJ m⁻²): come confermato dalla grafica dell'andamento dei valori mensili (Fig. 2.1), durante l'intero periodo

vegetativo del 2003 le condizioni d'irraggiamento solare sono risultate particolarmente favorevoli.

2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2003	13.8 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	12.0 °C

Come già accennato sopra, l'andamento termico del 2003 ha fatto registrare i valori più elevati dell'intero periodo d'osservazione nel nostro Cantone. Il dato medio annuo, che dal 1988 non è più sceso al di sotto della soglia dei 12 °C, è risultato superiore alla norma di ben 1.8 °C.

Dall'andamento delle medie mensili (Fig. 2.2) è possibile rilevare come il principale contributo termico è d'attribuirsi al quadrimestre centrale dell'anno (maggio-agosto), durante il quale sono stati misurati incrementi compresi tra +2 e +6 °C rispetto alla norma. Il mese più caldo è risultato agosto (25.1 °C), seguito da giugno (24.8 °C) e da luglio (23.9 °C), mentre gli unici due mesi con valori inferiori alla norma sono risultati febbraio (-1.4 °C) e novembre (-1.0 °C).

2.3. Precipitazioni

Precipitazioni - totale 2003	1167 mm
Precipitazioni - media periodo 1961-1990	1606 mm

Il quantitativo di precipitazioni raccolte nel corso del 2003 è risultato il più basso dell'intero periodo di riferimento: secondo i dati del Servizio meteorologico, soltanto nel 1921 e nel 1870 erano stati misurati valori inferiori. La scarsità di precipitazioni, già evidente in dicembre del 2002, è proseguita in maniera marcata fino a metà dell'anno, risultando estrema nel corso del primo trimestre: tra gennaio e marzo, infatti, il quantitativo di precipitazioni non ha raggiunto i 60 mm, mentre tra aprile e giugno, nonostante un parziale recupero (330 mm) i valori si sono mantenuti nettamente al di sotto della norma. I violenti temporali di luglio hanno contribuito a ridurre il notevole deficit accumulato: questo mese ha presentato valori superiori alla norma (+68 mm), ma è stato seguito da due mesi nuovamente deficitari (agosto: -99 mm; settembre: -115 mm). Soltanto nell'ultimo trimestre si è assistito ad un parziale recupero del bilancio annuo, grazie soprattutto al contributo dei mesi di novembre e dicembre, entrambi con precipitazioni nettamente superiori alla media (Fig. 2.3).

2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2003	6.25 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media periodo 1986-2000	6.59 km h ⁻¹

Il valore annuo d'intensità dei venti del 2003 è risultato di poco inferiore alla media pluriennale. L'andamento dei valori mensili evidenzia, la maggior attività eolica durante il mese d'aprile (7.58 km h⁻¹; +0.10 km h⁻¹ rispetto alla media) in accordo con la tendenza del periodo, mentre marzo, che normalmente occupa il secondo posto tra i mesi più ventosi, ha presentato quest'anno un valore nettamente al di sotto della media (6.58 km h⁻¹; -1.28 km h⁻¹). Un forte deficit di vento si è avuto anche in novembre (4.13 km h⁻¹; -2.14 km h⁻¹), mentre nettamente al di sopra della media sono risultati gennaio (+0.92 km h⁻¹), settembre (+0.45 km h⁻¹) ed ottobre (+0.42 km h⁻¹). Per quanto riguarda il periodo invernale, durante il quale il lago presenta condizioni termiche propizie al rimescolamento, l'attività eolica si è mantenuta su livelli discreti sia in gennaio sia in febbraio (6.4 km h⁻¹), ciò che ha favorito la circolazione invernale delle acque e, di conseguenza, la loro riossigenazione.

Per quanto riguarda l'andamento della direzione di provenienza dei venti, sempre nella figura 2.4.a è riportato il corrispondente valore medio mensile, costituito dall'angolo (0-360°) risultante dalla somma vettoriale delle singole osservazioni. Per facilitare la lettura di tale valore angolare, sulla scala delle ordinate è riportato il corrispondente settore della rosa dei venti. La direzione media si è situata prevalentemente attorno al settore N e NNW (gennaio-febbraio e agosto-dicembre); da marzo a luglio si è avuta invece una predominanza dei settori compresi tra E e SE, fatta eccezione per maggio (NNE).

La distribuzione annua delle percentuali di frequenza della direzione dei venti, suddivisa negli otto settori principali del quadrante, è riportata nella figura 2.4.b. I dati del 2003, confermano il predominio dei venti che soffiano lungo le direttrici N + NW da una parte, e S + SW dall'altra, ma anche la tendenza, in atto a partire dal 1998, di un progressivo spostamento delle direzioni tra il settore NW, passato dal 40% al 15%, ed il settore N, che dal 10% ha raggiunto quest'anno il 34%.

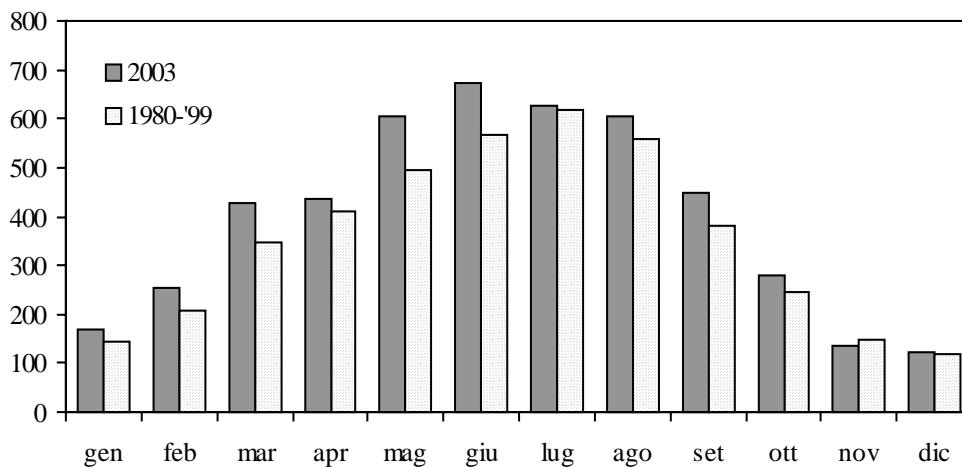
[MJ m⁻²]

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

[°C]

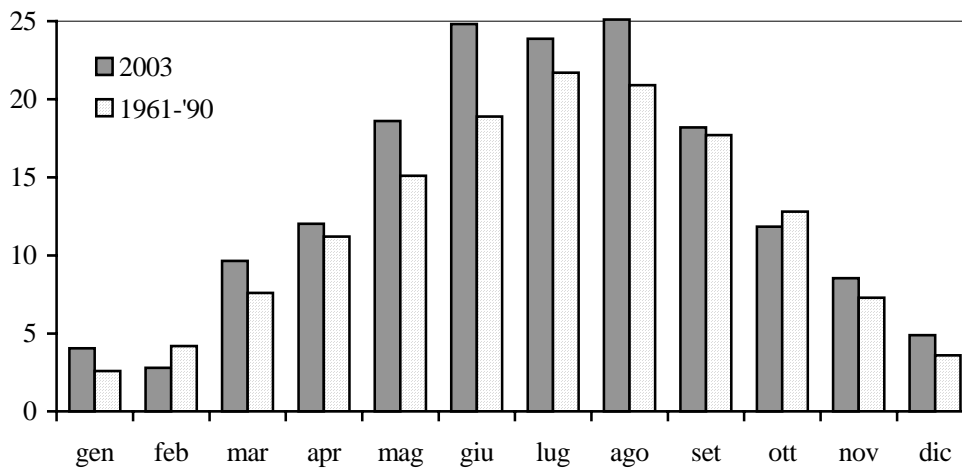


Fig. 2.2 Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

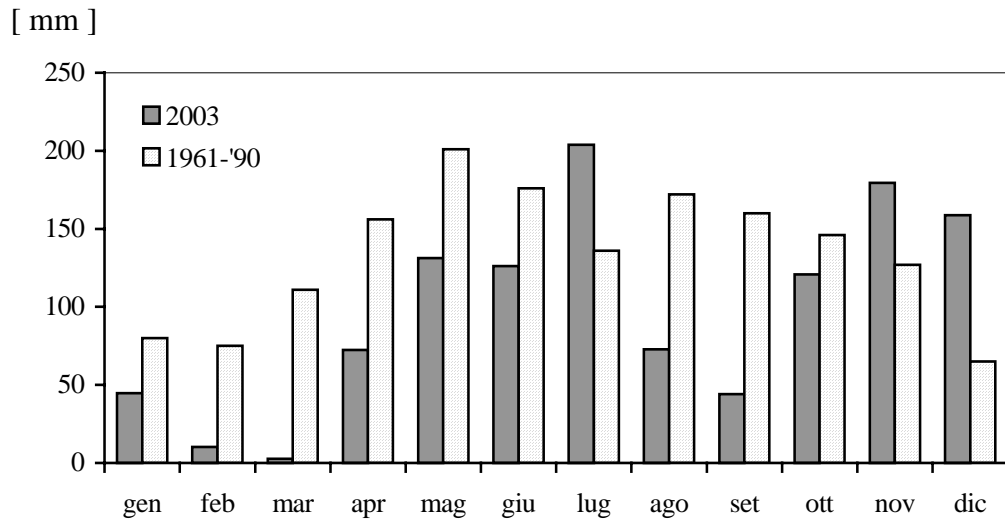


Fig. 2.3 Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

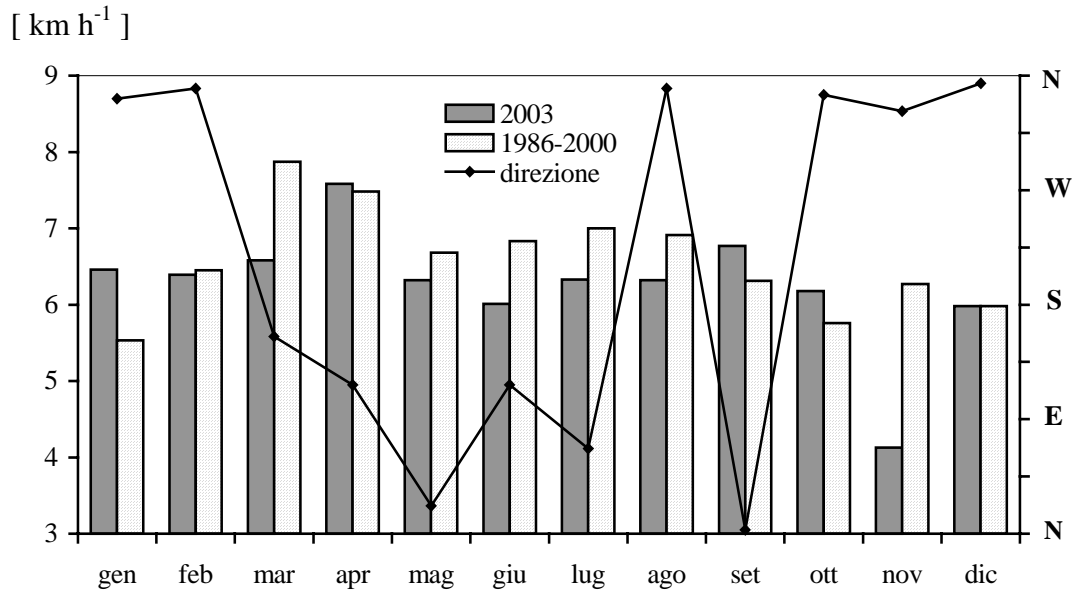


Fig. 2.4 a: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media (linea) nel corso del 2003, rilevato presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

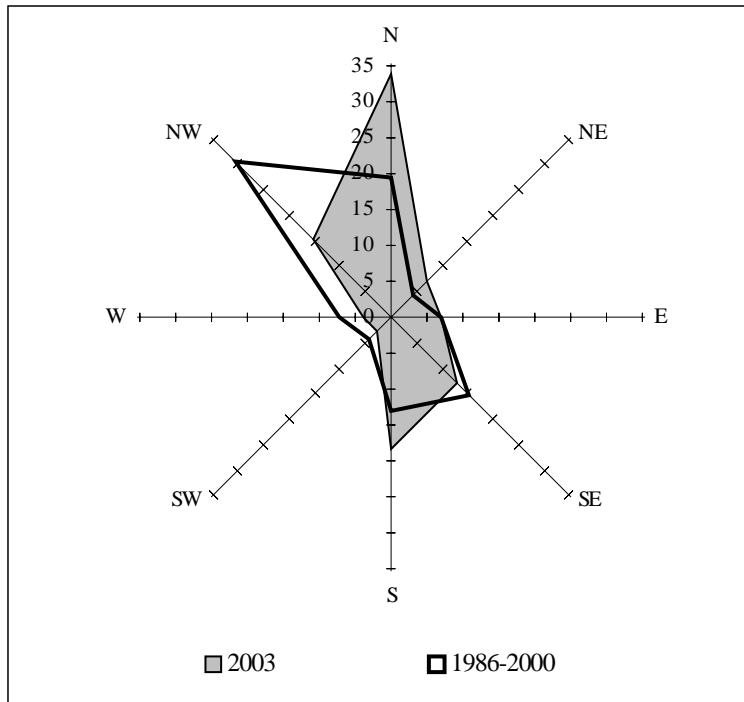


Fig. 2.4.b: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

3. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

3.1. Regime dei corsi d'acqua

La tabella 3.1. presenta i valori di deflusso (medie mensili e annue) degli otto corsi d'acqua controllati, relativi all'anno 2003 ed ai corrispondenti periodi di confronto.

Come riferito nel capitolo precedente, il 2003 è stato un anno povero di precipitazioni, per cui le portate hanno segnato una riduzione del 40-60% rispetto alla media pluriennale. Lo scarto maggiore è stato rilevato sulla Magliasina, con una perdita complessiva del 64%, mentre il mese più deficitario è risultato ottobre, in cui è defluito il 75% d'acqua in meno rispetto alla norma. Nei tre mesi di gennaio, novembre e dicembre è scorso quasi 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	2003	0.58	0.36	0.26	0.24	0.63	0.25	0.18	0.11	0.10	0.12	0.97	1.01	0.40
	1986-2001	0.62	0.47	0.56	1.07	0.80	0.80	0.55	0.36	0.56	1.06	0.76	0.52	0.68
Cassarate	2003	1.52	0.96	0.73	0.72	0.97	0.78	0.89	0.61	0.41	0.50	2.15	2.23	1.04
	1963-2002	1.34	1.39	2.16	3.63	4.46	3.55	2.29	1.93	2.60	3.17	3.17	1.60	2.61
Cuccio	2003	1.19	0.77	0.81	0.66	1.24	1.27	0.97	0.80	0.65	0.67	2.11	1.75	1.08
	1986-2001	1.29	1.19	1.47	2.53	3.12	2.80	2.28	1.48	1.85	2.83	2.21	1.37	2.04
Laveggio	2003	1.09	0.83	0.66	0.59	0.82	0.50	0.46	0.34	0.28	0.36	1.02	1.26	0.68
	1978-2001	0.96	0.88	1.12	1.56	1.55	1.32	0.95	0.73	0.89	1.33	1.11	0.86	1.11
Magliasina	2003	0.52	0.32	0.31	0.24	0.47	0.43	0.24	0.15	0.13	0.16	1.18	1.20	0.45
	1980-2002	0.68	0.59	0.90	1.82	2.24	1.74	1.00	0.60	1.25	1.88	1.65	0.74	1.26
Scairolo	2003	0.24	0.17	0.13	0.15	0.23	0.22	0.17	0.13	0.10	0.12	0.31	0.33	0.19
	1982-2001	0.27	0.23	0.24	0.38	0.41	0.37	0.26	0.21	0.27	0.40	0.33	0.22	0.31
Vedeggio	2003	2.35	1.52	1.15	1.00	1.76	1.44	1.38	1.18	0.76	0.82	3.86	3.79	1.75
	1979-2001	2.24	1.93	2.81	5.40	6.89	5.60	3.67	2.48	3.87	5.60	3.99	2.38	3.91
Tresa	2003	14.00	8.39	7.11	6.46	10.90	8.03	6.71	5.58	4.54	3.43	19.20	20.70	9.59
	1923-2002	15.60	14.00	18.40	28.90	38.10	33.50	23.30	17.90	21.60	27.90	31.50	20.50	24.27

3.2. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre nel 2003 è stata di m 270.41 m s.l.m. risultando di 8 cm inferiore a quella del periodo di riferimento (1965-2003: 270.49 m s.l.m.). Il minimo assoluto è stato toccato il 18 ottobre con 270.252 s.l.m.; si tratta del valore più basso mai registrato per il mese d'ottobre nel periodo d'osservazione. La punta massima, pari a 270.735, è stata raggiunta il 28 novembre per cui l'escursione massima per il 2003 è stata di 48.3 cm.

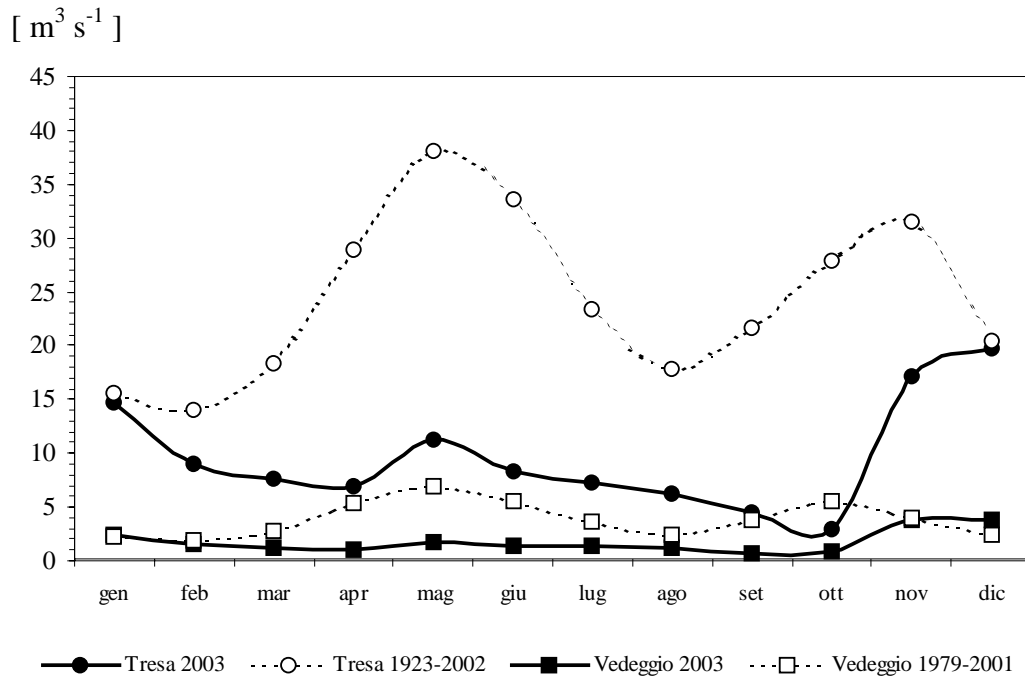


Fig. 3.1. Regime mensile di deflussi dei fiumi Tresa (emissario) e Veduggio (principale immissario) nel 2003 e nel periodo di riferimento.

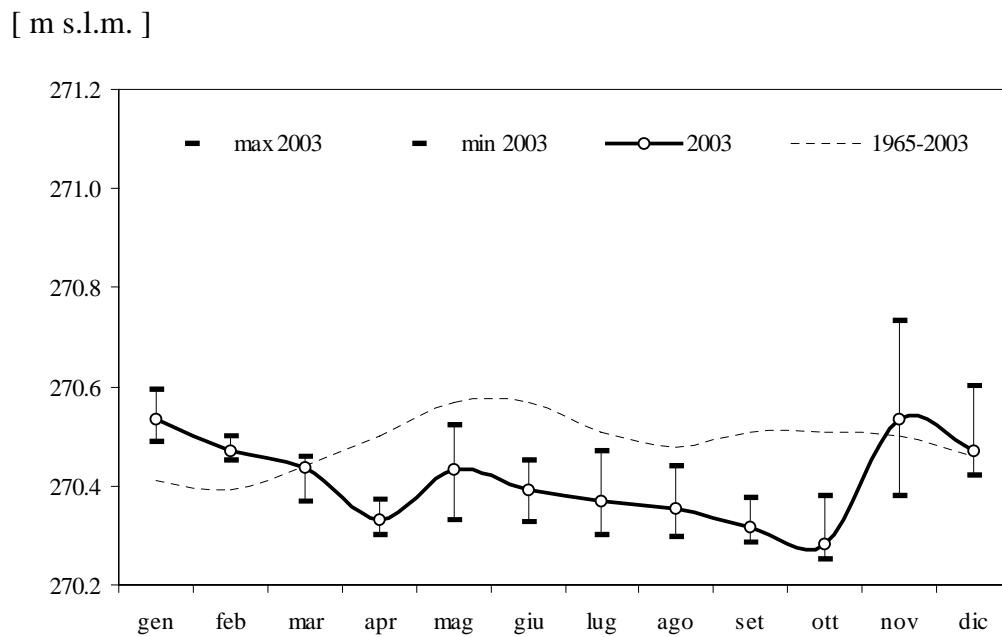


Fig. 3.2. Lago di Lugano, 2003: regime mensile (o) e valori estremi (-) del livello lacustre, e confronto con periodo di riferimento.

4. APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI

4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari

Nelle figure 4.1.3.a-e) sono rappresentati graficamente i principali valori statistici (mediana, 25%ile, 75%ile, massimo e minimo) per tutti i parametri indagati sui nove tributari campionati nel corso del 2003. Nel commento delle figure concernenti il nitrito, l'ammonio e il BOD₅, è indicato, quale riferimento, il valore ammissibile meno restrittivo previsto dall'Ordinanza federale sulla Protezione delle Acque [3].

La distribuzione dei valori di deflusso per i diversi corsi d'acqua, rilevati al momento del campionamento, mostra che i 15 prelievi rispecchiano in maniera soddisfacente il regime idrologico annuale (Fig. 4.1.3.a), anche se il confronto con la curva di frequenza delle portate medie giornaliere annue (Fig. 4.1.1.; dati UFAEG) evidenzia, per il Tresa, una scarsa rappresentatività delle situazioni di piena. Su questo fiume, il massimo annuale rilevato durante i campionamenti è stato raggiunto a fine novembre ($34.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Ad eccezione del Vedeggio ($1.27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) i valori mediani degli altri fiumi sono tutti risultati inferiori a $1.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

I valori di temperatura nel 2003 hanno mostrato forti escursioni (Fig. 4.1.3.a) legate all'andamento stagionale della temperatura dell'aria (cfr. paragrafo 2.2.). Su Tresa, Magliasina e Cassarate 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 20°C. La temperatura mediana più elevata è stata misurata sul Vedeggio (15.4 °C). La punta massima è stata rilevata in luglio sul Tresa (26.8°C), mentre il minimo assoluto è stato misurato in febbraio sulla Magliasina (1.7°C). Le misurazioni dell'UFAEG effettuate sul Tresa a Ponte Tresa riportano un massimo di 30.5 °C il 13 agosto (Fig. 4.1.2.).

Per quanto concerne la conducibilità (Fig. 4.1.3.a) il Laveggio presenta la mediana più elevata ($744 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguito dai tributari Bolletta, Scairolo e Livone, con valori compresi tra 510 e $390 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nei rimanenti cinque fiumi, le mediane sono oscillate tra 130 e $290 \mu\text{S cm}^{-1}$. Il massimo annuale è stato rilevato in settembre sul Laveggio ($1031 \mu\text{S cm}^{-1}$). Su questo tributario, unitamente al Bolletta, si sono osservate le maggiori variazioni di conducibilità ($690\text{-}760 \mu\text{S cm}^{-1}$ tra massimo e minimo annuale).

I valori d'alcalinità più elevati, con mediane comprese tra 3.4 e 4.3 eq m^{-3} , sono stati misurati su Laveggio, Livone e Bolletta (Fig. 4.1.3.b), fiumi che drenano bacini costituiti prevalentemente da rocce calcaree. Le alcalinità più basse ($<1.75 \text{ eq m}^{-3}$) sono state registrate per contro negli affluenti Cassarate, Cuccio, Vedeggio 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 2.41 eq m^{-3} e 1.74 eq m^{-3} . Le variazioni più marcate sono state osservate sul Bolletta, con un'escursione di 2.64 eq m^{-3} .

Il valore pH mostra un andamento simile all'alcalinità (Fig. 4.1.3.b): Livone e Tresa hanno fatto registrare mediane elevate (rispettivamente 8.43 e 8.40 unità), mentre su Magliasina e Vedeggio sono stati riscontrati i valori più bassi (7.78 e 7.63). I rimanenti tributari presentano valori pH compresi tra 8.3 e 8.1. I minimi ed i massimi annuali sono stati rilevati rispettivamente a fine novembre sul Vedeggio (7.22) e in agosto sul Tresa (9.40). Su quest'ultimo fiume, l'elevata

variabilità annuale (escursione di 1.56 unità) è fortemente influenzata dall'attività fotosintetica nell'epilimnio lacustre.

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.3.b) ha mostrato concentrazioni regolarmente superiori a $8.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$, ad eccezione del Bolletta che durante i due prelievi di ottobre ha fatto registrare tenori d'ossigeno inferiori (7.39 e $7.73 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$). Nel loro insieme i fiumi risultano quindi ben ossigenati durante tutto l'anno.

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

Per quanto concerne l'azoto nitroso, nel Bolletta (mediana: 55 mg N m^{-3} ; massimo: 237 mg N m^{-3}) il valore limite indicativo di 50 mg N m^{-3} è stato superato in due campionamenti su tre, mentre sul Laveggio (27 mg N m^{-3} ; 240 mg N m^{-3}) il superamento si è verificato una volta su tre. Negli altri corsi d'acqua le concentrazioni sono risultate soddisfacenti, con oltre il 75% dei valori a norma. Per l'azoto nitrico, sui fiumi Laveggio e Scairolo oltre il 75% dei tenori rilevati erano superiori alla soglia di riferimento di 5.6 g N m^{-3} . I valori massimi sono stati misurati in questi due fiumi, rispettivamente con 12.68 g N m^{-3} (novembre) e 12.73 g N m^{-3} (settembre). Nel Vedeggio le concentrazioni sono risultate eccessive in circa la metà dei casi, mentre nei rimanenti corsi d'acqua i valori sono sempre stati conformi alle esigenze qualitative. Nel caso dell'azoto ammoniacale, in tutti i fiumi si è verificato almeno un superamento dei limiti ammissibili; nel Bolletta, in particolare, le situazioni di non conformità hanno interessato l'80% dei prelievi. Nello Scairolo e nel Laveggio sono stati rilevati superamenti rispettivamente nel 55% e nel 60% dei casi, mentre nei rimanenti fiumi essi si sono verificati in meno del 25% dei campionamenti. Nel Vedeggio il massimo annuale è stato misurato, in aprile (3.99 g N m^{-3}).

I valori di azoto totale (Fig. 4.1.3.d) più elevati sono stati registrati nel Laveggio e nello Scairolo dove nell'80% dei casi è stata superata la soglia indicativa di 7 g N m^{-3} . Sugli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane si sono mantenute sotto questo limite, risultando comprese tra 1.29 g N m^{-3} (Tresa) e 6.49 g N m^{-3} (Vedeggio). Il massimo assoluto (25.6 g N m^{-3}) è stato rilevato in febbraio nel Laveggio.

I tenori più elevati di fosforo reattivo (Fig. 4.1.3.d) sono stati misurati nel Bolletta (mediana: 220 mg P m^{-3} ; massimo annuale in settembre: 615 mg P m^{-3}), e nel Livone (mediana di 108 mg P m^{-3}). I valori mediani degli altri sette tributari si sono situati al di sotto di 45 mg P m^{-3} . Per quanto riguarda il fosforo totale (Fig. 4.1.3.d), il valore ammissibile nei tributari è stato calcolato partendo dai carichi critici dei due bacini lacustri [4] e dai valori di deflusso. Nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata, pari a 416 mg P m^{-3} , valore che supera di 14 volte quello auspicato per il bacino sud (29 mg P m^{-3}); sia in questo tributario che nel Livone le concentrazioni di fosforo totale hanno superato i limiti auspicati in occasione di tutti i prelievi. Gli altri affluenti hanno presentato mediane superiori ai rispettivi valori di riferimento, ad eccezione di Cassarate (45 mg P m^{-3}) e Tresa (18 mg P m^{-3}). Il massimo assoluto dell'anno ($1'620 \text{ mg P m}^{-3}$) è stato misurato in gennaio nel Bolletta. Sul Laveggio a metà ottobre è stata rilevata una concentrazione di fosforo totale di 698 mg P m^{-3} , riconducibile a lavori in corso sull'alveo che hanno provocato una forte risospensione del sedimento fluviale.

I valori mediani di carbonio organico disciolto (DOC; Fig. 4.1.3.e) si sono sempre mantenuti sotto la soglia di riferimento dei 4.0 g C m^{-3} . Nello Scairolo si sono verificati quattro superamenti, mentre a metà ottobre nel Tresa è stato riscontrato un massimo annuale di 5.90 g C m^{-3} .

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; Fig. 4.1.3.e), tutti i valori mediani sono risultati inferiori al limite ammissibile ($4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$). Il grafico è abbastanza simile a quello dell'ammonio e del DOC, ad indicare come la nitrificazione e la degradazione della materia organica siano i principali responsabili del consumo d'ossigeno. Il Bolletta presenta la mediana più elevata dell'anno ($3.38 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$) ed il maggior numero di sorpassi del valore limite (4 su 15), mentre il massimo assoluto ($16.75 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$) è stato misurato nello Scairolo, in marzo.

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.3.e) sono state registrate nello Scairolo (mediana: 4.80 g Si m^{-3}), il cui bacino imbrifero è costituito prevalentemente da porfiriti. Su quest'affluente è stato misurato in ottobre anche il massimo annuale (5.60 g Si m^{-3}). Le concentrazioni più basse sono state rilevate nell'emissario Tresa (mediana: 0.73 g Si m^{-3}). I valori mediani degli altri tributari sono risultati compresi tra 2.32 (Livone) e 4.52 g Si m^{-3} (Vedeggio).

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 (Figure 4.1.4.a-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 gli effetti di interventi effettuati sull'alveo, come è accaduto a fine settembre sul Laveggio (33.54 g m^{-3} di azoto totale).

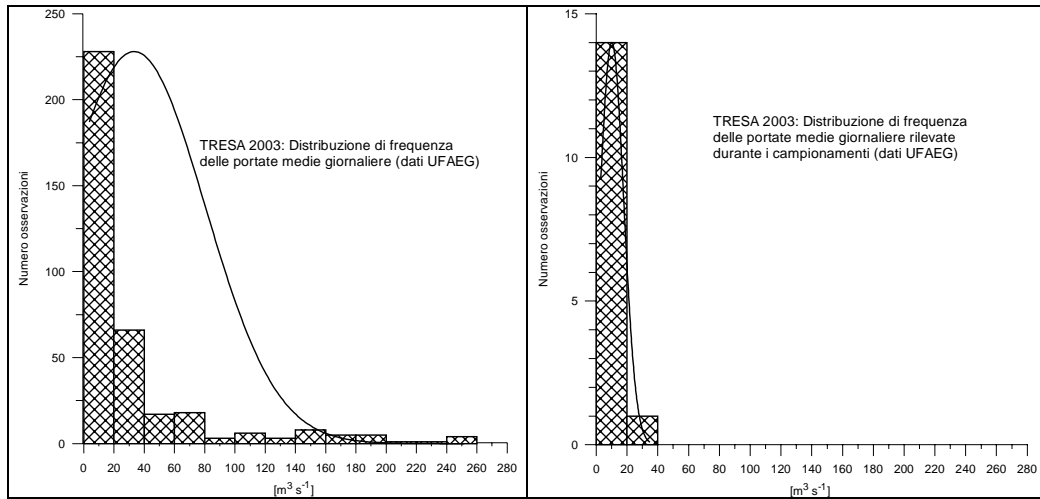


Fig. 4.1.1. Lago di Lugano, 2003: curve di frequenza delle portate medie giornaliere sul fiume Tresa; confronto tra l'intero set di dati annuale (a sinistra) e le 15 portate rilevate durante i campionamenti (dati UFAEG).

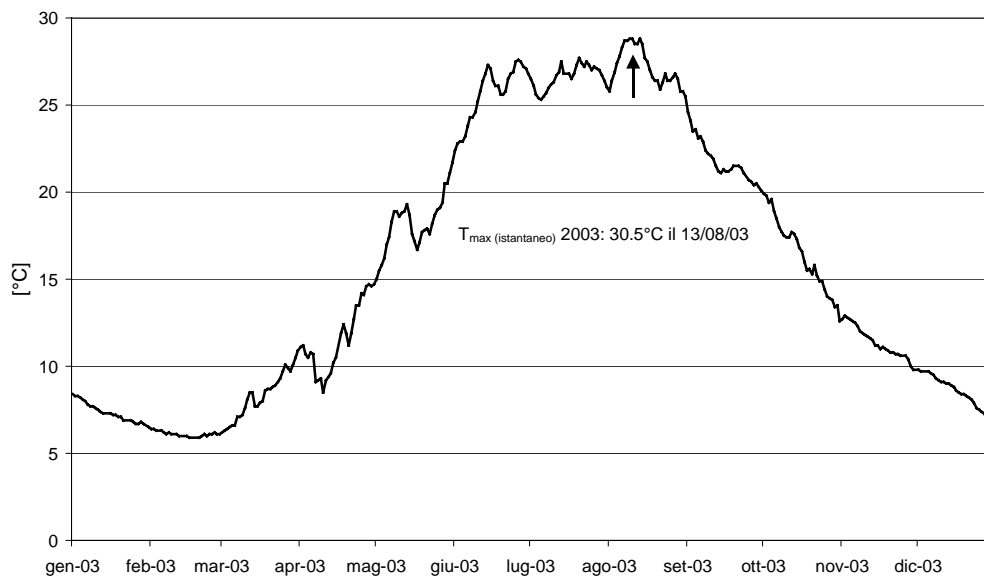


Fig. 4.1.2. Lago di Lugano, 2003: andamento della temperatura media giornaliera nel fiume Tresa a Ponte Tresa (Rocchetta, dati UFAEG).

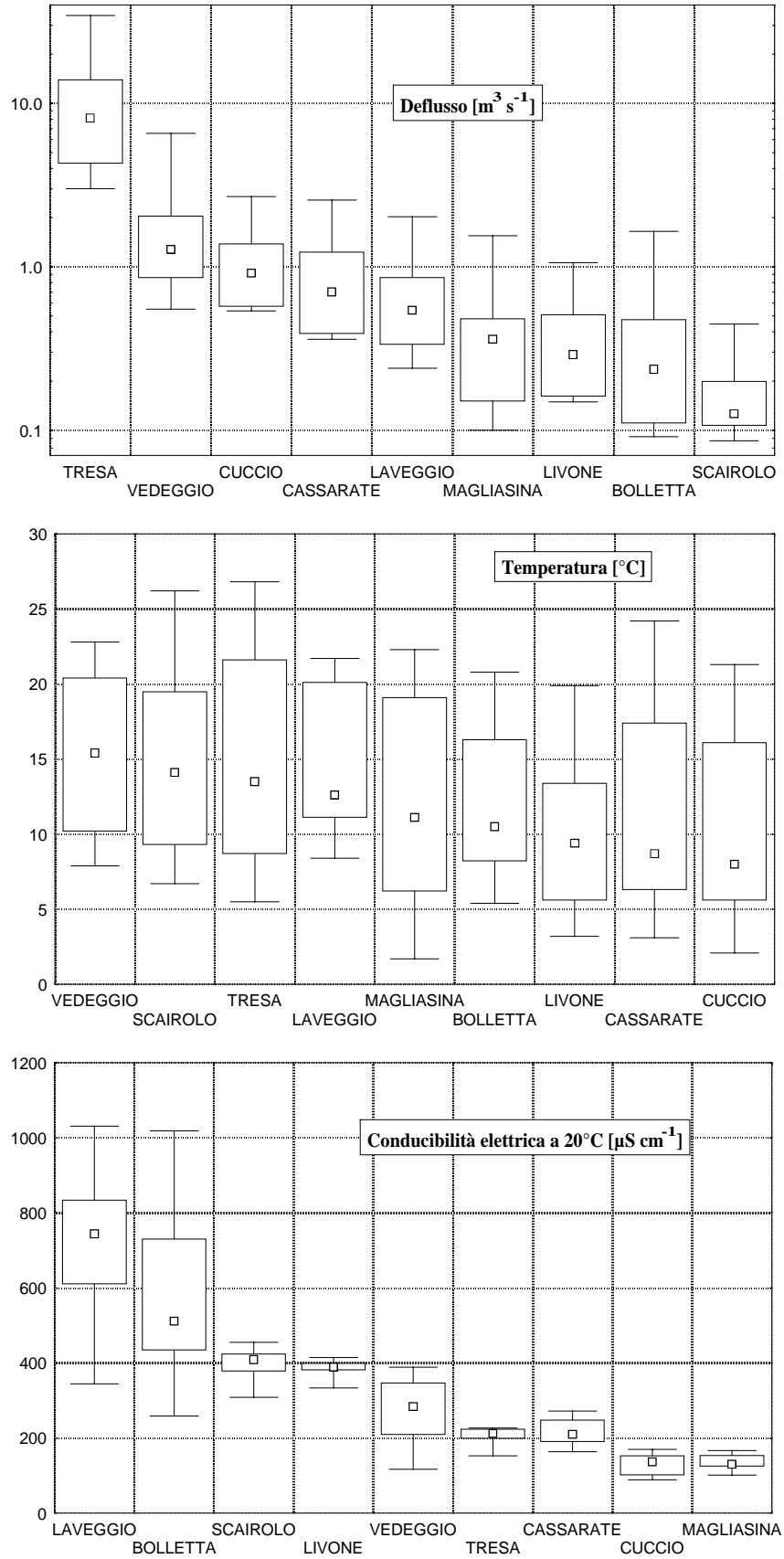


Fig. 4.1.3.a) Lago di Lugano, 2003: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

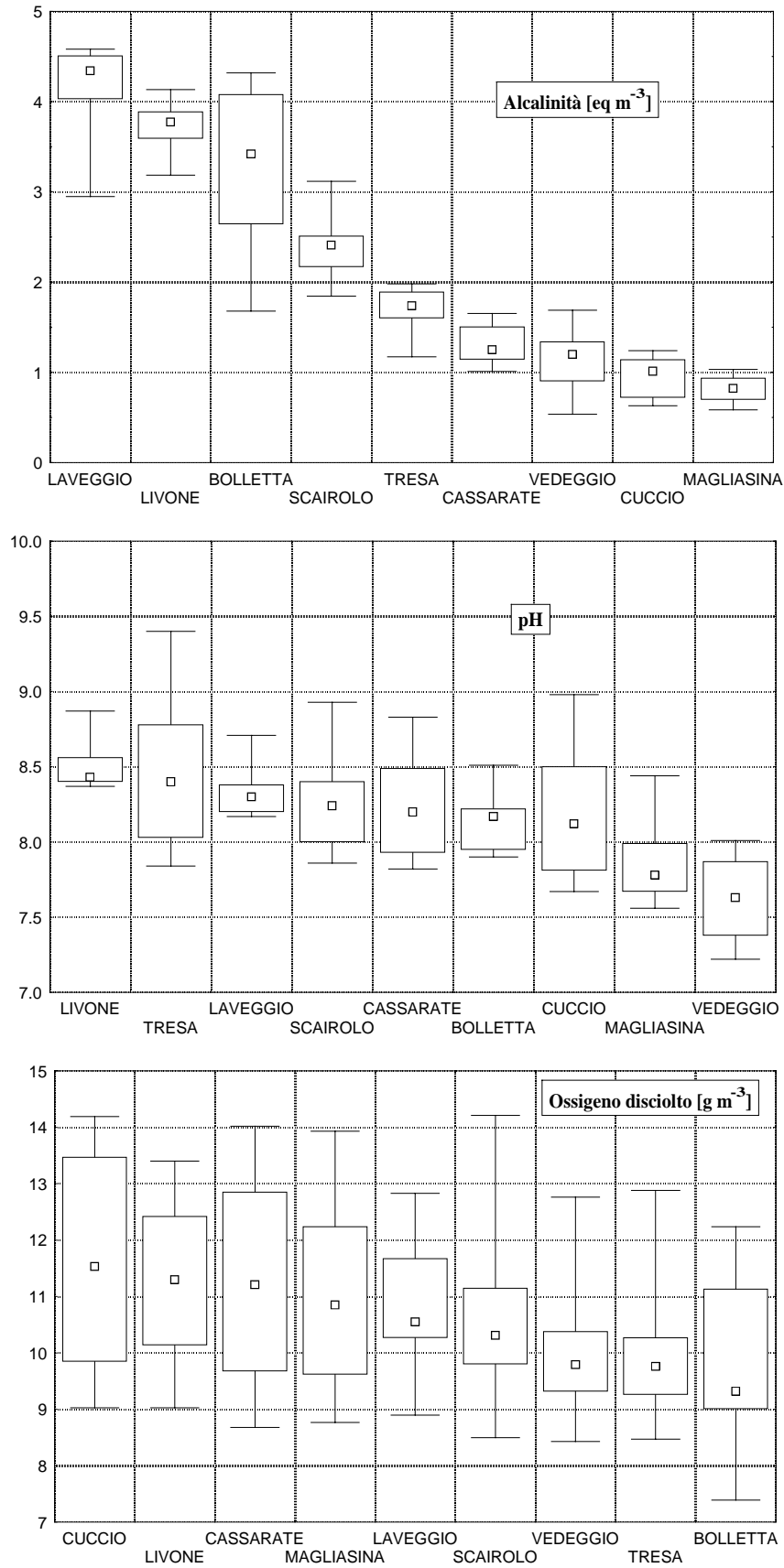


Fig. 4.1.3.b) Lago di Lugano, 2003: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

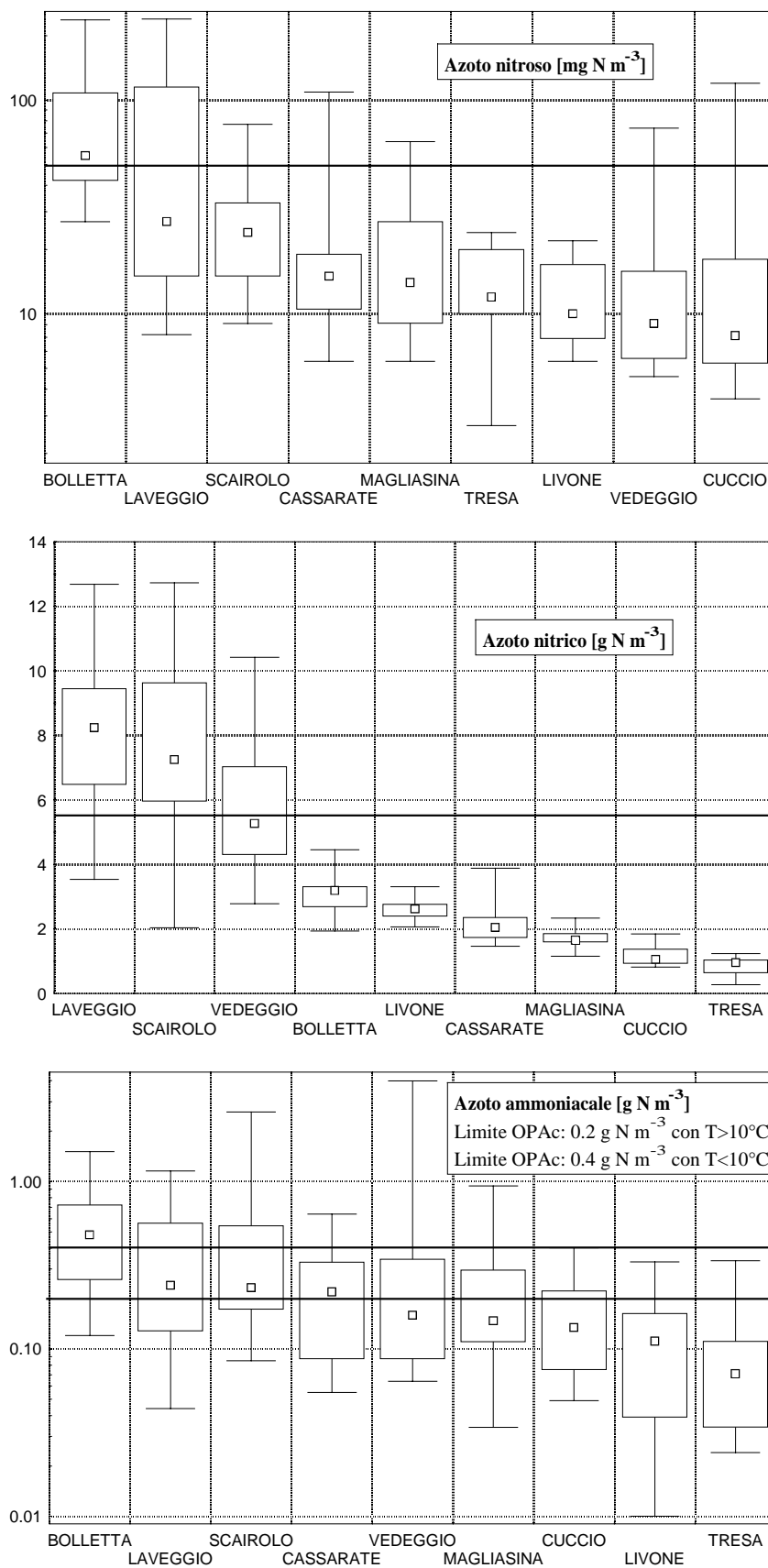


Fig. 4.1.3.c) Lago di Lugano, 2003: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

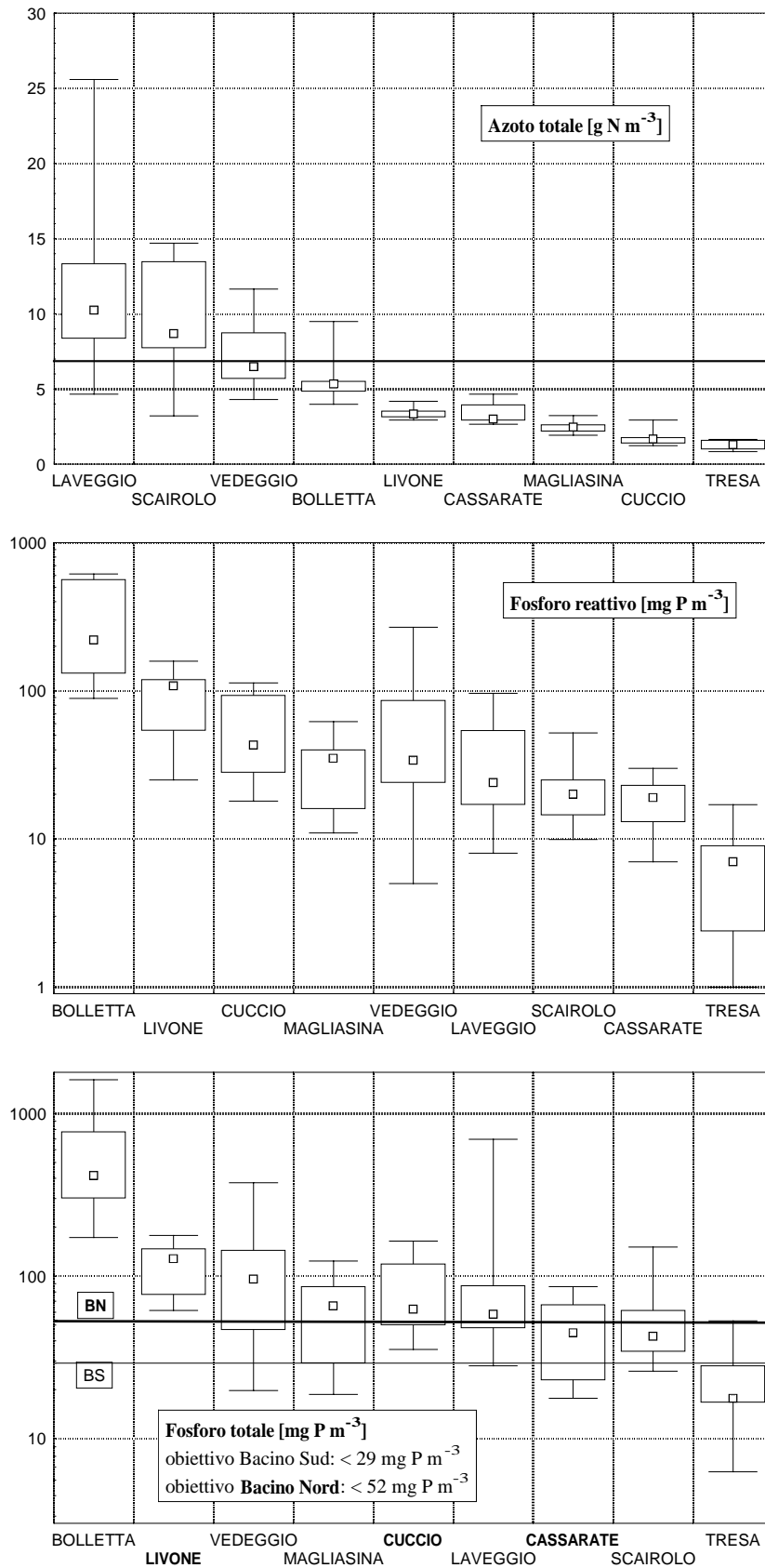


Fig. 4.1.3.d) Lago di Lugano, 2003: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo. Nel grafico relativo al fosforo totale i tributari del bacino nord sono indicati in grassetto.

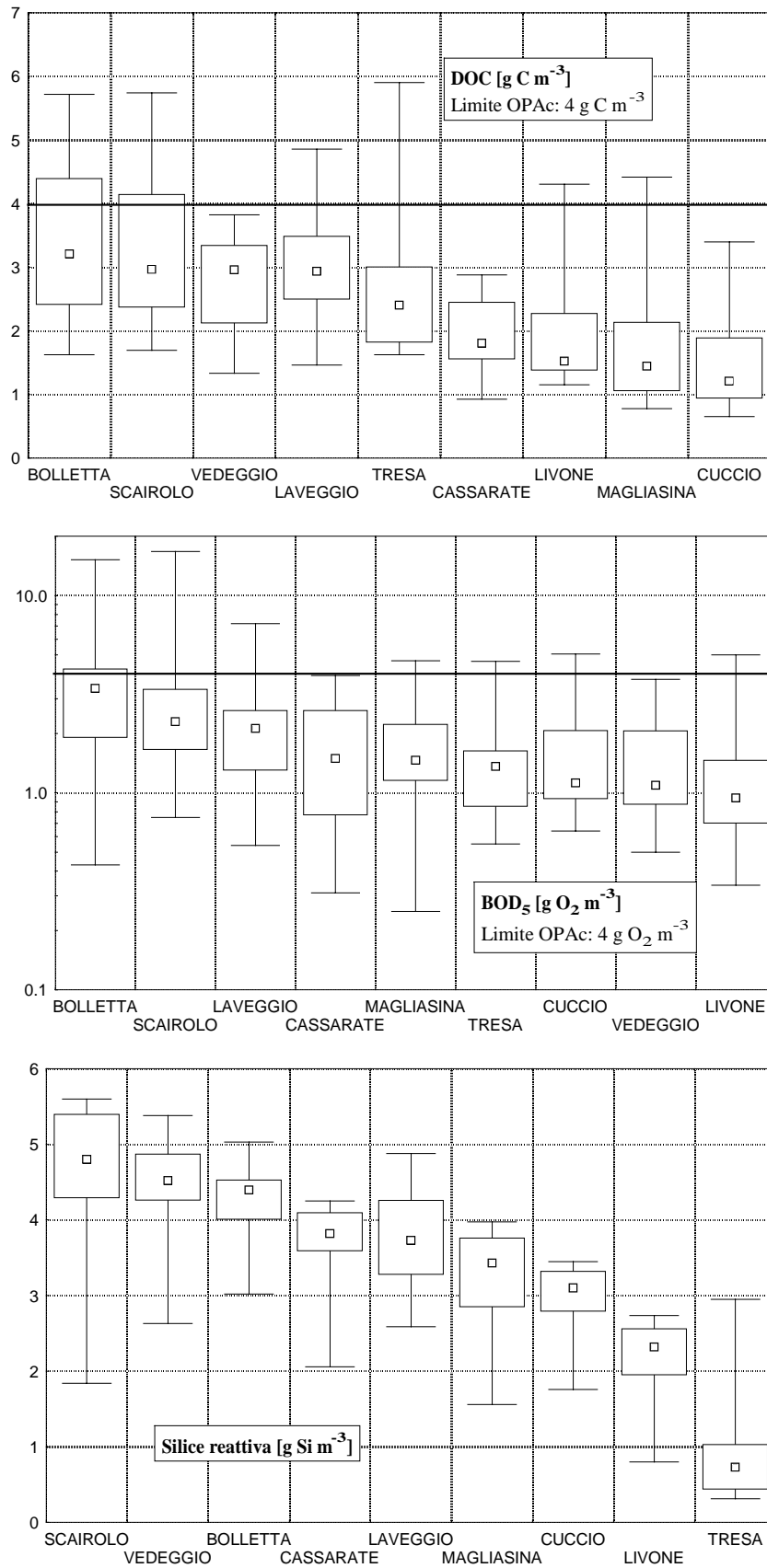


Fig. 4.1.3.e) Lago di Lugano, 2003: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

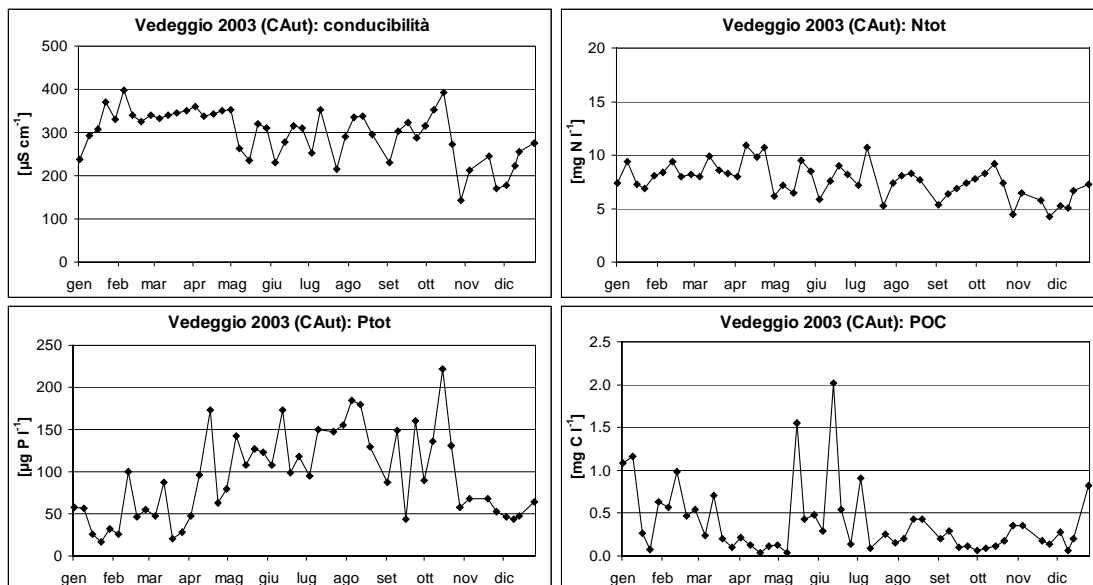


Fig. 4.1.4.a): Lago di Lugano, 2003: andamento settimanale dei valori di conducibilità elettrica (a 20°C) e delle concentrazioni di azoto e fosforo totali e di carbonio organico particellato nel fiume Vedeggio (campionamento in continuo).

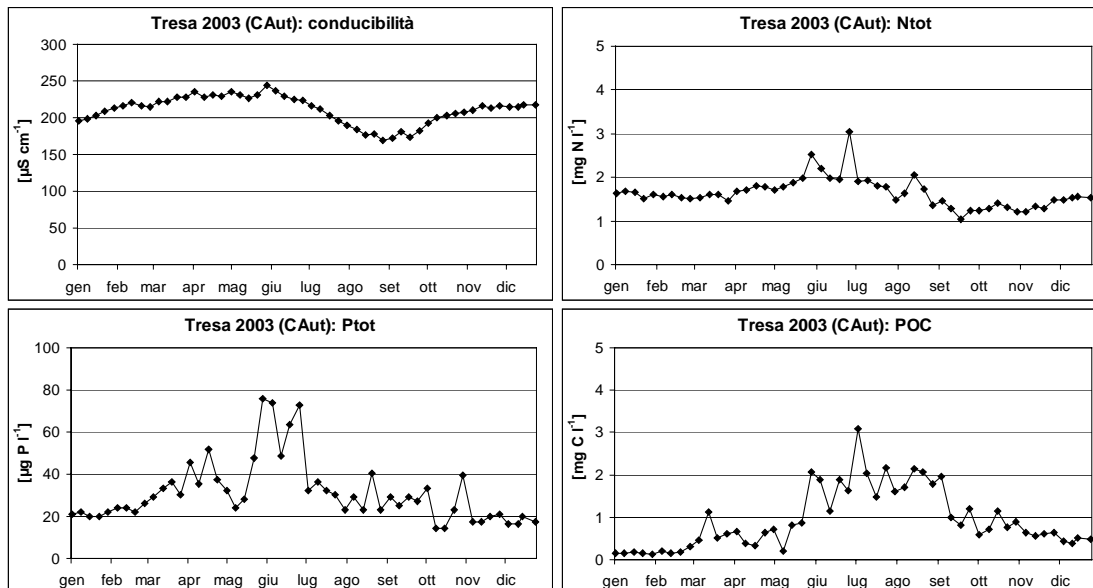


Fig. 4.1.4.b): Lago di Lugano, 2003: andamento settimanale dei valori di conducibilità elettrica (a 20°C) e delle concentrazioni di azoto e fosforo totali e di carbonio organico particellato nel fiume Tresa (campionamento in continuo).

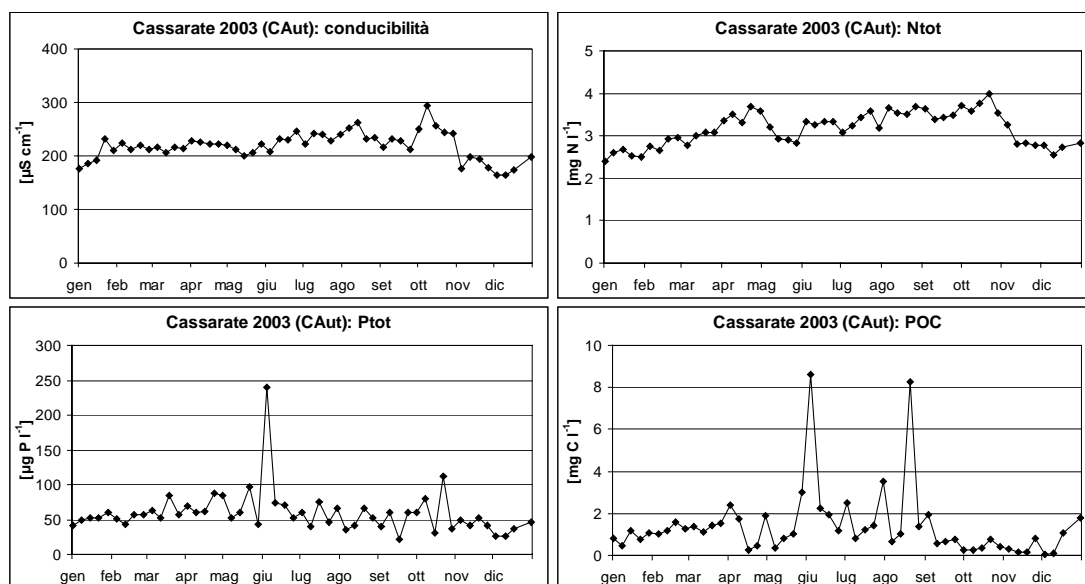


Fig. 4.1.4.c): Lago di Lugano, 2003: andamento settimanale dei valori di conducibilità elettrica (a 20°C) e delle concentrazioni di azoto e fosforo totali e di carbonio organico particellato nel fiume Cassarate (campionamento in continuo).

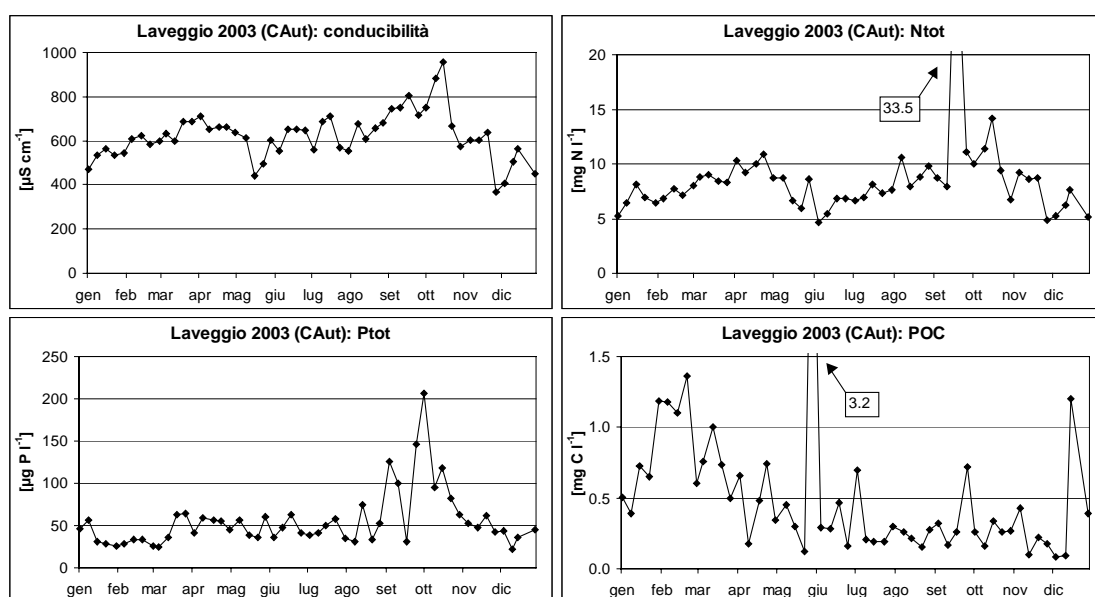


Fig. 4.1.4.d): Lago di Lugano, 2003: andamento settimanale dei valori di conducibilità elettrica (a 20°C) e delle concentrazioni di azoto e fosforo totali e di carbonio organico particellato nel fiume Laveggio (campionamento in continuo).

4.2. Carichi chimici

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

Tra gli immissari, il Bolletta ha convogliato al lago i carichi più elevati d'ortofosfato (2.2 t P a^{-1}) e di fosforo totale (5.2 t P a^{-1}), mentre il Laveggio è stato responsabile del principale apporto di carbonio inorganico (996 t C a^{-1}) e d'azoto nitroso (1.1 t N a^{-1}). Il Vedeggio ha costituito la principale fonte di carico dei rimanenti parametri, ossia l'azoto nitrico (246 t N a^{-1}), l'azoto ammoniacale (17 t N a^{-1}), l'azoto totale (229 t N a^{-1}), i silicati reattivi (218 t Si a^{-1}), l'ossigeno disciolto ($566 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$) e la richiesta biochimica d'ossigeno ($71 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti consente una valutazione più qualitativa dei corsi d'acqua (Tab. 4.2.2. e Fig. 4.2.2.). Rispetto alla tabella 4.2.1. sul Vedeggio non si registra alcun massimo, mentre i maggiori contributi areali provengono dal Laveggio per la metà dei parametri: carbonio inorganico ($34.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), azoto nitroso ($37 \text{ mg N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e nitrico ($5.0 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), azoto totale ($7.4 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e ossigeno ($8.1 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Dal Bolletta si confermano gli apporti più elevati di fosforo ortofosfato e totale (113 e $266 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), a cui si aggiungono i massimi per l'azoto ammoniacale ($0.39 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e per la richiesta d'ossigeno ($2.7 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). I contributi più elevati di silice sono veicolati dallo Scairolo ($2.8 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Per il fosforo totale, i carichi areali ammissibili stimati per il recupero del Lago di Lugano sono stati largamente (di oltre sei volte) superati dal Bolletta e, in misura minore, da Laveggio e Vedeggio.

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2003: 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	480	0.7	1.8	0.6	67	9	104	119	376	55
Cuccio	350	1.5	2.4	0.5	36	5	53	102	397	51
Livone ¹	604	0.9	1.3	0.2	35	2	45	30	159	18
Diga Melide	3474	2.2	4.9	0.4	23	3	109	73	1423	-
Bolletta	389	2.2	5.2	0.7	38	8	68	50	131	52
Laveggio	996	0.5	1.6	1.1	144	8	215	73	234	46
Magliasina	121	0.3	0.7	0.2	27	5	36	47	162	19
Scairolo	178	0.1	0.3	0.2	41	3	54	27	63	19
Vedeggio	619	1.8	4.1	0.7	246	17	229	218	566	71
Tresa	6420	2.1	6.7	3.8	278	42	417	277	2940	386

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2003: 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	6.5	(*) 9	(*) 25	(*) 9	0.9	0.13	1.4	1.6	5.1	0.7
Cuccio	6.5	28	44	9	0.7	0.10	1.0	1.9	7.4	0.9
Livone ¹	19.7	31	41	5	1.2	0.07	1.5	1.0	5.2	0.6
Diga Melide	11.7	8	17	1	0.1	0.01	0.4	0.2	4.8	-
Bolletta	20.0	113	266	35	2.0	0.39	3.5	2.6	6.7	2.7
Laveggio	34.5	19	54	37	5.0	0.27	7.4	2.5	8.1	1.6
Magliasina	3.5	10	20	5	0.8	0.15	1.1	1.4	4.7	0.6
Scairolo	18.4	14	33	16	4.3	0.26	5.6	2.8	6.5	2.0
Vedeggio	6.7	19	44	7	2.6	0.18	2.5	2.3	6.1	0.8
Tresa	10.4	3	11	6	0.5	0.07	0.7	0.5	4.8	0.6

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

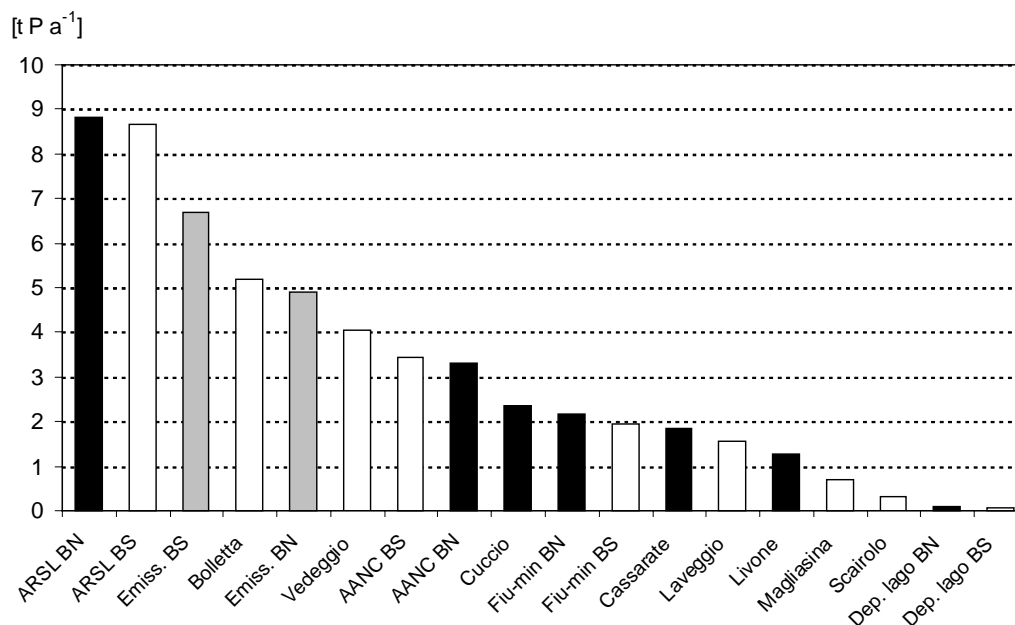


Fig. 4.2.1. Lago di Lugano, 2003: apporti al lago di fosforo totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

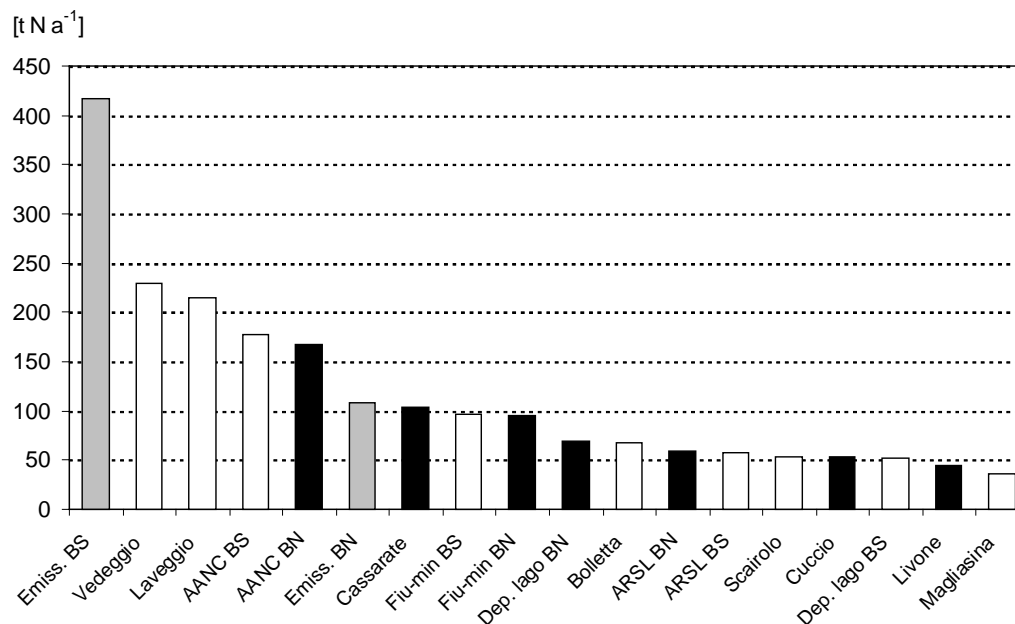


Fig. 4.2.2. Lago di Lugano, 2003: apporti al lago d'azoto totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

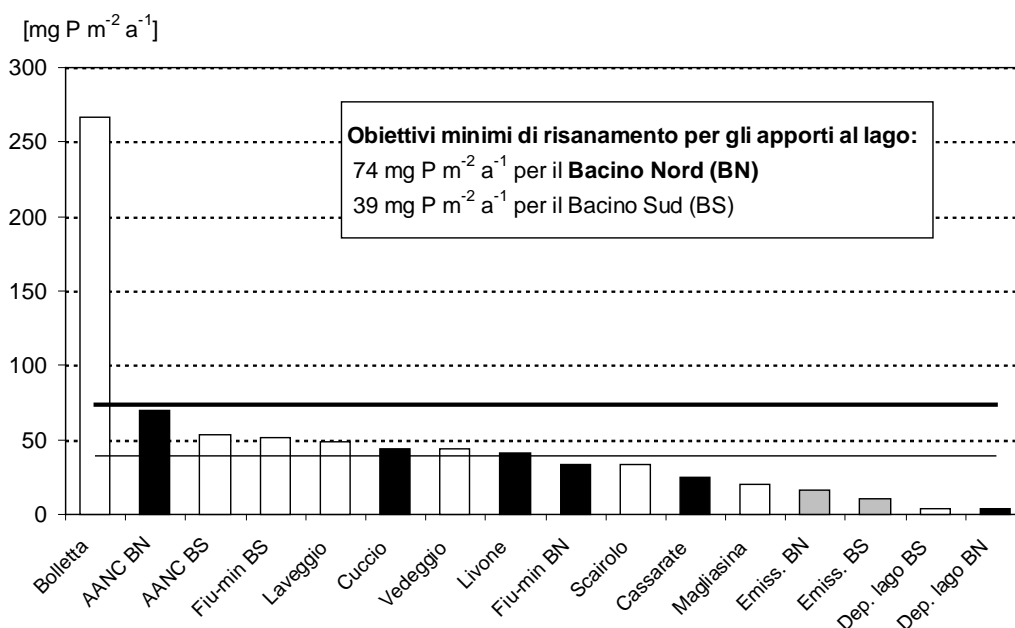


Fig. 4.2.3. Lago di Lugano, 2003: carichi areali di fosforo totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

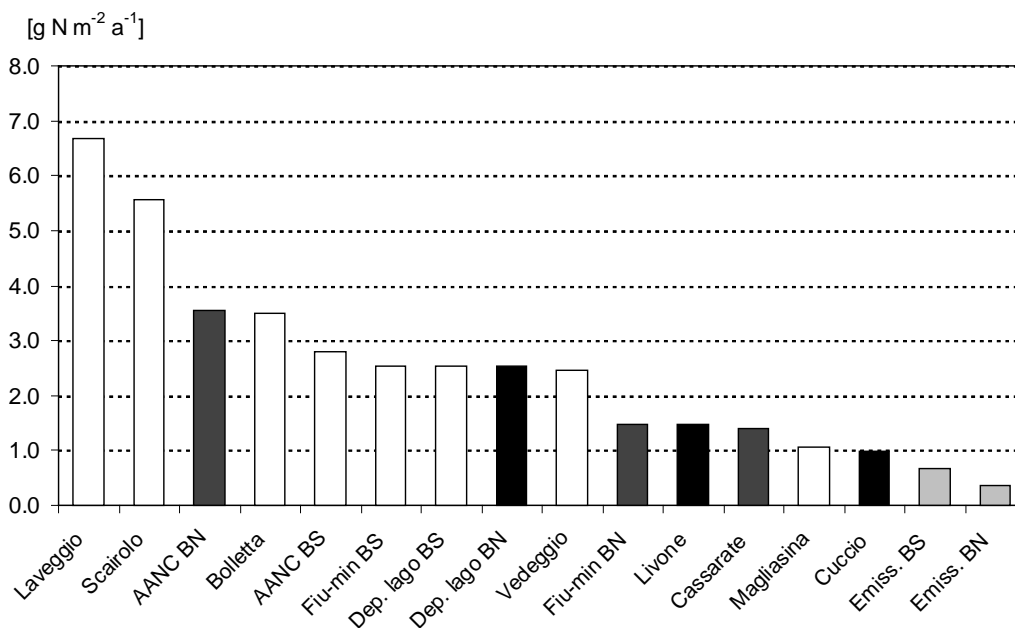


Fig. 4.2.4. Lago di Lugano, 2003: carichi areali d'azoto totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori, Dep.lago: deposizioni sul lago).

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 19.8 t P a⁻¹ per il bacino nord ed a 30.8 t P a⁻¹ per il bacino sud: questi valori sono inferiori di circa il 30% alla media dell'ultimo quinquennio (1998-2002). Nel 2003 il principale carico di fosforo è stato riversato nel bacino nord dal Cuccio (2.4 t P a⁻¹), mentre nel bacino sud il maggior contributo proviene dal Bolletta (5.2 t P a⁻¹). Il carico esportato nel 2003 dall'emissario Tresa ha raggiunto un valore pari al 25% della media pluriennale (6.7 t P a⁻¹).

Gli apporti d'azoto sono risultati inferiori alla media quinquennale, con 594 t N a⁻¹ (-28%) nel bacino nord e 1'095 t N a⁻¹ (-35%) nel bacino sud. I carichi più rilevanti sono provenuti dal Cassarate (104 t N a⁻¹) per il bacino nord, e dal Veduggio (229 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 38% degli apporti di fosforo ed il 50% 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: 44%), e per l'azoto dalle aree non campionabili (28%).

Nel bacino sud viene controllato direttamente l'86 % dell'area del bacino imbrifero, dalla quale viene convogliato al lago il 61% del fosforo e ed il 74% dell'azoto. Le quote rimanenti provengono dagli ARSL per il fosforo (28 %), e dalle aree non campionabili per l'azoto (16%).

Nella tabella 4.3. sono riportati inoltre, per i fiumi Cassarate, Veduggio, 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. Sul Tresa il carico "CAut" eccede quello stimato con "CIst", rispettivamente del 15% per l'azoto e del 22% per il fosforo. Anche sul Veduggio il carico da "Cist" risulta inferiore, del 40% per l'azoto e del 7% per il fosforo. Nel caso del Laveggio la situazione è opposta: i campionamenti automatici indicano un carico inferiore rispetto a quelli istantanei, nella misura del 24% per l'azoto totale e del 13% per il fosforo totale. Per quanto concerne il Cassarate i carichi non presentano differenze significative.

I due metodi di campionamento evidenziano, per questi due nutrienti, differenti margini di variazione: in particolare l'azoto mostra rispetto al fosforo gli scarti maggiori, sia per difetto che per eccesso.

Tab. 4.3. Lago di Lugano, 2003: 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	104 (102) ⁴	-	1.8 (1.9) ⁴	-
Cuccio	53	-	2.4	-
Livone ¹	45	-	1.3	-
Vedeggio	-	229 (379) ⁴	-	4.1 (4.4) ⁴
Magliasina	-	36	-	0.7
Laveggio	-	215 (164) ⁴	-	1.6 (1.4) ⁴
Bolletta	-	68	-	5.2
Scairolo	-	54	-	0.3
Apporto da BN	-	109	-	4.9
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	298	807	7.6	18.7
Area non campionata ²	168	178	3.3	3.4
Totale areale emerso	465	985	10.9	22.1
ARSL ³	59	58	8.8	8.7
Deposizioni sul lago	70	52	0.1	0.1
Totale bacino imbrifero	594	1095	19.8	30.8
Carichi in uscita	109	417 (491) ⁴	4.9	6.7 (8.6) ⁴

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

² carico estrapolato dai fiumi minori

³ apporti rivieraschi e contributo scaricatori di piena a lago

⁴ carichi misurati con i campionatori automatici in continuo

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

Le indagini chimiche sull'ambiente pelagico sono state svolte nelle stazioni di Gandria (bacino nord), e Melide e Figino (bacino sud), scelte in considerazione delle diversità geomorfologiche ed idrochimiche presenti nel lago e sul suo bacino imbrifero.

5.1. Trasparenza

Nel bacino nord la trasparenza delle acque (Fig. 5.1.) ha iniziato a diminuire nel corso di marzo in concomitanza con l'inizio del periodo vegetativo, raggiungendo il minimo annuale (2.4 m) a fine aprile. Dopo un assestamento in maggio, i valori sono rapidamente aumentati dall'inizio di giugno a metà luglio intorno ai 7 m. Dopo un nuovo calo registrato in agosto (3.9 m) i valori si sono mantenuti costanti fino a ottobre per poi aumentare marcatamente, facendo segnare all'inizio di dicembre il massimo annuale di 11.7 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 trasparenza: massimo di 12.3 m in gennaio e minimo di 1.9 m a fine marzo. Durante il periodo di chiarificazione delle acque (aprile-maggio) la trasparenza ha raggiunto 8.9 m a Melide, per poi nuovamente diminuire toccando un minimo estivo di 2.2 m in agosto a Figino.

La trasparenza media annua del 2003, calcolata su 24 osservazioni, è stata di 6.5 m a Gandria, 6.9 m a Melide, e 5.7 m a Figino. L'escursione annua della trasparenza ha raggiunto 9.3 m a Gandria, 10.4 a Melide e 8.8 m a Figino.

5.2. Assorbanza della luce

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

Nello strato epilimnico l'andamento dell'assorbanza nei tre siti è simile e si osservano punte legate allo sviluppo stagionale del fitoplancton (vedi paragrafo 6.3.). Il picco di marzo (ritardato a fine aprile a Gandria) rileva la presenza di diatomee nei primi metri di profondità, mentre in luglio ed agosto le cianofite determinano una forte torbidità a 10-11m di profondità, immediatamente al di sopra della zona di minimo metalimnico. Inoltre in agosto alla profondità di 20-25m si osserva una nuvola di torbidità che può essere ricondotta all'attività eterotrofica metalimnica. Diversamente rispetto al 2002 non si è riscontrata la presenza di correnti di torbida d'origine fluviale.

Variazioni significative del valore d'assorbanza sono state rilevate 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.

5.3. Temperatura dell'acqua

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

In febbraio la colonna d'acqua ha raggiunto una situazione d'omoterma nel bacino sud, mentre a Gandria il raffreddamento ha riguardato solo i primi 70 m. I minimi dell'anno a 0.4m di profondità sono stati misurati in febbraio (5.75 °C a Gandria, 5.79 °C a Melide e 5.89 °C a Figino). La fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio è iniziata in aprile ed è proseguita fino ad agosto, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno (27.39 °C a Gandria, 28.67 °C a Melide e 28.66 °C a Figino). La successiva fase di raffreddamento si è svolta in modo regolare fino a dicembre, con gradienti di temperatura meno stretti rispetto al periodo di riscaldamento. Nel bacino sud lo sprofondamento dell'isoterma di 6°C lascia prevedere un marcato raffreddamento invernale e, di conseguenza, condizioni di rimescolamento all'inizio del 2004 ancora favorevoli.

Parallelamente alle misure effettuate con la sonda sono stati esposti a Gandria, Melide e Figino, alla profondità di 30 cm, dei termistori predisposti per la registrazione oraria della temperatura. Dai risultati presentati (Fig. 5.3.b.) si evince che il riscaldamento primaverile dello strato superficiale presenta numerose brevi fasi di raffreddamento. Queste sono riconducibili ad improvvisi abbassamenti della temperatura atmosferica (come all'inizio d'aprile), o all'afflusso d'acqua fluviale in occasione delle varie piene che hanno segnato il 2003 (a metà maggio ed in luglio). I massimi di temperatura sono stati rilevati con i termistori il 9 agosto a Gandria ed il 13 agosto a Melide, con rispettivamente 29.44 °C e 30.18 °C. In seguito al distacco della boa di Figino sono andati persi i dati estivi, per cui non è stato possibile rilevare il valore massimo per questa stazione.

5.4. Ossigeno disciolto

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

Nel bacino nord l'andamento delle concentrazioni d'ossigeno evidenzia un forte gradiente epilimnico, legato all'attività fotosintetica del fitoplancton. Il massimo assoluto dell'anno, infatti, è stato misurato a fine aprile, in prossimità della superficie (14.49 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; [3]), è passata, nel corso dell'anno, da una profondità di quasi 70 m in marzo, a 15 m tra settembre e novembre. Quest'innalzamento dell'isolinea di 4.0 g O₂ m⁻³ è legato alla formazione di un forte minimo metalimnico. Parallelamente anche il limite superiore dello strato anossico si è innalzato, ed ha raggiunto a metà dicembre la profondità di 70 m.

Come l'anno precedente, nel 2003 il rimescolamento invernale delle acque del bacino sud è stato particolarmente intenso, ed ha portato, in marzo, anche le concentrazioni di fondo a superare i $4.8 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Durante il periodo vegetativo, le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, fino a toccare il valore massimo a fine luglio ($17.70 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a Melide e $16.26 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a Figino). Le condizioni d'ossigenazione degli strati profondi sono peggiorate gradatamente a partire da maggio in tutto il bacino sud. L'isolinea di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ si è innalzata a Melide fino alla profondità di 30 m in novembre, mentre il minimo metalimnico estivo-autunnale ha portato ad un'ossigenazione critica all'interno dello strato 10-20m. A Figino l'isolinea di riferimento è salita rapidamente posizionandosi sui 10 m per tutto il secondo semestre.

5.5. Valore pH ed alcalinità

In tutto il lago le maggiori variazioni del pH (Fig. 5.5.1.) e dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.) sono state rilevate all'interno dello strato trofogeno e sono legate all'andamento dall'attività fotosintetica. Un gradiente verticale dei valori pH sulla colonna d'acqua si è instaurato già a partire da marzo, mentre l'alcalinità, essendo un parametro più conservativo, ha iniziato a ridursi solo dopo maggio. Nell'epilimnio i massimi di pH ed i minimi di alcalinità sono stati riscontrati in entrambi i bacini sempre nel corso del mese di agosto.

Nel bacino nord, il valore più alto di pH dell'anno è stato pari 8.87 unità, mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.70 e 7.90. L'alcalinità ha raggiunto un minimo annuo di 1.59 eq m^{-3} . Tra i 30 m di profondità e il fondo si è mantenuto durante tutto l'anno un debole gradiente d'alcalinità, con valori crescenti da 2.20 a 2.70 eq m^{-3} .

Per quanto concerne l'epilimnio del bacino sud i valori massimi di pH e minimi d'alcalinità sono stati misurati nella stazione di Figino, con rispettivamente 9.47 e 1.21 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 7.8 e 7.4 unità, e tra 2.10 e 2.40 eq m^{-3} .

5.6. Conducibilità elettrica specifica

L'andamento della conducibilità (Fig. 5.6.), misurata ogni metro con la sonda multiparametrica (e regolarmente calibrata con i dati di laboratorio), presenta forti analogie con quello dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.). In febbraio e marzo i valori sono risultati omogenei sull'intera colonna, a riprova della buona circolazione delle acque.

Nell'epilimnio del bacino nord, 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 220 a $180 \mu\text{S cm}^{-1}$ (agosto). Dalla profondità di 40 m fino al fondo i valori hanno evidenziato un gradiente verticale crescente (da 230 a $250\text{-}260 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Nell'epilimnio del bacino sud la conducibilità si è gradualmente ridotta dai 220-230 $\mu\text{S cm}^{-1}$ tardo invernali fino a toccare, sempre in agosto, un minimo a Melide di $155 \mu\text{S cm}^{-1}$ e a Figino di $157 \mu\text{S cm}^{-1}$. Da giugno, i valori ipolimnici

del bacino sud hanno mostrato una serie d'aumenti che hanno portato ad un massimo di $340 \mu\text{S cm}^{-1}$ a Melide in luglio, dove si sono registrati anche i gradienti più pronunciati.

5.7. Composti del fosforo

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

Nel bacino nord, sotto i 40 m di profondità, i valori di fosforo totale (Fig. 5.7.1) si sono mantenuti costanti durante quasi tutto l'anno, in progressivo aumento verso il fondo (da 60 a 300-320 mg P m^{-3}). Nell'epilimnio l'attività algale ha progressivamente portato le concentrazioni di questo nutriente dai 60 mg P m^{-3} di marzo ai minimi annui in luglio e agosto (10 mg P m^{-3}). Sotto i 50-60 m l'ortofosfato costituisce l'80-100 % del fosforo totale (Fig. 5.7.2), mentre negli strati superiori in primavera ed estate il contributo percentuale si riduce a meno del 20 %, in seguito ai processi d'assimilazione da parte della biomassa algale (fosforo particellato).

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto, in febbraio, valori omogenei sulla colonna d'acqua (ca. 50 mg P m^{-3} a Melide e ca. 40 mg P m^{-3} a Figino). Il consumo della frazione disciolta (fosforo ortofosfato) da parte del fitoplancton ha portato, anche nell'epilimnio di questo bacino, ad una progressiva riduzione dei valori di fosforo totale, il cui minimo annuale è stato registrato in settembre (8 mg P m^{-3}). Negli strati profondi, il rilascio di fosforo dai sedimenti durante la fase di stagnazione si è confermato più precoce e molto più marcato a Melide rispetto a Figino. Le concentrazioni massime di fosforo totale sono state misurate in ottobre, a due metri dal fondo (Melide: 661 mg P m^{-3} , Figino 380 mg P m^{-3}). A Melide la percentuale di fosforo ortofosfato sul totale è risultata, durante il periodo vegetativo, in progressione dal 10-30 % (in superficie) fino al 90 % (in prossimità del fondale). La situazione è simile a Figino, dove però la percentuale di fosforo ortofosfato al di sotto dei 70 m è risultata inferiore (50-60%).

5.8. Composti dell'azoto

Tra le forme d'azoto presenti nelle acque lacustri quelle inorganiche (nitrico: Fig. 5.8.1.; nitroso: Fig. 5.8.2.; ammoniacale: Fig. 5.8.3.) costituiscono una frazione importante, superiore al 60 % nell'ipolimnio, ma che può ridursi sotto il 10% negli strati superficiali quando l'azoto è presente soprattutto in forma particellata (biomassa algale). Le maggiori fluttuazioni quantitative dell'azoto totale dipendono perciò dall'andamento delle concentrazioni di questi tre composti, in particolare del nitrato e dell'ammonio.

Nel bacino nord, l'azoto nitrico è stato rilevato unicamente nello strato d'acqua ossigenato, mentre quello ammoniacale è presente solo nell'ipolimnio anossico. Nell'epilimnio si osserva una riduzione dell'azoto nitrico da marzo, in seguito alla sua assimilazione da parte del fitoplancton: in giugno e settembre questo composto non è stato rilevato. Nell'ipolimnio ossico si è mantenuto un gradiente

più o meno costante tra 0 e 100 m, con tenori in declino verso il fondo (da 0.4 a 0.1 g NO₃-N m⁻³). Nello strato sottostante (100-286 m), permanentemente anossico, l'ammonio non presenta variazioni di rilievo, e mantiene un gradiente verticale, crescente verso il fondo (da 0.1 a 1.0 g NH₄-N m⁻³). Le concentrazioni di azoto nitroso sono risultate inferiori a 0.01g NO₂-N m⁻³.

Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale (Fig. 5.8.4.) nel bacino nord rivelano l'esistenza di tre strati con una propria dinamica stagionale: nell'epilimnio la concentrazione si riduce sotto il 0.5 g N m⁻³ in estate in seguito all'assimilazione dell'azoto nitrico; tra 80 e 120 m le perdite d'azoto riscontrate sono da mettere in relazione con i processi di denitrificazione, che si manifestano in prossimità dell'ossiclina [5], mentre nello strato di fondo il rilascio di azoto ammoniacale dal sedimento nel corso dell'ultimo quadrimestre ha portato i valori di azoto totale al loro massimo (1.65 g N m⁻³).

Il bacino sud presenta in febbraio, al termine della circolazione, tenori d'azoto nitrico quasi uniformi su tutta la colonna (1.0-1.1 g NO₃-N m⁻³). Da giugno ad agosto si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici (minimo: 0.06 g 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, legata probabilmente ai processi di denitrificazione che avvengono all'altezza dell'interfaccia ossido-riducente [6]. In settembre, a Figino, l'azoto nitrico è risultato assente nel campione di massima profondità (2 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 massime sono state misurate in ottobre, alla massima profondità (Melide: 1.90 g NH₄-N m⁻³, Figino: 1.39). L'azoto nitroso è stato riscontrato in quantità di un certo rilievo in estate, nelle acque più profonde della stazione di Figino, come prodotto intermedio della denitrificazione. La concentrazione massima è stata rilevata in luglio ed è risultata pari a 0.83 g NO₂-N m⁻³.

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, nello strato epilimnico si osservano, da maggio a settembre, variazioni di rilievo, determinate in larga misura dai processi d'assimilazione algale della componente nitrica; i tenori d'azoto più bassi sono stati misurati nel campione di superficie d'agosto, a Melide (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

Negli strati profondi del bacino nord le concentrazioni dei silicati reattivi sono rimaste sostanzialmente stabili, con valori crescenti verso il fondo (da 1.2 a 2.3 g Si m⁻³; Fig. 5.9.). In febbraio la colonna d'acqua tra 0 e 50 m ha raggiunto una concentrazione omogenea (1.2 g Si m⁻³). I tenori epilimnici sono poi calati drasticamente a partire da marzo in seguito al rapido sviluppo del popolamento di diatomee (cfr. cap. 6); in ottobre a 0.4 m la silice è risultata del tutto assente.

Nel bacino sud durante i primi mesi dell'anno la distribuzione delle concentrazioni non è stata uniforme (1.3-1.6 g Si m⁻³ a Melide e 1.6-1.7 g Si m⁻³ a Figino), anche perché il forte consumo epilimnico di silice da parte delle diatomee è iniziato già in febbraio, prima che il rimescolamento fosse concluso. I minimi annui sono stati misurati in giugno (0.15 g Si m⁻³ a Melide e 0.21 a Figino). Da maggio a novembre, il graduale rilascio di silice dal sedimento ha lentamente incrementato le concentrazioni dell'ipolimnio profondo, fino a giungere, in ottobre, ai massimi annui (3.64 g Si m⁻³ a Melide, 2.96 g Si m⁻³ a Figino).

5.10. Metano

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

A Gandria, nel corso del 2003, è stato costantemente riscontrato a profondità superiori a 100 m, con i valori in progressiva crescita verso il fondo (da 0.1 a 2.3 g CH₄ m⁻³). In giugno e settembre sopra il sedimento sono stati misurati due massimi di concentrazione, pari a rispettivamente 2.70 e 2.95 g CH₄ m⁻³.

Nel bacino sud la presenza del gas è stata rilevata all'interno dello strato anossico dapprima in gennaio e febbraio, ed in seguito tra giugno e dicembre. La diffusione di metano dal sedimento ha portato le concentrazioni misurate nei campioni di fondo ad un massimo di 2.79 g CH₄ m⁻³ in settembre a Melide e di 3.14 g CH₄ m⁻³ in ottobre a Figino.

5.11. Solfuri

Nel corso del 2003 i solfuri sono risultati sempre presenti unicamente nello strato costantemente anossico del bacino nord (Fig. 5.11.). A profondità superiori a 100 m si è mantenuto tutto l'anno un gradiente verticale, crescente verso il fondo; il valore massimo è stato misurato in ottobre, nel campione raccolto a due metri dal fondo (446 mg S²⁻ m⁻³).

Diverso è il quadro del bacino sud, dove i solfuri sono stati rilevati a Melide nel secondo semestre, mentre a Figino solo in settembre ed ottobre e a basse concentrazioni. Il valore massimo per questo bacino è stato misurato in ottobre a Melide nel campione di fondo (631 mg S²⁻ m⁻³).

5.12. Ferro disciolto

Nel bacino nord il ferro è presente, nella sua forma ridotta, in concentrazioni rilevanti (> 50 mg Fe m⁻³) sotto i 120 m di profondità, dove sussistono condizioni di permanente anossia (Fig. 5.12.). In autunno l'isolinea dei 50 mg Fe m⁻³ si è momentaneamente innalzata fino a toccare i 50 m di profondità. Nel corso del 2003 il gradiente verticale delle concentrazioni si è mantenuto stabile ed elevato, con valori in crescendo verso il fondo a circa 550 mg Fe m⁻³. Il tenore massimo di ferro disciolto, pari a 752 mg Fe m⁻³, è stato misurato in gennaio sopra il sedimento.

Nel bacino sud la presenza di ferro disciolto è stata rilevata, al pari dei solfuri, nel secondo semestre dell'anno a Melide e da settembre ad ottobre a Figino. In

Nel bacino sud la presenza di ferro disciolto è stata rilevata, al pari dei solfuri, nel secondo semestre dell'anno a Melide e da settembre ad ottobre a Figino. In questi mesi il rilascio di ferro disciolto dai sedimenti ha portato le concentrazioni a toccare i seguenti massimi annuali: 495 mg Fe m⁻³ in novembre a Melide e 1652 mg Fe m⁻³ in settembre a Figino (1649 mg Fe m⁻³, a Figino).

5.13. Manganese disciolto

Nel bacino nord il manganese disciolto è stato rilevato all'interno dello strato anossico e presenta un gradiente di concentrazione verticale abbastanza costante durante l'anno (Fig. 5.13.), con valori in crescita verso il fondo. L'incremento più marcato è stato riscontrato tra 80 e 120 m di profondità, dove le concentrazioni sono passate da 0.10 a 0.25 g Mn m⁻³. Sotto i 120 m, i valori hanno oscillato tra 0.3 e 0.4 g Mn m⁻³. Il massimo annuale di 0.57 g Mn m⁻³ è stato misurato in giugno a due metri dal fondo.

Nel bacino sud il manganese è stato rilevato 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 dicembre (4.79 g Mn m⁻³), mentre a Figino in settembre (3.64 g Mn m⁻³), entrambi nel campione di fondo.

5.14. Andamento pluriennale del fosforo totale

La figura 5.14 mostra l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale negli ultimi 21 anni (1983-2003) per i due bacini principali; per il bacino nord sono illustrati anche gli andamenti dello strato 0-100 m, interessato quasi regolarmente dal rimescolamento annuale.

Il bacino sud presenta, nel periodo, un progressivo calo dei tenori di fosforo totale (da 137 a 43 mg P m⁻³), mentre nel bacino nord i valori medi ponderati sull'intero volume sono oscillati in maniera irregolare tra 135 e 170 mg P m⁻³, e si assestano a tutt'oggi a 137 mg P m⁻³. In quest'ultimo bacino le concentrazioni dello strato 0-100 m sono scese dai 87 mg P m⁻³ del 1983 ai 52-58 mg P m⁻³ del quinquennio 1993-1997. I valori hanno poi ripreso a crescere fino agli attuali 73 mg P m⁻³.

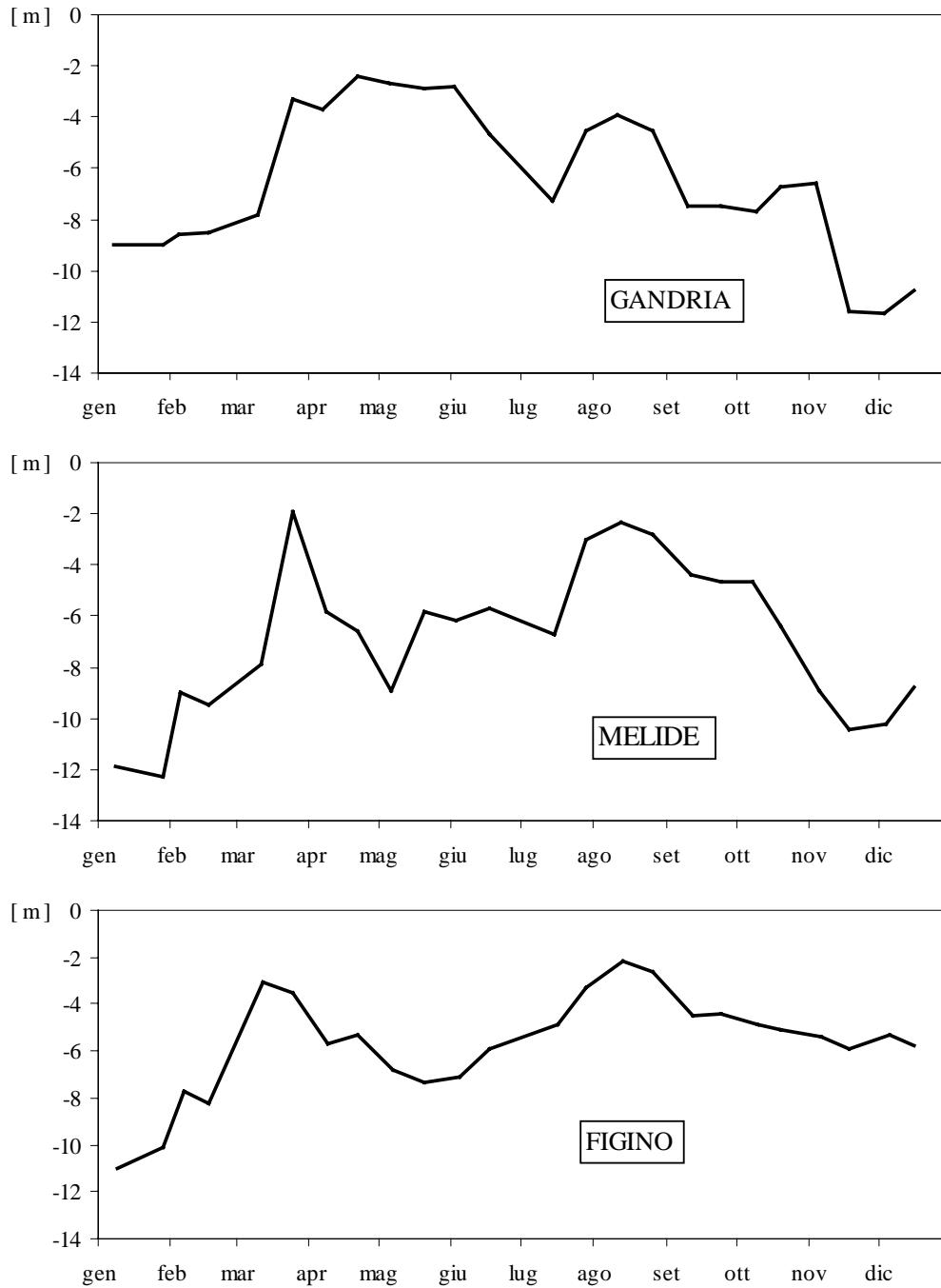


Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2003: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.

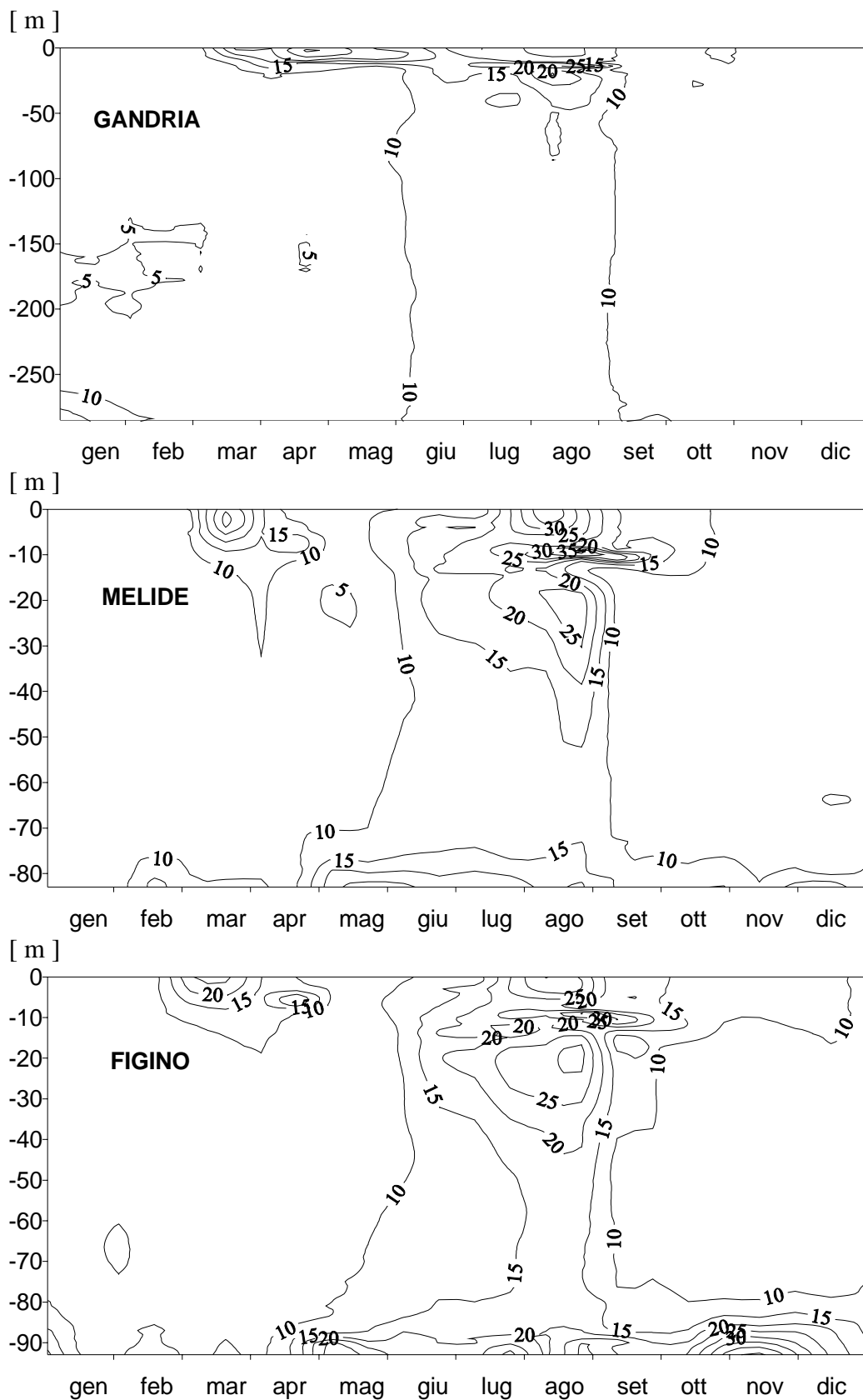


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2003: valori d'assorbanza rilevati ogni metro con la sonda multiparametrica.

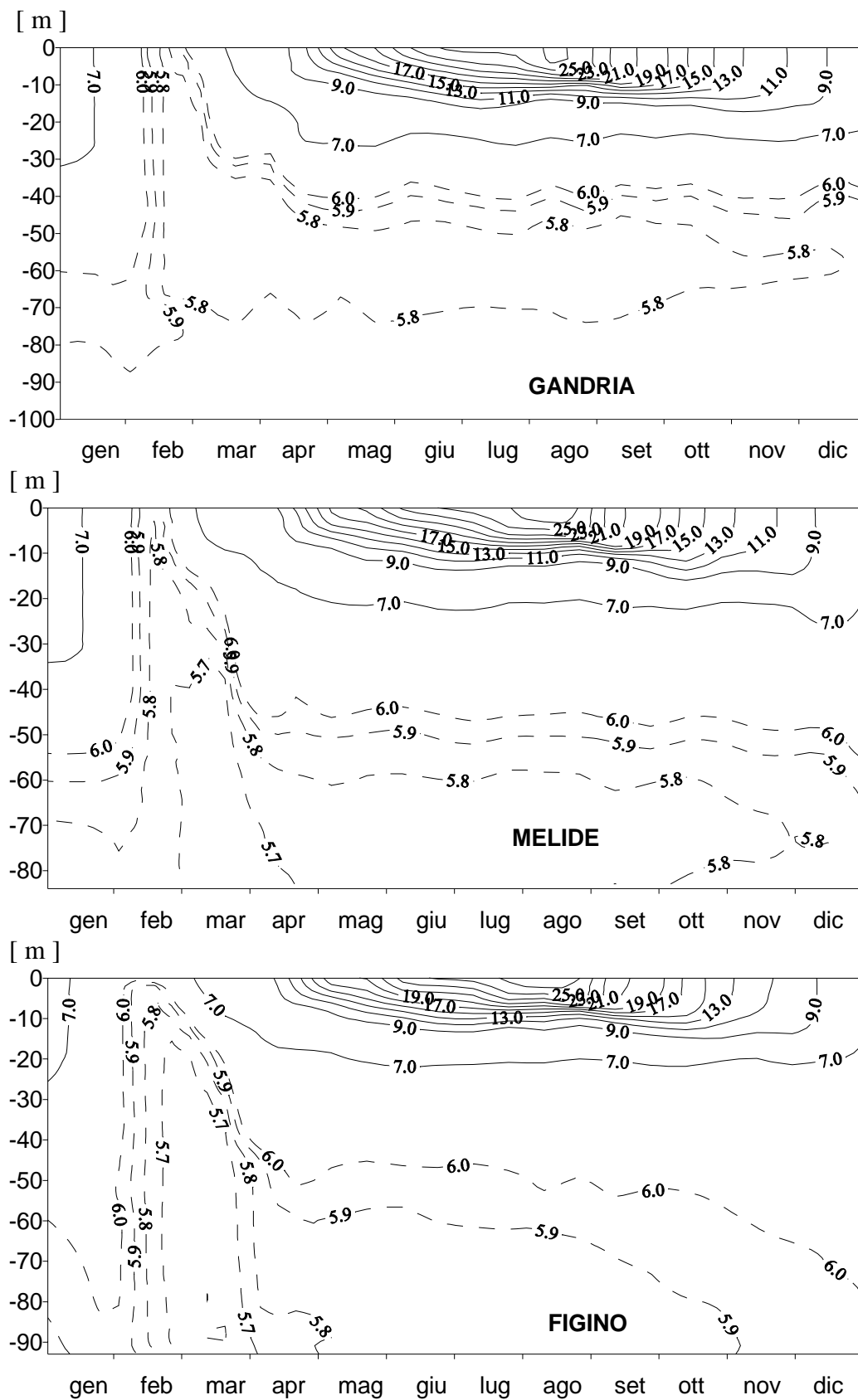


Fig. 5.3.a Lago di Lugano, 2003: andamento della temperatura [°C], rilevati ogni metro con la sonda multiparametrica.

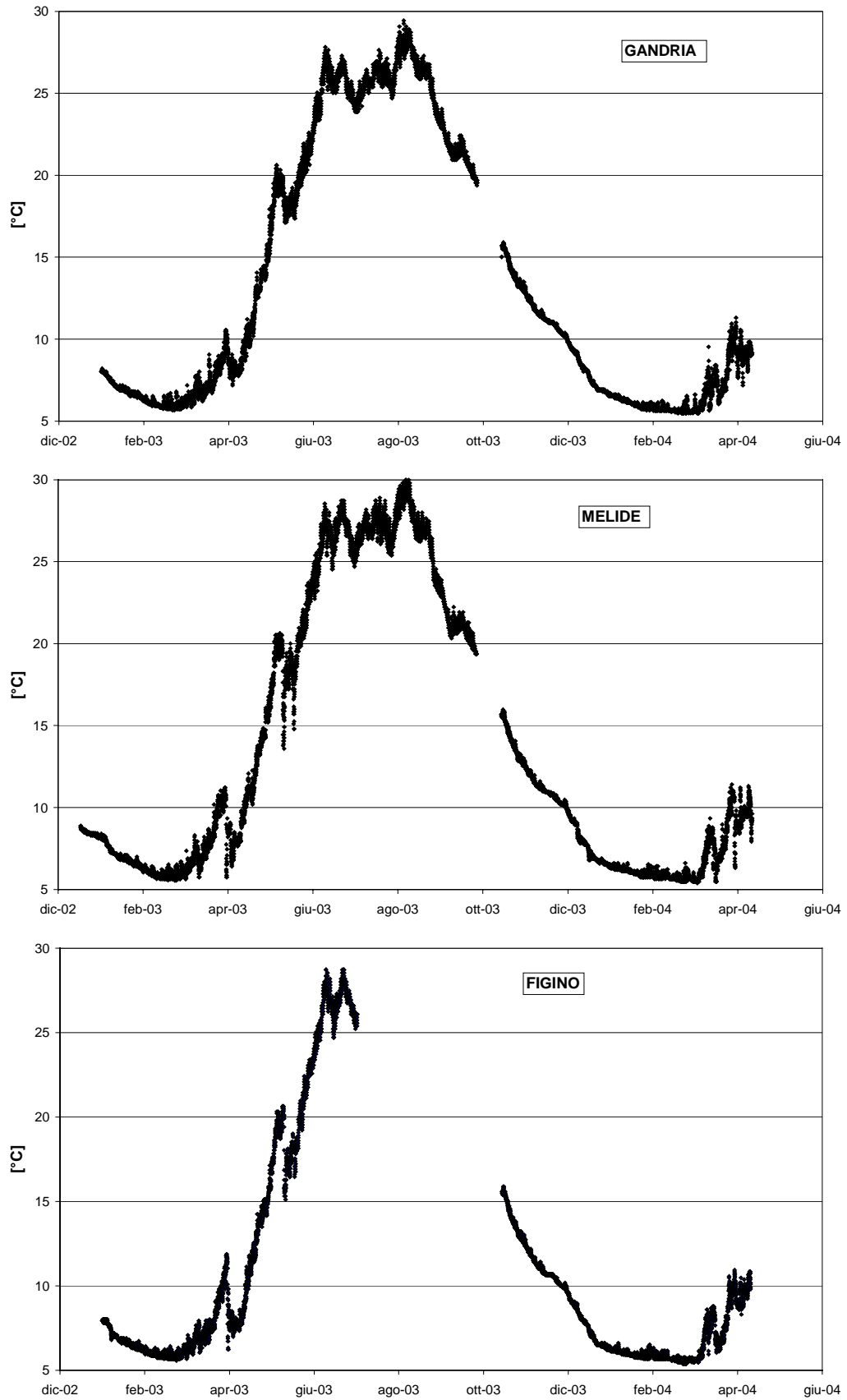


Fig. 5.3.b Lago di Lugano, 2003: andamento della temperatura superficiale oraria a Gandria, Melide e Figino.

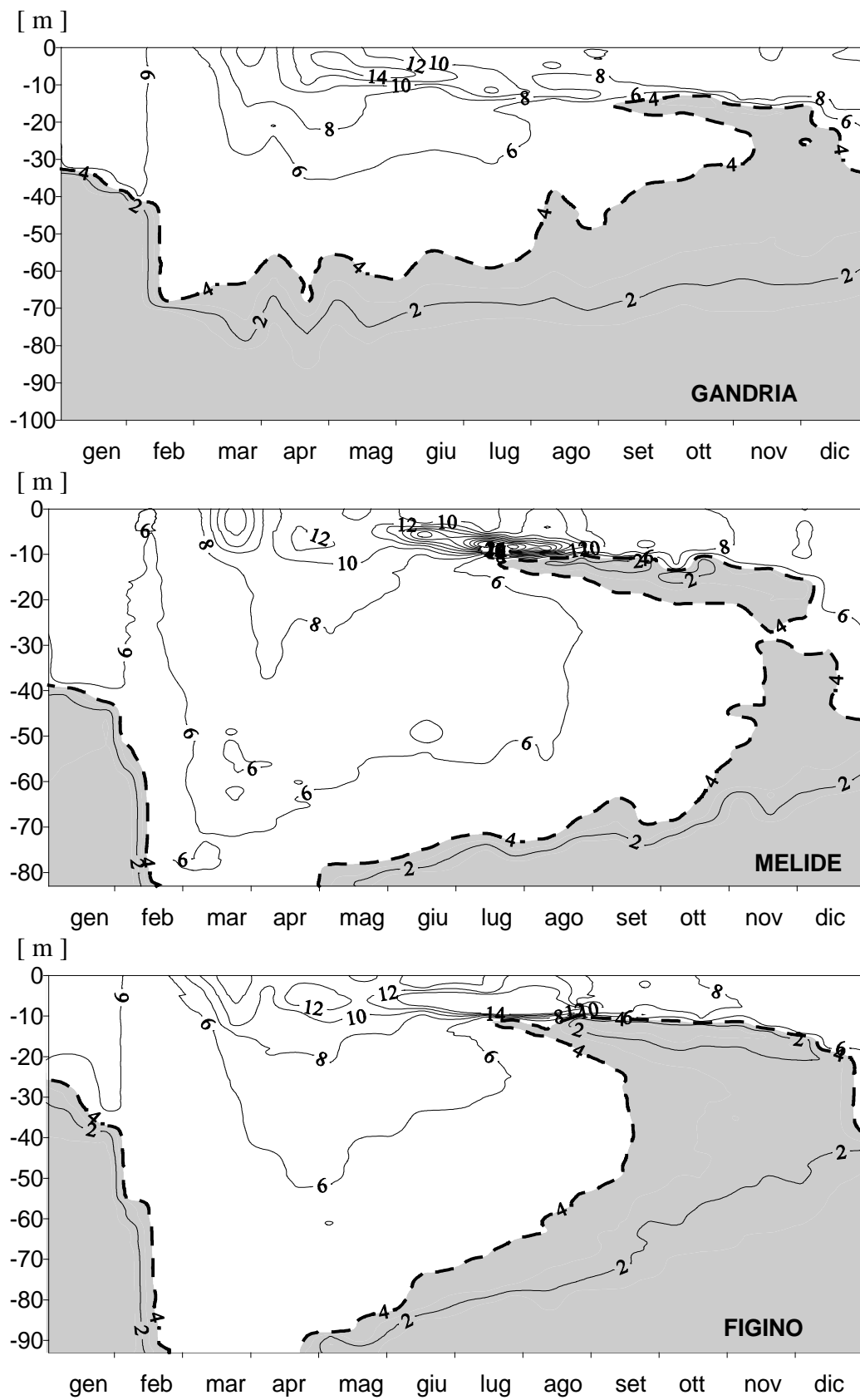


Fig. 5.4. Lago di Lugano, 2003: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato con la sonda multiparametrica [g m^{-3}].

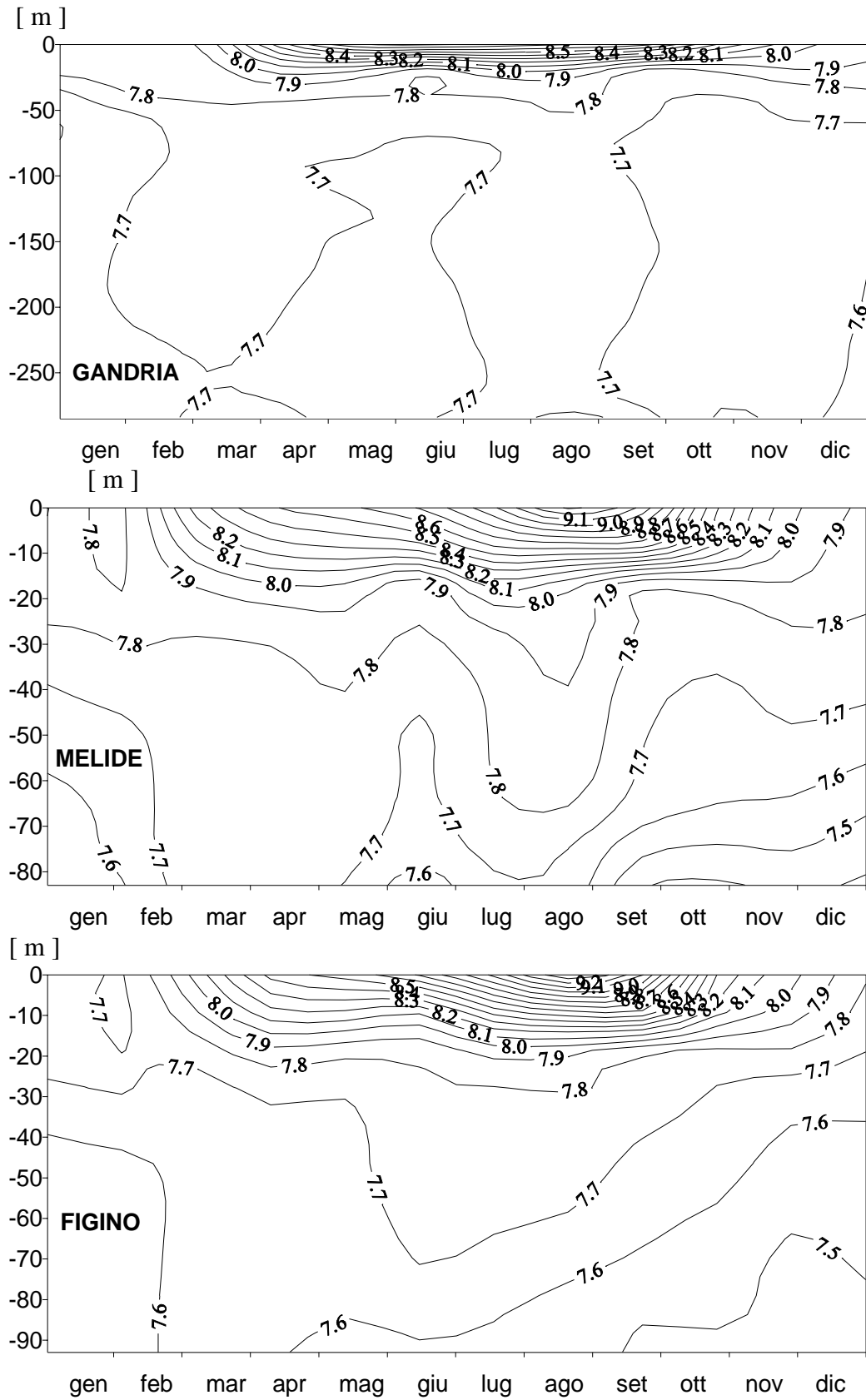


Fig. 5.5.1. Lago di Lugano, 2003: andamento del valore pH.

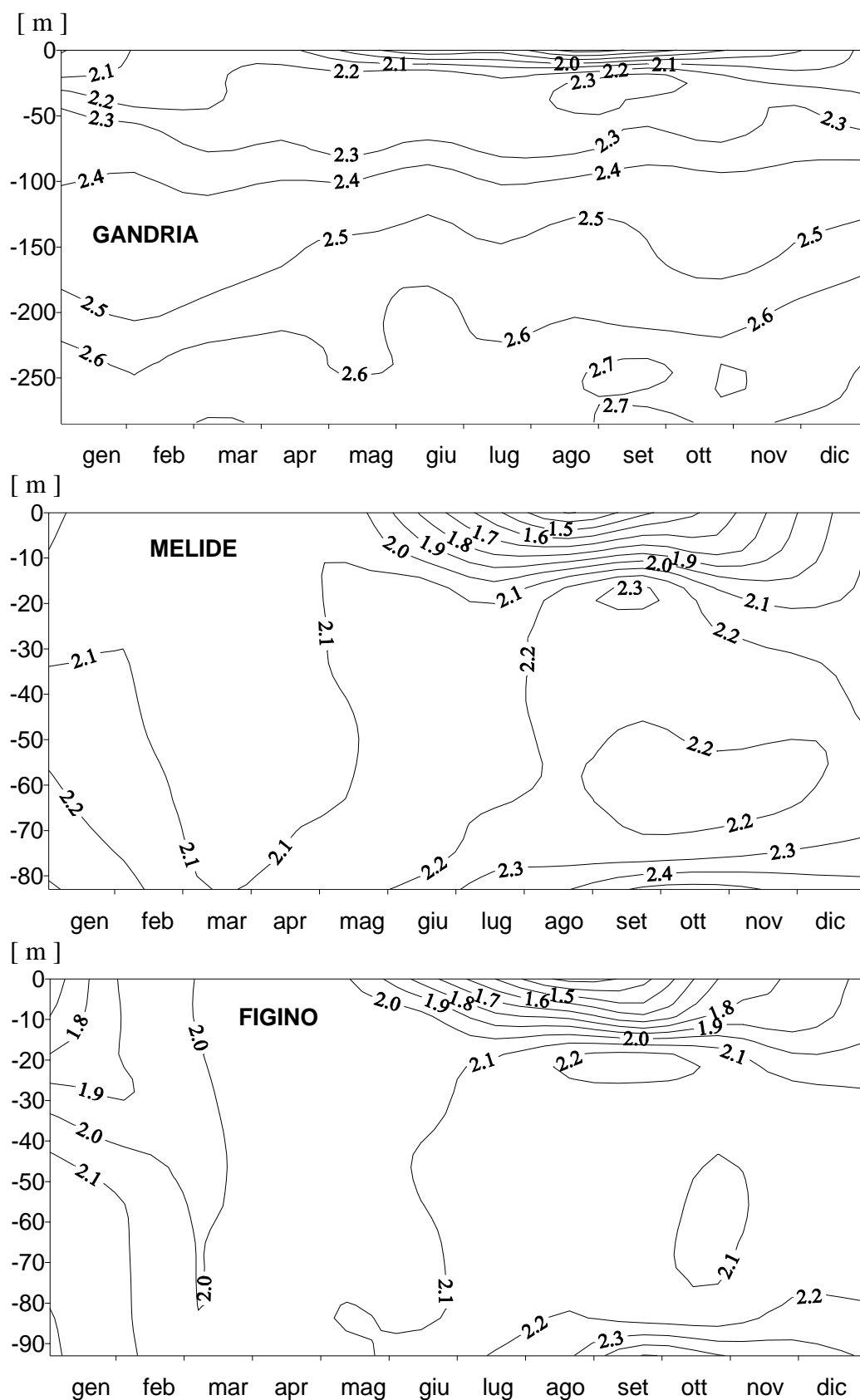


Fig. 5.5.2. Lago di Lugano, 2003: andamento dell'alcalinità [eq m⁻³].

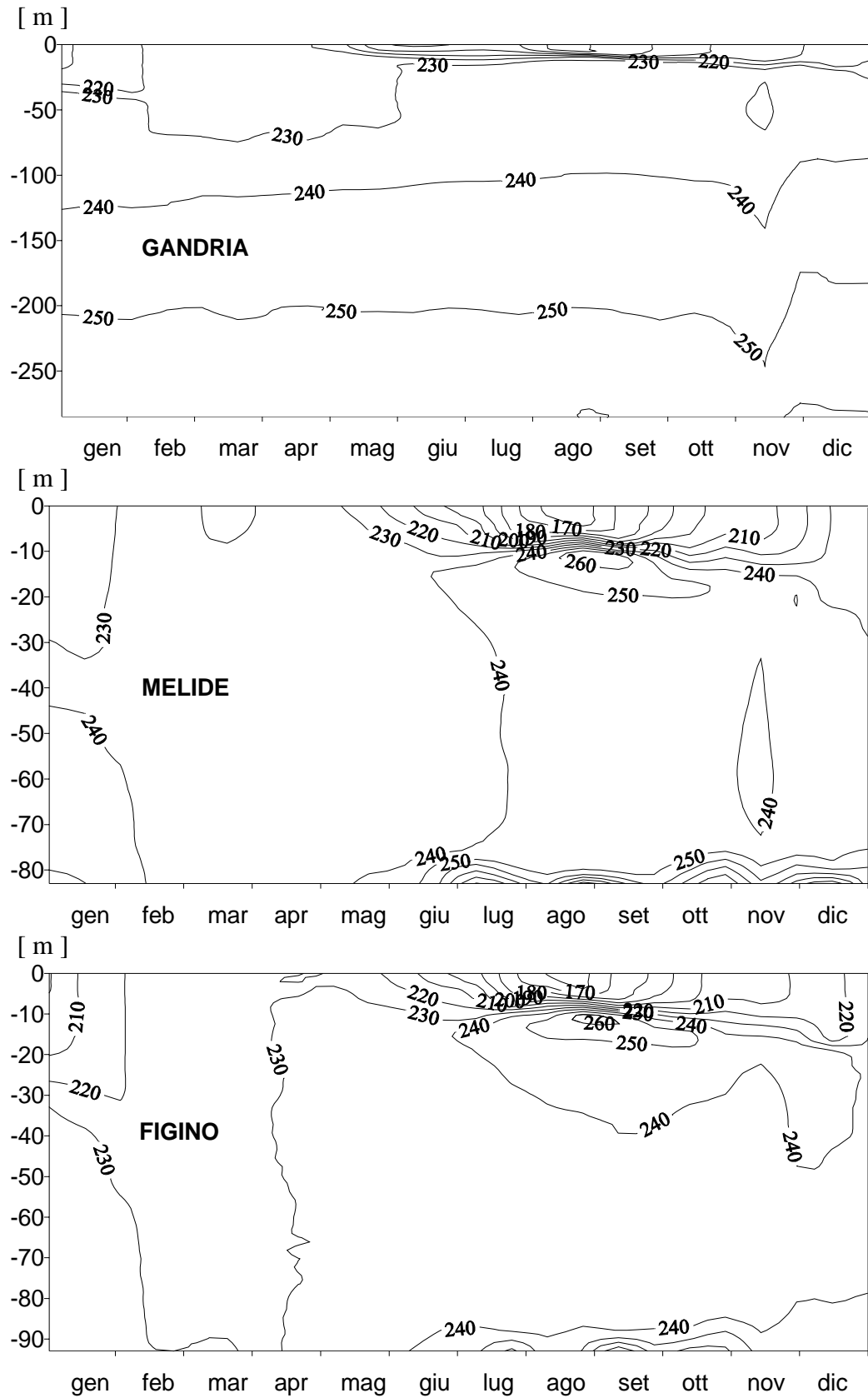


Fig. 5.6. Lago di Lugano, 2003: andamento della conducibilità elettrica [$\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C].

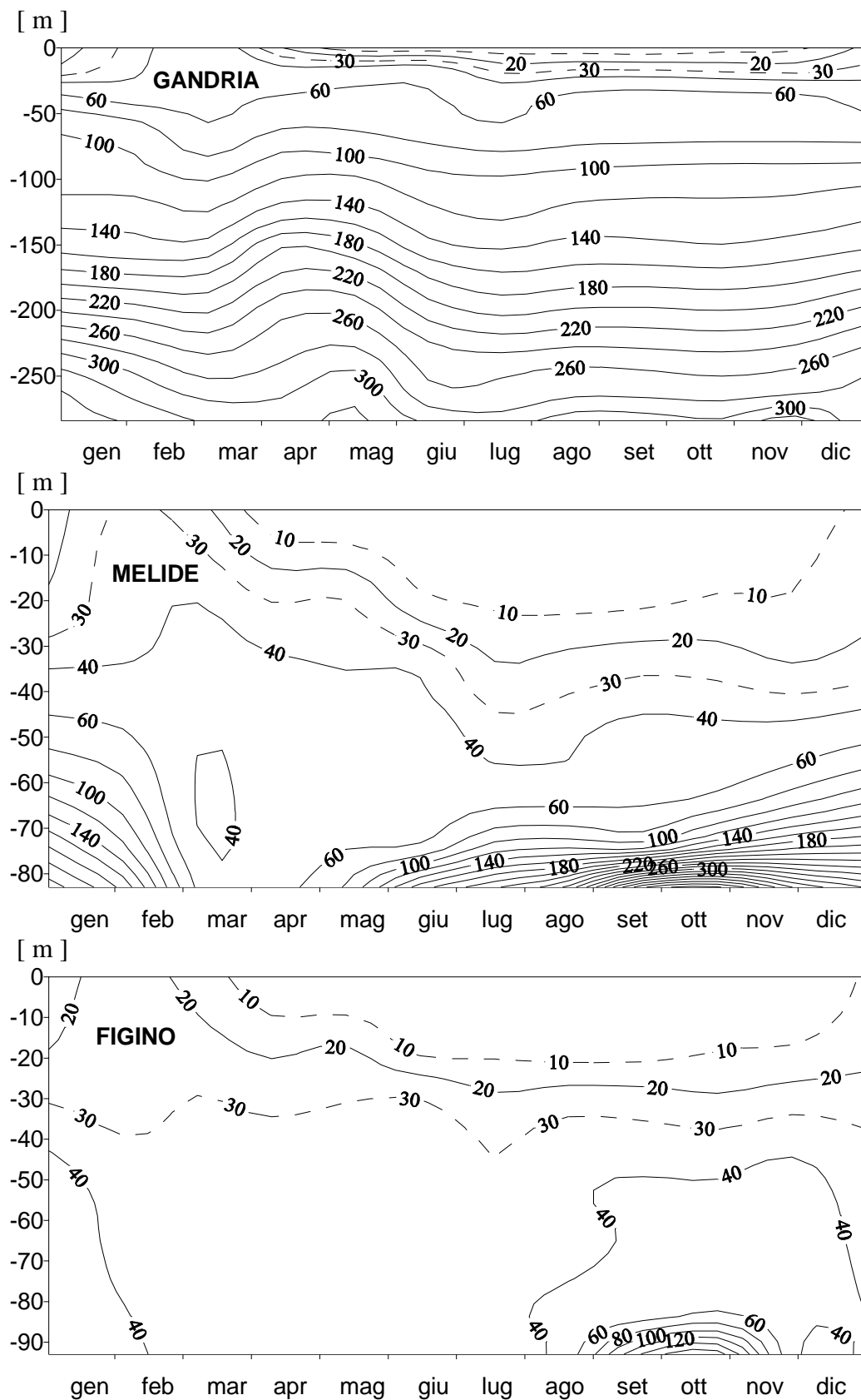


Fig. 5.7.1. Lago di Lugano, 2003: andamento del fosforo ortofosfato [mg P m^{-3}].

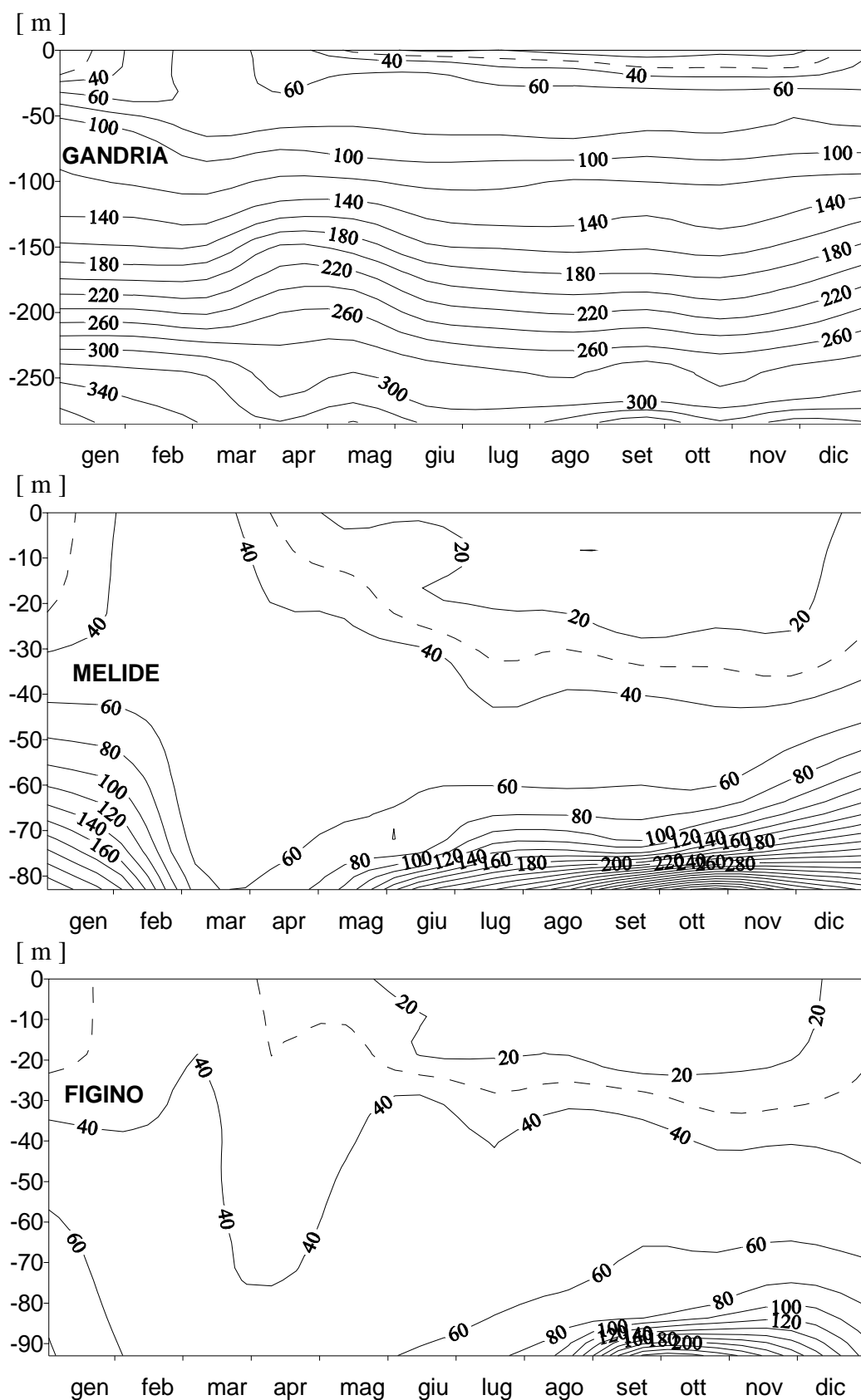


Fig. 5.7.2. Lago di Lugano, 2003: andamento del fosforo totale [mg P m^{-3}].

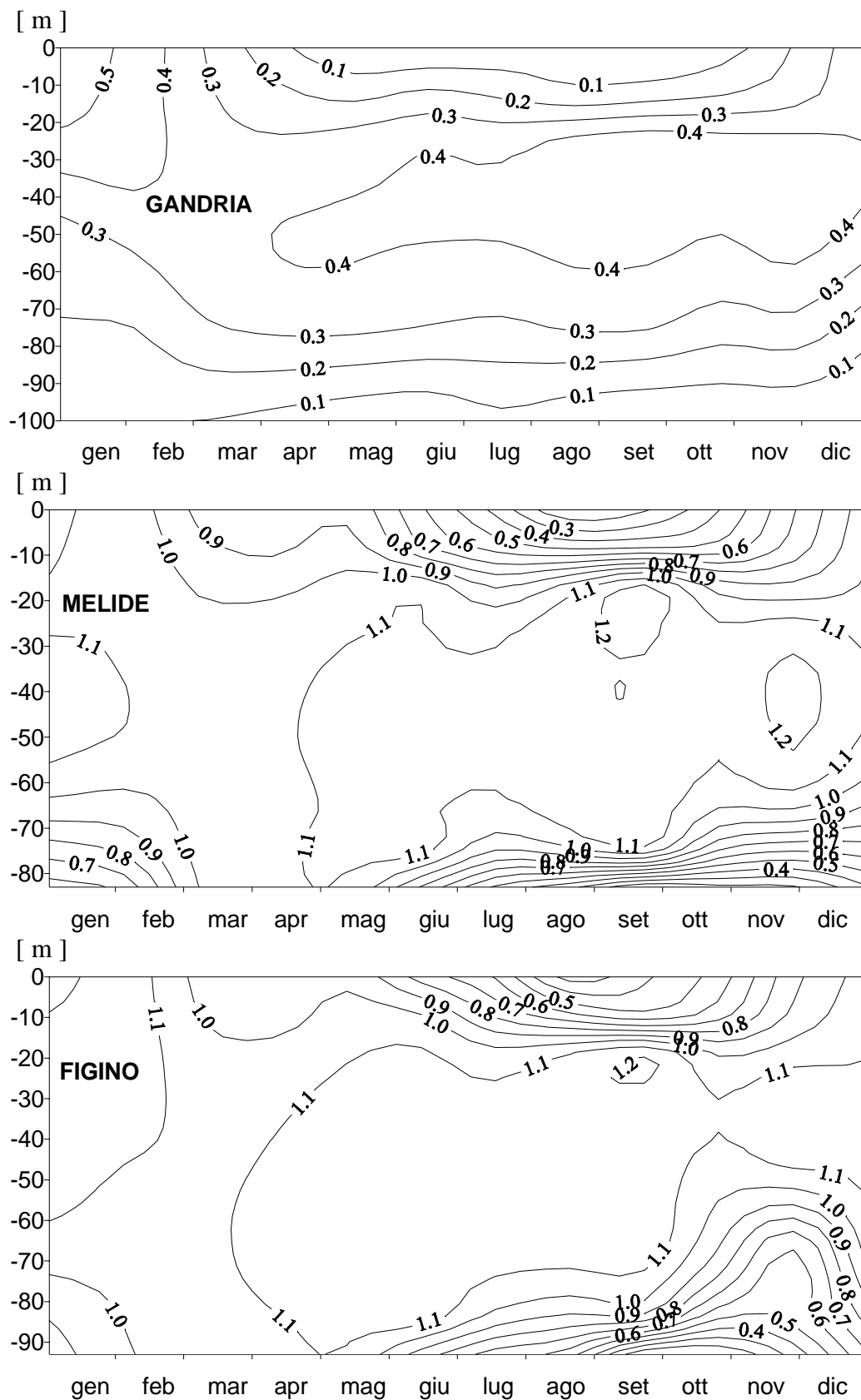


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2003: andamento dell'azoto nitrico [g N m^{-3}].

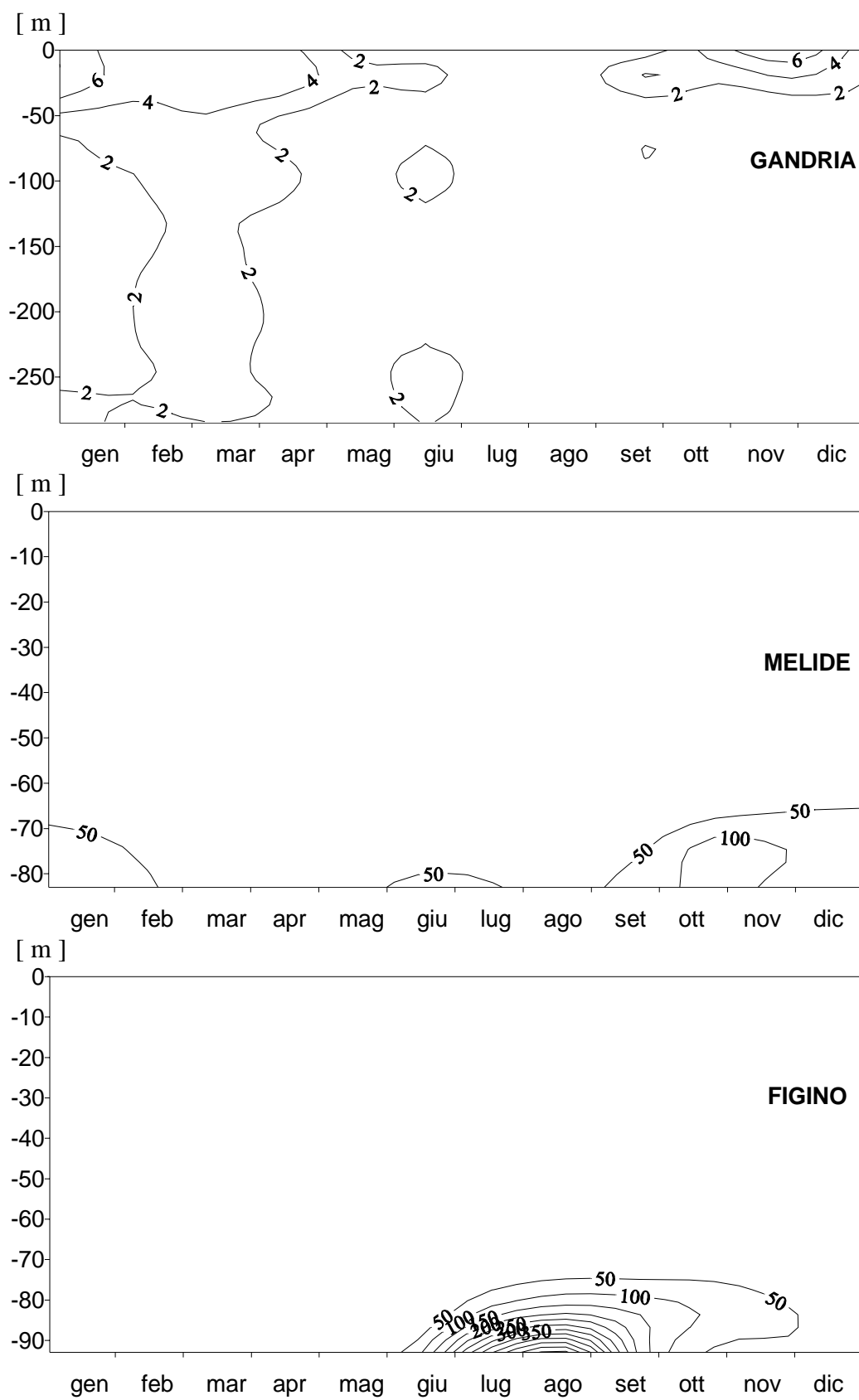


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2003: andamento dell'azoto nitroso [mg N m⁻³].

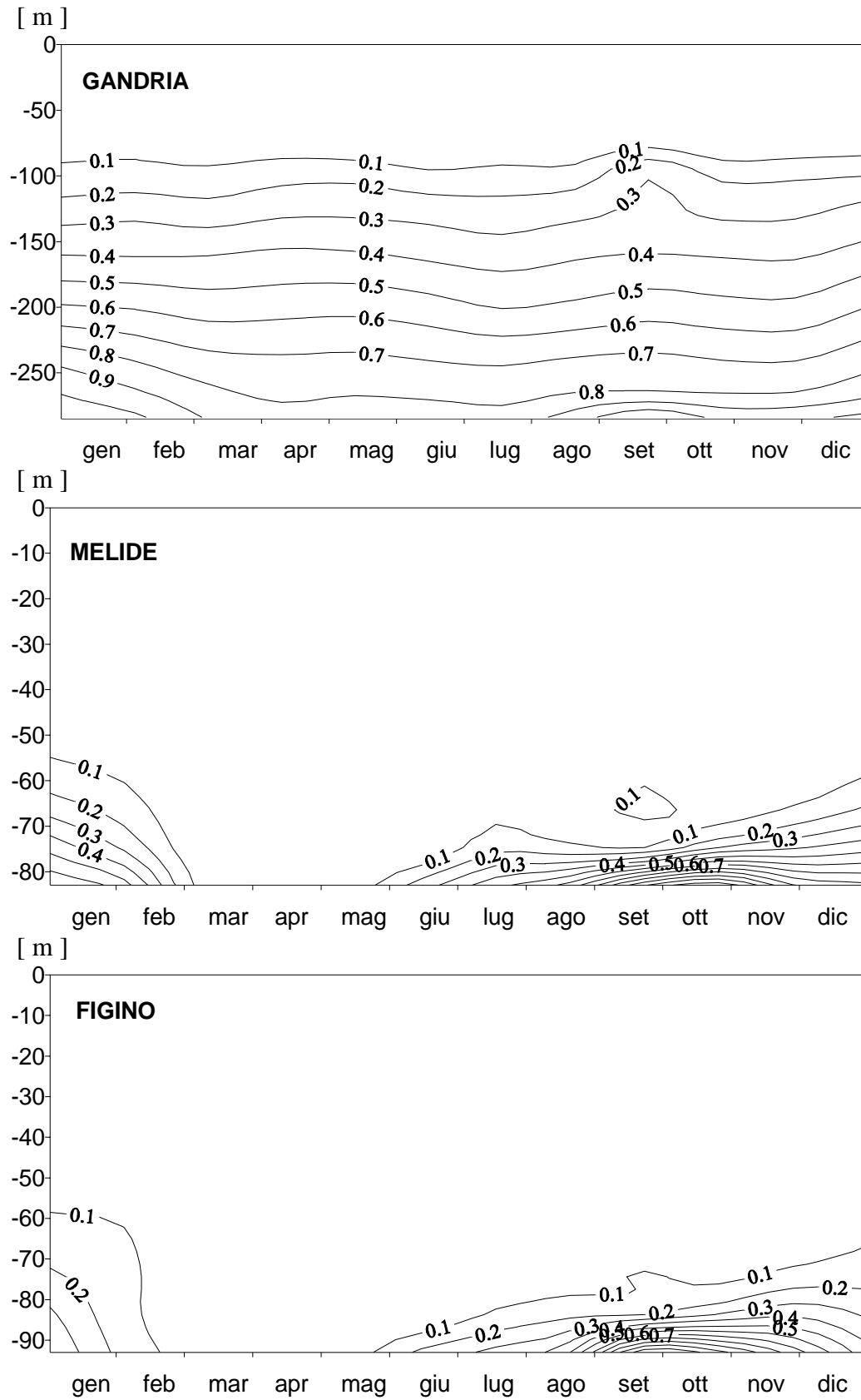


Fig. 5.8.3. Lago di Lugano, 2003: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m^{-3}].

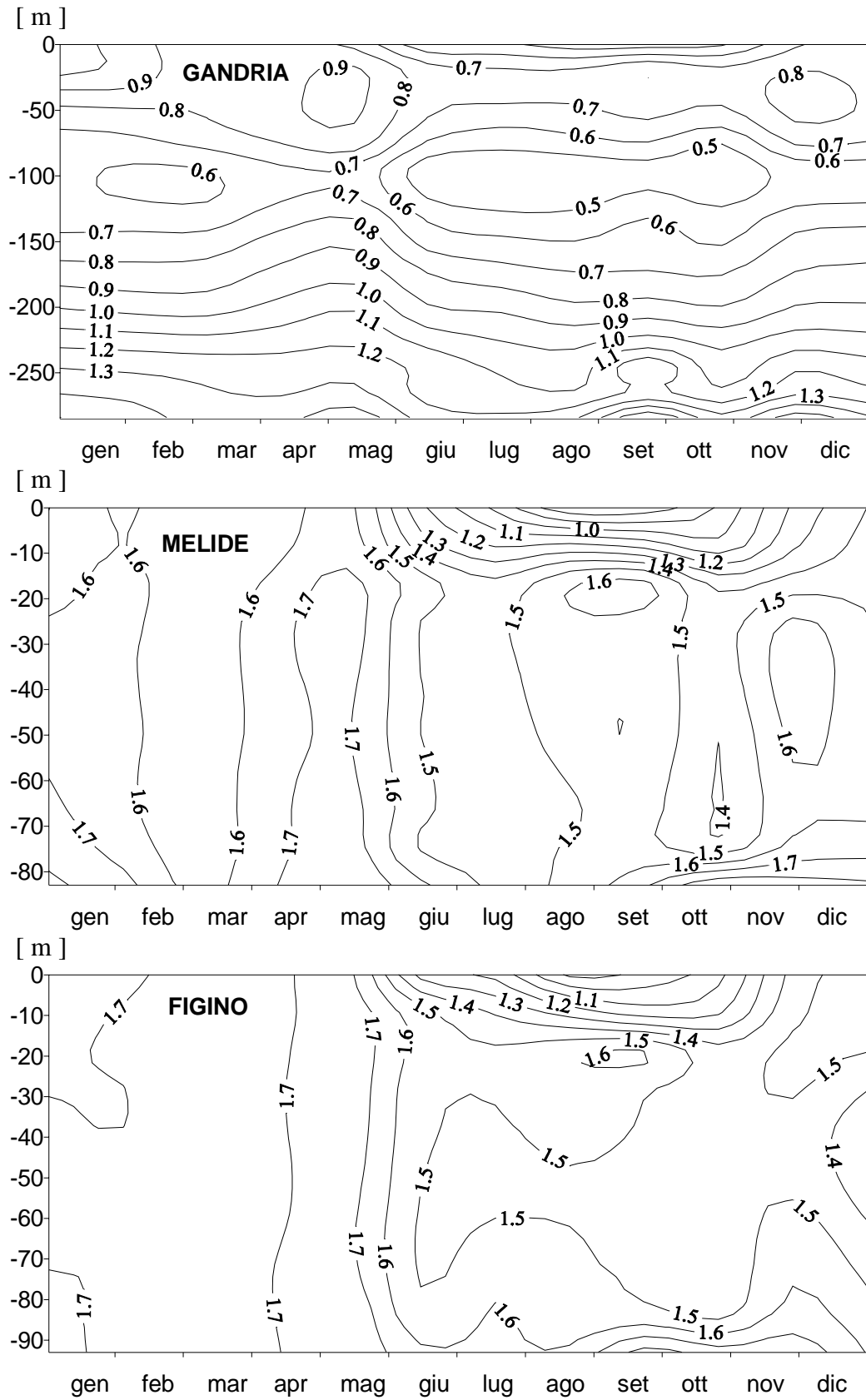


Fig. 5.8.4. Lago di Lugano, 2003: andamento dell'azoto totale [g N m^{-3}].

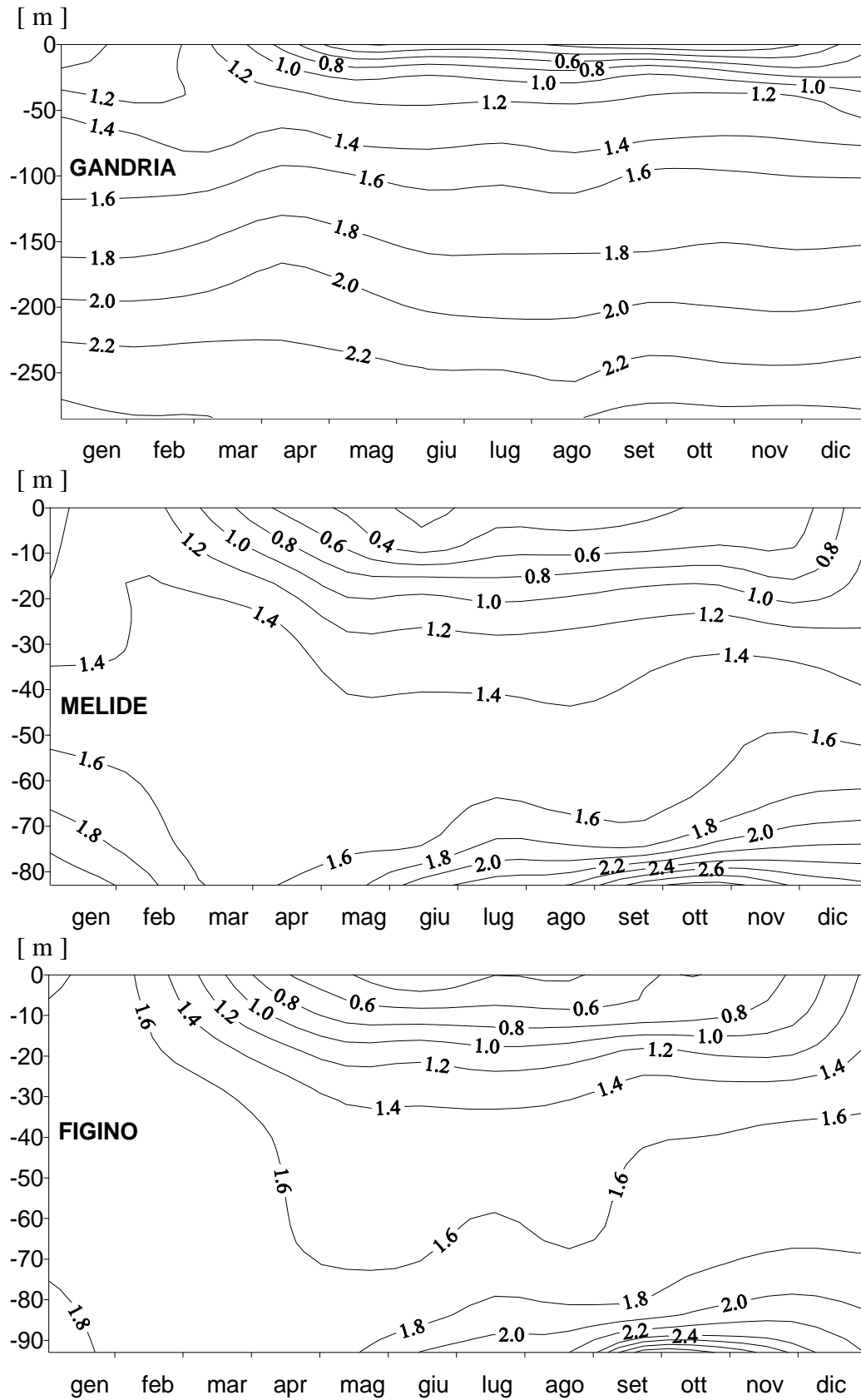


Fig. 5.9. Lago di Lugano, 2003: andamento dei silicati reattivi [g Si m^{-3}].

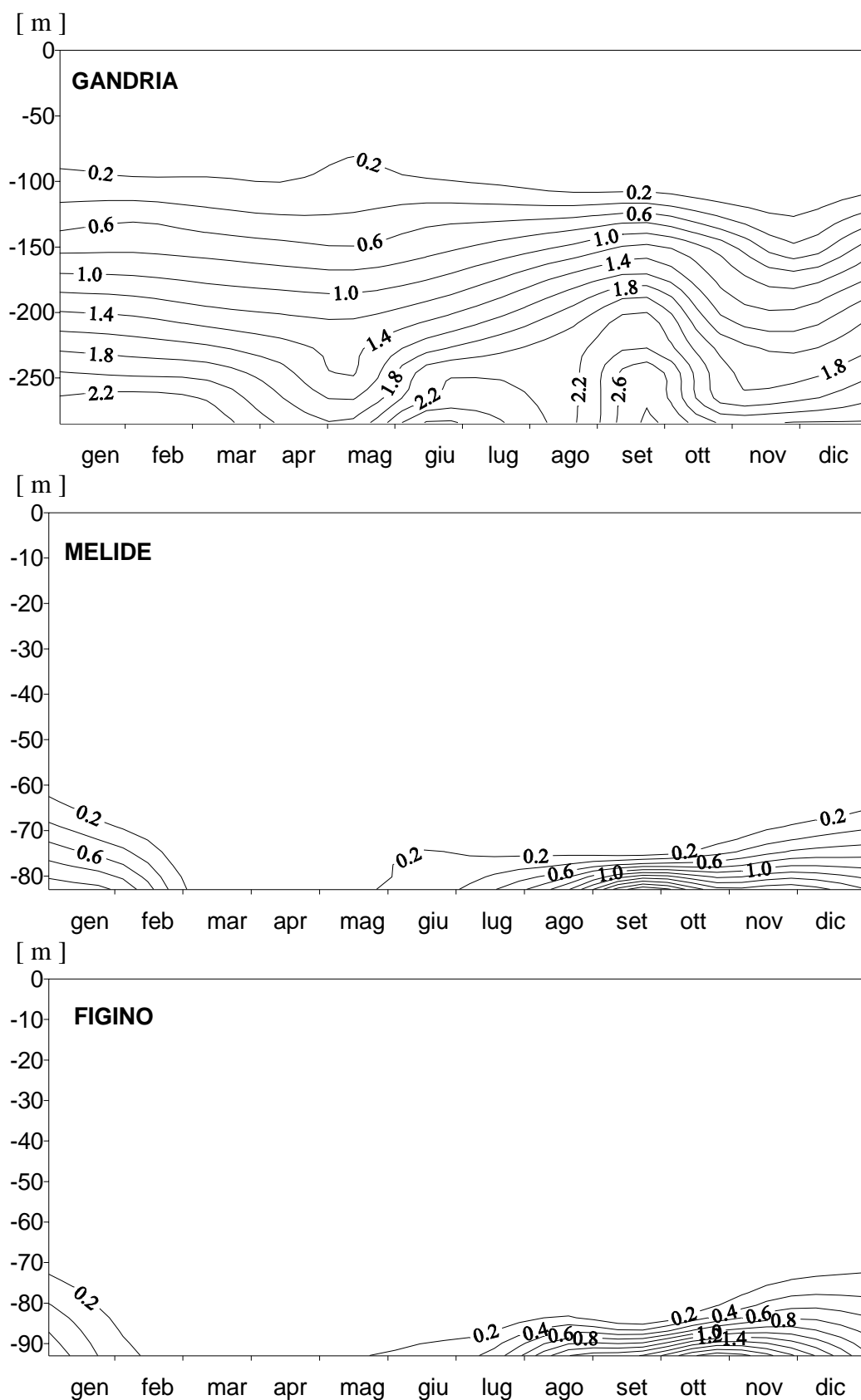


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2003: andamento del metano [g m^{-3}].

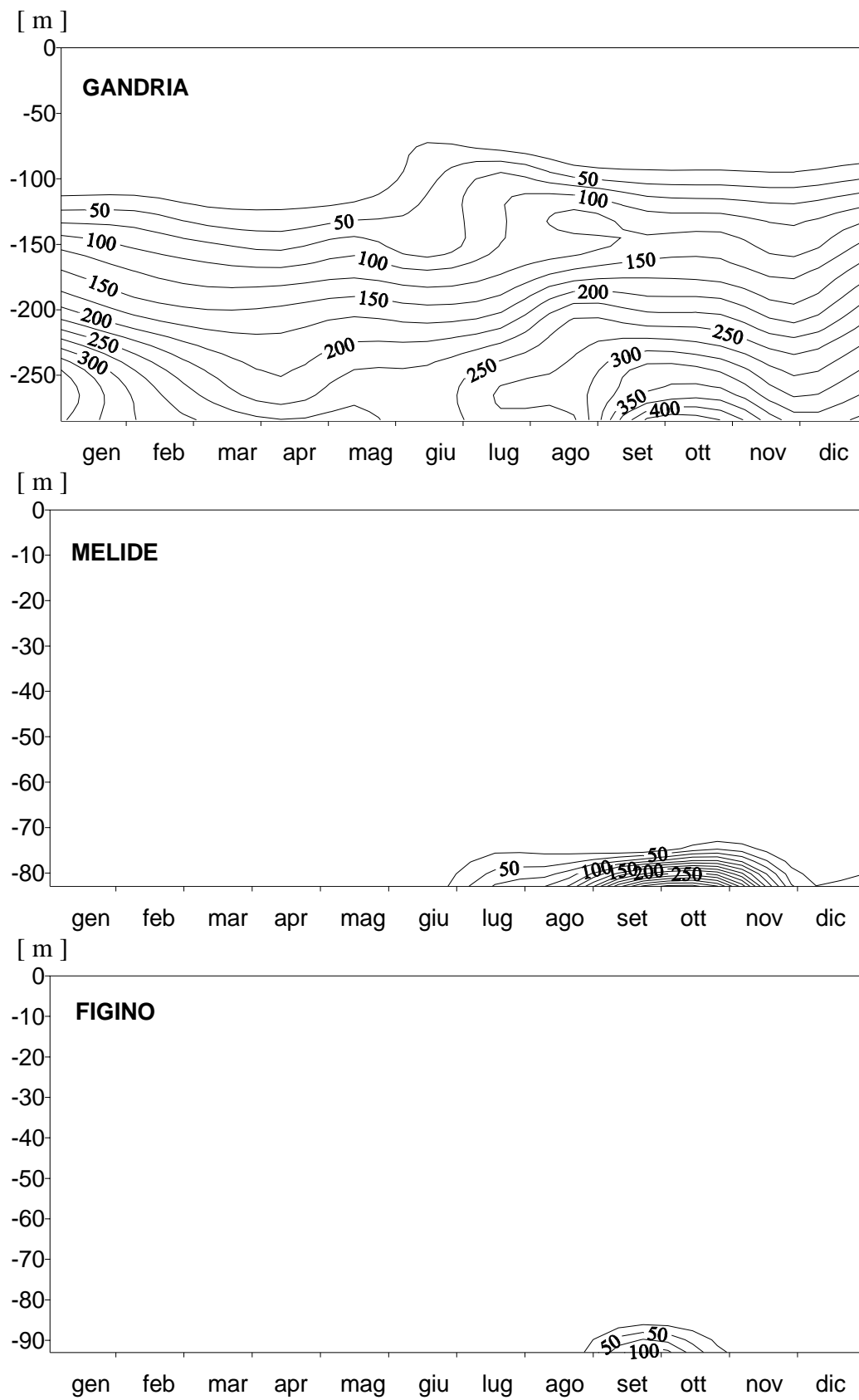


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2003: andamento del solfuro [mg m^{-3}].

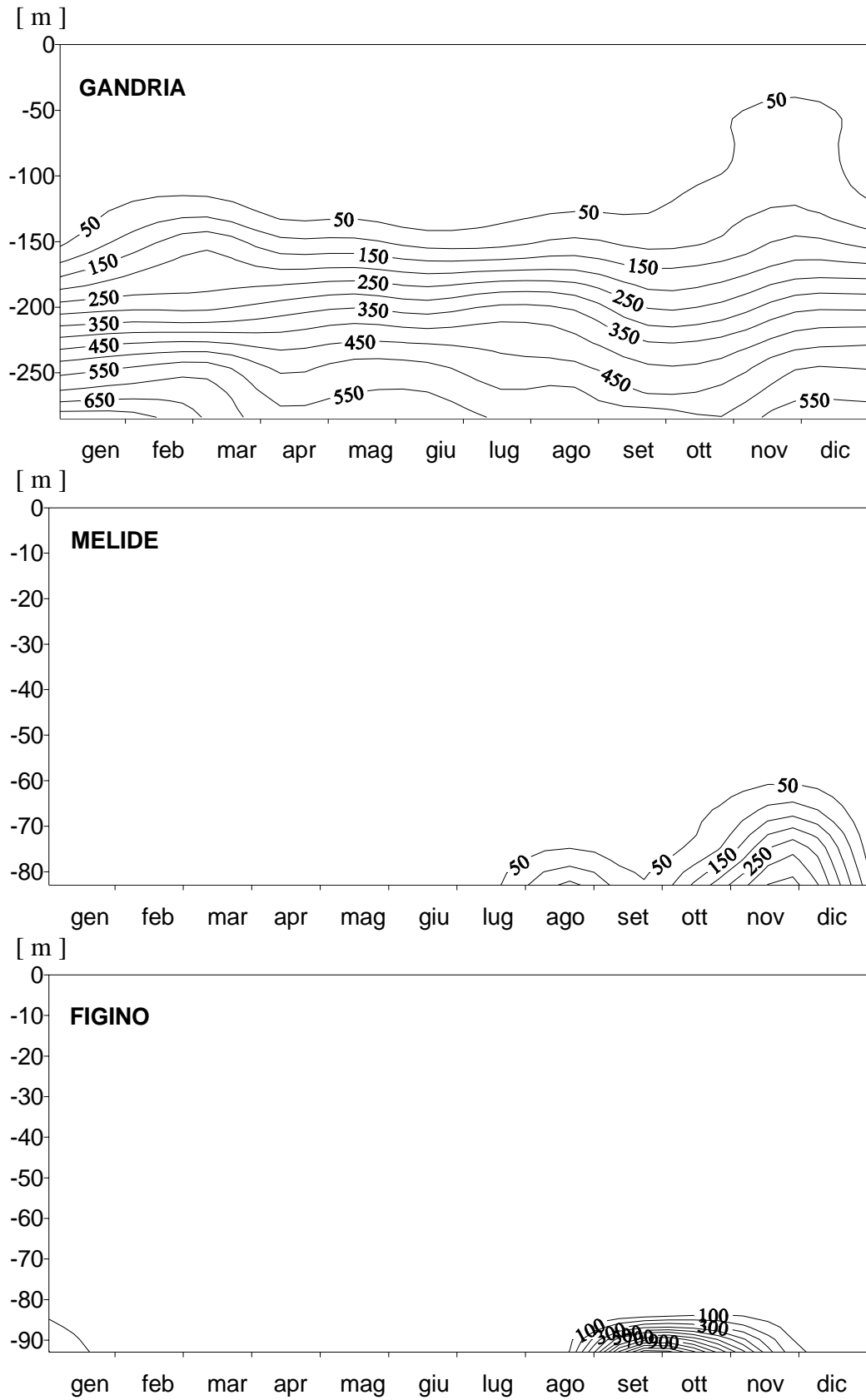


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2003: andamento del ferro disciolto [mg m^{-3}].

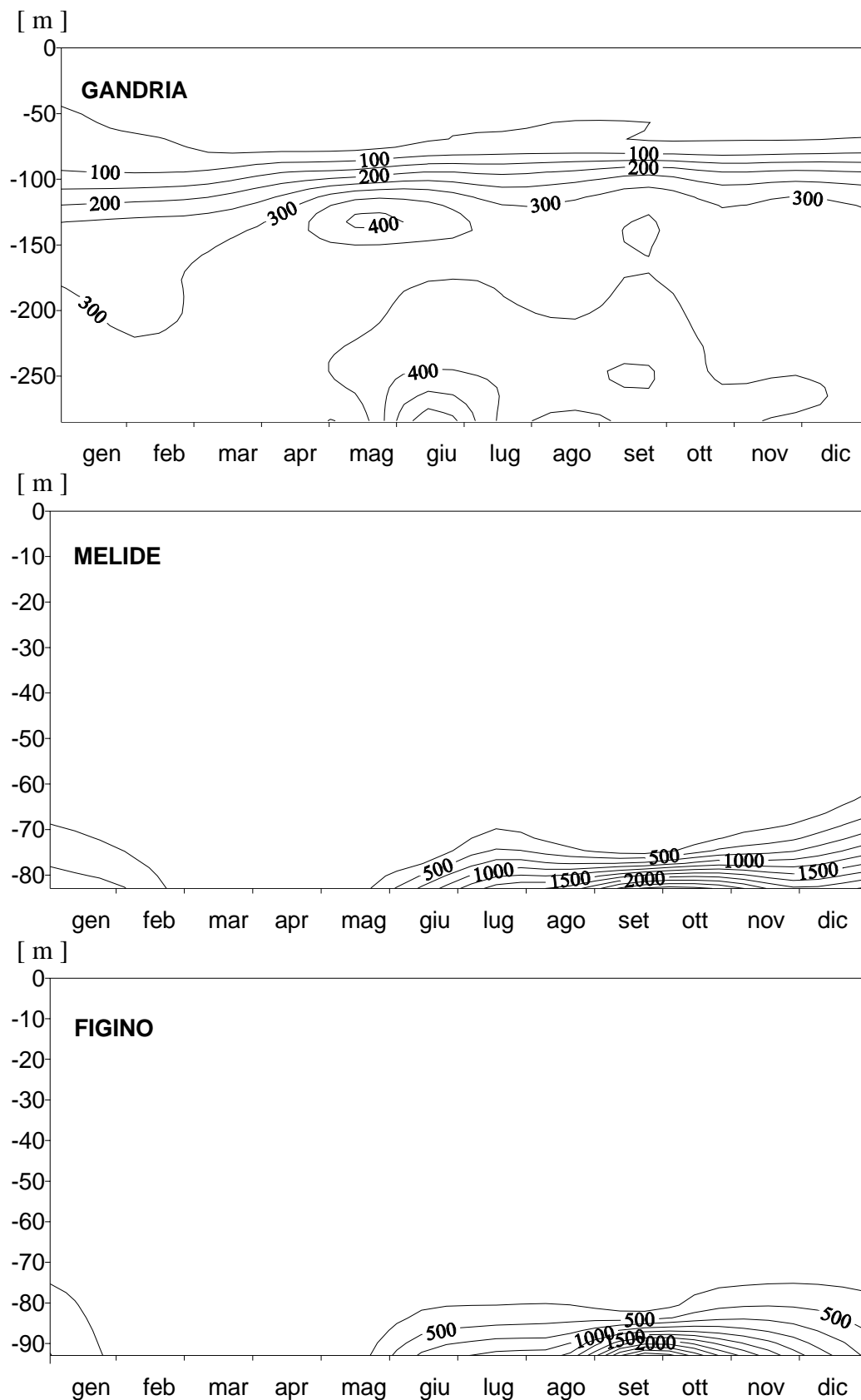


Fig. 5.13. Lago di Lugano, 2003: andamento del manganese disciolto [mg m^{-3}].

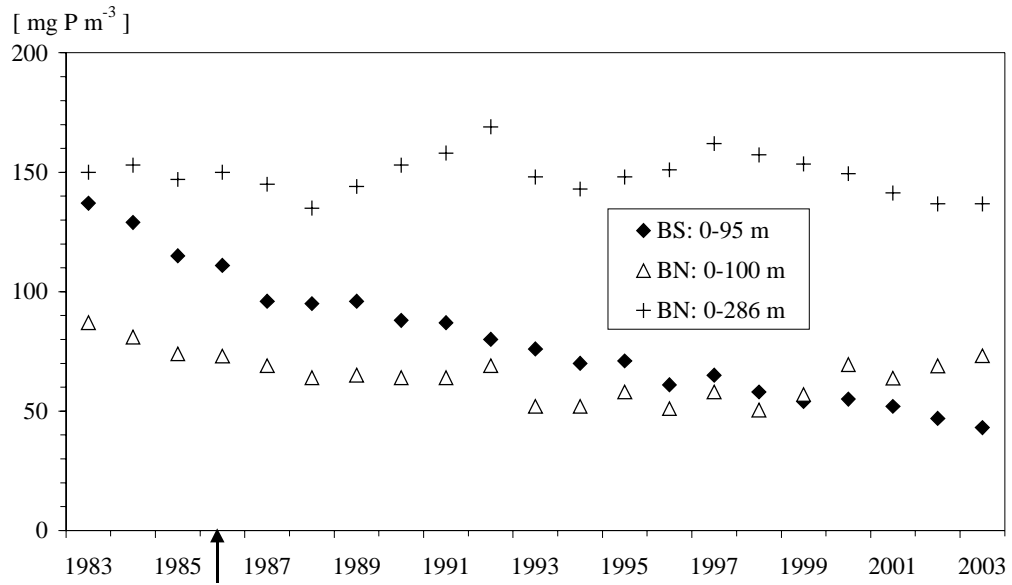


Fig. 5.14. Lago di Lugano, 1983-2003: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud (BS) ed in differenti strati del bacino nord (BN).
La freccia indica l'anno d'entrata in vigore del bando dei fosfati dai detersivi.

6. INDAGINI SUL FITOPLANCTON

6.1. Struttura dei popolamenti

Nel corso del 2003 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.

L'evoluzione stagionale del popolamento fitoplanctonico presenta un andamento differente nei due bacini del lago: in quello nord si è avuta un'importante fase di sviluppo di diatomee in primavera, seguita da un periodo di predominio di cianoficee, tra maggio ed agosto; nel bacino sud, invece, la fase principale ha avuto luogo nel corso dell'estate, presentando accanto alle cianoficee, anche un consistente popolamento di cloroficee. Durante i primi e gli ultimi due mesi dell'anno lo sviluppo di fitoplancton è rimasto estremamente limitato, tranne che a Figino, dove la stagione vegetativa ha avuto inizio con due settimane d'anticipo, e si è protratta fino a fine anno grazie ad una forte ripresa delle cianoficee.

Fra i principali gruppi tassonomici, le **cianoficee** sono risultate abbondanti unicamente durante il periodo centrale dell'anno nel bacino nord, e nel corso del secondo semestre nel bacino sud (a Melide da giugno ad ottobre, a Figino da giugno a dicembre). Poche specie filamentose sono risultati predominanti: tra queste al primo posto vi è senz'altro da segnalare *Limnothrix* [ex *Oscillatoria*] *redeckei*, ricomparsa alla fine del 2002 dopo quattro anni d'assenza, la quale ha raggiunto punte di densità di assoluto rilievo in maggio nel bacino nord (Gandria: 130 milioni di cellule l^{-1}), ed in luglio nel bacino sud (Melide: 101; Figino: 85 milioni di cellule l^{-1}). Come accennato sopra, un'ulteriore, importante fase di sviluppo di cianoficee, dovuta a *Planktothrix rubescens*, è riscontrabile unicamente a Figino, a partire da novembre. Fra le specie coccali, l'unica specie che presenta valori di rilievo è risultata *Snowella lacustris*, che ha fatto registrare i suoi massimi in ottobre nel bacino nord (1.0 milione di cellule l^{-1}) ed in luglio nel bacino sud (1.3-3.6 milioni di cellule l^{-1}).

Le **diatomee** hanno presentato uno sviluppo consistenze solamente all'inizio del periodo vegetativo: la consueta fase di crescita primaverile, più marcata nel bacino nord, è stata caratterizzata dalla presenza di *Stephanodiscus parvus*, specie centrica di piccole dimensioni, che ha raggiunto il suo massimo dapprima a Figino (9.8 milioni di cellule l^{-1} all'inizio di marzo), quindi a Melide (14.6 milioni di cellule l^{-1} nella seconda metà di marzo), ed infine a Gandria (26 milioni di cellule l^{-1} all'inizio d'aprile). Accanto ad essa si registra una modesta presenza (0.4-0.6 milioni di cellule l^{-1}) di due specie coloniali: *Alaucoseria islandica* (specie centrica) e di *Fragilaria crotonensis* (specie pennata; solo nel bacino sud). Complessivamente sono risultate in netto calo sia le specie centriche di maggior dimensioni (*Stephanodiscus neoastrea*, *Cyclotella*

radiosa), sia *Asterionella formosa*, specie pennata tradizionalmente abbondante in questo periodo dell'anno.

Uno degli elementi più significativi del quadro fitoplanctonico del 2003 è dato dalla scarsità di **cloroficee** estive, particolarmente marcata nel bacino nord: questo gruppo ha raggiunto un discreto sviluppo in tutto il lago unicamente nel corso del mese d'agosto, grazie al contributo di *Sphaerocystis schræteri* (a Gandria 1.0 milioni di cellule l⁻¹; a Melide 7.0; a Figino 6.3). Altre piccole specie clorococcali hanno presentato valori di un certo rilievo unicamente nel bacino sud, in particolare nella stazione di Figino.

Per quanto riguarda le **coniugatoficee**, il 2003 ha confermato i bassi valori di densità dell'anno precedente, mentre fra le **xantoficee** la specie *Tribonema sp.*, ha raggiunto puntualmente in maggio il suo massimo di densità, con valori simili agli anni precedenti (attorno a 1 milione di cellule l⁻¹), solo nel bacino sud: nel bacino nord, infatti, essa è risultata estremamente scarsa.

Fatta eccezione per *Chrysochromulina sp.* (massimi di densità tra 1 e 2 milioni di cellule l⁻¹), le altre specie di **crisoficee** non hanno raggiunto densità rilevanti, mentre le **criptoficee** hanno avuto anche quest'anno nel genere *Rhodomonas* il loro principale rappresentante nel plancton primaverile (1.3-2.2 milioni di cellule l⁻¹). Anche se numericamente trascurabile, la specie *Gymnodinium helveticum* (**peridinee**) ha comunque fornito un importante contributo alla biomassa fitoplanctonica nel corso del mese d'aprile, a motivo delle sue notevoli dimensioni cellulari.

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del 2003, 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 dell'anno. Il contributo dei principali gruppi tassonomici è deducibile dalle singole curve cumulate, la superiore delle quali corrisponde al valore totale (peso fresco da biovolume). La biomassa delle coniugatoficee, quest'anno poco rilevante, è stata sommata a quella delle cloroficee e rappresentata graficamente da un'unica porzione areale. L'andamento stagionale dei valori mette in evidenza come i **massimi primaverili** si siano verificati con circa un mese di ritardo nel bacino nord rispetto a quello sud, e risultino decrescenti lungo l'asse di deflusso del lago (**Gandria 4.9 g m⁻³, Melide 3.3; Figino 2.3**). Nell'occasione il principale contributo alla biomassa algale è stato fornito dalle diatomee (nella misura del 50% a Gandria, 60% a Melide, 70% a Figino), ed in misura minore dalle peridinee (rispettivamente 22%, 6%, 10%) e dalle criptoficee (10%, 25%, 12%): con prevalenza, fra le diatomee e le criptoficee, di specie di piccole dimensioni, e quindi facilmente edibili da parte dello zooplancton erbivoro.

Nel bacino nord il resto del periodo vegetativo è stato dominato dalle cianoficee, che hanno iniziato a svilupparsi immediatamente dopo il picco delle diatomee primaverili fino a raggiungere il loro massimo nella seconda metà di maggio (2.8 g m⁻³), per poi calare costantemente fino all'inizio dell'autunno. L'estrema

povertà del popolamento fitoplanctonico, che ha caratterizzato gli strati superiori dell'epilimnio (0-10m) di questo bacino durante il periodo estivo (cfr. Fig. 6.3.1.), è stata solo parzialmente mitigata da un breve fase di sviluppo delle cloroficee in agosto: di conseguenza anche i valori di biomassa totale sono andati calando progressivamente, riducendosi di un ordine di grandezza da luglio a dicembre (da 1.7 a 0.17 g m⁻³).

Tab. 6.1. Lago di Lugano, 2003: sviluppo delle principali specie di fitoplancton strato 0-20 m (densità in 10⁶ cellule l⁻¹).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
marzo	Stephanodiscus parvus (5.1) Rhodomonas (5.2)	Stephanodiscus parvus (14.6) Rhodomonas (5.5)	Stephanodiscus parvus (9.8) Fragilaria crotonensis (0.7) Rhodomonas (0.7)
aprile	Stephanodiscus parvus (26.0) Alauoseira islandica (0.6) Limnithrix redeckeii (33.6) Rhodomonas (2.2)	Stephanodiscus parvus (4.1) Fragilaria crotonensis (0.6) Alauoseira islandica (0.3) Aphanizomenon flos-aquæ (2.7) Rhodomonas (1.3)	Stephanodiscus parvus (2.6) Fragilaria crotonensis (0.4) Alauoseira islandica (0.3) Aphanizomenon flos-aquæ (3.4) Rhodomonas (1.3)
maggio	Fragilaria crotonensis (1.1) Limnithrix redeckeii (130.0) Aphanizomenon flos-aquæ (2.9)	Fragilaria crotonensis (0.6) Tribonema (1.1)	Fragilaria crotonensis (0.9) Tribonema (1.0) Aphanizomenon flos-aquæ (1.2)
giugno	Limnithrix redeckeii (86.6) Chrysochromulina (1.6)	Limnithrix redeckeii (60.7) Fragilaria crotonensis (0.7)	
luglio	Limnithrix redeckeii (51.5)	Limnithrix redeckeii (100.7) Snowella lacustris (1.3) Chrysochromulina (1.1)	Limnithrix redeckeii (85.2) Snowella lacustris (3.6) Sphaerocystis schroeteri (2.4)
agosto	Limnithrix redeckeii (17.3) Sphaerocystis schroeteri (1.0) Scenedesmus (0.8) Didymocystis (0.7) Oocystis (0.3)	Limnithrix redeckeii (82.1) Sphaerocystis schroeteri (7.0) Scenedesmus (2.8) Didymocystis (0.9) Oocystis (0.5) Cœlastrum polychordum (0.6)	Limnithrix redeckeii (55.5) Sphaerocystis schroeteri (6.3) Scenedesmus (2.3) Didymocystis (1.3) Oocystis (0.3) Cœlastrum polychordum (0.6)
settembre	Cyclotella ocellata (0.2)	Limnithrix redeckeii (41.7) Sphaerocystis schroeteri (1.1) Didymocystis (1.1)	Limnithrix redeckeii (29.4) Elakatothrix gelatinosa (1.3)
ottobre	Snowella lacustris (1.0)	Limnithrix redeckeii (16.0) Chrysochromulina (1.9) Cœlastrum polychordum (0.9)	Limnithrix redeckeii (10.3) Chrysochromulina (1.8) Cœlastrum polychordum (1.2)
novembre	Fragilaria crotonensis (0.2)		Planktothrix rubescens (10.7)
dicembre			Planktothrix rubescens (19.1)

Valori estivi nettamente più elevati si riscontrano invece nel bacino sud: qui le cianoficee hanno iniziato la loro principale fase di sviluppo con circa un mese di ritardo, raggiungendo il loro massimo in luglio (2.0-2.2 g m⁻³). La sovrapposizione di due importanti popolamenti algali nell'epilimnio lacustre in agosto (la colorazione dei filtri utilizzati per l'analisi della clorofilla conferma la presenza di cloroficee tra 0 e 10 m, e di cianoficee tra 10 e 15 m; cfr. Fig. 6.3.1.), è all'origine del **massimo annuo** di biomassa (**Melide: 3.7 g m⁻³**,

Figino: 3.2). Pur presentando un andamento sostanzialmente simile, le due stazioni presentano evidenti differenze, sia riguardo all'inizio del periodo vegetativo (a Melide avvenuto un paio di settimane più tardi), sia riguardo all'andamento dei valori negli ultimi mesi dell'anno (con le cianoficee in ripresa solo a Figino).

La **biomassa media annua** è risultata molto simile in tutte le stazioni campionate (**Gandria: 1.42 g m⁻³; Melide: 1.47; Figino: 1.44**), in calo rispetto ai due anni precedenti, ed in contrasto con la tendenza pluriennale caratterizzata da un aumento dei valori lungo l'asse di deflusso del lago (1990-2002: Gandria 1.36 g m⁻³, Melide 1.44, Figino 1.56).

Nel bacino nord si è ridotto ulteriormente il contributo delle cloroficee, compensato solo in parte da un incremento delle peridinee; nonostante il netto calo rispetto all'anno precedente, le cianoficee si confermano quale gruppo predominante, seguite da diatomee e peridinee. Nel bacino sud, invece, risultano in netto calo le diatomee mentre le cloroficee consolidano la loro quota superando addirittura le diatomee, e divenendo, per la prima volta dopo il 1989, il gruppo con i valori di biomassa più elevati, dopo le cianoficee.

Per quanto riguarda la composizione percentuale della biomassa algale del 2003 (valore medio annuo, Fig. 6.2.2.), si assiste ad una generale diminuzione delle cianoficee, soprattutto a Gandria, dove tornano al di sotto del 50%: in tutto il lago il contributo di questo gruppo si assesta attorno al 35-40%. Le diatomee, come detto, rimangono il secondo gruppo unicamente nel bacino nord (28%), mentre nel bacino sud il loro contributo percentuale (16-18%) costituisce il minimo dell'intero periodo d'osservazione. In compenso le cloroficee, che nel bacino nord rimangono relegate attorno al 5%, passano a costituire il secondo gruppo del bacino sud, avendo superato in entrambi le stazioni la soglia del 20%. Nel corso del 2003 si registra, infine, un generale aumento del contributo percentuale di criptoficee e peridinee, che si assesta in tutto il lago attorno al 10%: con questo valore le peridinee si collocano al terzo posto nella graduatoria quantitativa dei gruppi del bacino nord.

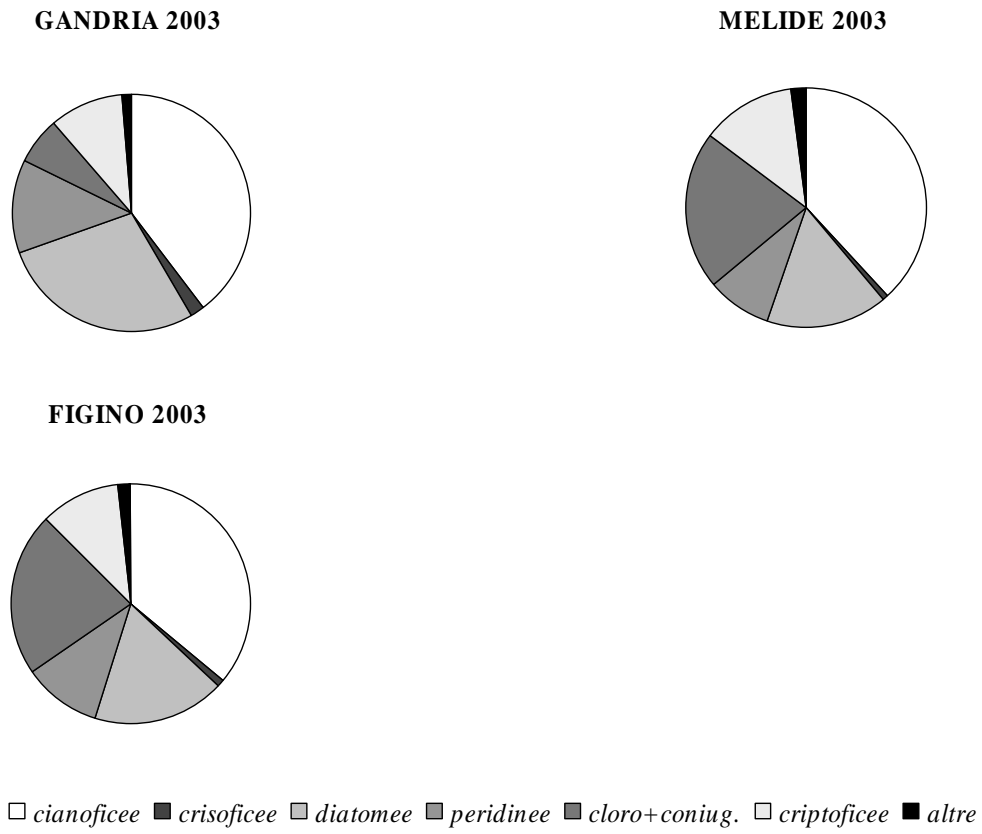


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2003: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.

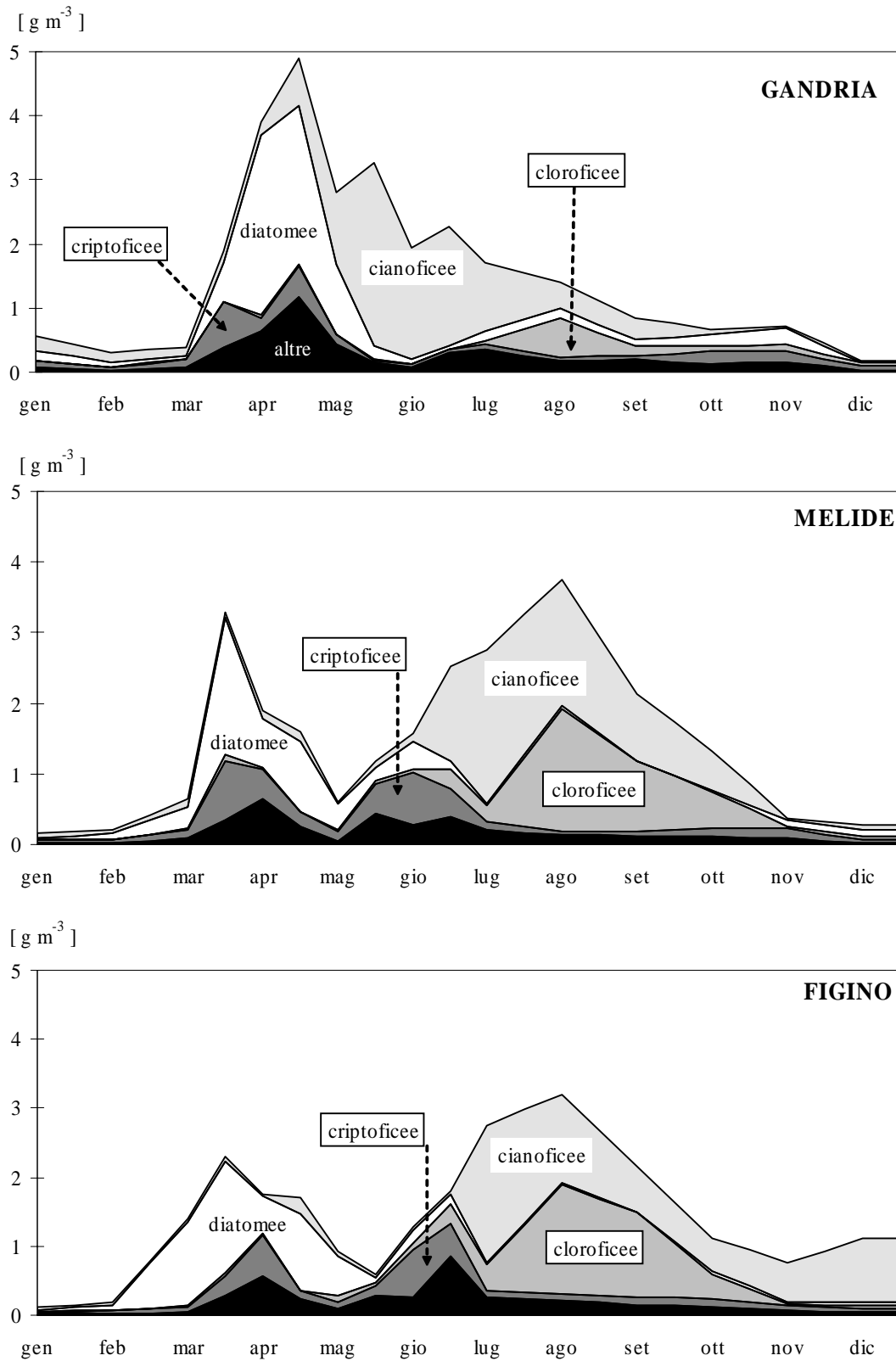


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2003: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

6.3. Clorofilla

Quale utile complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, anche nel corso del 2003 è stato analizzato il contenuto di clorofilla *a* nelle acque epilimniche del lago. Come di consueto i campioni d'acqua sono stati prelevati lungo la colonna d'acqua compresa tra la superficie e 20 m, sia a profondità discrete sia in modo integrale.

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

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

L'andamento stagionale è caratterizzato, in tutto il lago, da un'intensa fase di sviluppo primaverile, con valori elevati e distribuiti omogeneamente su di un ampio strato della colonna d'acqua. In accordo con quanto osservato per i popolamenti fitoplanctonici (cfr. paragrafo 6.1.), i massimi sono stati raggiunti in momenti successivi: dapprima a Figino (12 marzo, 30 mg m^{-3}), poi a Melide (25 marzo, 38 mg m^{-3}), ed infine a Gandria (22 aprile, 29 mg m^{-3}), a profondità comprese tra 1.25 m (Figino) e 3.75 m (Gandria e Melide). Il periodo successivo (maggio-settembre) presenta un andamento nettamente differente nei due bacini. A Gandria le concentrazioni di clorofilla, si mantengono permanentemente basse (<10) nello strato superiore dell'epilimnio (0-10 m), mentre rivelano la presenza di popolamenti algali nell'epilimnio profondo a fine maggio (a 10 m: 24 mg m^{-3}), ed a metà luglio (a 10 m: 19 mg m^{-3}). Nel bacino sud si può osservare come l'epilimnio lacustre risulti colonizzato da due popolamenti algali sovrapposti: uno in profondità (attorno a 10-12.5 m), più prolungato nel tempo (giugno-settembre) e con concentrazioni più elevate (massimi fino a 34 mg m^{-3}) rispetto al bacino nord; l'altro più superficiale (attorno a 5 m), limitato al mese d'agosto, con massimi compresi tra 20 e 25 mg m^{-3} .

A titolo di confronto, nella figura 6.3.2. è riportato il dettaglio grafico (strato 0-20 m) delle isolinee relative all'andamento dell'assorbanza (cfr. paragrafo 5.2.): i dati di base sono stati rilevati con frequenza quindicinale, e con un intervallo di misura di 1 m. Questo parametro permette di rilevare la distribuzione lungo la colonna d'acqua del materiale particellato, e quindi anche della biomassa fitoplanctonica. Di fatto gli andamenti delle isolinee della clorofilla e dell'assorbanza presentano un elevato grado di corrispondenza, e questo anche grazie all'assenza di forti eventi alluvionali (particellato alloctono) nel corso dell'anno.

E' interessante notare l'aumento dei valori d'assorbanza al di sotto della termoclina (situata attorno a 12.5 m), durante la stratificazione estiva del lago: questo fenomeno, la cui intensità si manifesta in grado crescente da Gandria a

Figino, può essere messo in relazione con i processi di mineralizzazione del materiale organico a livello metalimnico (cfr. paragrafo 5.4.).

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

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

Le curve presentano un'elevata correlazione con i valori della biomassa fitoplanctonica (0.91-0.92). I massimi annui corrispondono al periodo primaverile, e risultano compresi tra 15 mg m⁻³ (Gandria, Figino) e 18 mg m⁻³, mentre i minimi, misurati in febbraio, si situano attorno ad 1.0 mg m⁻³. Una seconda punta estiva, di minor entità, è riscontrabile a fine luglio nel bacino nord (10 mg m⁻³), ed in agosto nelle due stazioni del bacino sud (14-15 mg m⁻³). Nel corso degli ultimi due mesi dell'anno i valori si mantengono relativamente elevati (>5 mg m⁻³) unicamente nella stazione di Figino, in concomitanza con la fase di sviluppo del popolamento di *Planktothrix rubescens* (cfr. Tab. 6.1.).

In un anno in cui l'apporto esterno di nutrienti è risultato particolarmente scarso (cfr. paragrafo 4.3.), i **valori medi annui** della clorofilla nelle tre stazioni rispecchiano l'aumento di livello trofico del lago lungo il suo asse di deflusso (**Gandria: 6.5 mg m⁻³, Melide: 6.8, Figino: 7.4**). La presenza di un tale gradiente risulta ancora più evidente se si confrontano i valori di concentrazione della clorofilla presente nello strato produttivo, definito in base alla profondità di penetrazione subacquea dell'energia fotosintetica (Z_{1%}; cfr. paragrafo 6.4.): a Gandria: 8.3 mg m⁻³, a Melide: 9.4, a Figino: 10.4.

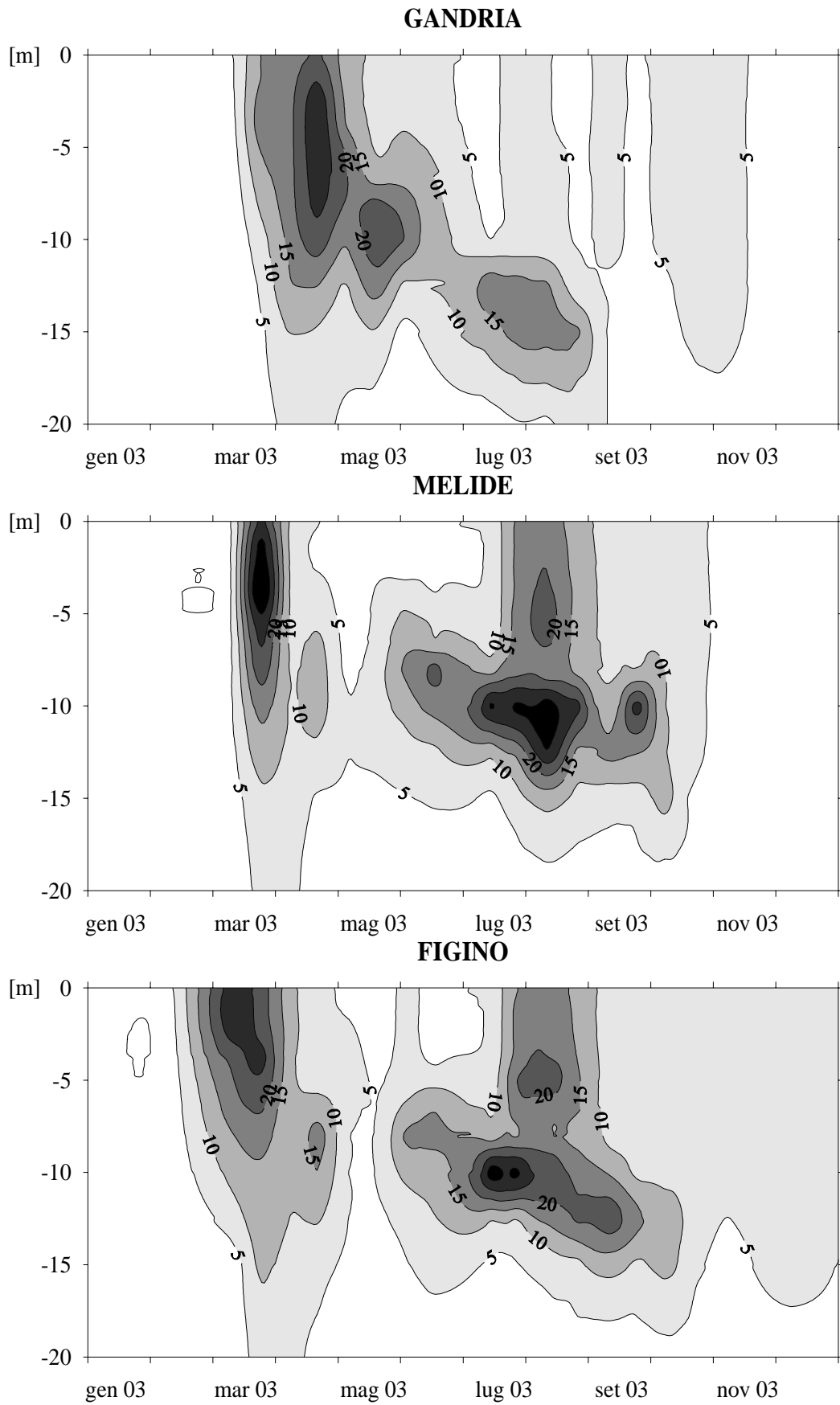


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2003: isolinee della clorofilla *a* [mg m^{-3}]

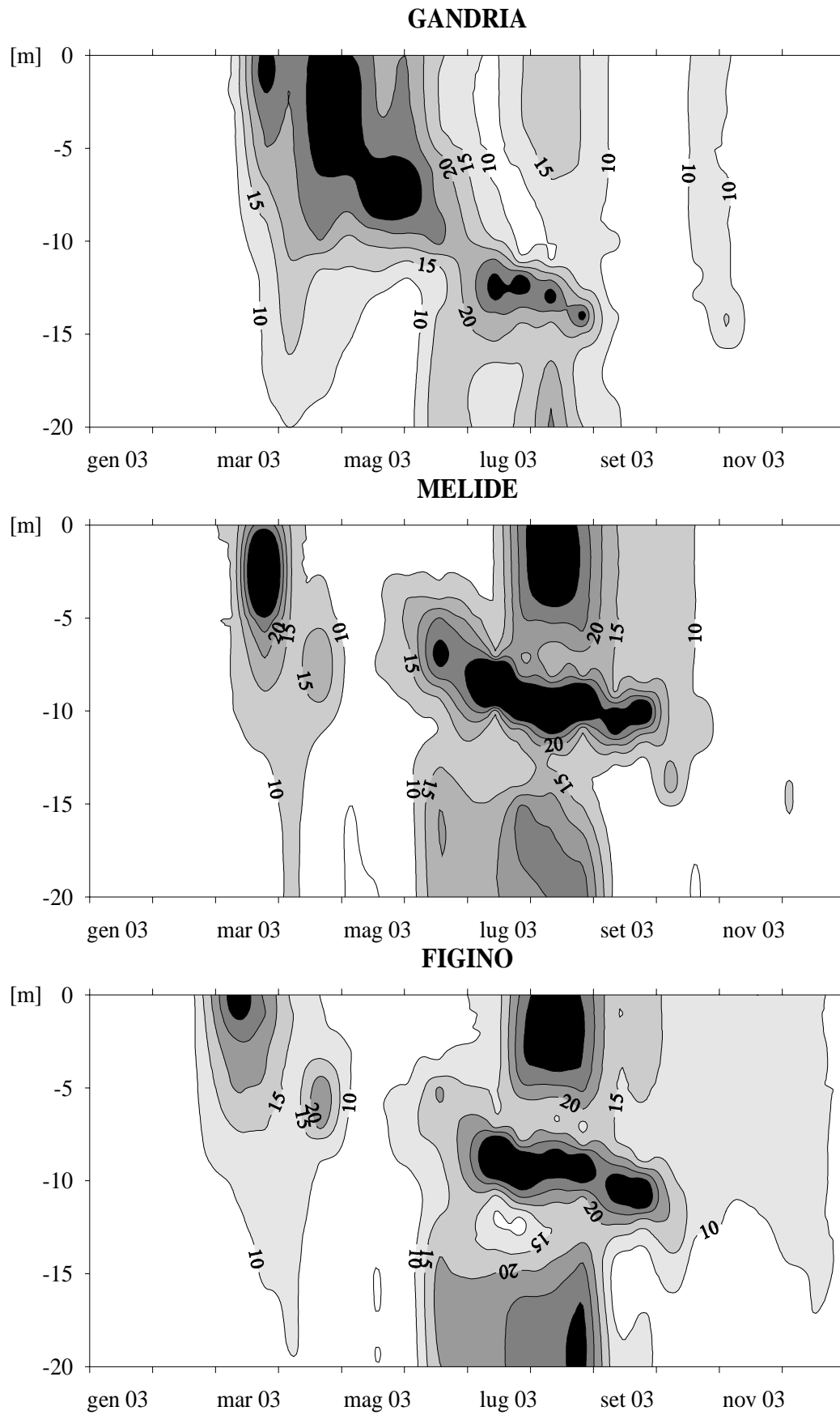


Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2003: isolinee dell'assorbanza luminosa [%]

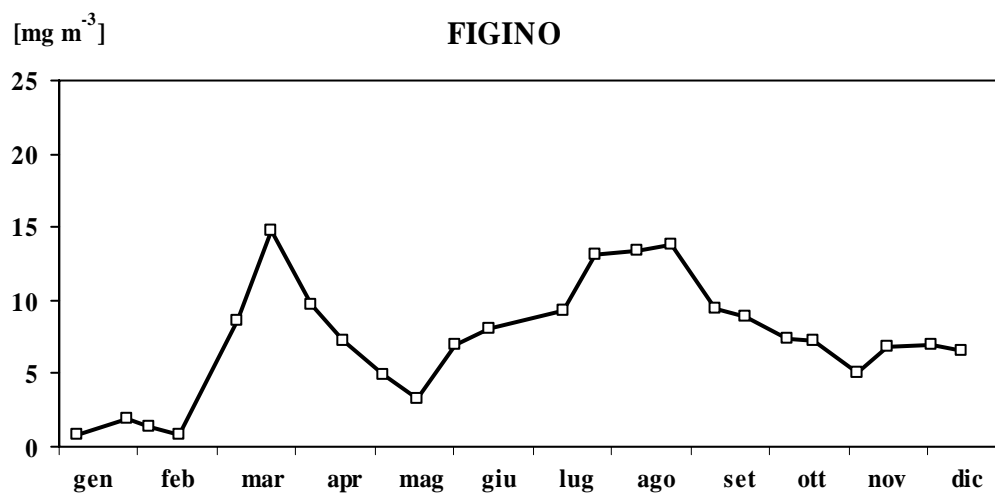
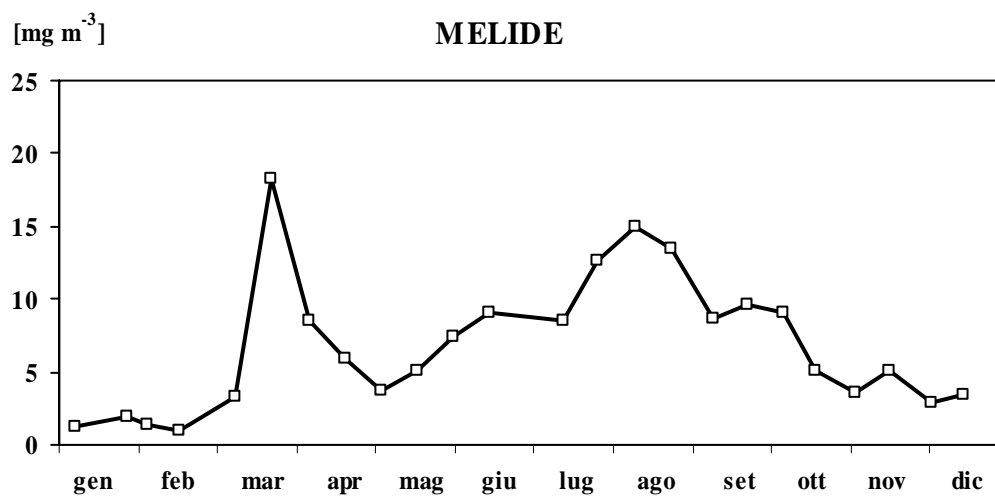
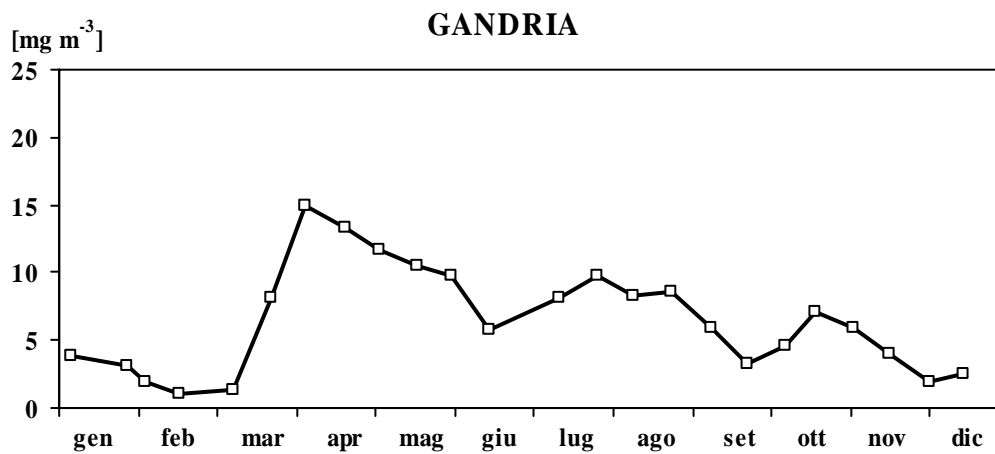


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2003: andamento della clorofilla *a* nello strato 0-20 m.

6.4. Produzione primaria

- Radiazione fotosintetica e strato trofogeno

La misura della radiazione fotosintetica viene utilizzata ai fini della stima della produzione primaria giornaliera, calcolata secondo la relazione di Gächter [7]. L'applicazione di tale relazione richiede condizioni d'irraggiamento solare sufficienti durante il periodo di misura in situ. Per una corretta stima dei dati mensili di produzione risulta quindi opportuno confrontare le condizioni d'irraggiamento rilevate durante le giornate di prelievo con il corrispondente valore medio mensile. Come si può osservare dalla figura 6.4.1., nel corso dei campionamenti del 2003 si le condizioni d'irraggiamento solare sono state generalmente favorevoli, con valori non di rado al di sopra della media mensile, fatta eccezione per le misure d'aprile a Figino, e per quelle di luglio e dicembre a Gandria. Di conseguenza il valore di produzione calcolato per il 2003 potrebbe risultare complessivamente sovrastimato in tutte le stazioni del lago, (circa 10-15%).

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.

Nel corso del 2003 le condizioni d'irraggiamento subacqueo dei due bacini lacustri hanno presentato un andamento piuttosto contrastante: mentre infatti, nel bacino sud la penetrazione della luce ha toccato i massimi annui all'inizio dell'anno ($Z_{1\%}$ a Melide 18.9 m, a Figino 16.0 m), e non ha fatto registrare un calo sensibile durante la fase primaverile di sviluppo algale ($Z_{1\%} > 8$ m), nel bacino nord i valori $Z_{1\%}$ sono rimasti costantemente al di sotto dei 14 m durante i primi mesi dell'anno, per scendere poi drasticamente tra aprile (5.9 m) e maggio (7.2 m).

Durante il secondo semestre i valori del bacino nord si presentano in costante aumento, come conseguenza del progressivo impoverimento del popolamento fitoplanctonico negli strati superficiali del lago (cfr. Fig. 6.3.2.), per raggiungere infine, in dicembre, un massimo annuo di tutto rilievo (21.8 m). Nel bacino sud, invece, lo sviluppo estivo del fitoplancton provoca una riduzione dei valori $Z_{1\%}$, fino a toccare, in agosto, i minimi annui (Melide: 8.1 m; Figino: 7.2 m); un miglioramento delle condizioni di trasparenza delle acque, in concomitanza con la conclusione del periodo vegetativo, si verifica, per questo bacino, unicamente nella stazione di Melide (in dicembre: 15.6 m.), mentre a Figino, a causa del perdurare del popolamento di *Planktothrix rubescens* (cfr. Tab. 6.1.).

Complessivamente, quindi, la media annua di $Z_{1\%}$ (Gandria: 11.7 m, Melide: 12.4 m, Figino: 10.3 m) rappresenta la sintesi tra le condizioni d'irraggiamento subacqueo, più favorevoli nel bacino sud durante il primo semestre (Gandria: 10.5 m, Melide: 13.9 m, Figino: 11.6 m), e più favorevoli al bacino nord durante il secondo (Gandria: 13.0 m, Melide: 11.0 m, Figino: 9.0 m).

- Produzione giornaliera ed annua

Nella Fig. 6.4.3. è riportato l'andamento dell'attività fotosintetica del fitoplancton, rilevata mensilmente nelle tre stazioni principali del lago nel corso del 2003. Sulla base delle misure effettuate in situ è stato calcolato sia il valore giornaliero di produzione primaria, corrispondente alla rata d'assimilazione del carbonio per unità di superficie lacustre (linea continua, $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$), sia quello della produttività all'interno dello strato trofogeno, corrispondente alla rata d'assimilazione del carbonio per unità di volume (linea tratteggiata, $\text{g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$). Quest'ultimo dato permette di confrontare ambienti trofici differenti in quanto indipendente dallo spessore dello strato produttivo.

Il primo contributo di rilievo alla produzione primaria del 2003, fornito dalla fase di sviluppo primaverile delle diatomee (marzo-maggio), è risultato nettamente più consistente nel bacino nord (massimo: $2.1 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) rispetto al bacino sud (massimi tra 1.1 e $1.2 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Nel corso della seconda parte del periodo vegetativo (giugno-ottobre) i due bacini presentano un andamento dei valori del tutto differente: in quello nord la produzione algale decresce progressivamente (da 1.7 a $0.9 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$), e senza interruzioni (il valore di luglio risulta evidentemente sottostimato a causa dello scarso irraggiamento in occasione della giornata di campionamento, cfr. Fig. 6.4.1.), mentre nel bacino sud i valori evidenziano dapprima una fase di crescita fino ai massimi annui (a Melide 1.9 , a Figino $1.7 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$), e successivamente un calo costante fino all'autunno.

La **produzione areale annua** non presenta differenze di rilievo tra le stazioni campionate: essa risulta molto simile a **Gandria** ($355 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$) e **Melide** ($349 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$), e leggermente inferiore a **Figino** ($314 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$). Si tratta di valori tra i più elevati dell'ultimo decennio, raggiunti grazie alle favorevoli condizioni d'irraggiamento, e, soprattutto per quanto si riferisce al bacino nord, al consistente rifornimento interno di nutrienti provocato dalla circolazione invernale.

Il dato di produttività nello strato trofogeno, che costituisce, d'altra parte, una base di confronto più significativa, conferma le analogie trofiche tra le due stazioni del bacino sud (entrambi attorno a $34 \text{ g C m}^{-3} \text{a}^{-1}$) e l'elevato potenziale di reazione del bacino nord ($39 \text{ g C m}^{-3} \text{a}^{-1}$) a fronte di un aumento del carico eutrofizzante.

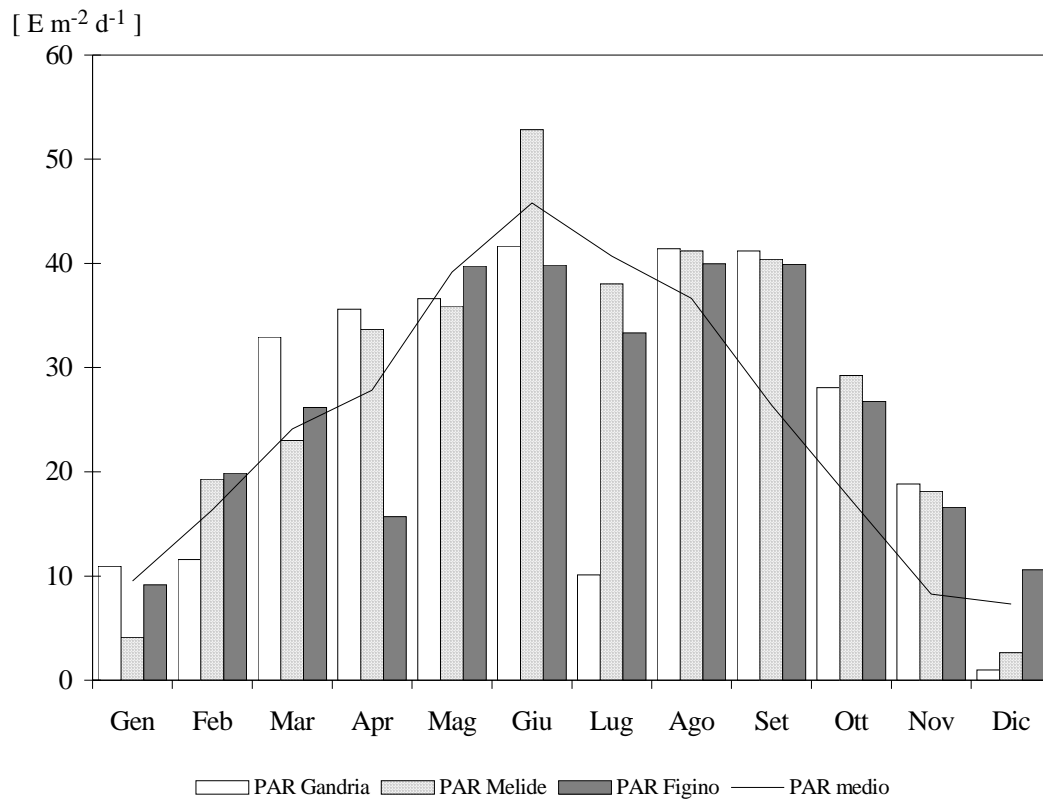


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2003: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

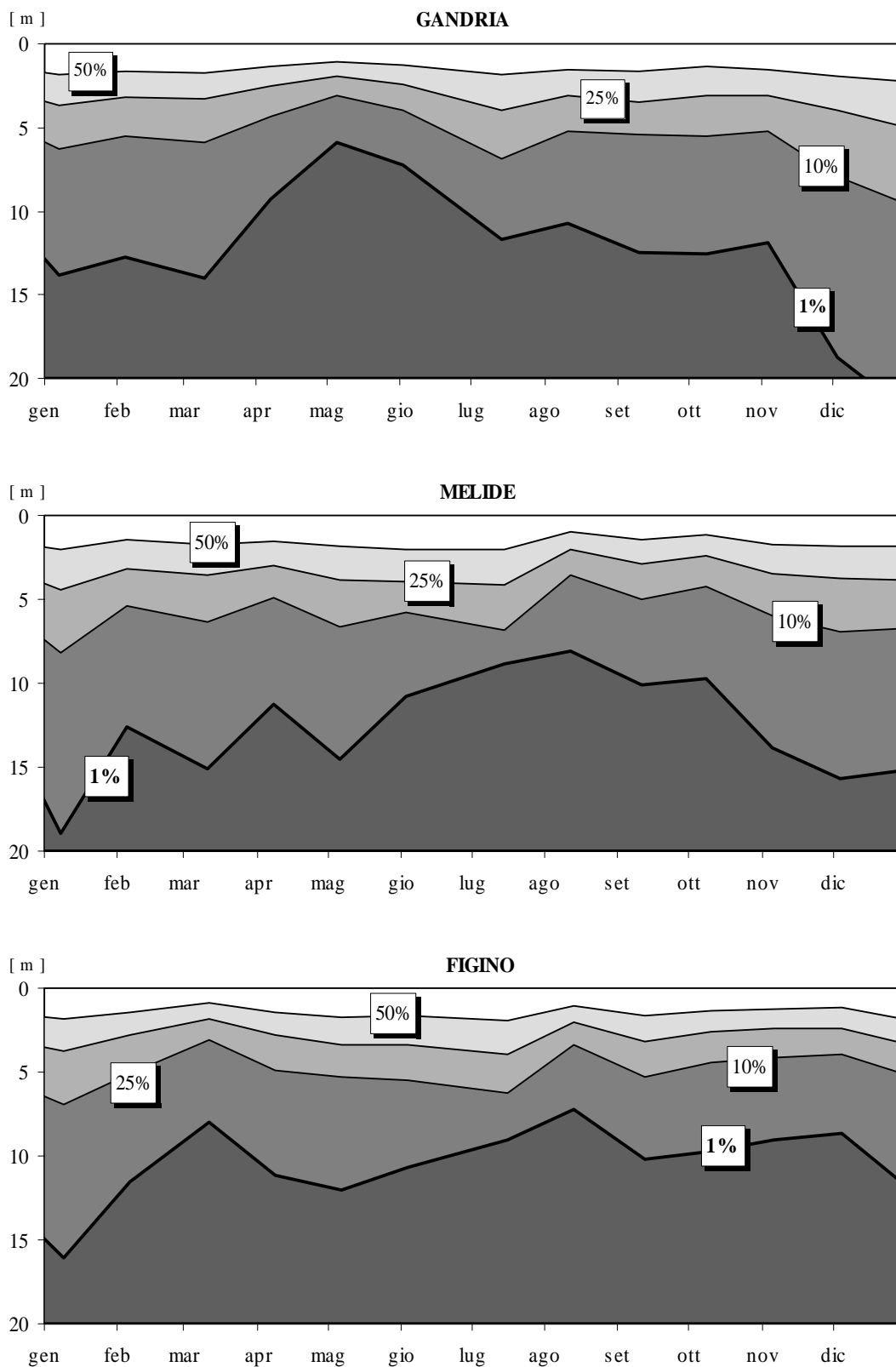


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2003: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

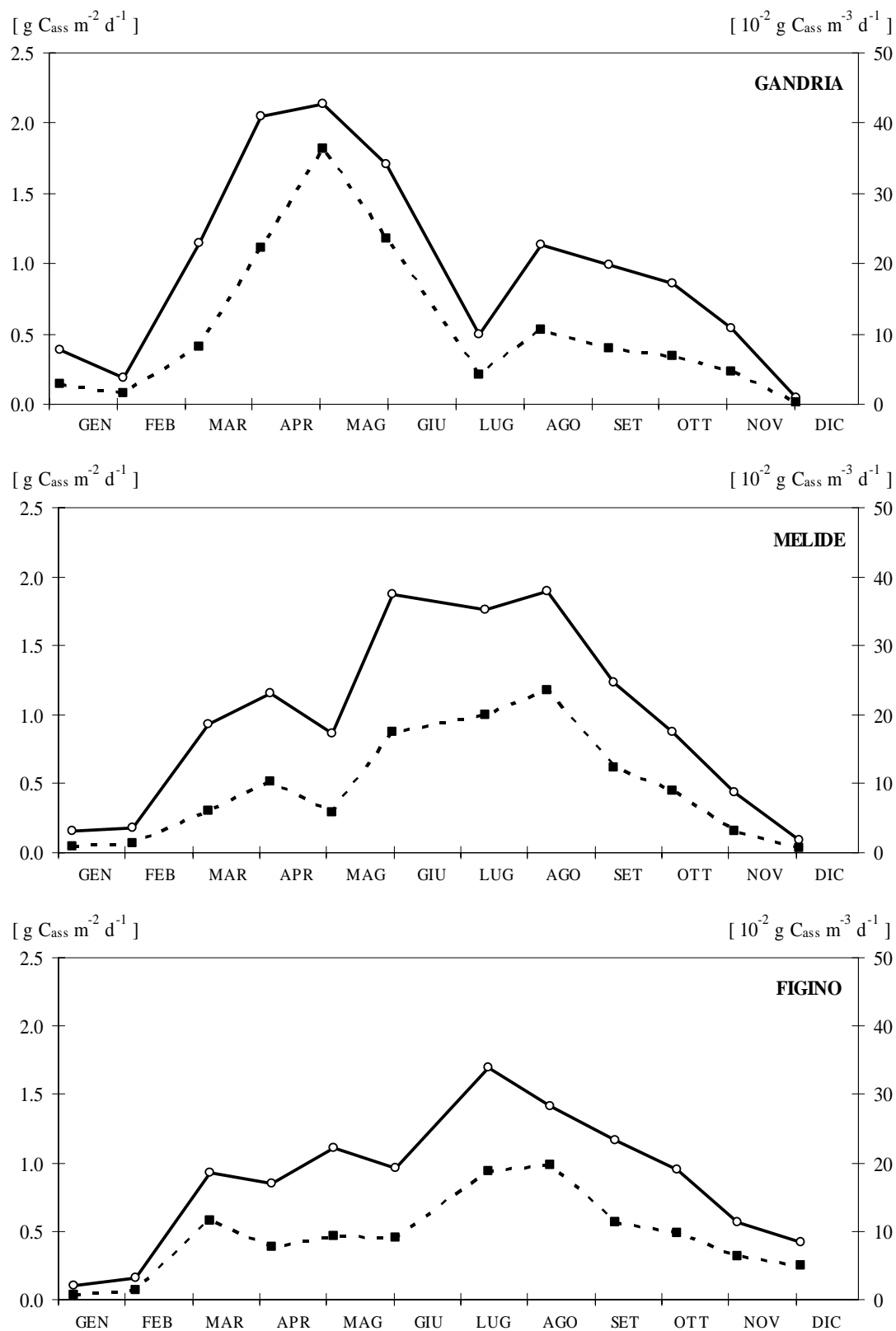


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2003: andamento della produzione primaria areale (linea continua; $g C_{ass} m^{-2} d^{-1}$) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata; $g C_{ass} m^{-3} d^{-1}$).

7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici sono proseguite nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano nel corso del 2003. I campionamenti sono stati effettuati con frequenza mensile durante tutto l'anno, ed intensificati nel periodo tra marzo e giugno, inserendo quattro prelievi supplementari per meglio seguire la rapida dinamica della biocenosi pelagica all'inizio del periodo vegetativo. L'analisi dei campioni, raccolti secondo le metodologie già utilizzate negli anni precedenti, prevede, per i principali gruppi tassonomici, il conteggio delle singole specie e la misura del loro biovolume unitario medio, sulla cui base viene calcolato il dato di biomassa (peso secco; cfr. Dumont et al., 1975).

7.1. Densità dei popolamenti

Nella Fig. 7.1. è riportato l'andamento dei valori cumulati di densità dello zooplancton da crostacei, suddividendo tra le due principali categorie tassonomiche presenti nel lago: i cladoceri (area bianca) ed i copepodi (area grigia); all'interno dei copepodi la suddivisione fra ciclopidi e calanoidi è segnata da una diversa tonalità.

Le due stazioni del bacino sud presentano un numero superiore d'individui, sia per i copepodi sia per i cladoceri, rispetto alla stazione del bacino nord. I valori medi annui risultano tutti in netta ripresa rispetto all'anno precedente (Gandria: copepodi 0.82×10^6 ind m^{-2} , cladoceri 0.22; Melide: copepodi 0.96, cladoceri 0.34; Figino: copepodi 0.89, cladoceri 0.32).

Nel bacino nord si osservano due punte dei valori di densità (maggio, luglio), entrambi costituite prevalentemente da copepodi ciclopidi (70-80%). Nel corso del periodo estivo si osserva un aumento progressivo del contributo percentuale dei cladoceri, che arrivano a rappresentare, in settembre, oltre un terzo del totale degli individui.

Nel bacino sud si possono invece distinguere tre punte di densità: a Melide in maggio, agosto e novembre, a Figino in maggio, luglio e settembre. In occasione dei massimi estivi il contributo percentuale dei cladoceri ha sfiorato il 50%, e nella punta di novembre, a Melide, questo gruppo ha costituito addirittura il 52% del numero totale d'individui.

Come di consueto i **copepodi** hanno costituito la frazione più abbondante del lago, grazie anche all'elevato numero di forme larvali (naupli) e giovanili (copepoditi). Fra i ciclopidi, il popolamento di *Cyclops abyssorum* è risultato simile in tutto il lago, e presenta il suo massimo tra la seconda metà d'aprile e la prima metà di maggio. Più contenuti sono risultati i valori di *Thermocyclops crassus* (massimi tra giugno e luglio), e di *Mesocyclops leuckarti*. L'unico rappresentante dei calanoidi, *Eudiaptomus gracilis*, è stato presente durante tutto l'anno a livelli contenuti.

Fra i **cladoceri**, *Daphnia hyalina* e *Diaphanosoma brachiurum*, le due specie numericamente più importanti del lago, hanno fatto registrare una netta ripresa rispetto all'anno precedente: la prima specie, più abbondante nel bacino nord, ha avuto una fase di forte sviluppo in maggio, in tutto il lago ($0.38-0.43 \times 10^6$ ind m^{-2}) e successivamente in settembre, ma unicamente nel bacino nord (0.41×10^6

ind m^{-2}); la seconda specie, nettamente più abbondante nel bacino sud, ha raggiunto il suo massimo dapprima a Gandria (luglio: 0.37×10^6 ind m^{-2}), poi a Melide (agosto: 0.65×10^6 ind m^{-2}), ed infine a Figino (settembre: 0.56×10^6 ind m^{-2}). In forte ripresa anche il popolamento di *Eubosmina coregoni* nel bacino sud, i cui massimi valori di densità sono stati misurati dapprima a Figino in settembre-ottobre ($0.39-0.41 \times 10^6$ ind m^{-2}), ed il mese successivo a Melide (0.70×10^6 ind m^{-2}).

Il periodo di sviluppo di *Leptodora kindtii*, l'unico cladocero carnivoro del lago, è iniziato in momenti successivi nelle tre stazioni del lago: dapprima a Melide (fine maggio), quindi a Figino (inizio giugno), ed infine a Gandria (fine luglio, raggiungendo massimi di densità compresi tra 11'000 e 14'000 ind m^{-2}).

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

7.2. Biomassa zooplanctonica

In generale il 2003 ha fatto registrare un'inversione nella tendenza degli ultimi anni, in cui i valori di biomassa dei crostacei erano andati calando costantemente. La ripresa del popolamento zooplanctonico ha portato anche ad un sostanziale livellamento delle **medie annue** nelle tre stazioni di campionamento (a **Gandria e Figino: 4.4 g m^{-2}** , a **Melide: 4.5 g m^{-2}**). Come illustrato dell'andamento dei valori (Fig. 7.2.), in occasione del campionamento d'inizio maggio è stato raggiunto il **massimo** annuale di biomassa (**Gandria e Melide 9.3 g m^{-2}** , **Figino: 8.1 g m^{-2}**), in concomitanza con la principale fase di sviluppo di *Daphnia hyalina*. Le ulteriori punte di biomassa delle tre stazioni risultano distribuite in momenti differenti. Per quanto riguarda il bacino nord, si ne osserva una già in febbraio (5.6 g m^{-2}), costituita per circa un terzo da *D. hyalina*, e per un altro terzo da *Eudiaptomus gracilis*, ed un'altra in settembre (7.0 g m^{-2}), nuovamente con un determinante contributo da parte di queste due specie (rispettivamente 55% e 25% del totale). L'andamento della biomassa zooplanctonica nelle due stazioni del bacino sud, risulta caratterizzato da una serie di punte successive a partire dal mese di giugno, tutte legate a fasi di sviluppo dei cladoceri: a Melide in giugno (42% *D. hyalina*), in agosto (23% *D. hyalina*, 19% *Diaphanosoma brachiurum*), in novembre (23% *D. hyalina*, 26% *Eubosmina coregoni*); a Figino in giugno (60% *D. hyalina*), in luglio (34% *D. hyalina*, 10% *D. brachiurum*), in settembre (17% *D. hyalina*, 14% *D. brachiurum*, 10% *E. coregoni*).

La Fig. 7.3. illustra i rapporti percentuali fra i due principali gruppi zooplanctonici (copepodi, cladoceri) all'interno dei due livelli della catena alimentare considerati (erbivori e carnivori). In generale anche sotto quest'aspetto si osserva un sostanziale livellamento dei valori fra le stazioni campionate, con la componente erbivora solo leggermente meno abbondante nel bacino nord (2.8 g m^{-2}) rispetto al bacino sud (2.9 g m^{-2}), e quella carnivora leggermente inferiore a Figino (1.4 g m^{-2}) rispetto alle altre due stazioni (1.6 g m^{-2}).

L'andamento temporale mette in evidenza una differente distribuzione dei periodi di predominanza dei crostacei predatori (>50%) nei due bacini: a

Gandria questo avviene in maniera marcata in marzo-aprile (68-73%) e successivamente in giugno (59%); a Melide e Figino all'inizio d'aprile (58-71%) ed in dicembre (60-71%). Per contro i momenti di maggior predominio degli erbivori (>75%) corrispondono al periodo agosto-novembre per Gandria, settembre-novembre per Melide, ed ottobre-novembre per Figino.

Per quanto riguarda la biomassa carnivora, vi è da ricordare che essa continua ad essere costituita prevalentemente dagli stadi adulti dei ciclopidi (*Cyclops*, *Thermocyclops*, *Mesocyclops*), mentre il contributo dei cladoceri (unicamente con *Leptodora kindtii*) raggiunge punte massime del 4-6%, tra giugno ed ottobre nel bacino nord, e tra maggio e giugno in quello sud.

Complessivamente i dati raccolti nel corso del 2003 evidenziano una generale stabilizzazione dei rapporti tra le principali componenti della biomassa planctonica del lago, indicando un rapporto ponderale tra fitoplancton, zooplancton erbivoro, zooplancton carnivoro praticamente identico in tutte e tre le stazioni campionate (rispettivamente 62%, 24%, 14%).

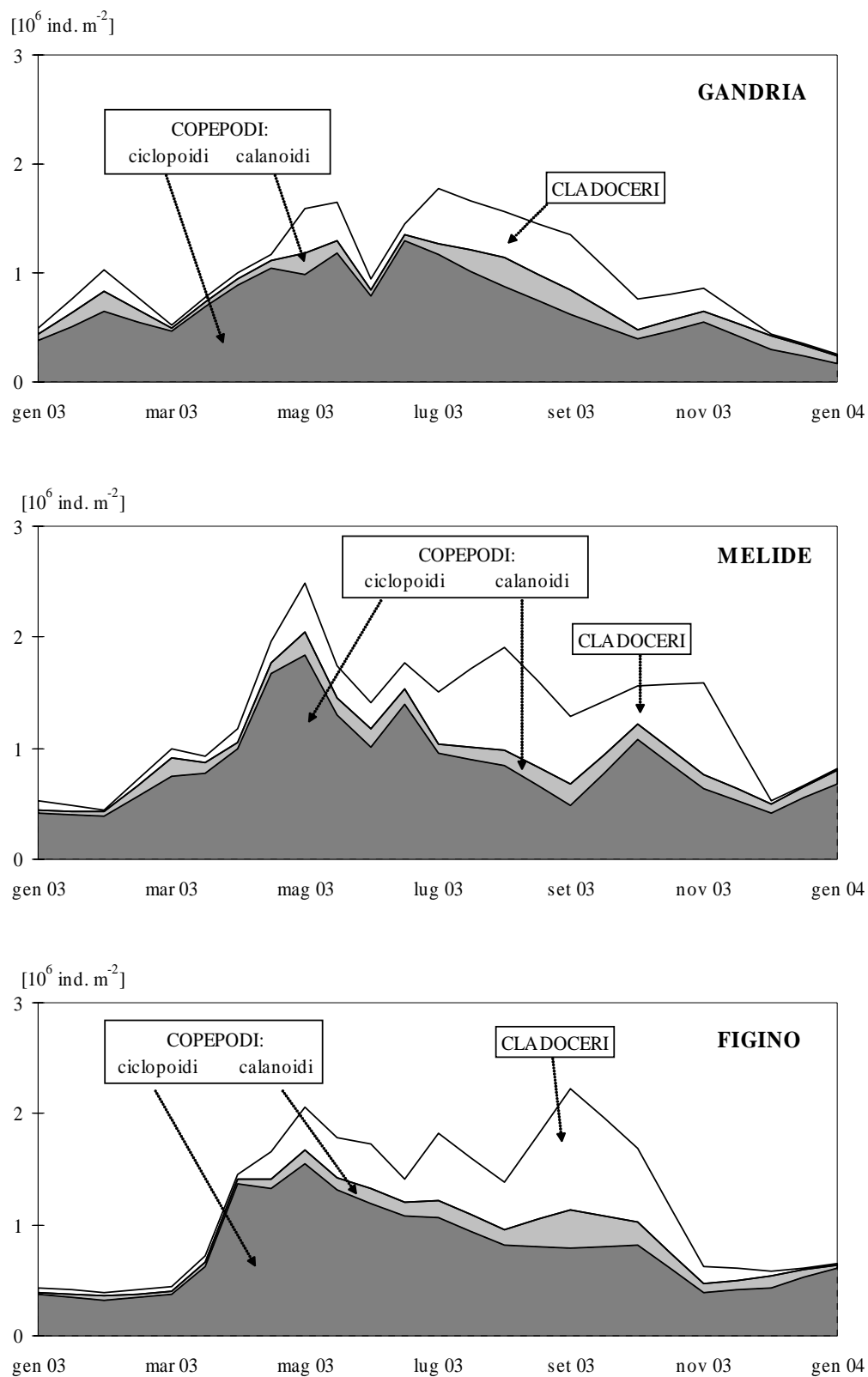


Fig. 7.1. Lago di Lugano, 2003: andamento della densità cumulata dello zooplancton da crostacei.

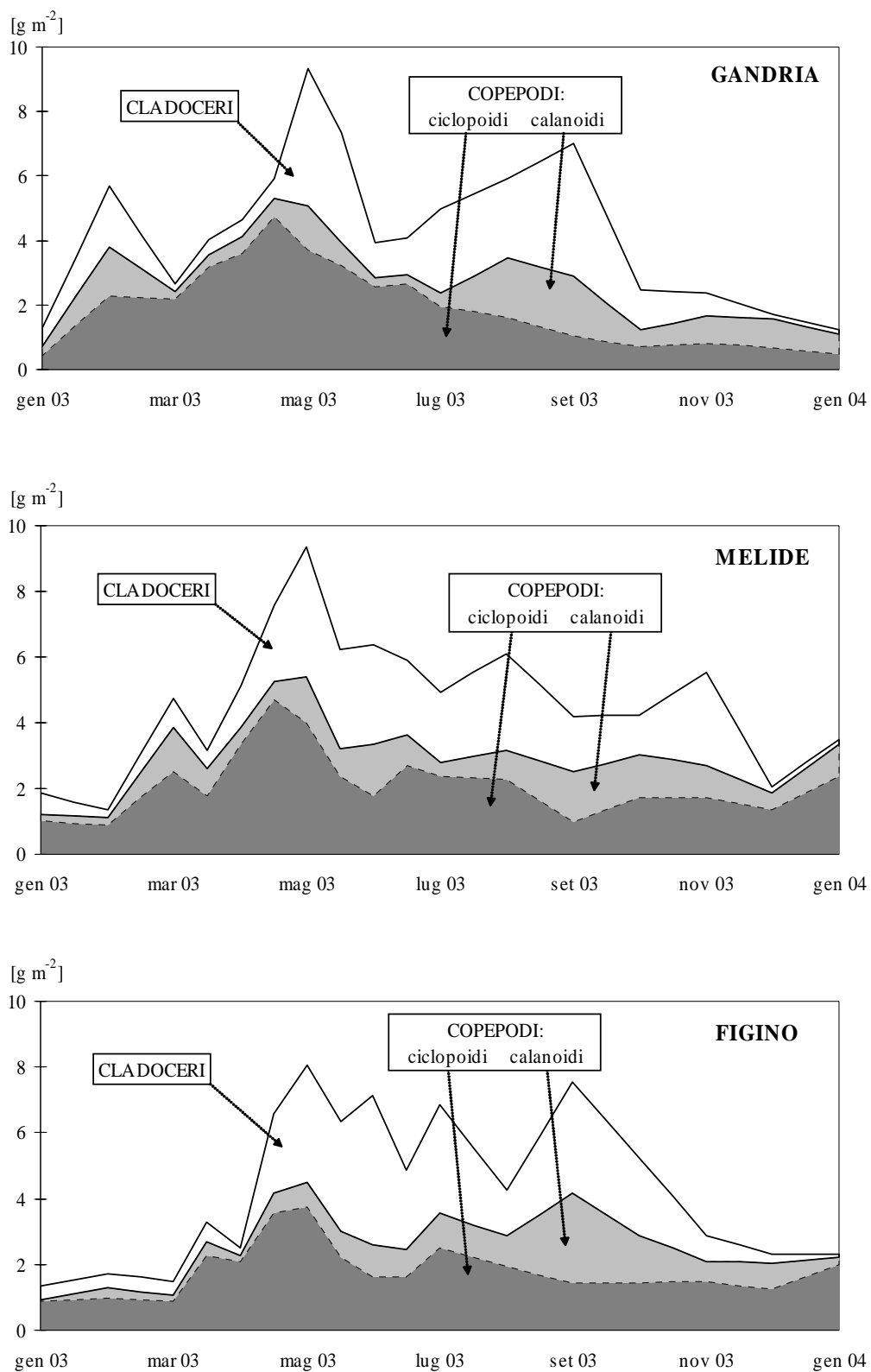


Fig. 7.2. Lago di Lugano, 2003: andamento della biomassa cumulata dello zooplankton da crostacei (peso secco).

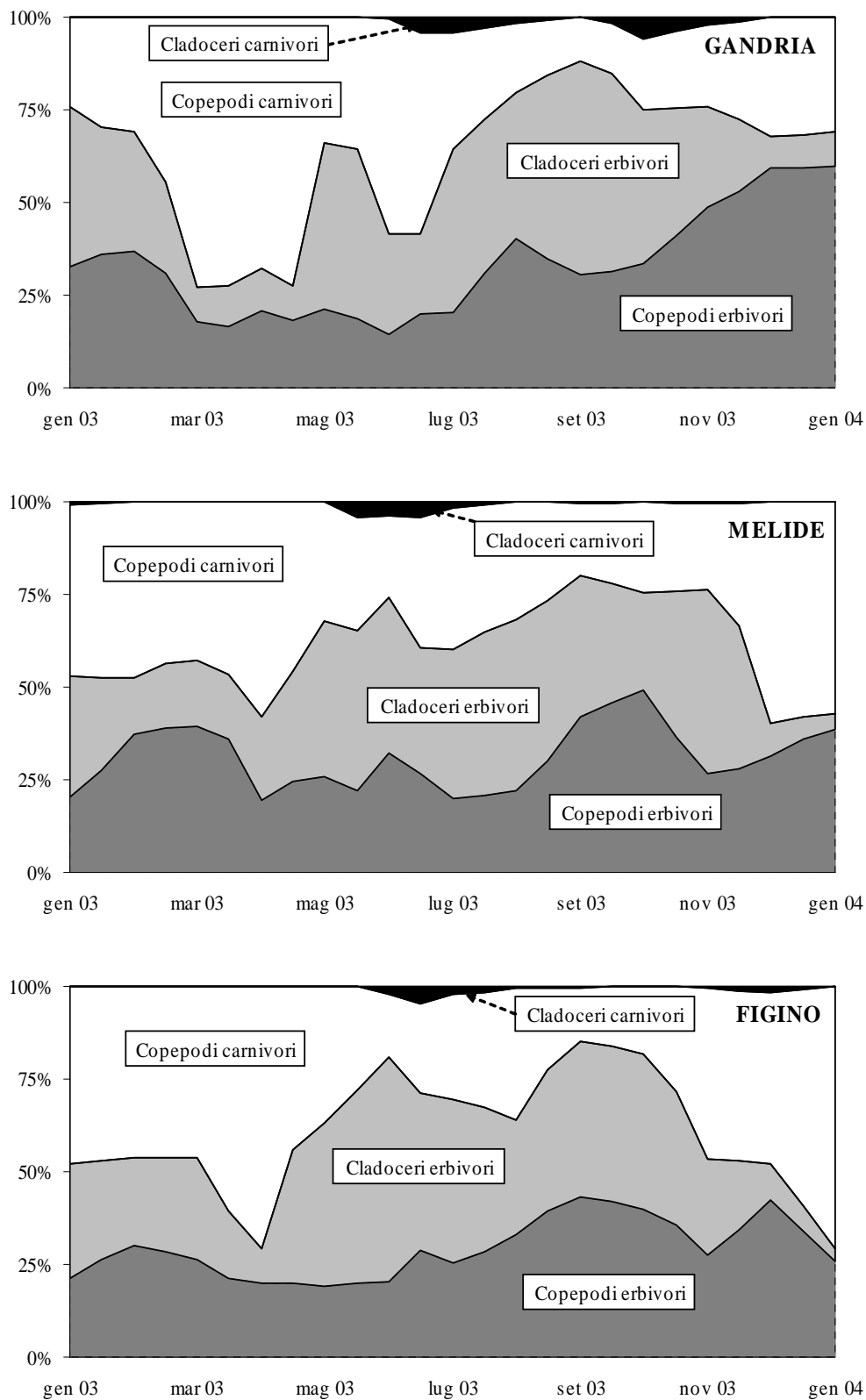


Fig. 7.3. Lago di Lugano, 2003: andamento percentuale della biomassa dello zooplankton erbivoro e carnivoro (peso secco).

8. CONCLUSIONI

Le estreme condizioni meteorologiche dell'anno 2003, caratterizzate da valori di precipitazioni tra i più bassi in assoluto dell'intero periodo d'osservazione, e da temperature ed irraggiamento solare eccezionalmente elevati, hanno influenzato in misura sensibile l'andamento limnologico del Lago di Lugano.

Gli effetti della scarsità di precipitazioni si sono manifestati in un drastico calo dei valori di portata dei tributari (tra -40% e -60%), e di conseguenza in una forte riduzione degli apporti esterni di nutrienti. La stima dei carichi annui confluiti al lago è risultata inferiore di circa il 30% rispetto all'ultimo quinquennio, sia per l'azoto sia per il fosforo. Il carico annuo di fosforo, che comprende la quota relativa ai tributari campionati e la quota non campionata, ha raggiunto il valore ammissibile per il bacino nord, ed è risultato superiore del 30% circa a quello ammissibile previsto per il bacino sud.

Nonostante questa favorevole evoluzione alcuni corsi d'acqua tributari del lago hanno continuato a presentare condizioni qualitative critiche, o addirittura insufficienti rispetto ai parametri di riferimento previsti. I principali problemi riguardano principalmente il fiume Bolletta (per l'azoto ammoniacale, ed in parte per la richiesta biochimica d'ossigeno), e secondariamente il Laveggio e lo Scairolo (limitatamente all'ammonio). Per il Bolletta si conferma, inoltre, un forte superamento dei limiti fissati per le concentrazioni di fosforo totale in funzione degli obiettivi di risanamento del lago, avendo fatto registrare nel 2003 un valore mediano elevato e valori di punta estremamente alti. Nonostante il suo carico idrico relativamente modesto, questo corso d'acqua riversa nel lago, a tutt'oggi, il carico di fosforo più elevato fra tutti i tributari campionati.

Gli effetti dell'andamento meteorologico si sono manifestati anche nei processi limnologici nel Lago di Lugano. Grazie ad un inverno abbastanza rigido (in particolare febbraio) e sufficientemente ventoso, il rimescolamento invernale ha favorito la riossigenazione delle acque profonde, che nel bacino nord è scesa fin verso 90 m di profondità, e nel bacino sud ha portato a concentrazioni di circa 5 mg m⁻³ in prossimità del fondo. Nonostante le buone condizioni di partenza, il tenore d'ossigeno degli strati profondi è andato successivamente calando per effetto dell'intensa attività di mineralizzazione, sia nel sedimento, sia nello strato metalimnico (15-20 m). La situazione più critica si è verificata verso fine novembre, quando le concentrazioni minime di riferimento (4 g m⁻³) sono state rispettate, in tutto il lago, unicamente dalla superficie fino al metalimnio.

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

Nel bacino nord, i valori di fosforo mantengono la tendenza, iniziata nel 1998, alla riduzione nell'ipolimnio anossico (100-286 m), e, parallelamente,

all'incremento nello strato ossigenato sovrastante (0-100 m): il monitoraggio dei flussi interni di fosforo rappresenta un elemento fondamentale ai fini di una corretta interpretazione dell'evoluzione trofica in questo bacino [8].

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

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

Il quadro della biocenosi planctonica del 2003 è caratterizzato da un calo generale dei valori di biomassa algale, e, per quanto riguarda lo zooplancton, da una ripresa della componente erbivora e da una sostanziale stabilità di quella carnivora.

Nel bacino nord lo sviluppo del fitoplancton ha avuto il suo massimo sviluppo nel corso del trimestre primaverile (marzo-maggio), come confermano i dati di biomassa, clorofilla, produzione e produttività primaria. La composizione della biocenosi vegetale conferma la predominanza per le cianofitiche (quest'anno prevalentemente filamentose, e stratificate a ridosso del metalimnio), seguite dalle diatomee e peridinee, mentre le clorofitiche (tipicamente estive) sono risultate scarse. Due sono state le specie zooplanctoniche erbivore che hanno evidenziato uno sviluppo di rilievo (*Daphnia hyalina* ed *Eudiaptomus gracilis*).

Nel bacino sud si osserva, oltre alla punta primaverile, un'importante fase di sviluppo estivo, costituita da clorofitiche coccali (nell'epilimnio superiore) e cianofitiche filamentose (nell'epilimnio inferiore): l'analisi spazio-temporale dei valori di clorofilla ha permesso di evidenziare una massiccia presenza di quest'ultime attorno al limite della zona eufotica (12-15 m). Complessivamente il fitoplancton risulta più abbondante nella seconda parte dell'anno, risultando, anche qui, composto prevalentemente da cianofitiche, seguite però dalle clorofitiche (tipicamente estive) e solo in terzo luogo dalle diatomee (tipicamente primaverili). Riguardo al popolamento zooplanctonico, in questo bacino si contano quattro specie erbivore di rilievo (*Daphnia hyalina*, *Eudiaptomus gracilis*, *Diaphanosoma brachiurum*, *Eubosmina coregoni*).

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, si sono lentamente avviate, a partire dai primi anni '90, verso un nuovo quadro limnologico, caratterizzato da una certa variabilità e instabilità, ma sicuramente più accettabile e fruibile rispetto al passato. Risulta pertanto opportuno mantenere sotto controllo anche in futuro l'evoluzione limnologica dell'ecosistema lacustre.

RINGRAZIAMENTI

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

BIBLIOGRAFIA

- [1] LSA (Laboratorio Studi Ambientali); 1981-2002. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano; aspetti limnologici. Campagne annuali 1980-2001. Ed. Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.
- [2] SPINEDI F., 1991. Il clima del Ticino e della Mesolcina con accenni di climatologia generale. Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia, No. 167; Zurigo.
- [3] CONSIGLIO FEDERALE SVIZZERO, 1998. Ordinanza federale sulla protezione delle acque (OPAc), del 28 novembre 1998; Berna.
- [4] CIP AIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere); 1993. Controllo dei carichi di fosforo gravanti sui corpi idrici comuni italo-svizzeri. Gruppo di Lavoro "Interventi di risanamento"; Gruppo di lavoro "Ricerca e stato delle acque"; Milano.
- [5] MEILE, Ch., 1996. Modellierung des Stickstoffkreislaufes im Luganersee-Nordbecken. Diplomarbeit EAWAG-ETH; 123 pp.
- [6] LEHMANN, M.F., 2004. Seasonal variation of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of particulate and dissolved carbon and nitrogen in Lake Lugano: Constraints on biogeochemical cycling in a eutrophic lake. *Limnol Oceanogr.*, 49 (2):415-429.
- [7] GÄCHTER, R., 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion: Modelle und in-situ-Messungen. *Schweiz. Z. Hydrol.* 34:211-244.
- [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} Manuela Simoni Vassalli	laboratorista
Sig. ^{ra} Marina Surace Ecoffey	laboratorista
Sig. ^{ra} Radka Hefti	laboratorista

COLLABORATORI ESTERNI

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

PRELIEVO CAMPIONATORI AUTOMATICI

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

INDIRIZZO DEGLI AUTORI

UFFICIO PROTEZIONE E DEPURAZIONE ACQUE
 SEZIONE PROTEZIONE ARIA, ACQUA E SUOLO
 Riva Paradiso, 15
 CH-6900 LUGANO-PARADISO
 Tel. +41 91 9931301 Fax +41 91 9931268
 e-mail: alberto.barbieri@ti.ch

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

Segretariato:

Dr.^{ssa} Cecilia Moresi
c/o Sezione Protezione Aria, Acqua e Suolo
Via Salvioni 2a
CH-6501 Bellinzona (Svizzera)
Tel: +41 (0)91 814 38 36
Fax: +41 (0)91 814 44 37
E-mail: dt-cipais@ti.ch