

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

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

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 1998-2002

**Campagna 2002
e
Rapporto quinquennale 1998-2002**

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), 2003: *“Ricerche sull’evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 2002 e rapporto quinquennale 1998-2002.”*

Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 110 pp.

RIASSUNTO

Questo volume presenta i dati limnologici sul Lago di Lugano raccolti dall'Ufficio Protezione e Depurazione Acque (UPDA) del Cantone Ticino durante la campagna 2002, nell'ambito dell'attività di ricerca della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere svolta a partire dal 1978. Trattandosi dell'ultimo rapporto del quinquennio 1998-2002 è stato inoltre presentato e discusso l'andamento limnologico del lago sul lungo periodo. Le informazioni ottenute nel corso del 2002 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 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. La progressiva riduzione delle concentrazioni di fosforo riscontrata nell'ultimo decennio è proseguita nel bacino sud, mentre si è arrestata all'interno dello strato 0-100 m del bacino nord. In questo bacino lo stato d'ossigenazione delle acque ipolimniche si è mantenuto sempre molto critico, specialmente nella seconda parte dell'anno. Nell'autunno 2002 il limite dell'anossia è risalito fino a toccare la profondità di 40 m. Gli apporti e le concentrazioni d'azoto totale nel lago sono in costante aumento in entrambi i bacini in seguito alla saturazione del suolo del bacino imbrifero. A livello del popolamento planctonico il quadro del 2002 conferma la risposta della biocenosi all'andamento del carico eutrofizzante e complessivamente si confermano condizioni trofiche attorno a livelli ancora eccessivamente elevati.

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso del 2002 si può affermare che, nonostante il miglioramento osservato sull'intero periodo d'indagine, il Lago di Lugano si trova tuttora in uno stato d'elevata eutrofia, con un tenore di sostanze nutritive in progressiva e costante evoluzione.

SUMMARY

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during 2002 by the Ufficio Protezione e Depurazione Acque (UPDA) of Cantone Ticino, in the frame of the research program promoted since 1978 by the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

As this is the last year of the five-year period 1998-2002 the limnological trend over the long period has been presented and discussed. Information obtained in 2002 contributed to update the long term records available on the different limnological parameters and to describe the trends 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. The progressive reduction in phosphorous concentration, observed during the last decade, has continued in the whole southern basin, whereas it has stopped in the 0-100 m layer of the northern basin. In this latter basin the oxygenation state of hypolimnic water has remained very critical, mainly in the second part of the year. In autumn 2002 anoxia has risen up to 40 m depth. Nitrogen load and concentration in the lake are constantly increasing in both basins following the nitrogen soil saturation of their catchment areas. With respect to the planctonic community in 2002 the biocenosis has reflected trophic conditions still excessively high.

Considering the results obtained in 2002 it can be affirmed that, notwithstanding the improvement observed over the entire investigation period, Lake Lugano is still eutrophic, with nutrient concentrations in progressive and steady development.

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 chimiche e chimico-fisiche dei tributari	21
4.2. Carichi chimici	23
4.3. Bilanci di massa di fosforo e azoto	23
5. <u>CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E CHIMICO- FISICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	35
5.1. Trasparenza	35
5.2. Assorbanza della luce	35
5.3. Temperatura dell'acqua	36
5.4. Ossigeno disciolto	36
5.5. Valore pH ed alcalinità	37
5.6. Conducibilità elettrica specifica	37
5.7. Composti del fosforo	37
5.8. Composti dell'azoto	38
5.9. Silice	39
5.10. Metano	39
5.11. Solfuri	40
5.12. Ferro disciolto	40
5.13. Manganese disciolto	40
6. <u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	61
6.1. Struttura dei popolamenti	61
6.2. Variazioni della biomassa	62
6.3. Clorofilla	64
6.4. Produzione primaria	66
7. <u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	75
7.1. Densità dei popolamenti	75
7.2. Biomassa zooplanctonica	76

8.	<u>ANDAMENTO LIMNOLOGICO SUL LUNGO PERIODO</u>	81
8.1.	Meteorologia	81
8.2.	Andamento termico nei fiumi e nel lago	82
8.3.	Qualità chimica dei corsi d'acqua	82
8.4.	Stato d'ossigenazione delle acque lacustri	83
8.5.	Concentrazione del fosforo totale nel lago	84
8.6.	Concentrazione dei composti azotati nel lago	84
8.7.	Modello di bilancio	85
8.8.	Popolamento planctonico delle acque lacustri	86
8.9.	Produzione primaria e strato trofogeno delle acque lacustri	87
9.	<u>CONCLUSIONI</u>	105
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	107
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	109

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante la campagna d'indagine del 2002, anno che conclude il quinto quinquennio delle ricerche limnologiche sul Lago di Lugano, promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

Questo volume presenta gli elementi indispensabili per descrivere l'andamento limnologico nei bacini principali che costituiscono il Lago di Lugano. Il lago risulta, infatti, suddiviso in tre corpi d'acqua ben distinti (Fig. 1.2.) con caratteristiche morfologiche, idrologiche, fisiche, chimiche e biologiche proprie: questa situazione ha determinato 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.

In alcuni capitoli, in particolare nell'ottavo, si fa riferimento all'andamento dei quinquenni precedenti come base di confronto per i rilevamenti effettuati nel 2002. Questo fatto, oltre che conferire un fondamento più solido alla discussione dei dati, permette di evidenziare il forte influsso esercitato dai fattori meteorologici e climatici sui parametri biologici nelle attuali condizioni trofiche del lago. I dati precedenti sono stati pubblicati nei relativi rapporti annuali, editi dalla Commissione [1].

Nella discussione finale si è cercato di mettere in relazione tra loro l'andamento dei parametri chimici e biologici più significativi, per fornire un quadro complessivo dell'ecosistema costituito dal lago e dal suo bacino imbrifero. Sono state elaborate le informazioni necessarie alla comprensione dei cambiamenti in atto, e le strategie future da adottare per il conseguimento degli obiettivi di qualità.

L'intento di questo rapporto è di evidenziare gli eventi salienti verificatisi nel corso del 2002 e di descrivere, tramite alcuni parametri chiave, l'andamento limnologico sul lungo periodo. Sono state interpretate le risposte più rilevanti fornite dall'ecosistema lacustre al mutare delle situazioni meteorologiche e idrologiche esterne. Particolare impegno è stato messo nel cercare di mettere in evidenza le differenze esistenti tra i diversi sottobacini lacustri, determinate da situazioni d'apporti esterni localizzati o da fenomeni interni al corpo idrico particolarmente significativi.

Tutti i risultati analitici relativi alla campagna di prelievo e di misure del 2002 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]
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)	26'508	10.8	29'984	67.3	56'492	19.5
Ticino (CH)	218'900	89.2	14'600	32.7	233'500	80.5
TOTALE	245'408	84.6	44'584	15.4	289'992	100.0

*) 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).

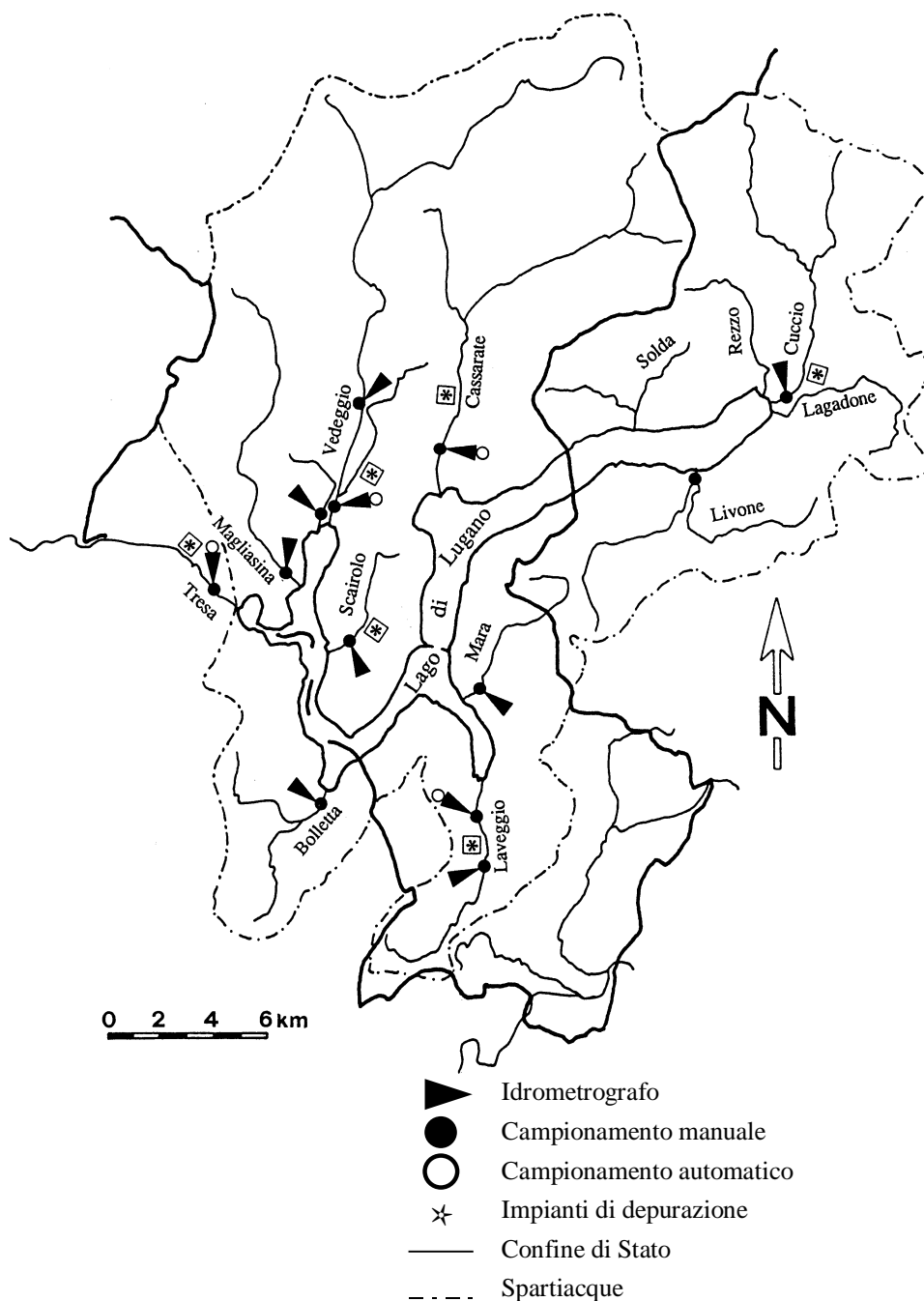


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

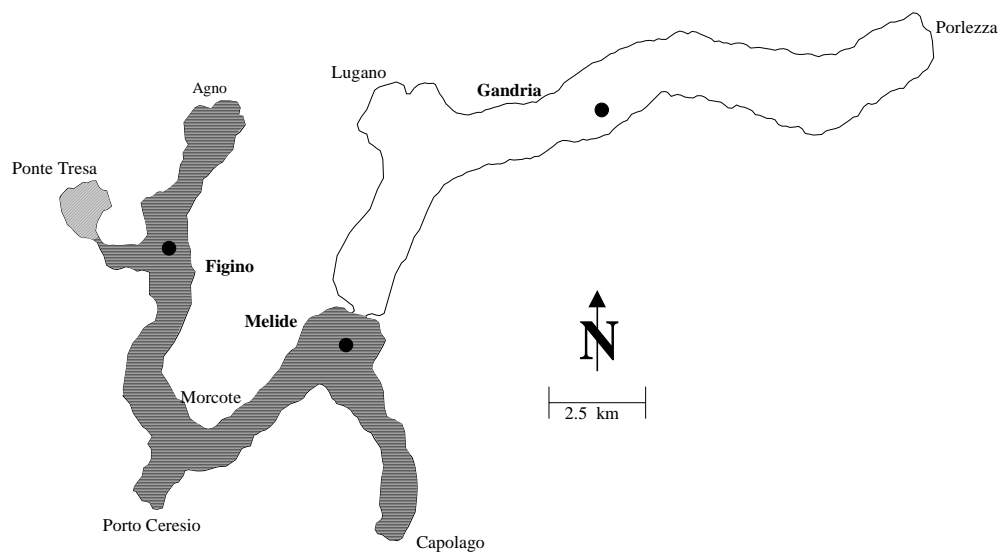





Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

	BACINO NORD
	BACINO SUD
	BACINO di PONTE TRESA

● Parametri fisici, chimici e biologici

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 2002 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 2002 è stato caratterizzato da periodi meteorologici estremi e da un andamento in netto contrasto con l'anno precedente. In particolare si segnalano valori di temperatura atmosferica generalmente elevati, un'acuta fase di siccità all'inizio dell'anno (già iniziata in novembre dell'anno precedente), e due mesi estremamente piovosi (maggio, novembre).

2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2002	4397 MJ m ⁻²
Radiazione - media periodo 1980-99	4244 MJ m ⁻²

Nonostante il calo fatto registrare rispetto all'anno precedente (-5%), l'irraggiamento complessivo del 2002 si è situato, per l'ottavo anno consecutivo, al di sopra della media ventennale, ed è risultato molto simile al valore medio del secondo decennio del periodo di riferimento (1990-1999: 4382 MJ m⁻²).

Come conseguenza di un periodo estivo piuttosto variabile e da un finale dell'anno all'insegna del maltempo, l'andamento mensile (Fig. 2.1) presenta due coppie di mesi con valori deficitari: dapprima luglio-agosto, e quindi novembre-dicembre. Il valore mensile di radiazione più elevato dell'anno si è avuto in giugno (641 MJ m⁻², +13%), mentre quello più basso, in dicembre (98 MJ m⁻², -18%), rappresenta il minimo assoluto mensile sull'intero periodo d'osservazione.

2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2002	13.2 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	12.0 °C

Dal punto di vista termico il 2002 si situa tra gli anni più caldi dell'intero periodo d'osservazione, e va ad aggiungersi alla serie ininterrotta, che dura ormai dal 1988, dei valori superiori alla media pluriennale di riferimento. Per la terza volta nell'ultimo decennio il valore annuo ha superato la soglia dei 13°C, affiancando il massimo assoluto dell'intero periodo d'osservazione, registrato nel 1994.

Dall'andamento delle medie mensili (Fig. 2.2) è possibile rilevare uno scarto negativo rispetto alla norma unicamente nei mesi di luglio (-0.4°C), settembre (-0.6°C), e gennaio (-0.3°C), mentre ben cinque mesi (febbraio, marzo, giugno, novembre e dicembre) hanno fatto registrare incrementi della temperatura media di oltre 2°C, (in giugno e novembre addirittura +2.9 e +3.0°C rispettivamente). Per la seconda volta nel corso degli ultimi vent'anni le temperature di giugno sono risultate superiori di circa mezzo grado a quelle di luglio (nel 2000 la differenza tra questi due mesi era stata di 0.7°C), e proprio in giugno è stata misurata anche la punta massima annua, con 31.6°C.

Gennaio è stato l'unico mese invernale che non ha presentato valori in rialzo rispetto alla media: il giorno 2 di questo mese ha inoltre fatto segnare la punta minima annua, con -3.8°C.

2.3. Precipitazioni

Precipitazioni - totale 2002	2105 mm
Precipitazioni - media periodo 1961-1990	1606 mm

Anche se complessivamente il 2002 è risultato tra i più umidi dell'ultimo ventennio, a questo riguardo secondo solo al 2000 (anno in cui sono stati misurati 2149 mm di precipitazioni), i valori mensili non si sono discostati di molto dalla media pluriennale, fatta eccezione per maggio (426 mm: 212% rispetto alla media) e novembre (536 mm: 422%): questi due mesi da soli hanno contribuito per il 45% al totale annuo, mentre, d'altra parte, è risultato sostanzialmente deficitario il primo quadrimestre, nel corso del quale è stato raccolto solo il 13% delle precipitazioni annue (Fig. 2.3).

Questa particolare distribuzione temporale delle piogge ha contribuito a limitare l'apporto di carichi di sostanze nutritive al lago durante la fase iniziale dello sviluppo vegetativo, e ad incrementarlo sensibilmente all'inizio dei periodi estivo ed invernale. Le abbondanti precipitazioni di novembre (finora non erano mai state misurate in Ticino 18 giornate consecutive di pioggia) hanno inoltre portato ad un rapido innalzamento del livello del Lago di Lugano, che ha raggiunto quote fra le più elevate dell'intero periodo d'osservazione, e dopo 50 anni è tornato ad esondare lungo gran parte delle sue rive (cf. cap. 3.2.).

2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2002	5.74 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media periodo 1986-2000	6.59 km h ⁻¹

Il valore annuo d'intensità del vento del 2002 è stato il più basso dell'intero periodo di confronto. Tutti i valori mensili sono risultati inferiori alla media, tranne marzo e novembre, che hanno presentato un leggero incremento, compreso tra 0.1 e 0.2 km h⁻¹ (Fig. 2.4 a). Particolarmente deficitari sono risultati due mesi invernali (gennaio: -1.23 km h⁻¹; dicembre: -2.19 km h⁻¹): come noto, una scarsità di vento in questo periodo dell'anno, durante il quale il lago presenta condizioni termiche propizie al rimescolamento, contribuisce a limitare la profondità della circolazione invernale delle acque, e determina, di conseguenza, un minore riossigenazione delle stesse.

La maggior intensità di vento si è avuta marzo, con 7.30 km h⁻¹: questo valore, che si situa attorno alla media pluriennale del mese, è comunque risultato nettamente inferiore alle punte mensili di anni precedenti (8-10 km h⁻¹). D'altra parte, invece, il mese con l'attività eolica più scarsa è risultato dicembre, con solo 3.89 km h⁻¹. Valori d'intensità inferiori a 4 km h⁻¹ sono estremamente rari: se ne sono infatti osservati solo 4 sull'arco dell'intero periodo pluriennale di confronto.

Per quanto riguarda l'andamento della direzione di provenienza dei venti, sempre nella figura 2.4.a è riportato il loro 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. Per otto mesi all'anno la direzione media si situa attorno al settore N; da aprile e giugno tra E e SE, mentre in un solo mese (dicembre) attorno al settore SW. 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 2002, pur confermando il predominio dei venti che soffiano lungo le direttrici N + NW da una parte, e S + SW dall'altra, mettono in evidenza uno spostamento della distribuzione delle percentuali di frequenza, caratterizzato da un netto calo della componente NW (-13%) ed un aumento delle componenti N (+4%), SE (+5%) e S (+5%). In generale, la riduzione delle correnti d'aria dai settori settentrionali (nelle nostre regioni notoriamente povere d'umidità), a vantaggio di masse d'aria umide provenienti dai settori meridionali, trova una conferma anche nel valore annuale di precipitazioni, risultato in forte aumento nel 2002.

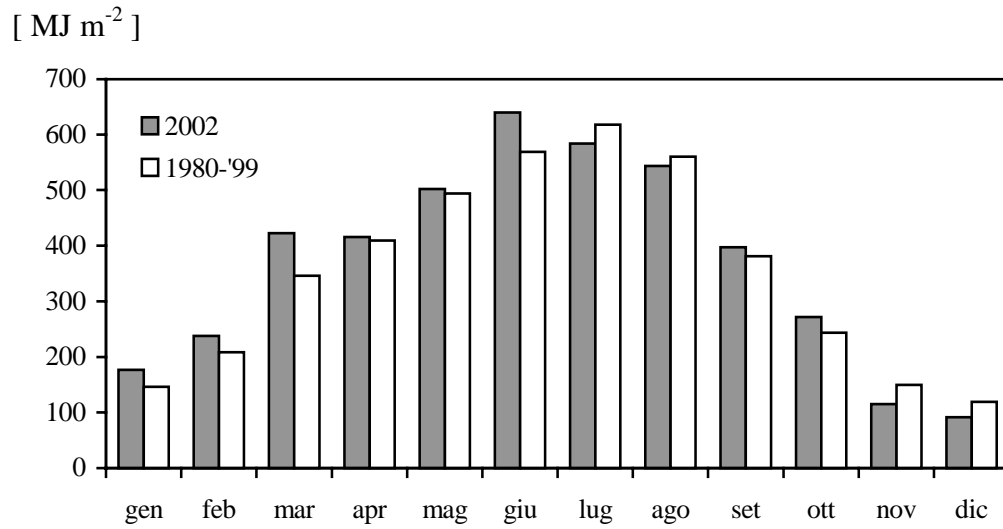


Fig. 2.1 Regime mensile della radiazione globale rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

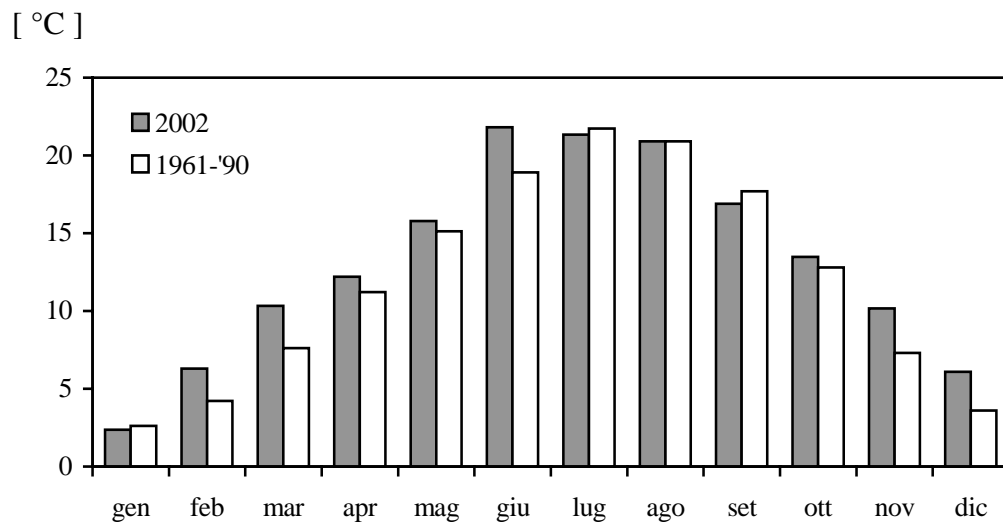


Fig. 2.2 Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

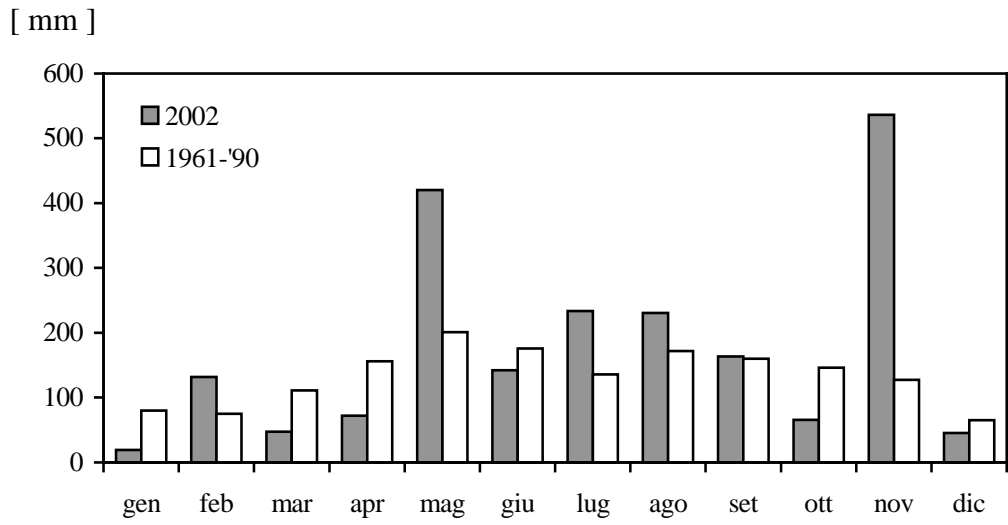


Fig. 2.3 Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

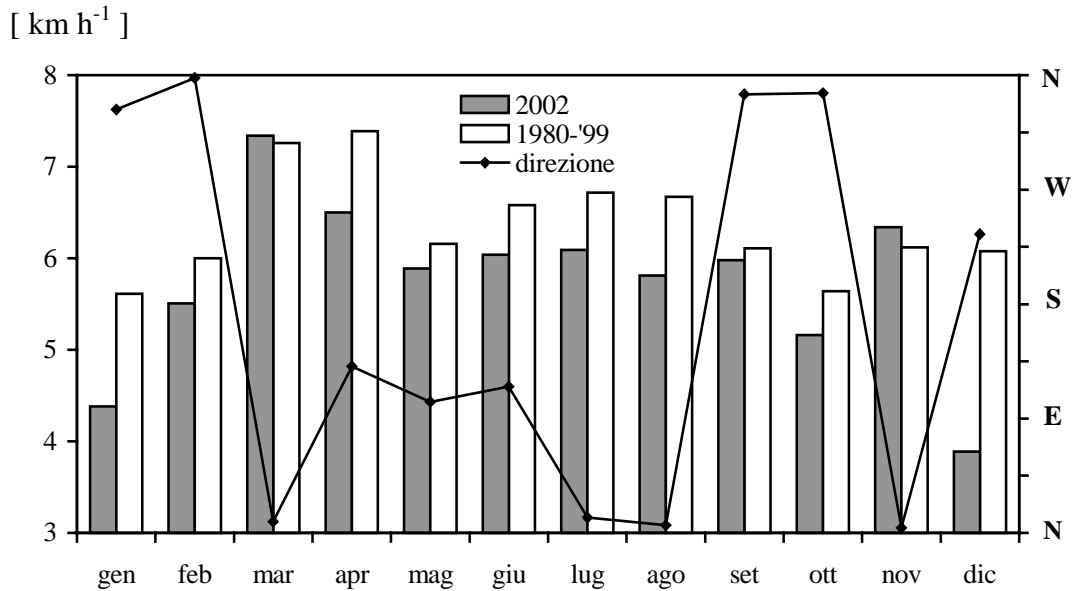


Fig. 2.4 a: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media nel corso del 2002 (linea), rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

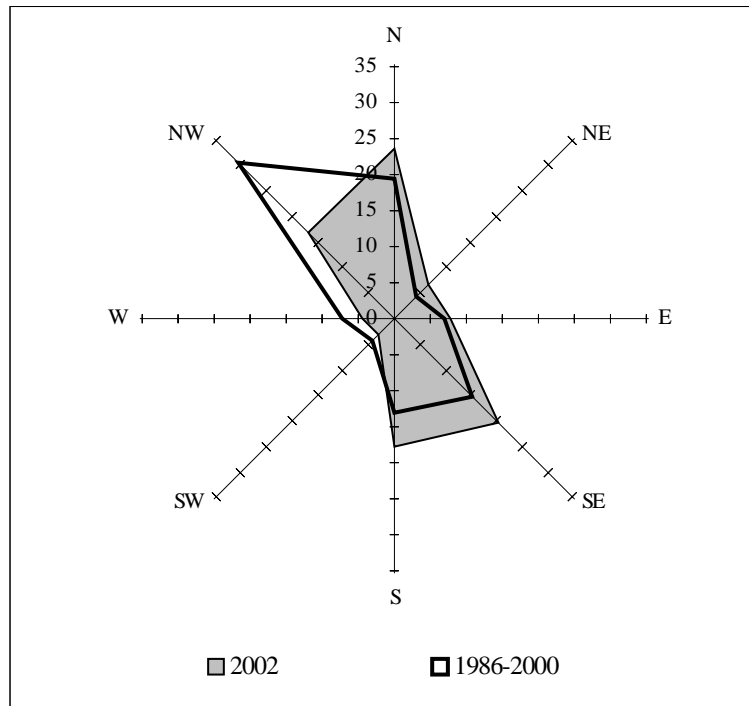


Fig. 2.4.b: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

3. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

3.1. Regime dei corsi d'acqua

La tabella 3.1. presenta i valori medi di deflusso (mensili e annuali) dei nove corsi d'acqua controllati, per l'anno 2002 e per i relativi periodi di confronto.

Su base annua le portate sono aumentate mediamente del 50%; l'incremento più marcato è stato osservato sul Bolletta con una crescita dell'85%, mentre il Vedeggio, maggiore tributario del lago, ha fatto registrare l'aumento più moderato, pari a +37% (Fig. 3.1.). Rispetto alla media pluriennale l'anno idrologico è stato caratterizzato da portate più che doppie in maggio e triple in novembre e dicembre. In questi tre mesi è defluito il 60% del totale 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	2002	0.24	0.82	0.84	0.50	3.12	0.61	0.52	0.69	1.14	0.35	4.91	1.31	1.25
	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	2002	0.52	0.95	1.43	1.06	9.41	2.90	1.96	2.70	3.26	1.12	14.50	4.34	3.69
	1963-2001	1.36	1.40	2.18	3.69	4.33	3.56	2.29	1.91	2.58	3.22	2.87	1.53	2.58
Cuccio	2002	0.60	1.54	1.34	1.08	4.74	2.93	1.61	1.85	2.88	1.27	10.45	3.82	2.84
	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	2002	0.36	0.95	1.08	0.74	3.30	1.27	1.16	1.21	1.60	0.74	5.43	1.81	1.64
	1978-2000	0.92	0.84	1.07	1.58	1.57	1.35	0.96	0.73	0.90	1.35	1.14	0.88	1.11
Magliasina	2002	0.18	0.48	0.81	0.49	5.00	1.35	0.88	1.06	1.76	0.44	8.35	1.77	1.88
	1980-2001	0.70	0.60	0.90	1.88	2.12	1.76	1.01	0.58	1.22	1.95	1.40	0.70	1.23
Scairolo	2002	0.09	0.21	0.23	0.16	0.86	0.36	0.34	0.29	0.44	0.19	1.52	0.52	0.43
	1982-2000	0.25	0.21	0.22	0.38	0.42	0.37	0.26	0.21	0.28	0.42	0.35	0.23	0.30
Vedeggio	2002	0.81	1.49	1.90	1.45	13.82	4.75	3.44	3.60	4.83	1.44	20.93	5.71	5.35
	1979-2000	2.12	1.83	2.67	5.40	6.93	5.53	3.60	2.44	3.97	5.75	4.09	2.44	3.90
Tresa	2002	4.94	9.73	18.80	10.60	86.20	31.20	23.20	27.70	36.70	12.50	107.00	59.90	35.80
	1923-2001	15.70	14.10	18.40	29.10	37.50	33.50	23.30	17.80	21.50	28.20	30.60	20.00	24.20

3.2. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre nel 2002 è stata di m 270.57 m s.l.m. ed è risultata di 8 cm superiore a quella del periodo di riferimento (1965-2001; 270.49 m s.l.m.). Nel corso dell'anno il livello del lago ha fatto registrare la sua punta massima il 27 novembre con 272.08 m s.l.m., il valore più alto registrato dal 1965, che ha causato l'esondazione del Ceresio. Il minimo è stato misurato il 22 gennaio (270.33 m s.l.m.). L'escursione massima per il 2002 è stata di 175 cm.

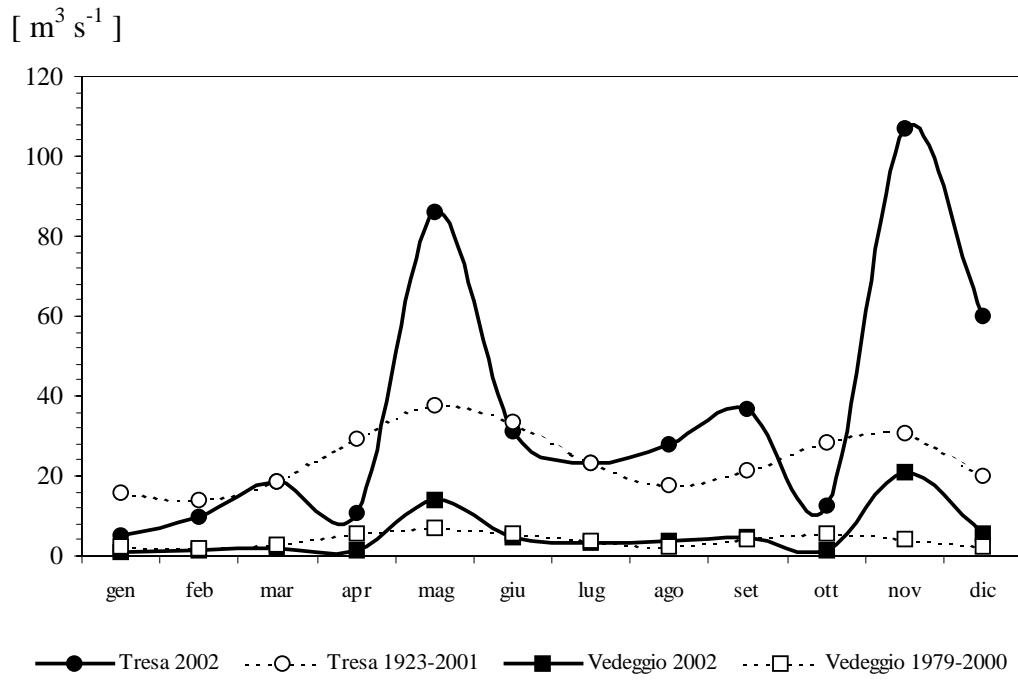


Fig. 3.1. Regime mensile di deflussi dei fiumi Tresa (emissario) e Vedeggio (principale immissario) e periodo di riferimento.

[m s.l.m.]

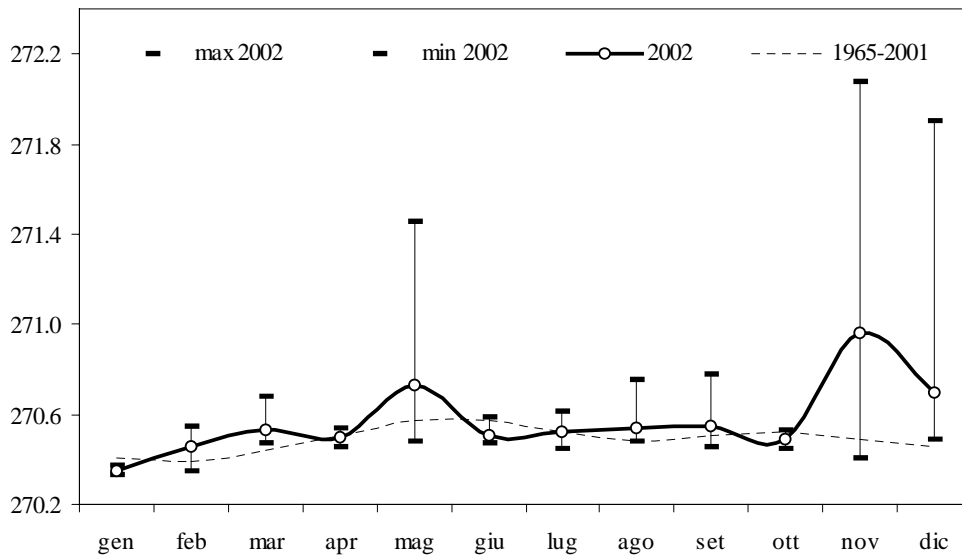


Fig. 3.2. Lago di Lugano, 2002: regime mensile medio (o) e valori estremi (-) del livello lacustre e il periodo di riferimento.

4. APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI

4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari

Nelle figure 4.1.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 2002. 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 rappresentano in maniera soddisfacente il regime idrologico annuale (Fig. 4.1.a). Sul corso d'acqua con i maggiori valori di deflusso idrico, l'emissario Tresa, la media delle portate misurate al momento del campionamento (n=15), è stata di 31.0 m³ s⁻¹, mentre quella annua, registrata in continuo, di 35.8 m³ s⁻¹; il massimo annuale è stato raggiunto a fine maggio (112 m³ s⁻¹). I valori mediani degli altri fiumi sono tutti risultati inferiori a 3.0 m³ s⁻¹.

I valori di temperatura hanno mostrato forti escursioni (Fig. 4.1.a) legate all'andamento stagionale della radiazione globale e della temperatura dell'aria (cfr. paragrafi 2.1. e 2.2.). Su Vedeggio e Laveggio lo scarto tra valore massimo e minimo è stato di circa 10 °C, mentre sugli altri tributari l'escursione termica è risultata compresa tra 14°C e 17°C. La temperatura mediana più elevata è stata misurata sul Laveggio (13.1 °C); la punta massima è stata rilevata in luglio sul Tresa (22.0°C), mentre la minima in assoluto è stata rilevata in gennaio sul Cuccio (0.0°C).

Per quanto concerne la conducibilità (Fig. 4.1.a) il Laveggio presenta la mediana più elevata (446 µS cm⁻¹), seguito dai tributari Bolletta, Livone e Scairolo, con valori compresi tra 350 e 370 µS cm⁻¹. Nei rimanenti cinque fiumi, le mediane sono oscillate tra 100 e 200 µS cm⁻¹. Il massimo annuale è stato rilevato in dicembre sul Laveggio (825 µS cm⁻¹).

I valori d'alcalinità più elevati, con mediane comprese tra 2.6 e 4.0 meq l⁻¹, sono stati misurati su Laveggio, Livone, Scairolo e Bolletta (Fig. 4.1.b), fiumi che drenano bacini costituiti prevalentemente da rocce calcaree. Le alcalinità più basse (<1.2 meq l⁻¹) sono state registrate per contro negli affluenti Cassarate, Cuccio, Vedeggio e Magliasina, che raccolgono l'acqua da aree caratterizzate da rocce cristalline.

Il valore pH mostra un andamento simile all'alcalinità (Fig. 4.1.b): Livone e Laveggio hanno fatto registrare mediane elevate (rispettivamente 8.48 e 8.30 unità), mentre sul Vedeggio è stato riscontrato il valore più basso (7.55). I minimi ed i massimi annuali sono stati rilevati rispettivamente in luglio sul Vedeggio (7.27) e in giugno sul Tresa (8.86). Su quest'ultimo fiume, l'elevata variabilità annuale è fortemente influenzata dall'attività fotosintetica nell'epilimnio lacustre (vedi paragrafo 5.5.1.).

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.b) ha mostrato concentrazioni quasi sempre superiori a 8.0 mg l⁻¹: tutti i fiumi sono quindi da considerare sempre ben ossigenati. Il valore più basso (7.89 mg l⁻¹) è stato misurato in ottobre sullo Scairolo.

Più critiche, sotto il profilo qualitativo, appaiono le concentrazioni dei composti azotati disciolti, in particolare su Scairolo e Laveggio (Fig. 4.1.c). Per quanto concerne l'azoto nitroso, nello Scairolo (mediana: 0.11 mg N l^{-1} ; massimo: 1.06 mg N l^{-1}) il valore limite indicativo è stato superato in quattro occasioni, mentre sugli altri corsi d'acqua le concentrazioni si sono mantenute al di sotto di esso. Per l'azoto nitrico, le mediane sono comprese tra 0.92 (Tresa) e 4.66 mg N l^{-1} (Laveggio). I tenori più elevati sono stati rilevati su Scairolo (9.14 mg N l^{-1}) e Laveggio (9.25 mg N l^{-1}), rispettivamente in ottobre ed in novembre. Nel caso dell'azoto ammoniacale, su tutti i fiumi, ad eccezione del Tresa, si sono verificati superamenti del limite ammissibile [2]: in particolare su Scairolo e Laveggio i casi non conformi hanno interessato rispettivamente l'85% e il 50% dei prelievi. I valori mediani sono risultati compresi tra 0.09 (Tresa) e 0.77 mg N l^{-1} (Scairolo). Sempre nello Scairolo è stato misurato, in gennaio, il massimo annuale di 8.29 mg N l^{-1} .

L'azoto totale (Fig. 4.1.d) ha fatto registrare i valori più elevati sullo Scairolo (mediana: 8.27 mg N l^{-1} , massimo in gennaio: $13.54 \text{ mg N l}^{-1}$). Sugli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane variano tra 1.42 (Cuccio) e 6.83 mg N l^{-1} (Laveggio).

I tenori più elevati di fosforo ortofosfato (Fig. 4.1.d) sono stati misurati nel Bolletta, (mediana: $107 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$; massimo annuale in aprile: $383 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$), seguito da Livone e Scairolo (mediane rispettivamente di 63 e $44 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$); i valori degli altri cinque tributari si sono situati al di sotto di $30 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$. Per quanto riguarda il fosforo totale (Fig. 4.1.d), il valore ammissibile nei tributari è stato calcolato partendo dai carichi critici dei due bacini lacustri [3] e dai loro valori di deflusso. Dall'analisi dei dati emerge che, durante il 2002, nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata ($261 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$), valore che supera di nove volte quello previsto per il bacino sud ($29 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$): in questo tributario le concentrazioni di fosforo totale hanno superato i limiti auspicati in occasione di tutti i prelievi. Anche gli altri affluenti, ad eccezione del Cassarate, presentano valori mediani superiori ai rispettivi valori di riferimento. Il massimo assoluto dell'anno ($596 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$) è stato misurato sul Bolletta, in aprile. Il valore mediano del Tresa ($24 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$) va considerato separatamente, trattandosi del dato relativo ad un emissario.

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; Fig. 4.1.e), tutti i valori mediani sono risultati inferiori al limite ammissibile ($4.0 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$). Lo Scairolo presenta la mediana più elevata dell'anno ($3.7 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) mentre il massimo assoluto ($19.4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) è stato misurato sul Laveggio, in aprile. Quest'ultimo tributario, insieme allo Scairolo, ha fatto registrare il maggior numero di sorpassi del valore limite (7 su 15), mentre su Tresa, Livone e Vedeggio tale limite non è mai stato superato nel corso del 2002.

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.e) sono state registrate nello Scairolo (mediana: $4.87 \text{ mg Si l}^{-1}$), il cui bacino imbrifero è costituito prevalentemente da porfiriti. Su quest'affluente è stato misurato in ottobre anche il massimo annuale ($6.25 \text{ mg Si l}^{-1}$). Le concentrazioni più basse sono state rilevate nei fiumi Tresa (mediana: $0.98 \text{ mg Si l}^{-1}$) e Livone ($2.41 \text{ mg Si l}^{-1}$), emissari rispettivamente del Lago di Lugano e del Laghetto di Piano. I valori mediani degli altri tributari sono risultati compresi tra 4.16 (Vedeggio) e $3.30 \text{ mg Si l}^{-1}$ (Laveggio).

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.).

Il Bolletta ha convogliato al lago i carichi più elevati d'ortofosfato (3.8 t P a^{-1}), mentre il Livone è stato responsabile del principale apporto di carbonio inorganico ($1'969 \text{ t C a}^{-1}$). Il Cassarate ha trasportato le quantità più elevate di azoto nitroso (1.5 t N a^{-1} , al pari dello Scairolo), di fosforo totale (13.1 t P a^{-1}), d'ammonio (38 t N a^{-1}) e di BOD₅ ($347 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$). Il Vedeggio ha costituito la principale fonte di carico per quanto concerne i rimanenti parametri, ossia l'azoto nitrico (425 t N a^{-1}), l'azoto totale (589 t N a^{-1}) ed i silicati reattivi (527 t Si a^{-1}).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti permette di effettuare una valutazione qualitativa dei carichi (Tab. 4.2.2. e Fig. 4.2.2.): si nota, infatti, che i maggiori contributi areali di azoto nitroso ed ammoniacale si riferiscono allo Scairolo (rispettivamente 157 e $1.39 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Dal Bolletta si hanno i contributi più elevati di fosforo ortofosfato e totale (195 e $460 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), d'azoto nitrico ($6.0 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), d'azoto totale ($10.0 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), di silice ($7.4 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) ed di richiesta d'ossigeno ($7.9 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). I contributi più elevati di carbonio inorganico sono veicolati dal Livone ($64.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Per il fosforo totale, il carico areale ammissibile ($64 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) è stato largamente superato dal Bolletta e, in misura minore, da Cassarate, Scairolo, Livone, Cuccio e Magliasina.

4.3. Bilanci di massa 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, proveniente dal bacino imbrifero, equivale a 40.5 t P a^{-1} per il bacino nord ed a 44.9 t P a^{-1} per il bacino sud: questi valori superano, rispettivamente in misura del 48% e del 8%, la media quinquennale di riferimento (1993-1997). Nel 2002 il principale carico di fosforo è stato riversato nel bacino nord dal Cassarate (13.1 t P a^{-1}), mentre nel bacino sud il maggior contributo proviene dal deflusso del bacino nord al diga di Melide (11.1 t P a^{-1}). Il carico esportato nel 2002 dall'emissario Tresa ha raggiunto un valore di un quarto superiore alla media (30.6 t P a^{-1}).

Gli apporti d'azoto sono risultati superiori alla media quinquennale, con $1'022 \text{ t N a}^{-1}$ (+72%) nel bacino nord e $1'877 \text{ t N a}^{-1}$ (+37%) nel bacino sud. I carichi più rilevanti provengono dal Cassarate (331 t N a^{-1}) per il bacino nord, e dal Vedeggio (589 t N a^{-1}) per il bacino sud.

Le aree campionate del bacino nord rappresentano il 37 % dell'intero bacino imbrifero: da esse provengono il 60% degli apporti di fosforo ed il 70% 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: 30%), e per l'azoto dalle aree non campionabili (16%).

Nel bacino sud viene direttamente controllato l'86 % dell'area del bacino imbrifero, dalla quale viene convogliato al lago circa l'80% del fosforo e dell'azoto. Le quote rimanenti provengono dagli ARSL per il fosforo (15 %), e dalle aree non campionabili per l'azoto (9%).

Nella tabella 4.3. sono riportati inoltre, per i fiumi Cassarate, Vedeggio, Laveggio e Tresa, i carichi di fosforo totale ed azoto totale calcolati in base alle concentrazioni dei campioni settimanali cumulati: questi campioni vengono raccolti in continuo tramite campionamento automatico proporzionale alla portata (CAut), e fungono da controllo del dato da 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. Per quanto concerne l'azoto totale, il carico da "CIst" del Cassarate eccede del 10% quello calcolato da "CAut", mentre gli apporti "CAut" di Vedeggio e Laveggio sono risultati superiori a "CIst", rispettivamente del 25% e del 125%. Nel caso del fosforo totale, l'apporto "CAut" supera quello "CIst" del 70% per il Laveggio ed il Vedeggio, mentre solo del 20% per il Cassarate. Sull'emissario Tresa il carico annuo da "CAut" è risultato superiore del 5-10% per entrambi i parametri.

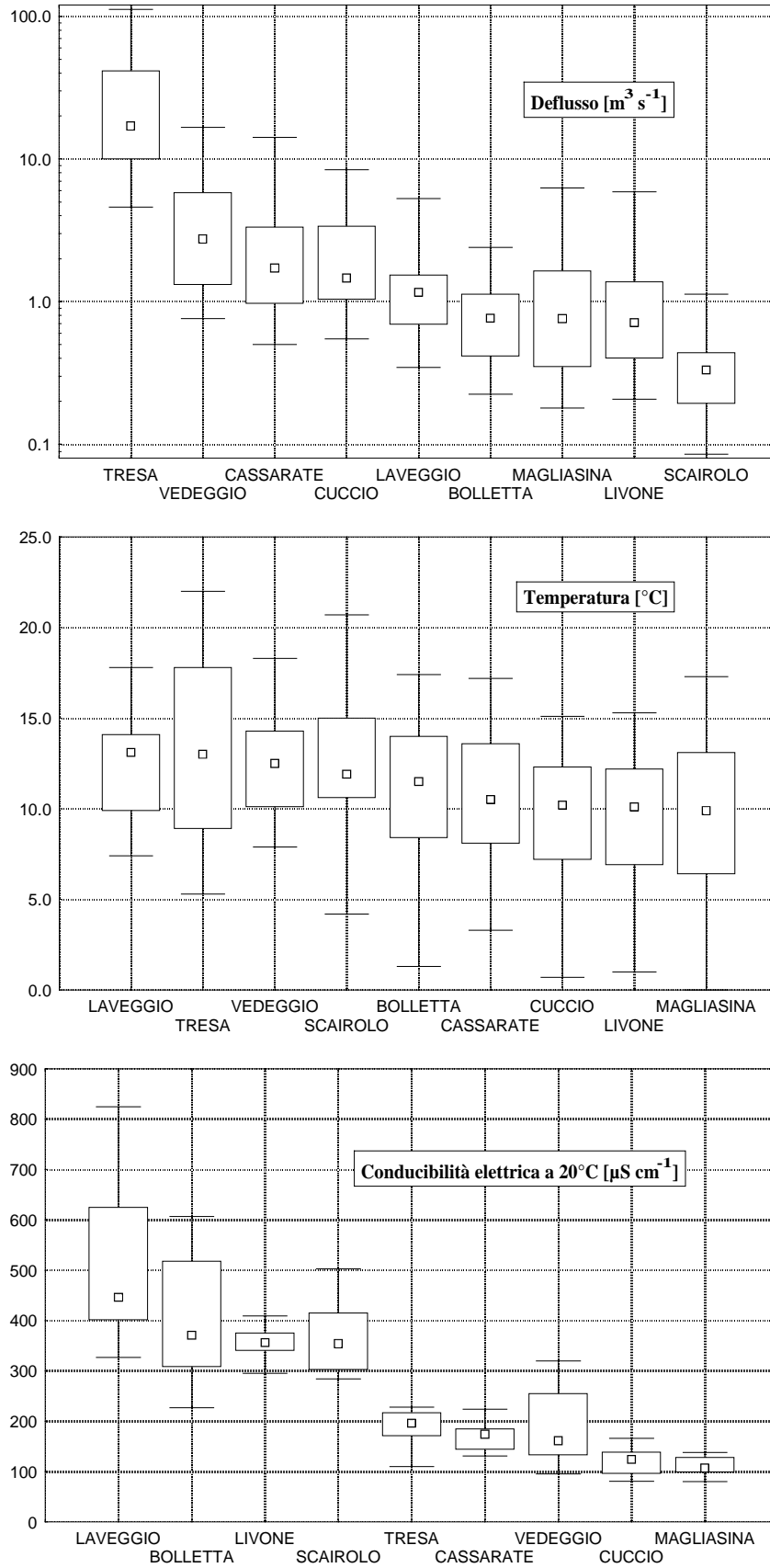


Fig. 4.1.a) Lago di Lugano, 2002: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

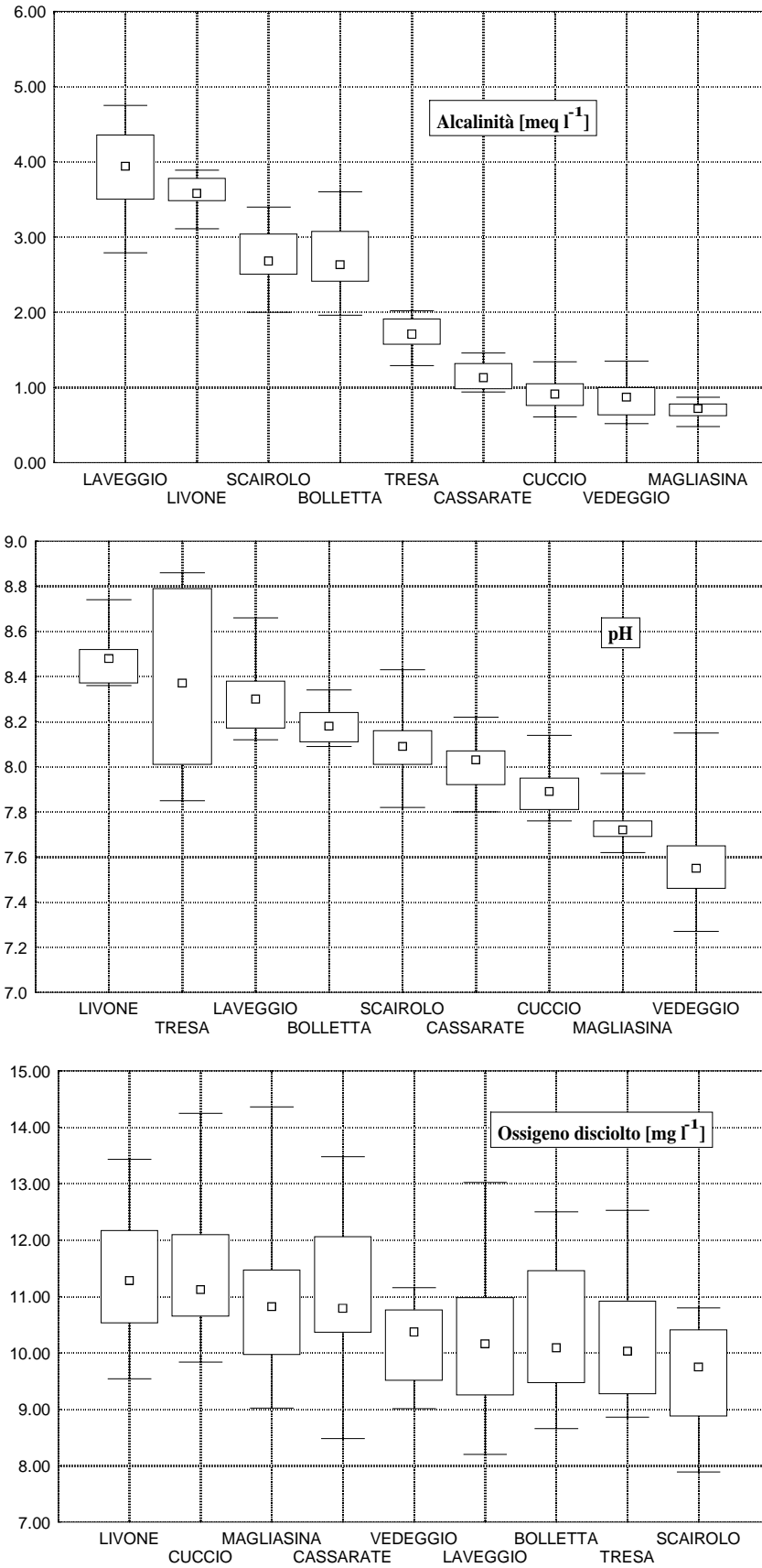


Fig. 4.1.b) Lago di Lugano, 2002: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

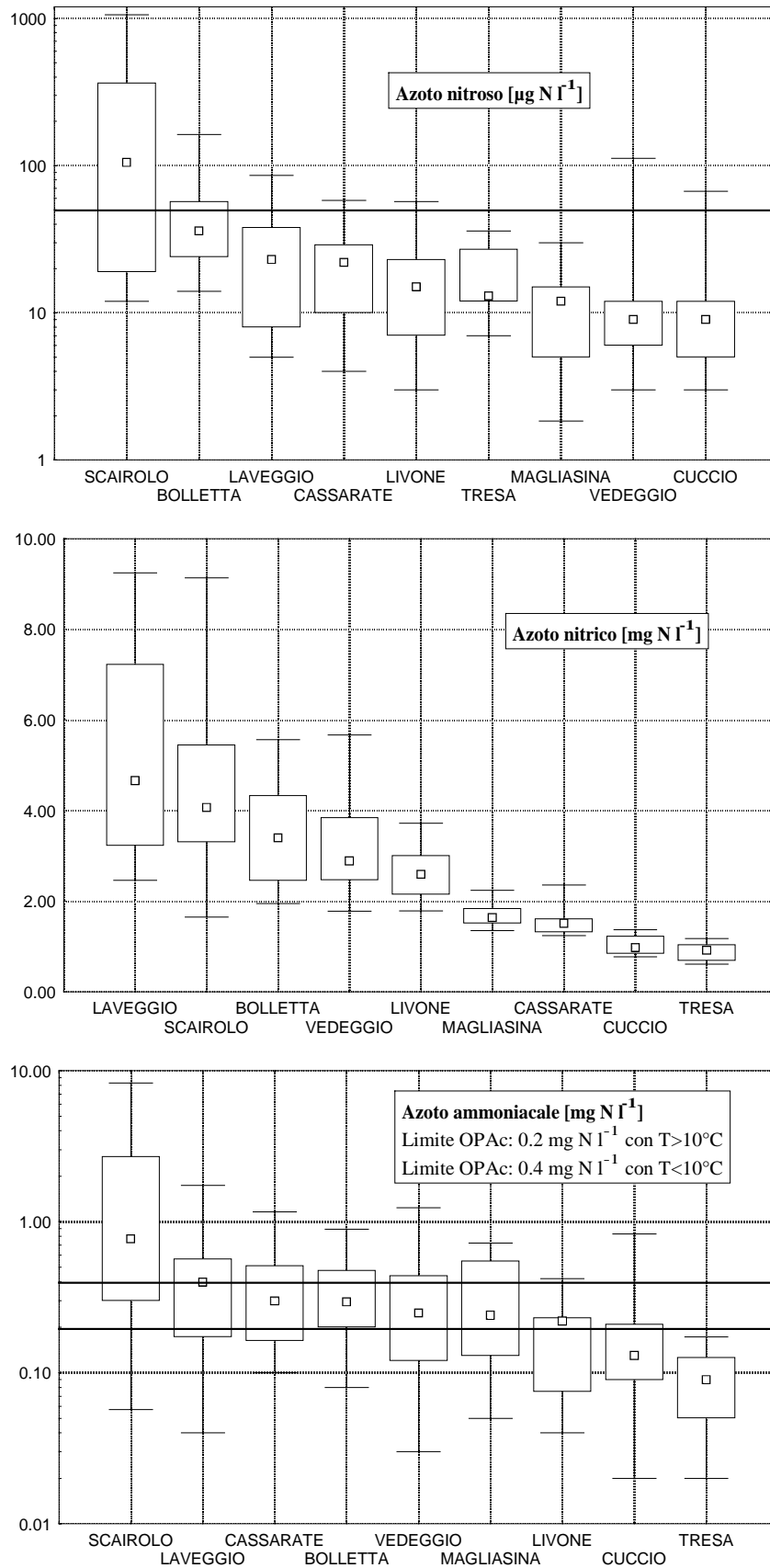


Fig. 4.1.c) Lago di Lugano, 2002: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

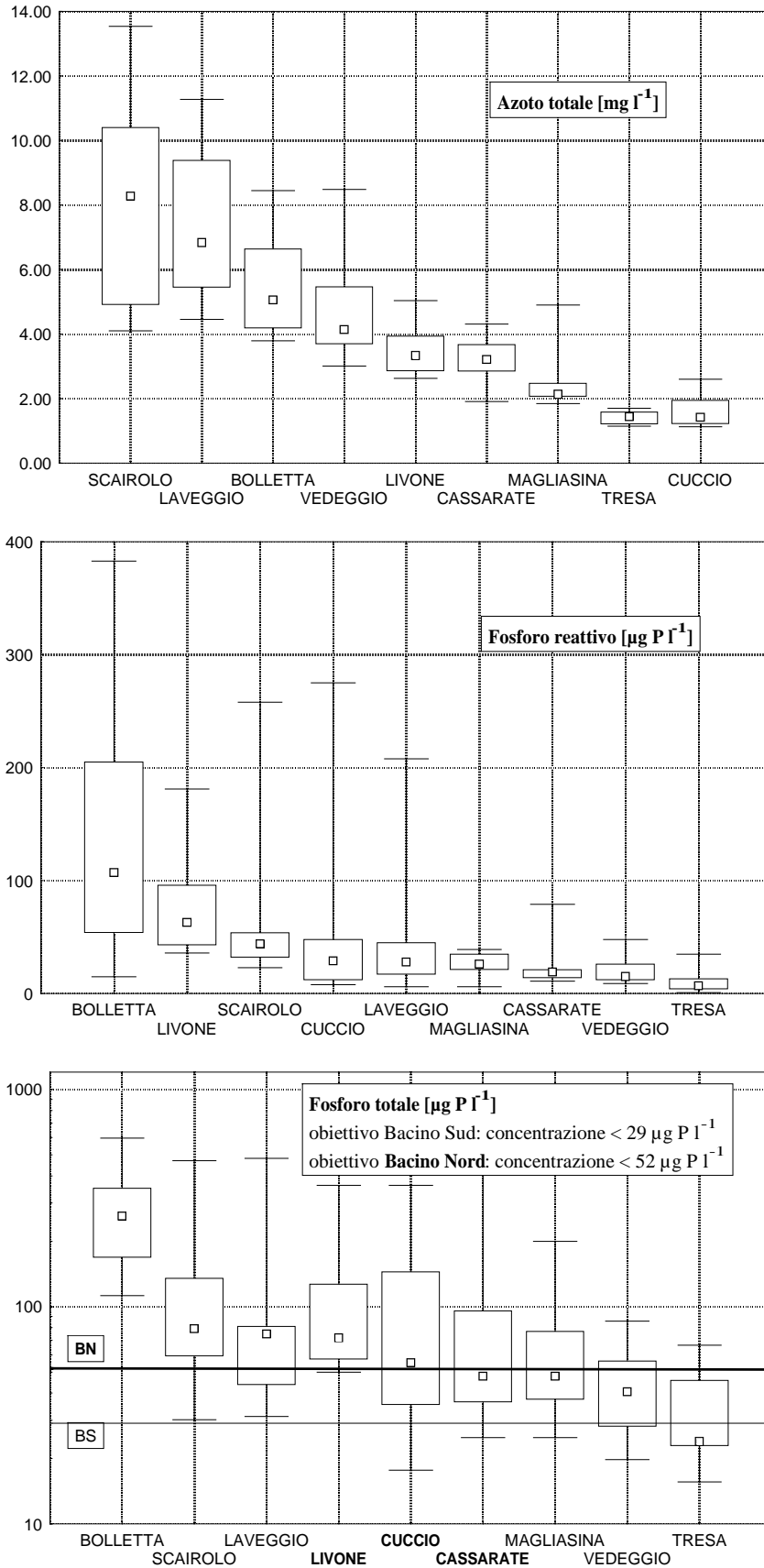


Fig. 4.1.d) Lago di Lugano, 2002: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo. I tributari del bacino nord (BN) sono indicati in grassetto.

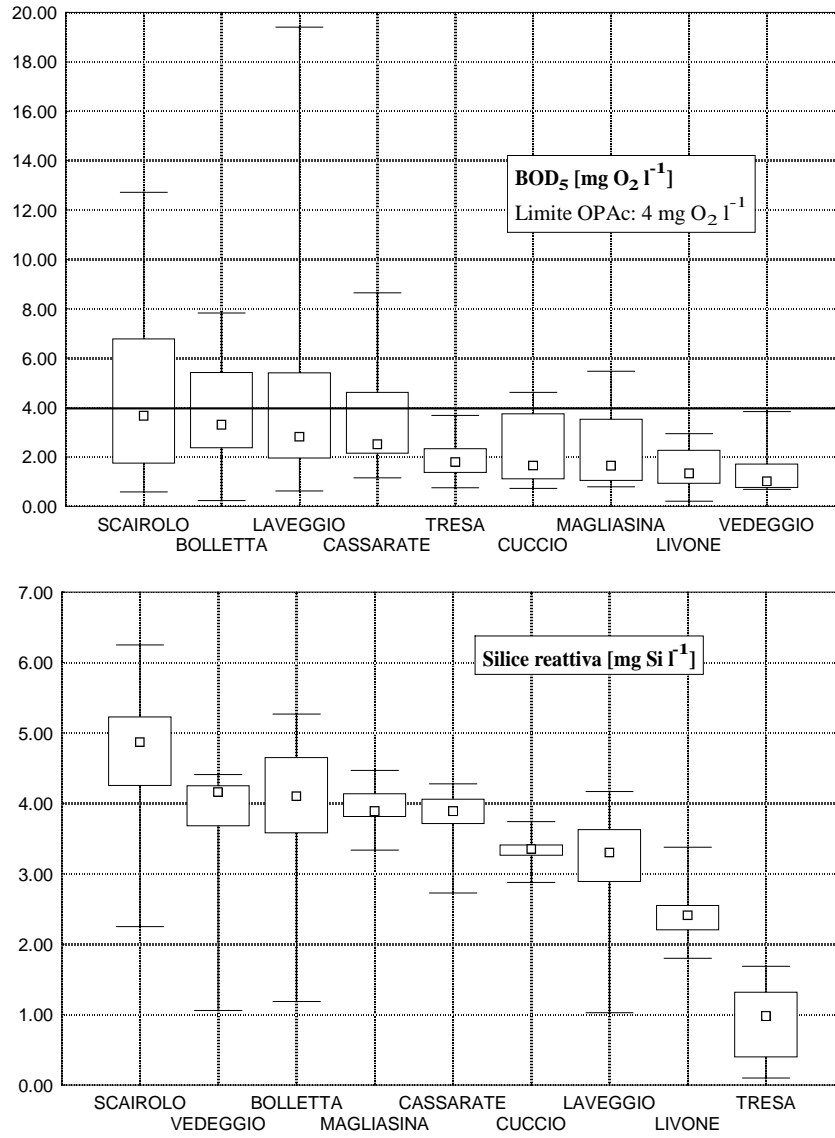


Fig. 4.1.e) Lago di Lugano, 2002: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2002: 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	1453	2.1	13.1	1.5	167	38	331	437	1256	347
Cuccio	871	2.6	5.8	0.7	84	10	123	293	1005	129
Livone ¹	1969	2.6	3.8	0.5	107	6	149	112	538	69
Diga Melide	11121	2.2	11.1	2.3	71	14	373	176	6018	-
Bolletta	1176	3.8	9.0	1.4	117	12	195	144	400	154
Laveggio	848	0.8	1.7	0.4	80	7	122	60	200	88
Magliasina	426	1.0	2.7	0.4	90	21	131	234	627	68
Scairolo	442	0.6	1.7	1.5	56	13	91	60	131	59
Vedeggio	1417	2.5	6.3	1.3	425	34	589	527	1747	209
Tresa	22548	7.1	30.6	17.5	1025	94	1610	869	11970	2152

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2002: 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	19.7	29	178	20	2.3	0.51	4.5	5.9	17.0	4.7
Cuccio	16.2	49	107	13	1.6	0.18	2.3	5.4	18.7	2.4
Livone ¹	64.4	84	126	16	3.5	0.19	4.9	3.7	17.6	2.3
Diga Melide	37.4	7	37	8	0.2	0.05	1.3	0.6	20.2	-
Bolletta	60.3	195	460	73	6.0	0.63	10.0	7.4	20.5	7.9
Laveggio	29.3	29	60	13	2.8	0.25	4.2	2.1	6.9	3.0
Magliasina	12.4	30	79	11	2.6	0.61	3.8	6.8	18.3	2.0
Scairolo	45.6	63	174	157	5.7	1.39	9.4	6.1	13.5	6.1
Vedeggio	15.2	27	67	15	4.6	0.37	6.3	5.7	18.8	2.3
Tresa	36.7	12	50	29	1.7	0.15	2.6	1.4	19.5	3.5

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.3. Lago di Lugano, 2002: 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	331 (296)	-	13.1 (15.8) ⁴	-
Cuccio	123	-	5.8	-
Livone ¹	149	-	3.8	-
Vedeggio	-	589 (741) ⁴	-	6.3 (10.8) ⁴
Magliasina	-	131	-	2.7
Laveggio	-	122 (273) ⁴	-	1.7 (3.0) ⁴
Bolletta	-	195	-	9.0
Scairolo	-	91	-	1.7
Apporto da BN	-	373	-	11.1
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	698	1597	24.9	34.5
Area non campionata ²	168	178	3.3	3.4
Totale areale emerso	866	1775	28.2	37.9
ARSL ³	81	46	12.2	6.9
Deposizioni sul lago	75	56	0.2	0.1
Totale bacino imbrifero	1022	1877	40.5	44.9
Carichi in uscita	373	1610 (1685) ⁴	11.1	30.6 (33.3) ⁴

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

² carico estrapolato dai fiumi minori

³ apporti rivieraschi e contributo scaricatori di piena a lago

⁴ carichi misurati con i campionatori automatici in continuo

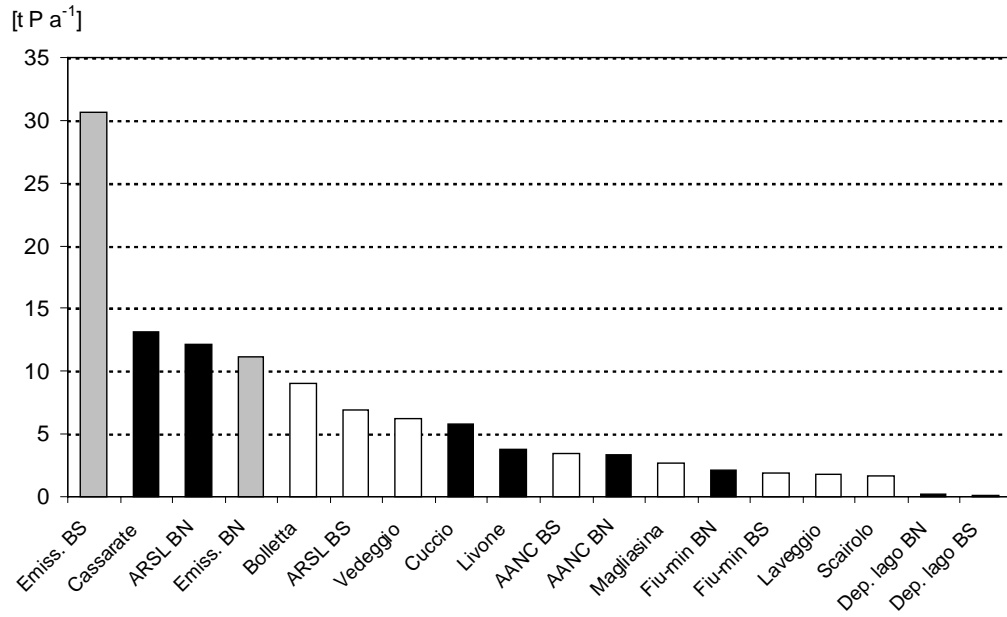


Fig. 4.2.1.a) Lago di Lugano, 2002: apporti al lago di fosforo totale
(AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

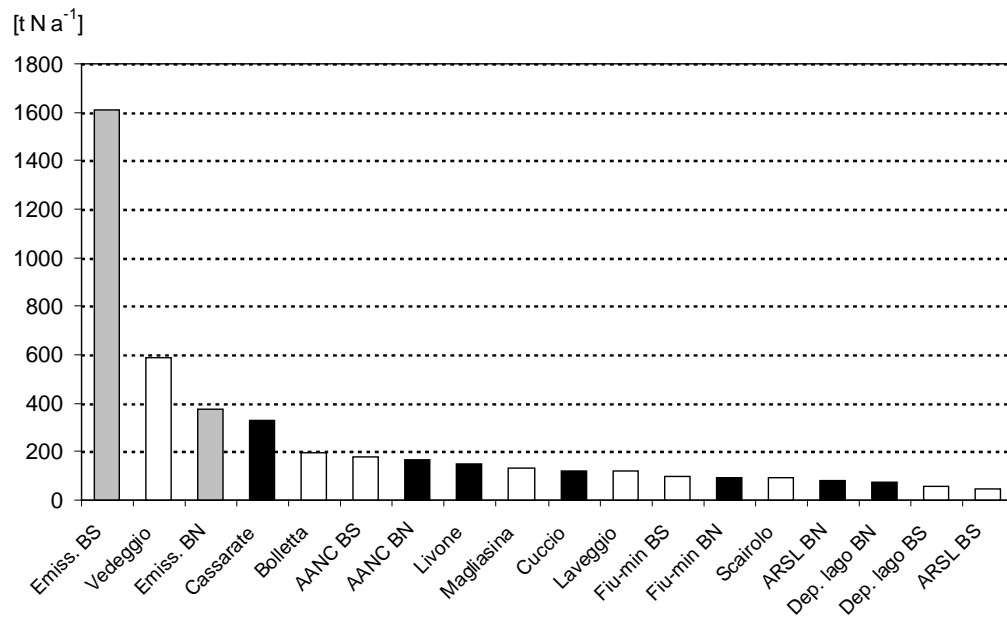


Fig. 4.2.1.b) Lago di Lugano, 2002: apporti al lago d'azoto totale.
(AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

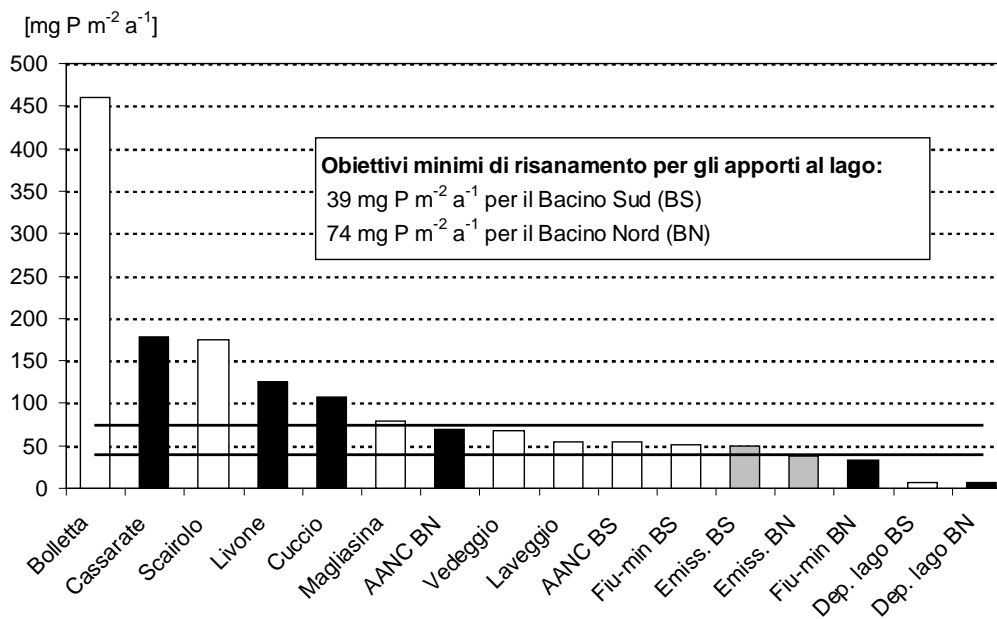


Fig. 4.2.2.a) Lago di Lugano, 2002: carichi areali di fosforo totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

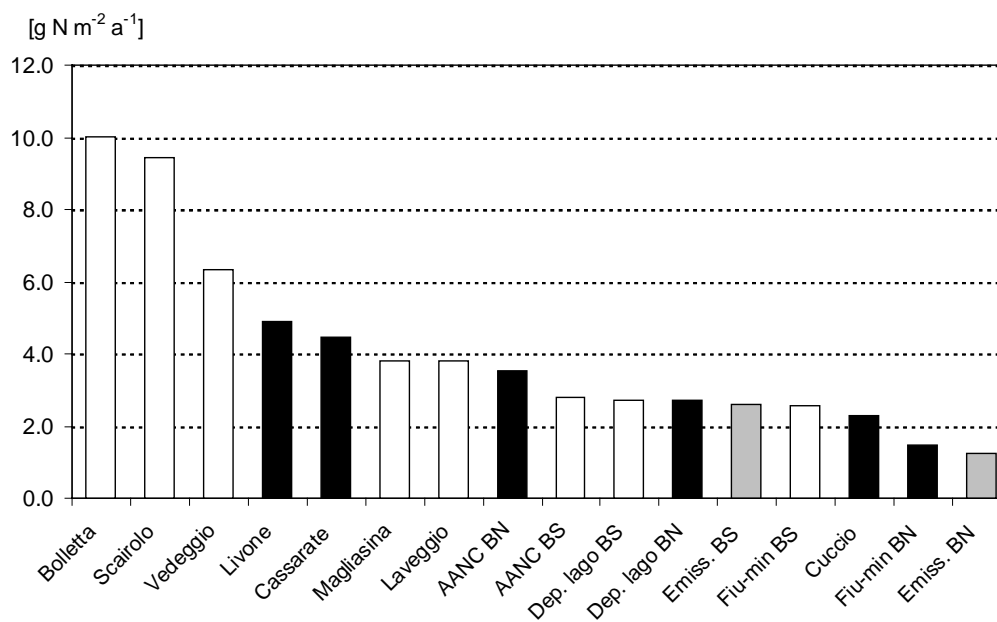


Fig. 4.2.2.b) Lago di Lugano, 2002: carichi areali d'azoto totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori, Dep.lago: deposizioni sul lago).

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

Come di consueto, 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 toccato il massimo annuale (9.7 m) a fine gennaio. In seguito, i valori sono rapidamente calati in concomitanza con l'inizio del periodo vegetativo, facendo segnare a metà marzo il minimo annuale (2.9 m). Nel corso del resto dell'anno la trasparenza ha fluttuato tra 3 e 6 m, tranne all'inizio d'agosto, quando una fase di forte chiarificazione delle acque ha portato temporaneamente i valori oltre 8 m.

Per quanto riguarda il bacino sud, a Melide sono stati misurati un massimo invernale in febbraio (9.0 m) ed un minimo primaverile a metà marzo (2.2 m). Durante il periodo di chiarificazione delle acque (seconda metà di aprile) la trasparenza ha temporaneamente superato 8 m, per poi nuovamente diminuire e stabilizzarsi tra 4 e 6 m fino a novembre. Nella stazione di Figino l'andamento è stato simile a Melide, anche se non è stata osservata una fase primaverile di chiarificazione delle acque così marcata. Il minimo annuale (1 m) è stato osservato nella seconda metà di novembre in seguito alle forti alluvioni che hanno interessato la regione, mentre il valore più elevato è stato rilevato in febbraio (8.4 m).

La trasparenza media annua del 2002, calcolata su 24 osservazioni, è stata di 5.4 m a Gandria, 5.3 m a Melide, e 4.9 m a Figino. L'escursione annua della trasparenza ha raggiunto 8.9 m a Gandria e a Melide, e 7.4 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 ($\text{assorbanza} = 100\% - \text{trasmittanza}$).

Nello strato epilimnico di Gandria si osservano punte d'assorbimento legate allo sviluppo stagionale del fitoplancton (vedi paragrafo 6.3.) e alla presenza di correnti di torbida d'origine fluviale (maggio e novembre).

Nel bacino sud l'andamento dell'assorbimento è simile a quello del bacino nord, anche se gli effetti delle piene di maggio e novembre sono visibili soprattutto a Figino. Durante l'intero periodo vegetativo, in entrambe le stazioni del bacino sud gli strati superficiali (0-20 m) presentano elevate concentrazioni di materiale particellato, legate allo sviluppo del fitoplancton (diatomee in marzo). A Figino la torbidità degli strati sovrastanti il sedimento (fino a circa 10 m dal fondo) presenta un aumento, in concomitanza con l'instaurarsi della zona anossica.

5.3. Temperatura dell'acqua

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

In febbraio la colonna d'acqua ha raggiunto una situazione d'omoterma unicamente a Figino, mentre a Gandria il raffreddamento ha riguardato solo i primi 60 m, ed a Melide lo scarto tra superficie e fondo era ancora superiore a 0.3 °C. I minimi epilimnici dell'anno sono stati misurati in febbraio (5.5 °C a Gandria, 5.6 °C a Melide e 5.4 °C a Figino). La fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio è iniziata in maggio ed è proseguita fino a fine giugno, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno (25.5 °C a Gandria, 26.5 °C a Melide e 26.3 °C a Figino). È importante notare che, negli anni precedenti, i massimi annuali erano stati raggiunti in agosto. La successiva fase di raffreddamento si è svolta in modo regolare fino a dicembre. Lo sprofondamento dell'isolinea corrispondente a 6 °C lascia prevedere un marcato raffreddamento invernale e, di conseguenza, favorevoli condizioni di rimescolamento all'inizio del 2003.

Parallelamente alle misure effettuate con la sonda sono stati esposti a Gandria e a 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 non è avvenuto in modo regolare, ma presenta numerose brevi fasi di raffreddamento. Queste sono riconducibili ad improvvisi abbassamenti della temperatura atmosferica, o all'afflusso d'acqua fluviale (più fredda) in occasione delle varie piene che hanno segnato il 2002. I massimi di temperatura sono stati rilevati dai termistori il 23 giugno 2002 (27.9 °C a Gandria, e di 28.2 °C a Figino).

5.4. Ossigeno disciolto

Nel bacino nord l'andamento delle concentrazioni d'ossigeno mette in evidenza un forte gradiente epilimnico (Fig. 5.4.), legato all'attività fotosintetica del fitoplancton. Il massimo assoluto dell'anno, infatti, è stato misurato in giugno, in prossimità della superficie (14.7 g O₂ 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 60 m, in primavera, a 15 m, in settembre-ottobre. Inoltre è stata riscontrata la presenza di un minimo metalimnico particolarmente pronunciato, anche se non chiaramente visibile nella figura. Parallelamente anche il limite superiore dello strato anossico si è innalzato, ed ha raggiunto a metà dicembre la profondità di 40 m.

Diversamente dall'anno precedente, nel 2002 il rimescolamento delle acque del bacino sud è stato particolarmente intenso, ed ha portato, all'inizio di febbraio, le concentrazioni sull'intera colonna vicino a 5.0 g O₂ m⁻³. Durante il periodo vegetativo, le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, fino a toccare il valore massimo già a marzo (18.4 g O₂ m⁻³ a Melide, 19.3 g O₂ m⁻³ a Figino). Le condizioni d'ossigenazione degli strati profondi sono peggiorate gradatamente a partire d'aprile. L'isolinea di 4.0 g O₂ m⁻³ si è innalzata fino alla profondità di 10 m in settembre, anche in questo caso a causa della stratificazione termica del

metalimnio particolarmente marcata, che ha impedito qualsiasi apporto d'ossigeno verso gli strati più profondi. In dicembre lo strato anossico è risalita fino ad una profondità di 60 m a Melide e di 40 m a Figino.

5.5. Valore pH e alcalinità

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 febbraio, mentre l'alcalinità ha iniziato a ridursi solo dopo maggio.

Nel bacino nord, il pH delle acque di superficie ha raggiunto il valore più alto dell'anno in agosto (8.9 unità), mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.6 e 7.8. L'alcalinità ha raggiunto in luglio il minimo annuo (1.53 meq l^{-1}). 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 meq l^{-1} .

La situazione nell'epilimnio del bacino sud è simile a quella del bacino nord: in luglio a Melide è stato misurato il minimo d'alcalinità (1.51 meq l^{-1}), ed il pH massimo (9.07) è stato rilevato in agosto, a Figino. Durante il secondo semestre, nell'ipolimnio del bacino sud si sono instaurati gradienti verticali di pH e d'alcalinità, con valori compresi rispettivamente tra 7.8 e 7.4 unità, e tra 2.0 e 2.5 meq l^{-1} .

5.6. Conducibilità elettrica specifica

L'andamento della conducibilità (Fig. 5.6.) presenta forti analogie con quello dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.). In febbraio i valori sono risultati omogenei sulla colonna a riprova di una 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 di conducibilità che, a 0.4 m di profondità, è passata da 210 a $150 \mu\text{S cm}^{-1}$ (luglio). Dalla profondità di 40 m fino al fondo i valori hanno evidenziato un gradiente verticale crescente (da 240 a $260 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Nell'epilimnio del bacino sud la conducibilità si è gradualmente ridotta da 220- $230 \mu\text{S cm}^{-1}$, fino a toccare il suo minimo in luglio a Melide ($156 \mu\text{S cm}^{-1}$) ed in agosto a Figino ($158 \mu\text{S cm}^{-1}$). Da maggio, i valori ipolimnici del bacino sud non hanno più mostrato variazioni di rilievo, mantenendosi tra 220 e $260 \mu\text{S cm}^{-1}$.

5.7. Composti del fosforo

L'andamento stagionale del fosforo nei tre siti campionati è caratterizzato da un forte calo delle concentrazioni epilimniche a partire da marzo, in 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 350-400 mg P m^{-3}). Durante la fase vegetativa algale, il

progressivo consumo epilimnico di quest'elemento ha portato le concentrazioni ai minimi annui in luglio e agosto (10 mg P m^{-3}). Sotto i 50-60 m la frazione disciolta costituisce l'80-100 % del fosforo totale (Fig. 5.7.2), mentre negli strati superiori il contributo percentuale si riduce a meno del 20 %, in seguito ai processi d'assimilazione da parte della biomassa planctonica (fosforo particellato).

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto, in febbraio, valori quasi omogenei sulla colonna d'acqua (70 mg P m^{-3} a Melide, 50 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 fino al di sotto del limite analitico di quantificazione. I minimi annuali di fosforo totale sono stati registrati in luglio e agosto a Figino (10 mg P m^{-3}) e in luglio a Melide (8 mg P m^{-3}). Negli strati profondi, il rilascio di fosforo dai sedimenti durante la fase di stagnazione si è confermato 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: 722 mg P m^{-3} , Figino 316 mg P m^{-3}). A Melide la percentuale di ortofosfato è progredita dal 20-40 %, in superficie, fino al 90 %, in prossimità del fondale. La situazione è simile a Figino, dove però la percentuale di fosforo particellato al di sotto dei 70 m è maggiore, ed ha superato il 60 % durante il secondo semestre dell'anno.

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 compresa tra il 30 % ed il 75 % del totale nel bacino nord, ed il 60-90 % in quello sud. Le maggiori fluttuazioni quantitative dell'azoto totale dipendono perciò dall'andamento delle concentrazioni di questi tre composti, in particolare del nitrato e dell'ammonio. La frazione rimanente è costituita essenzialmente dalla componente organica, disciolta e particellata.

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 all'assimilazione da parte del fitoplancton: il minimo annuale è stato raggiunto in agosto (valore di superficie: $0.02 \text{ NO}_3\text{-N m}^{-3}$). Nell'ipolimnio si è mantenuto un gradiente più o meno costante tra 0 e 100 m, con tenori in declino verso il fondo (da $0.4\text{-}0.5$ a $0.1 \text{ NO}_3\text{-N m}^{-3}$). 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 $1.0 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$). Le concentrazioni di azoto nitroso sono risultate inferiori a $0.01 \text{ g NO}_2\text{-N m}^{-3}$. Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale (Fig. 5.8.4.) mostrano come, in questo bacino, le principali variazioni stagionali avvengano nel corso del secondo semestre: nei primi 30 m di profondità, tra 0.6 e 0.9 g N m^{-3} , e nello strato sovrastante il sedimento, tra 1.2 e 1.7 g N m^{-3} . Le perdite d'azoto riscontrate tra 80 e 130 m sono probabilmente da mettere in relazione con i processi di denitrificazione, che si manifestano in prossimità dell'ossiclinia.

Il bacino sud presenta in febbraio, al termine della circolazione, tenori d'azoto nitrico quasi uniformi su tutta la colonna ($1.0\text{-}1.1 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$). Da maggio ad

agosto si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici (minimo: 0.22 g N m⁻³, 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 si svolgono nello strato d'interfaccia ossido-riducente. In ottobre, a Melide, 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: 2.61 g NH₄-N m⁻³, Figino: 1.42 g NH₄-N m⁻³). L'azoto nitroso è stato riscontrato in quantità di un certo rilievo solo nelle acque più profonde del bacino sud, come prodotto intermedio della denitrificazione. Le concentrazioni massime sono state rilevate a Melide, in agosto (0.35 g NO₂-N m⁻³).

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, nello strato epilimnico si osservano, da giugno a ottobre, variazioni di rilievo, determinate in larga misura dai processi d'assimilazione fotosintetica della componente nitrica; i tenori d'azoto più bassi sono stati misurati nel campione di superficie d'agosto, a Melide (0.74 g N m⁻³). Sempre in questa stazione, ma nei campioni di fondo, è stato rilevato il massimo d'azoto totale (3.31 g N m⁻³), in seguito al forte 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 1.1 a 2.4 g Si m⁻³; Fig. 5.9.). In gennaio-febbraio la colonna d'acqua tra 0 e 50 m ha raggiunto una concentrazione omogenea (1.0 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), fino a toccare il loro minimo in aprile (<0.1 g Si m⁻³).

Nel bacino sud il rimescolamento invernale ha portato ad una distribuzione uniforme delle concentrazioni sull'intera colonna (1.4 g Si m⁻³ a Melide, 1.6 g Si m⁻³ a Figino). Variazioni di rilievo sono state osservate nell'epilimnio, e soprattutto in marzo, quando il forte consumo di silice da parte delle diatomee ha ridotto anche qui i tenori fino ai minimi annui per entrambe le stazioni (0.01 g Si m⁻³). Da maggio a novembre, il graduale rilascio di silice dal sedimento ha lentamente incrementato le concentrazioni dell'ipolimnio profondo, fino a riportarle, in ottobre ai massimi annui (3.46 g Si m⁻³ a Melide, 2.46 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 2002, esso è stato costantemente presente a profondità superiori a 90 m, con i valori in progressiva crescita verso il fondo (da 0.1 a 3.0

g CH₄ m⁻³). La massima concentrazione è stata misurata nel campione di maggio, alla massima profondità (a 2 m dal fondo: 3.1 g m⁻³).

Nel bacino sud la presenza di metano è stata rilevata dapprima in gennaio, ed in seguito tra giugno e dicembre, in uno strato sovrastante il sedimento spesso fino a 20 m. Le concentrazioni massime sono state misurate in ottobre nei campioni di fondo (3.1 g CH₄ m⁻³ a Melide, 2.4 g CH₄ m⁻³ a Figino).

5.11. Solfuri

Nel corso del 2002 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; i valori massimi sono stati misurati in gennaio, nel campione di fondo (494 mg S²⁻ m⁻³).

Diverso appare il quadro del bacino sud, dove i solfuri sono stati rilevati a Melide da luglio a novembre, mentre a Figino solo in febbraio, e a concentrazioni molto basse. Il valore massimo di questo bacino è stato misurato sul campione raccolto a Melide, in gennaio, alla massima profondità (849 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 100-130 m di profondità, dove sussistono condizioni di permanente anossia (Fig. 5.12.). Nel corso del 2002 l'incremento verticale delle concentrazioni si è mantenuto stabile ed elevato, in particolare tra 150 e 250 m, dove i valori passano cresciuti da 100 a 500 mg Fe m⁻³. Negli strati più profondi (>250 m) i valori presentano le maggiori fluttuazioni (500-700 mg Fe m⁻³), con un massimo di 792 mg Fe m⁻³ in dicembre, a 2 m dal fondo.

Nel bacino sud la presenza di ferro disciolto è stata rilevata tutto l'anno sotto i 50-60 m di profondità. I maggiori gradienti si sono avuti nel secondo semestre dell'anno, quando il continuo rilascio dai sedimenti ha portato a toccare, in settembre, le concentrazioni massime annuali (1649 mg Fe m⁻³, a Figino).

5.13. Manganese disciolto

Analogamente a quanto osservato per l'andamento del ferro disciolto, anche il manganese disciolto presenta, nel bacino nord un gradiente di concentrazione verticale costante durante l'anno (Fig. 5.13.), con valori in costante crescita verso il fondo. L'incremento più marcato si rileva tra 70 e 150 m di profondità, con valori che passano da 0.05 a 0.30 g Mn m⁻³. Sotto i 150 m, le concentrazioni hanno oscillato tutto l'anno tra 0.2 e 0.4 g Mn m⁻³.

Nel bacino sud il manganese è stato rilevato a partire da maggio sotto i 65-70 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 misurato in luglio (3.66 g Mn m⁻³), mentre a Figino in agosto (2.07 g Mn m⁻³), entrambi nel campione di fondo.

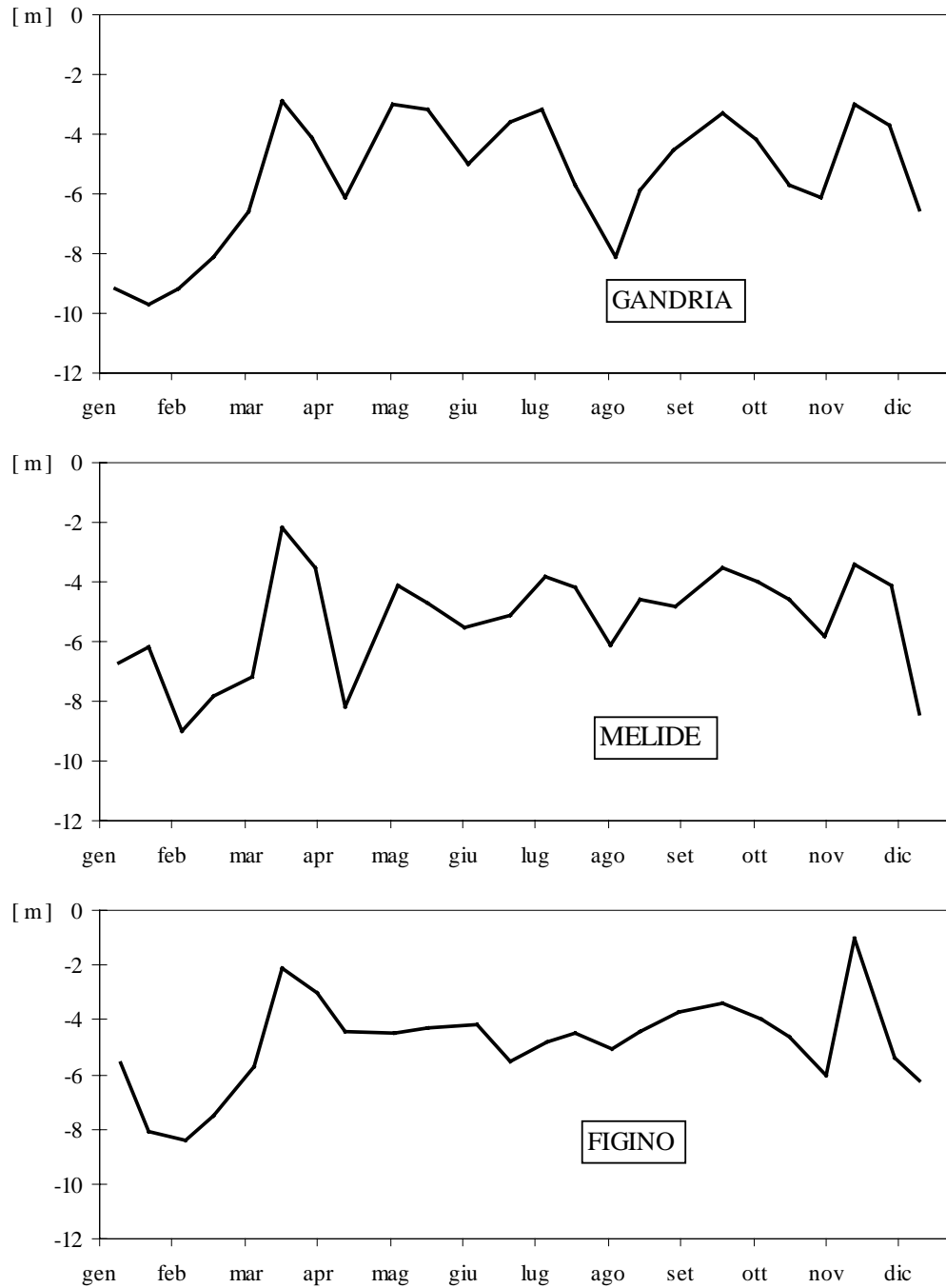


Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2002: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.

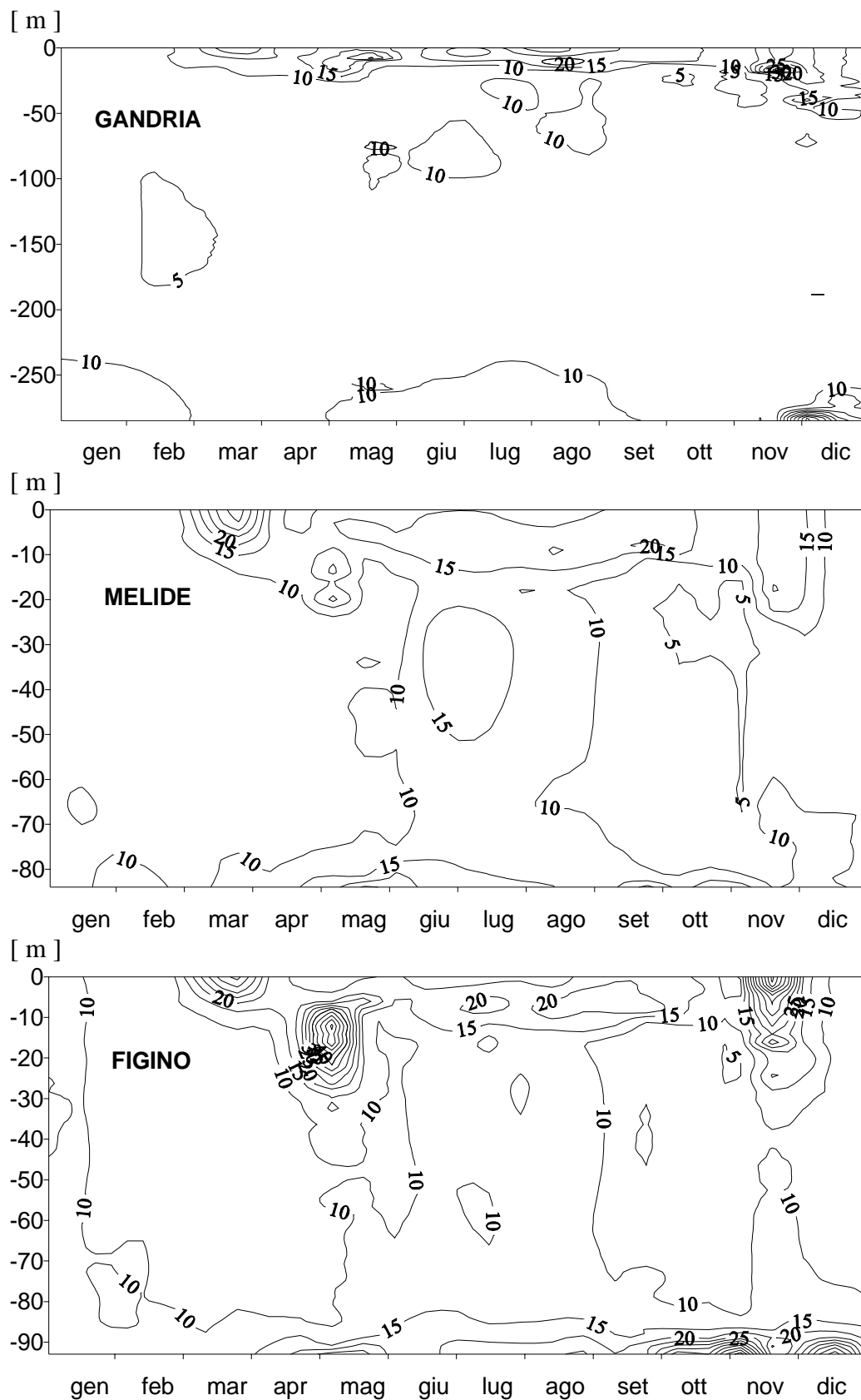


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2002: valori percentuali d'assorbimento della luce, rilevati lungo il profilo verticale.

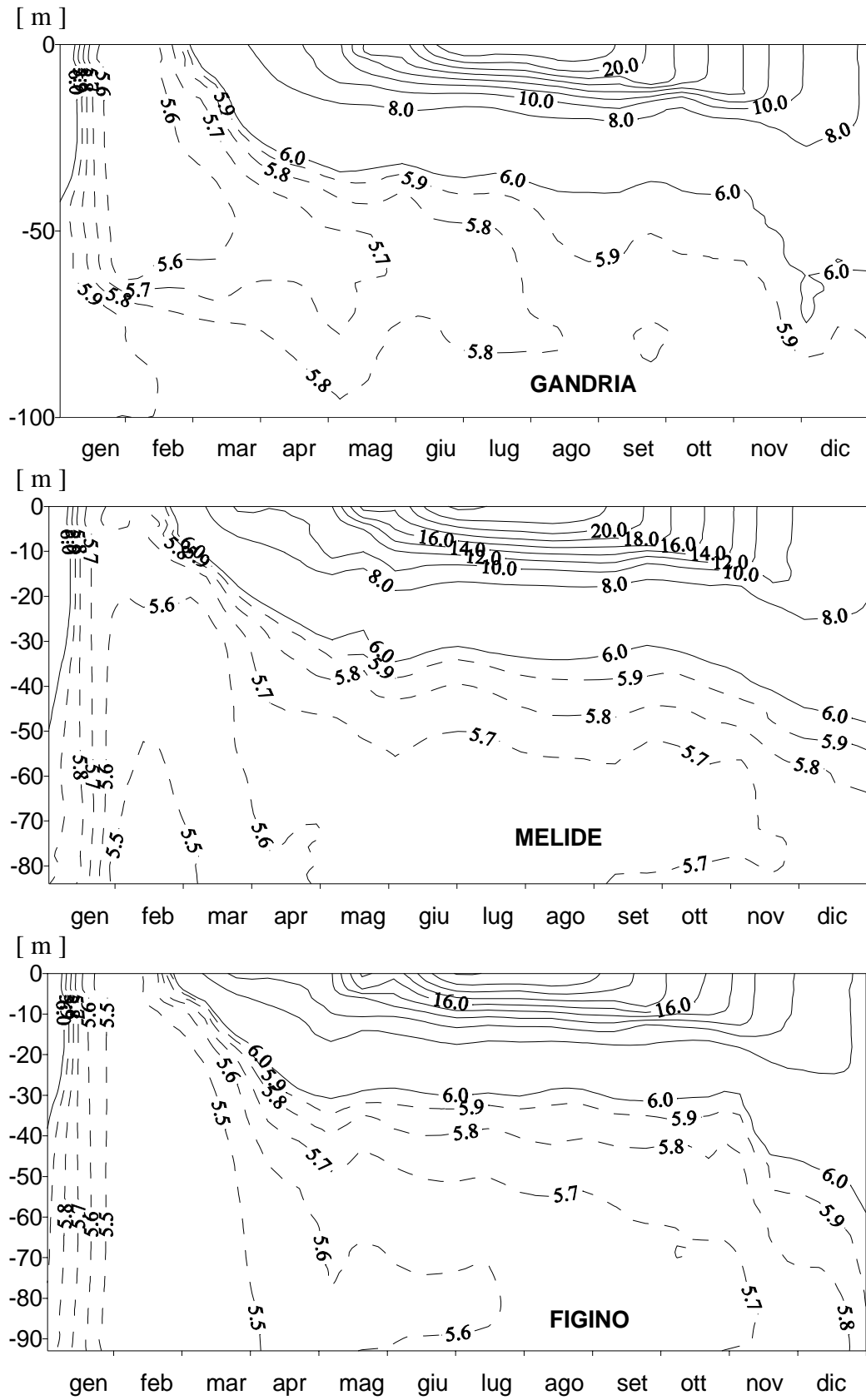


Fig. 5.3.a Lago di Lugano, 2002: andamento della temperatura [°C].

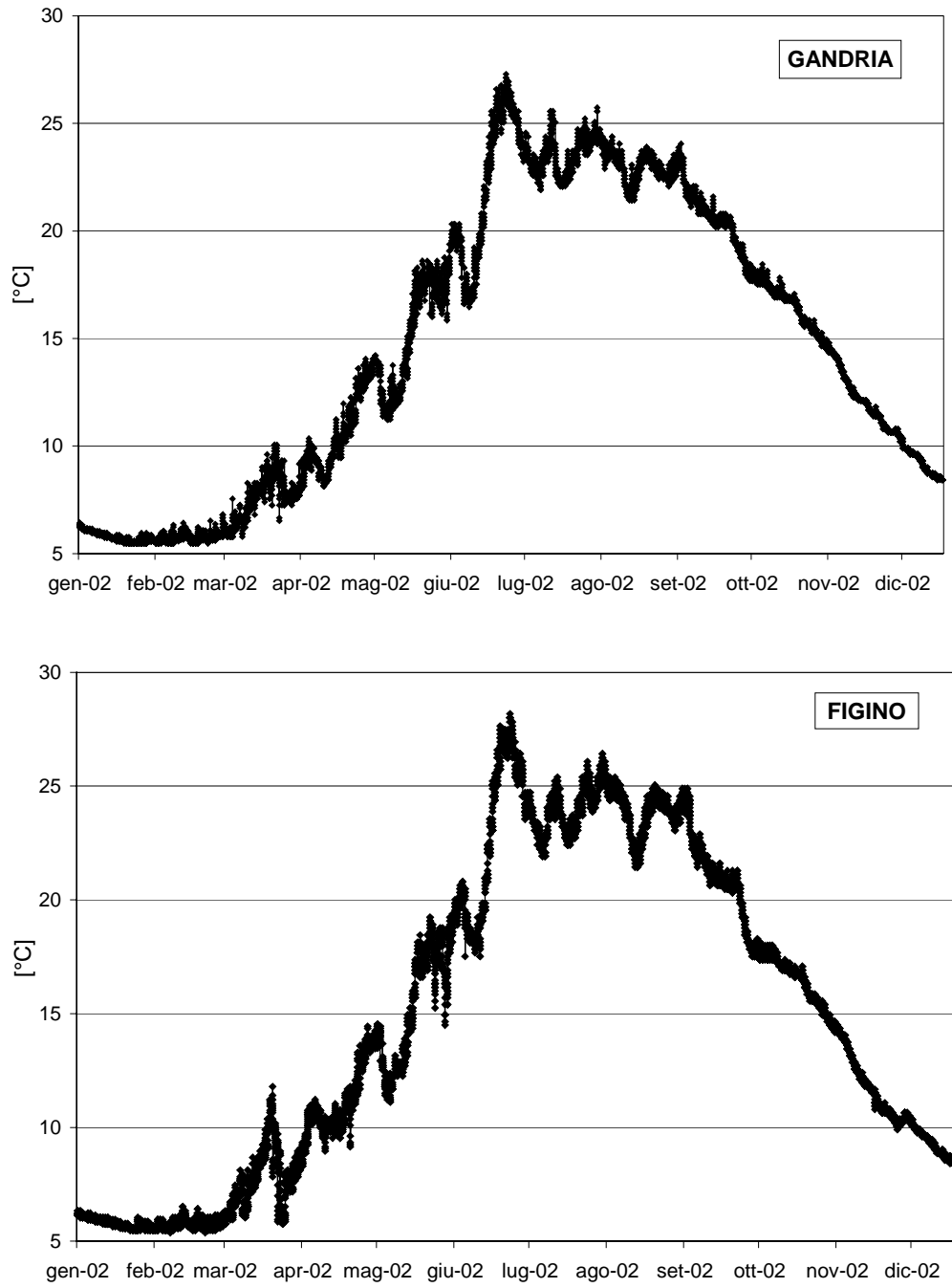


Fig. 5.3.b Lago di Lugano, 2002: andamento della temperatura superficiale (-30 cm) a Gandria e Figino.

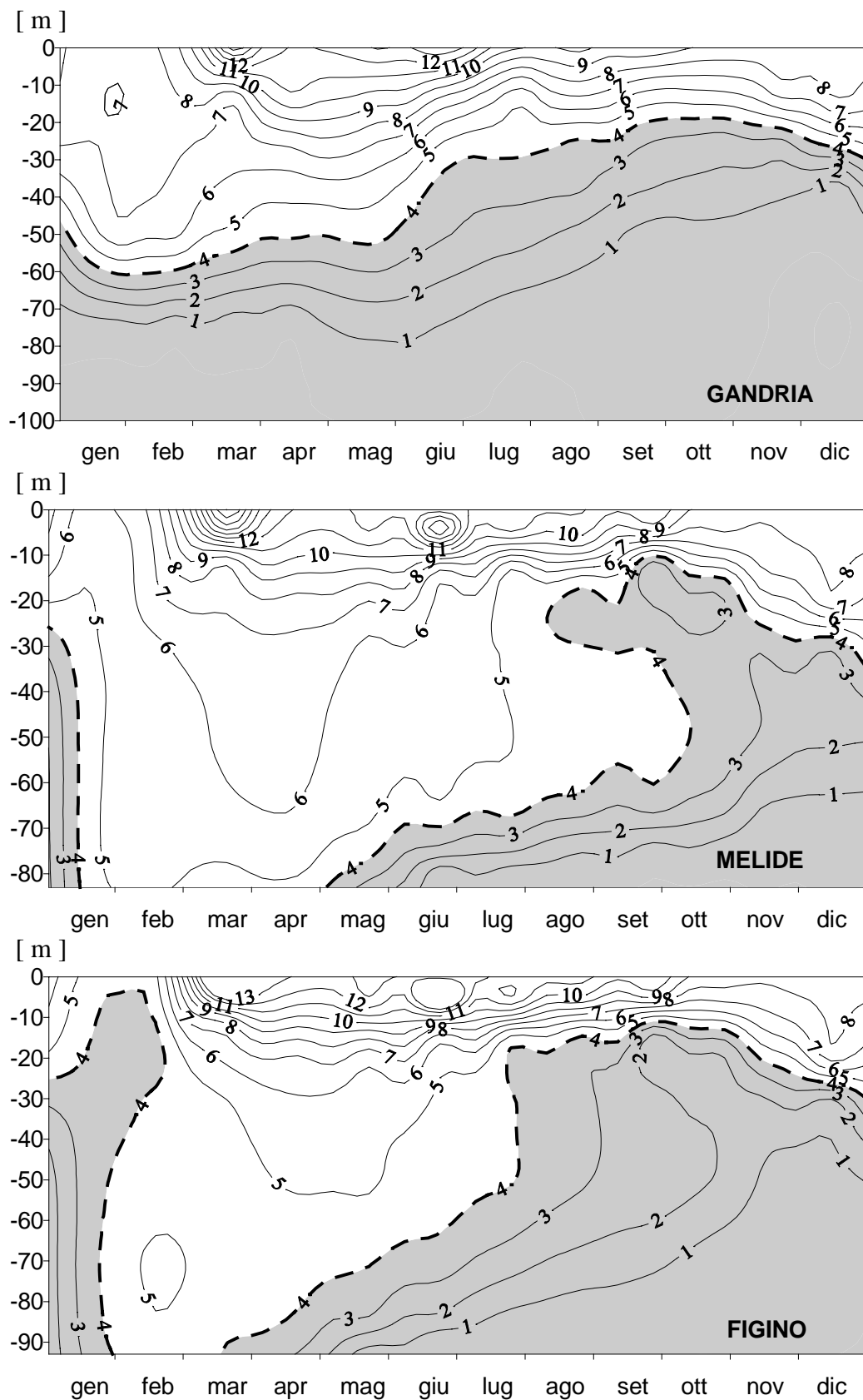


Fig. 5.4. Lago di Lugano, 2002: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato secondo Winkler [g m^{-3}].

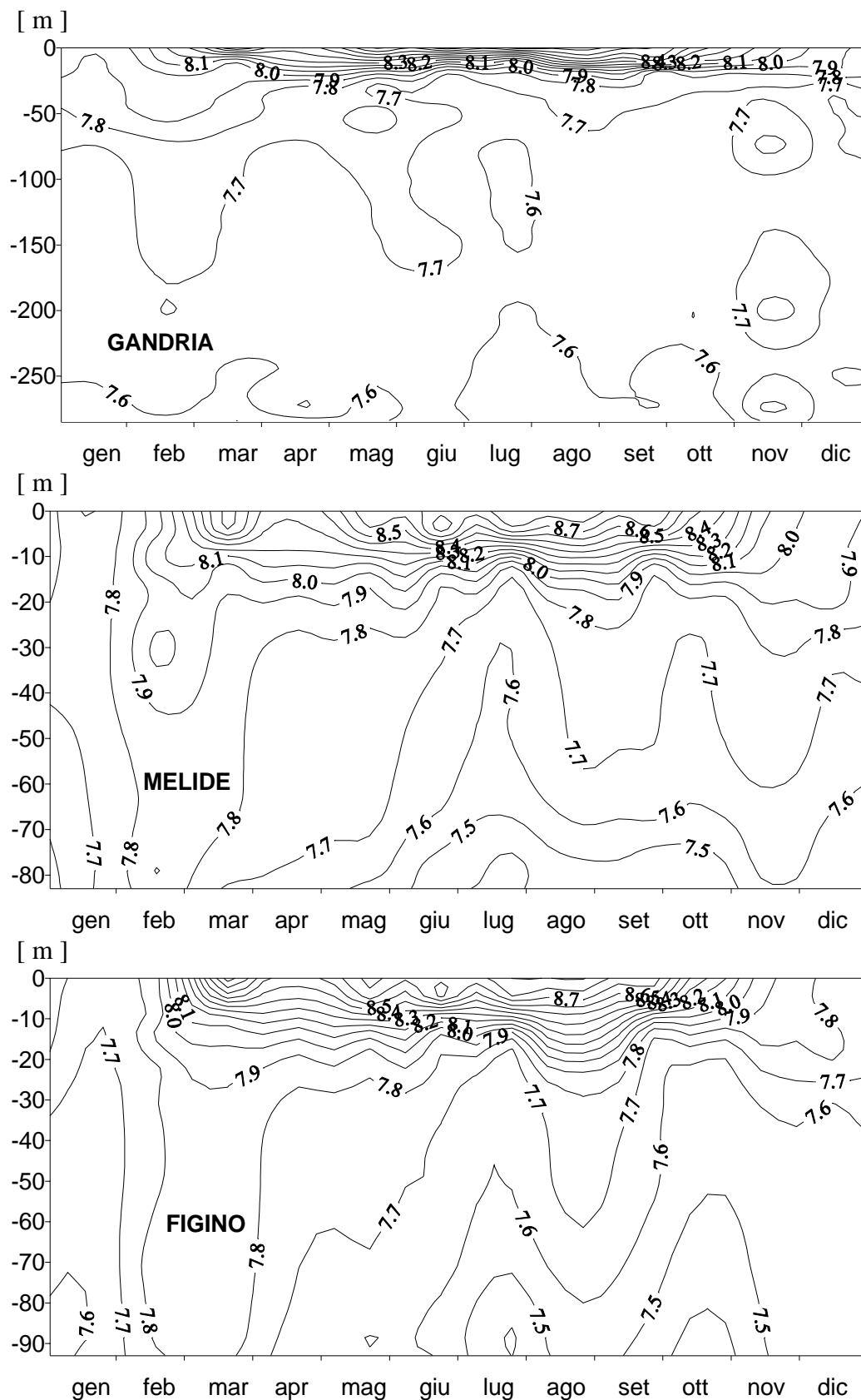


Fig. 5.5.1. Lago di Lugano, 2002: andamento del valore pH.

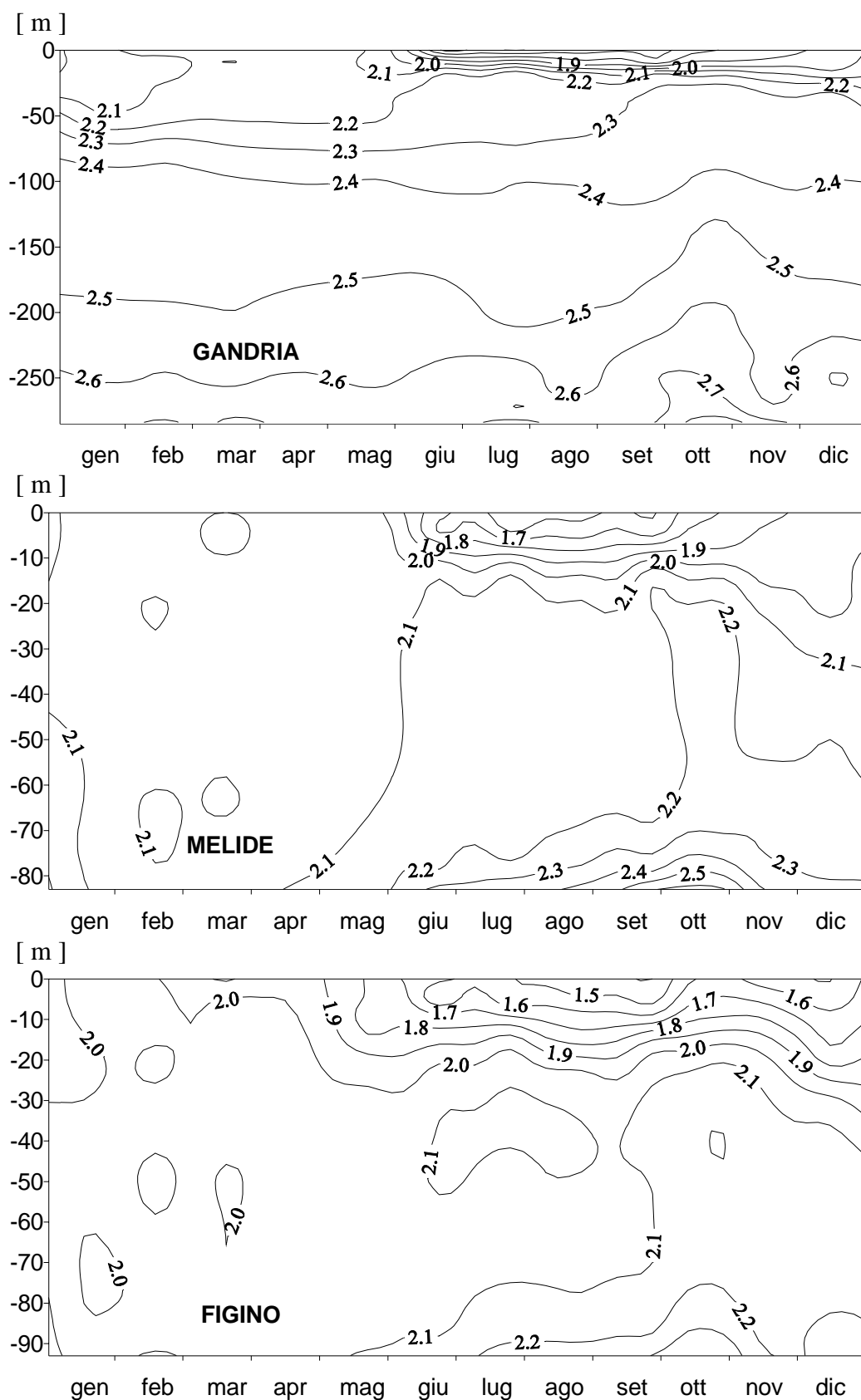


Fig. 5.5.2. Lago di Lugano, 2002: andamento dell'alcalinità [meq l⁻¹].

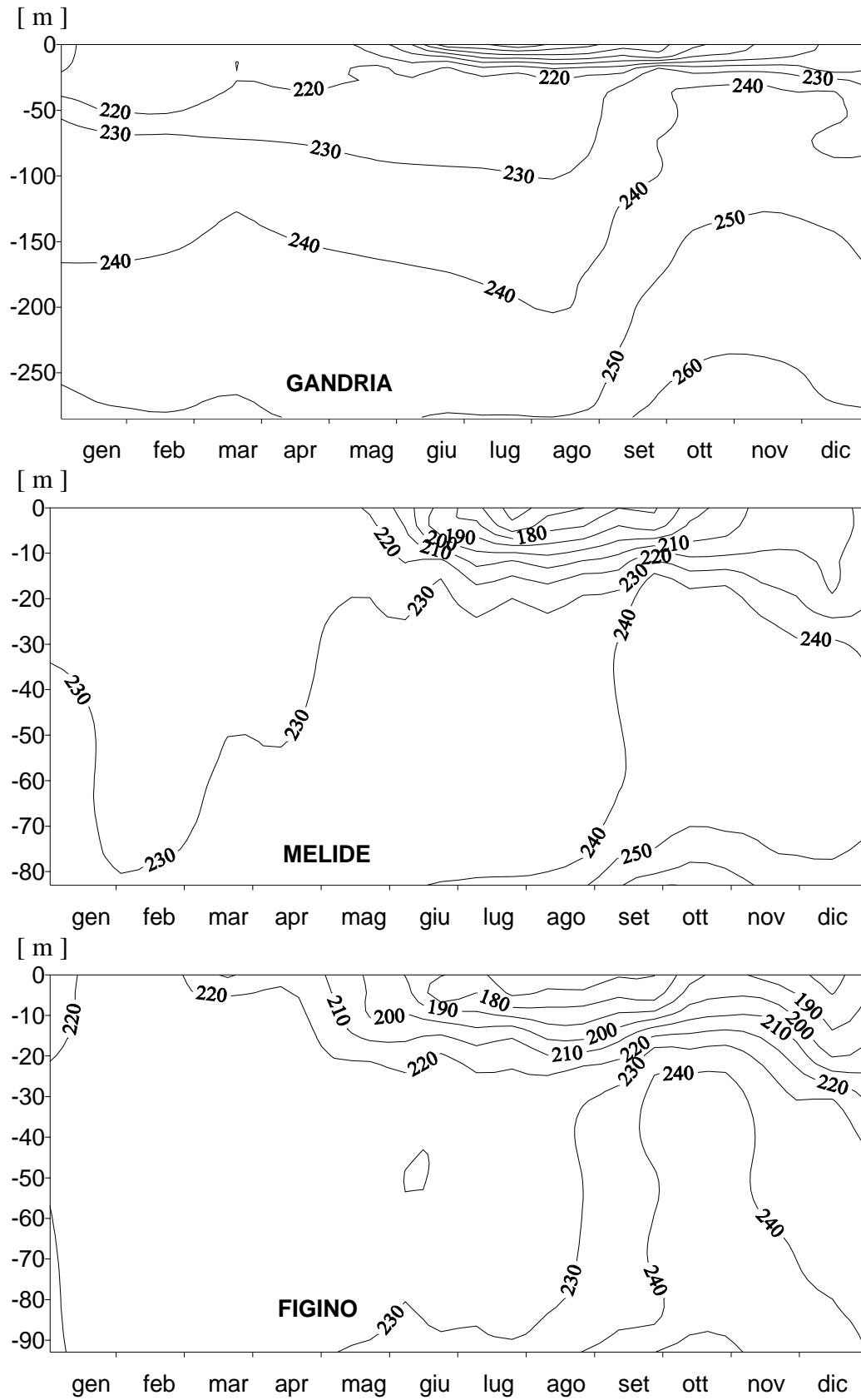


Fig. 5.6. Lago di Lugano, 2002: andamento della conducibilità elettrica [$\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C].

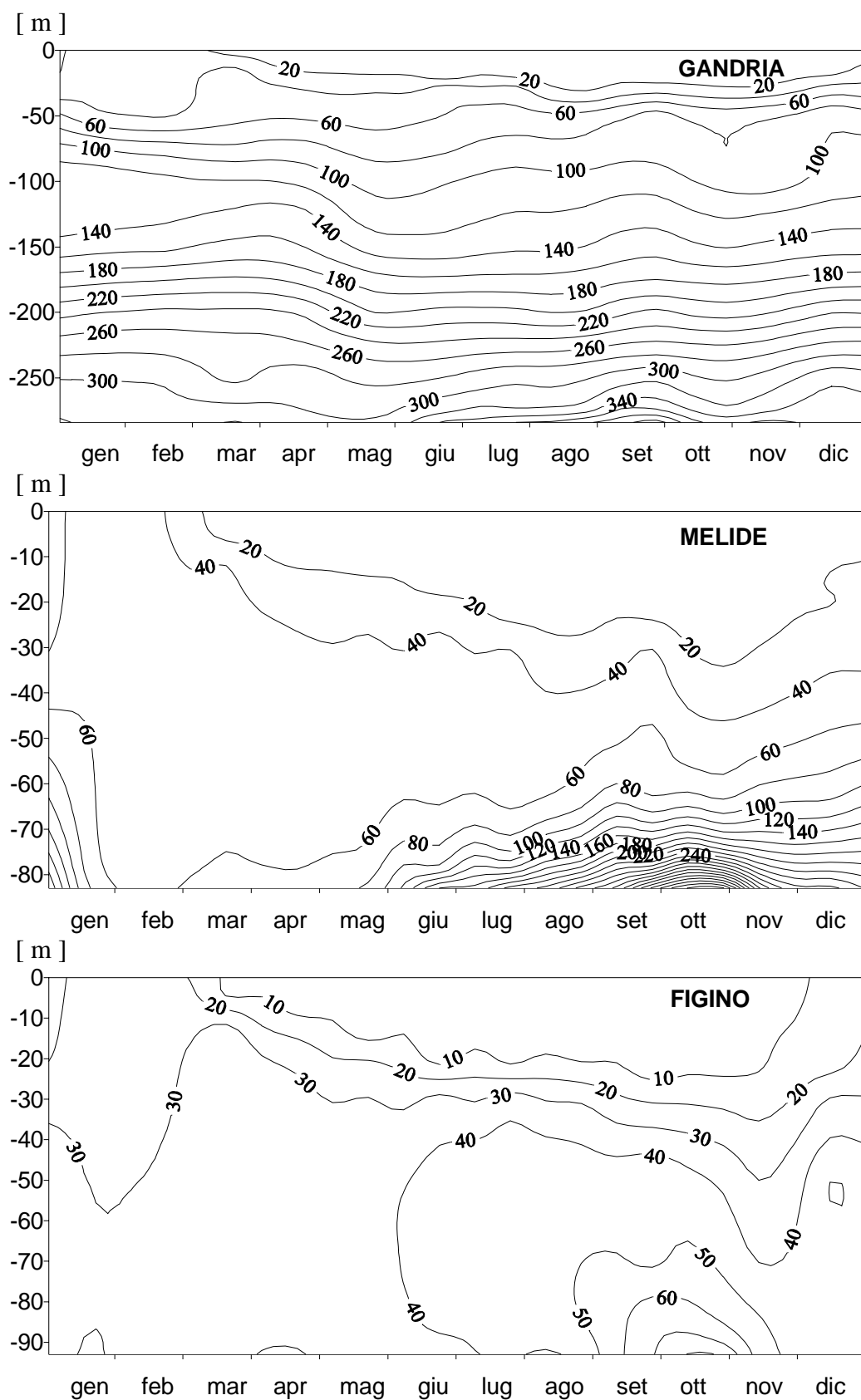


Fig. 5.7.1. Lago di Lugano, 2002: andamento del fosforo ortofosfato [mg P m^{-3}].

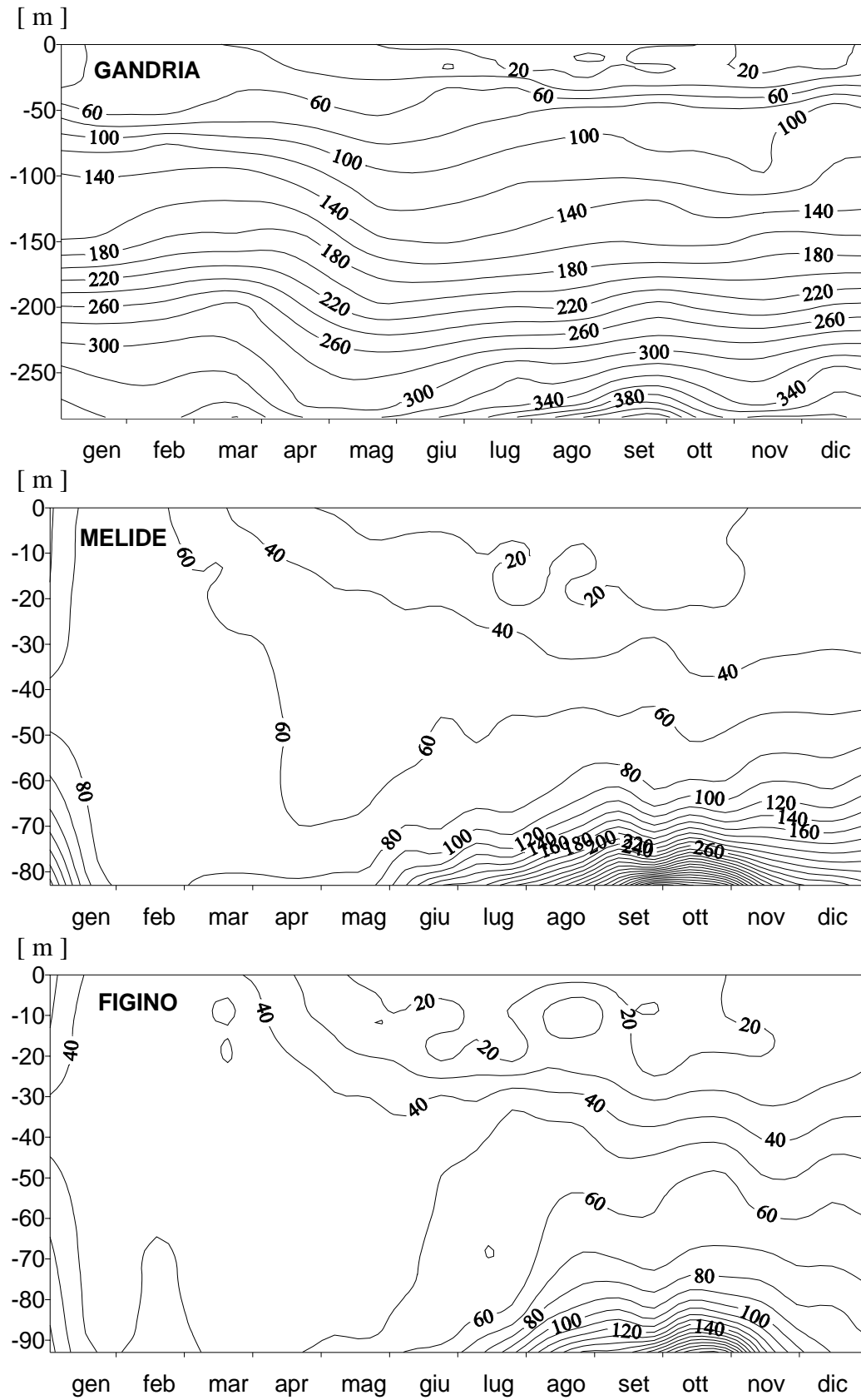


Fig. 5.7.2. Lago di Lugano, 2002: andamento del fosforo totale [mg P m^{-3}].

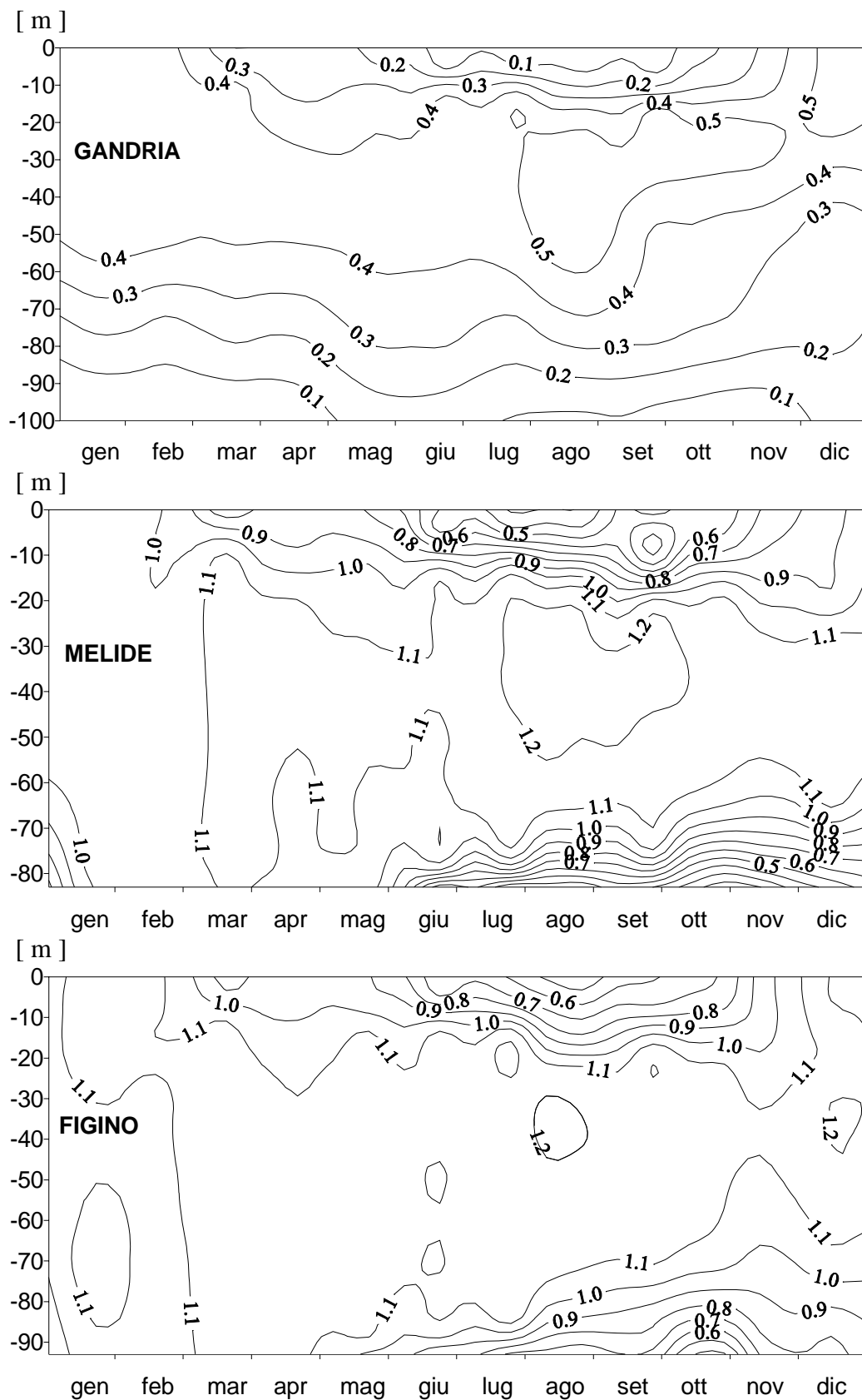


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2002: andamento dell'azoto nitrico [g N m^{-3}].

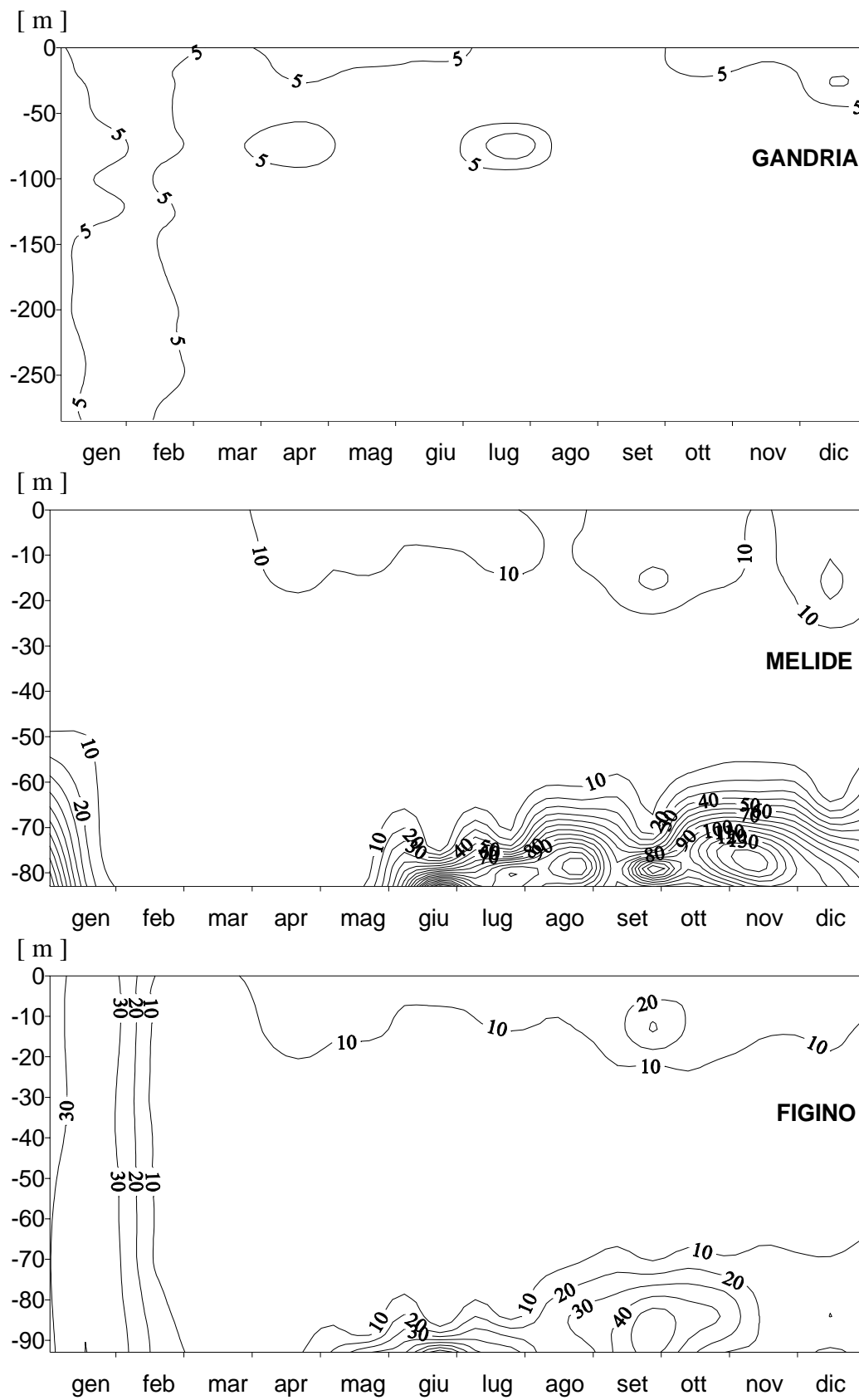


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2002: andamento dell'azoto nitroso [mg N m^{-3}].

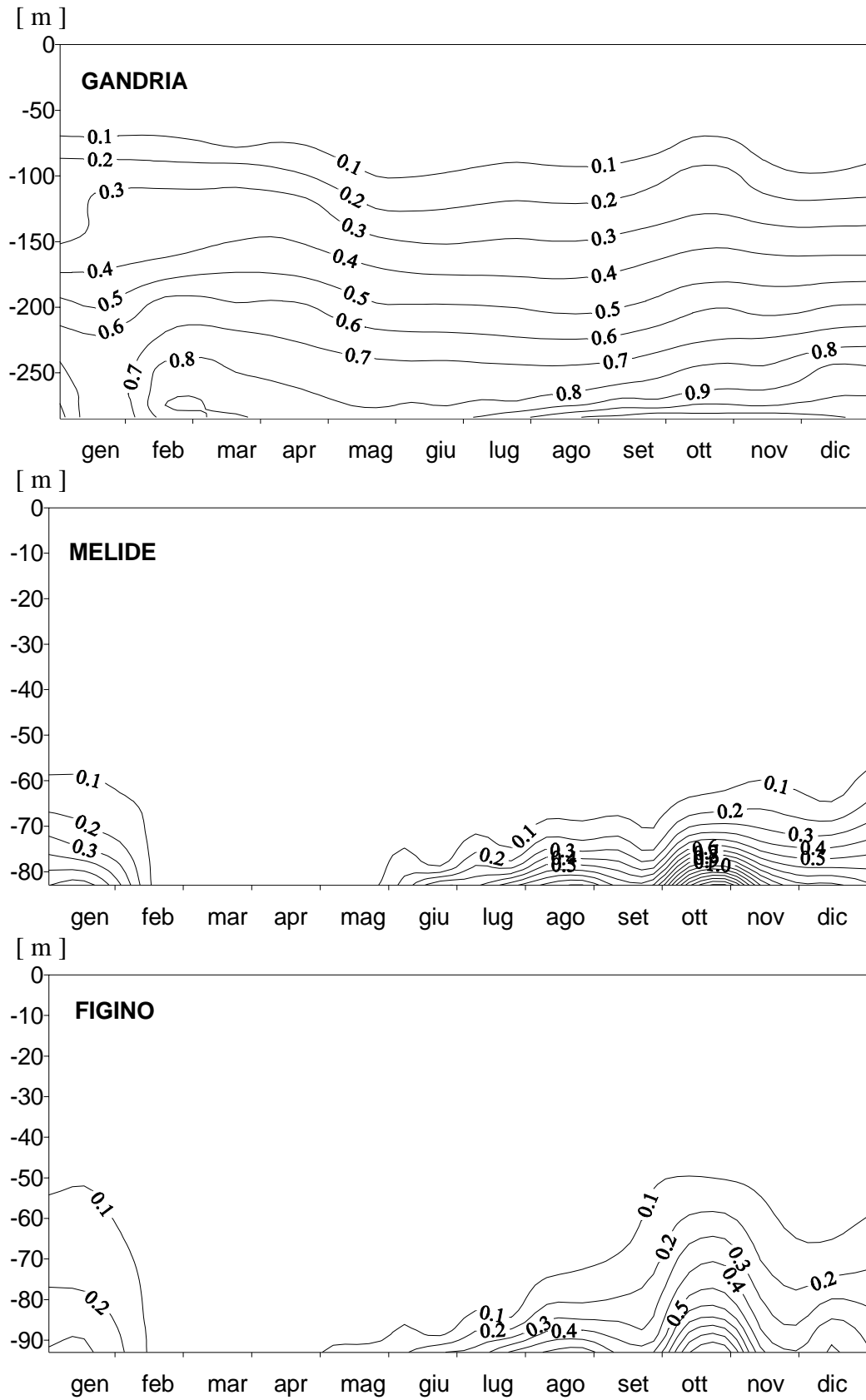


Fig. 5.8.3. Lago di Lugano, 2002: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m^{-3}].

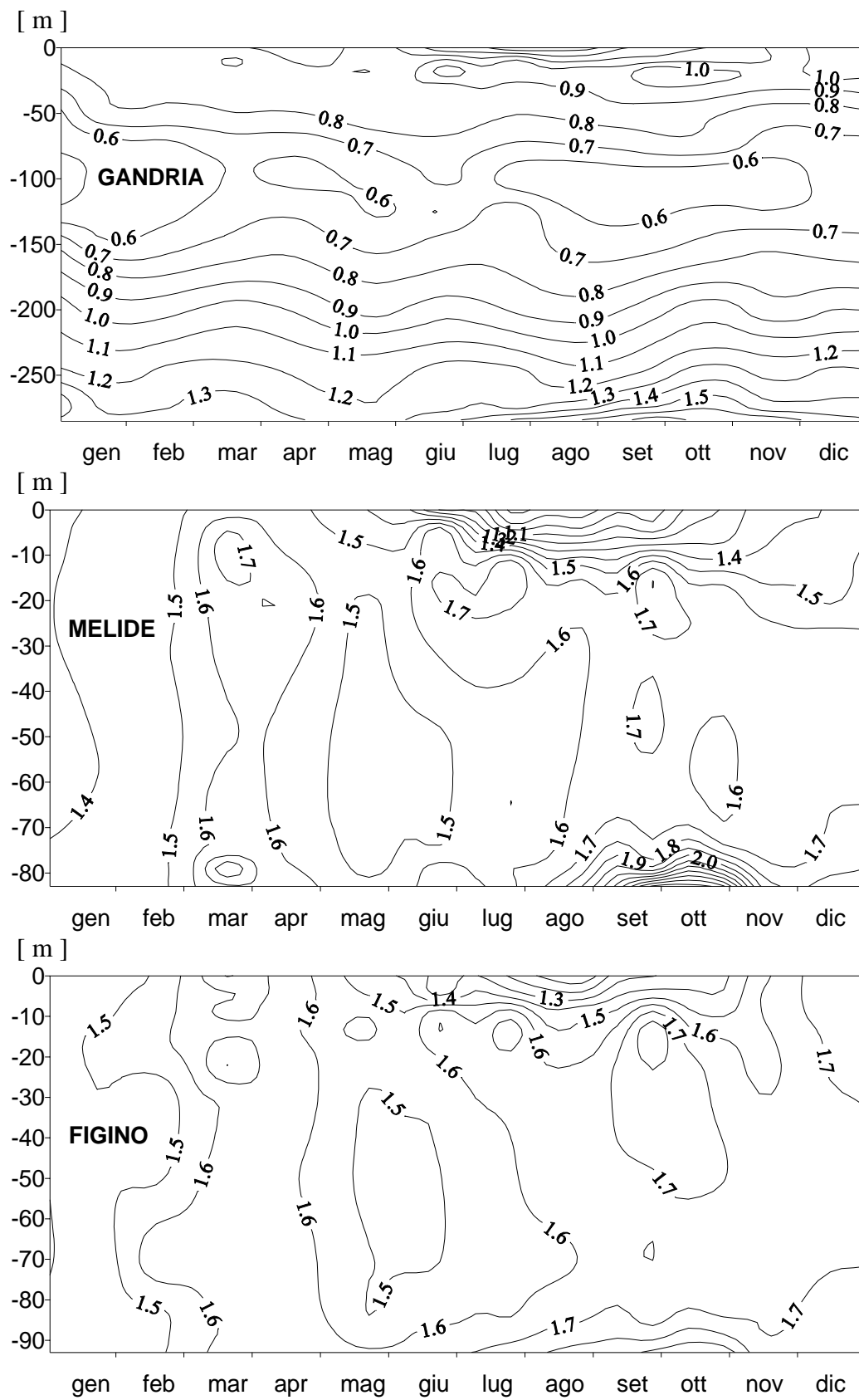


Fig. 5.8.4. Lago di Lugano, 2002: andamento dell'azoto totale [g N m^{-3}].

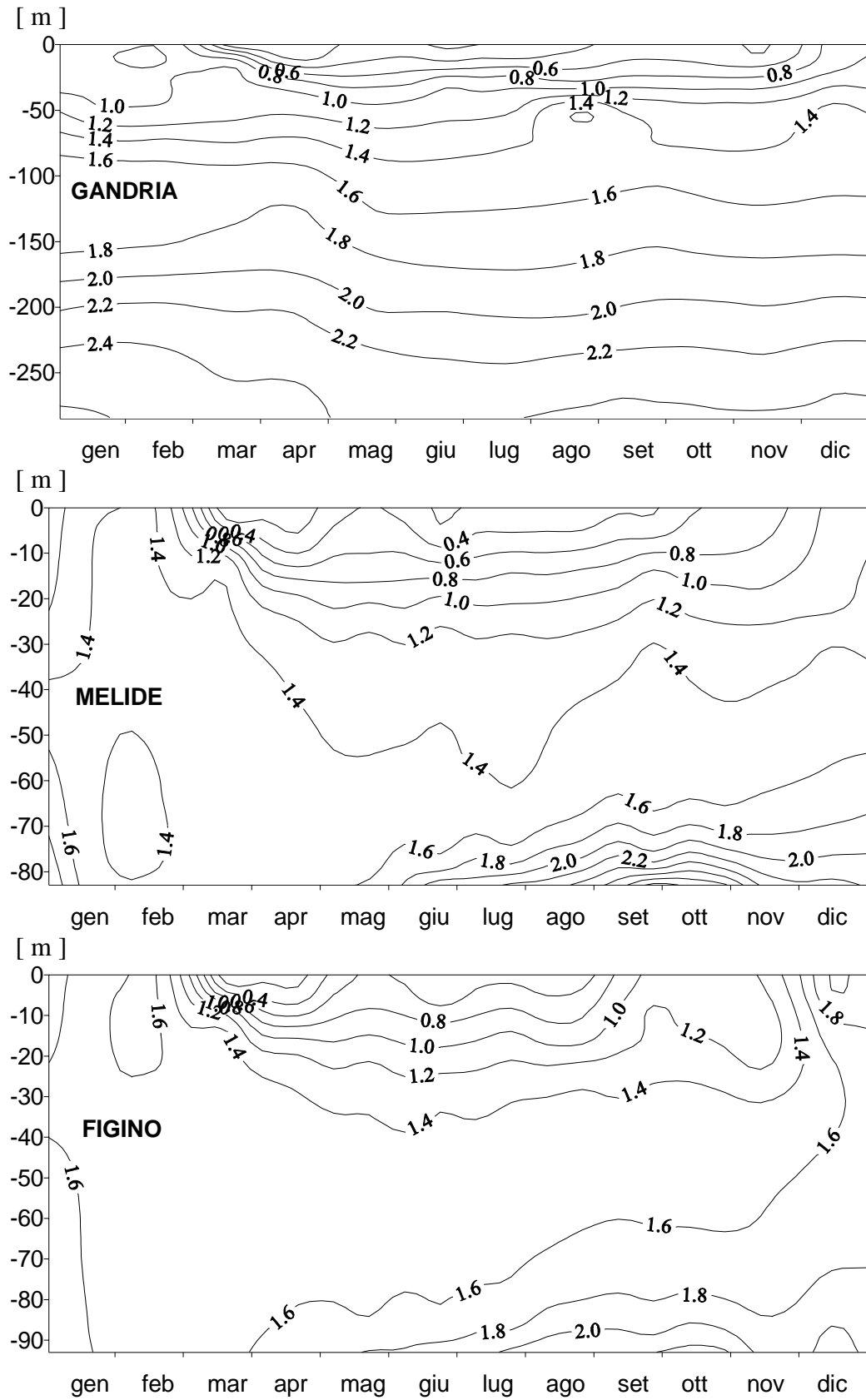


Fig. 5.9. Lago di Lugano, 2002: andamento dei silicati reattivi [g Si m^{-3}].

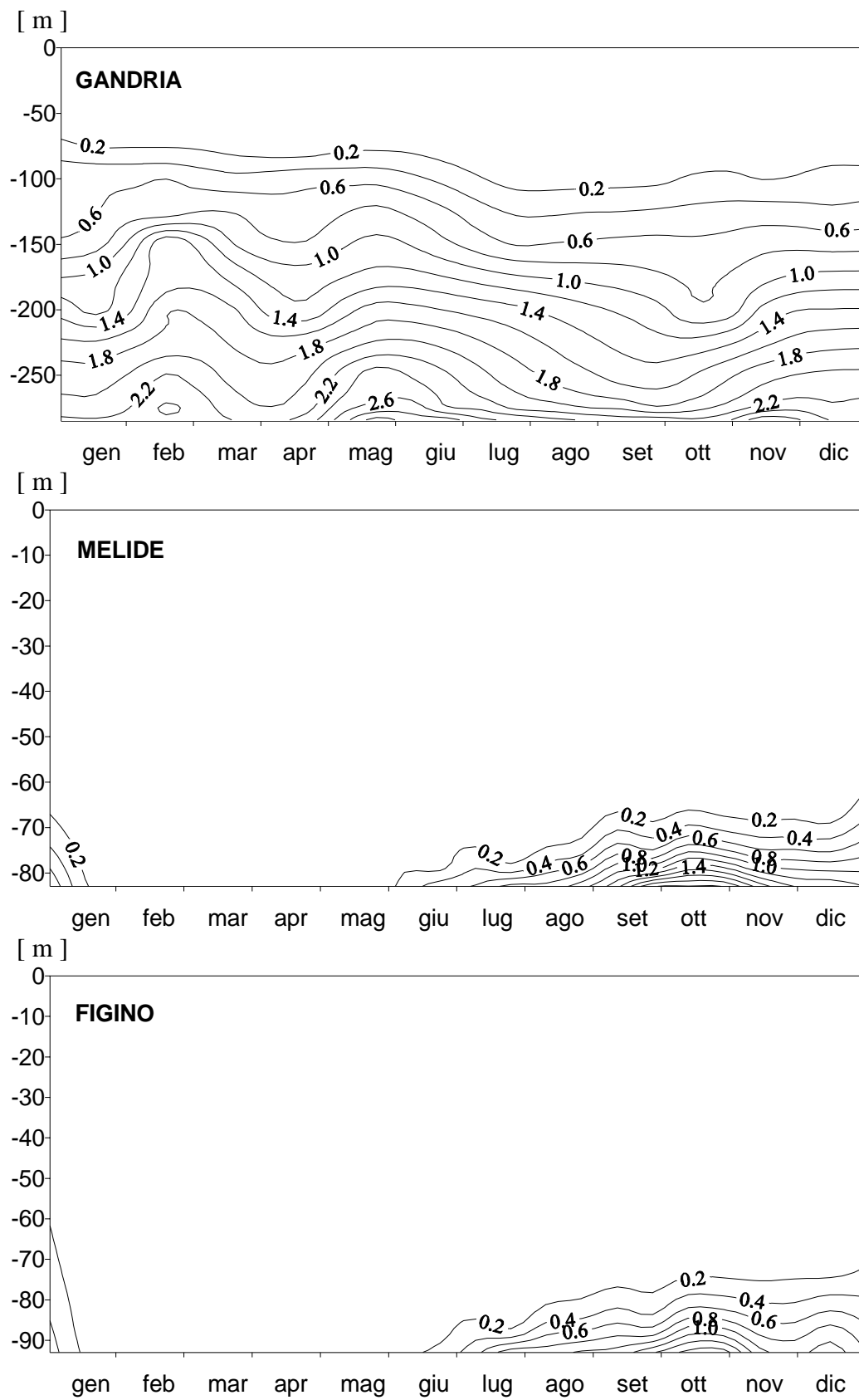


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2002: andamento del metano [g m^{-3}].

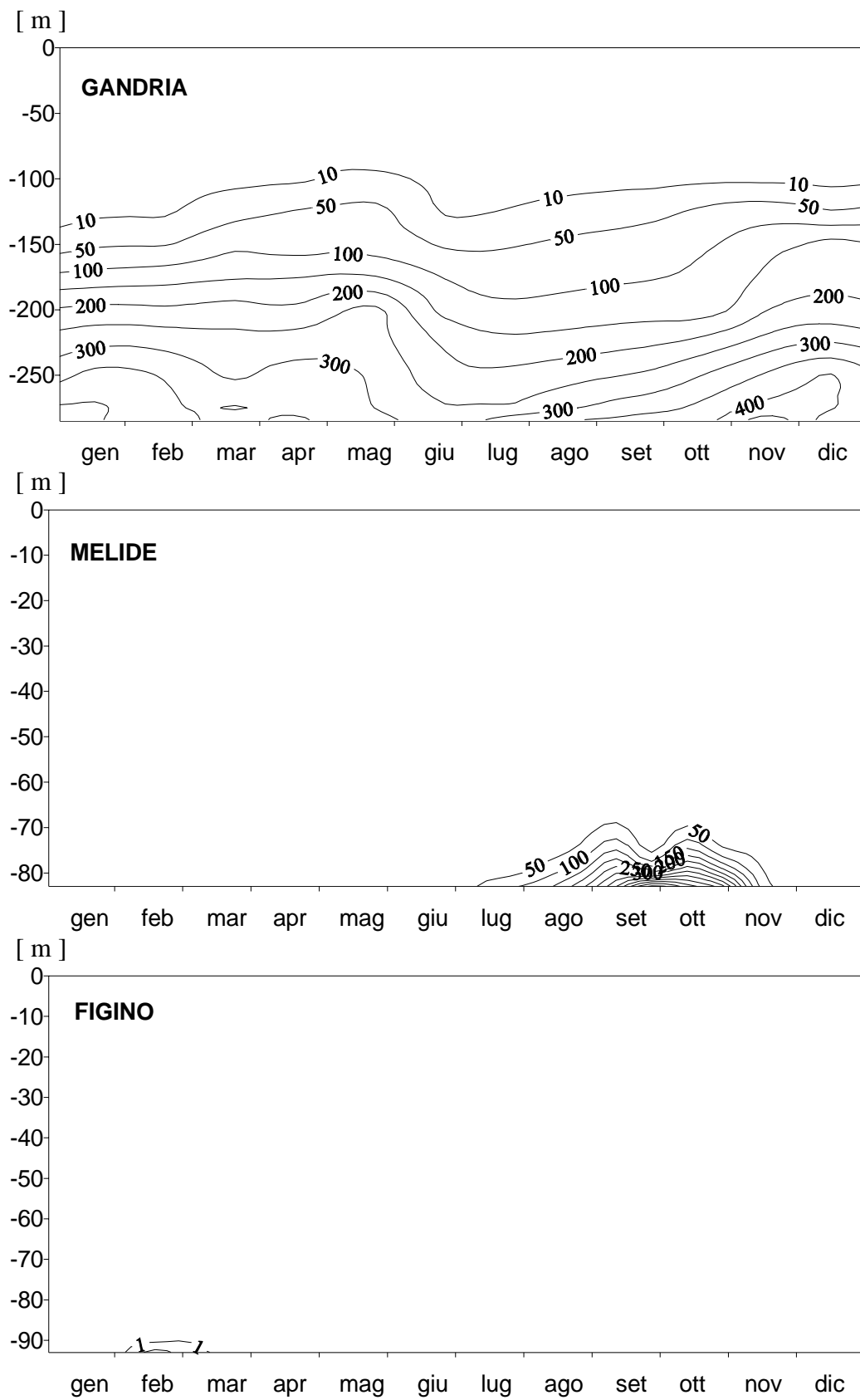


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2002: andamento del solfuro [mg m^{-3}].

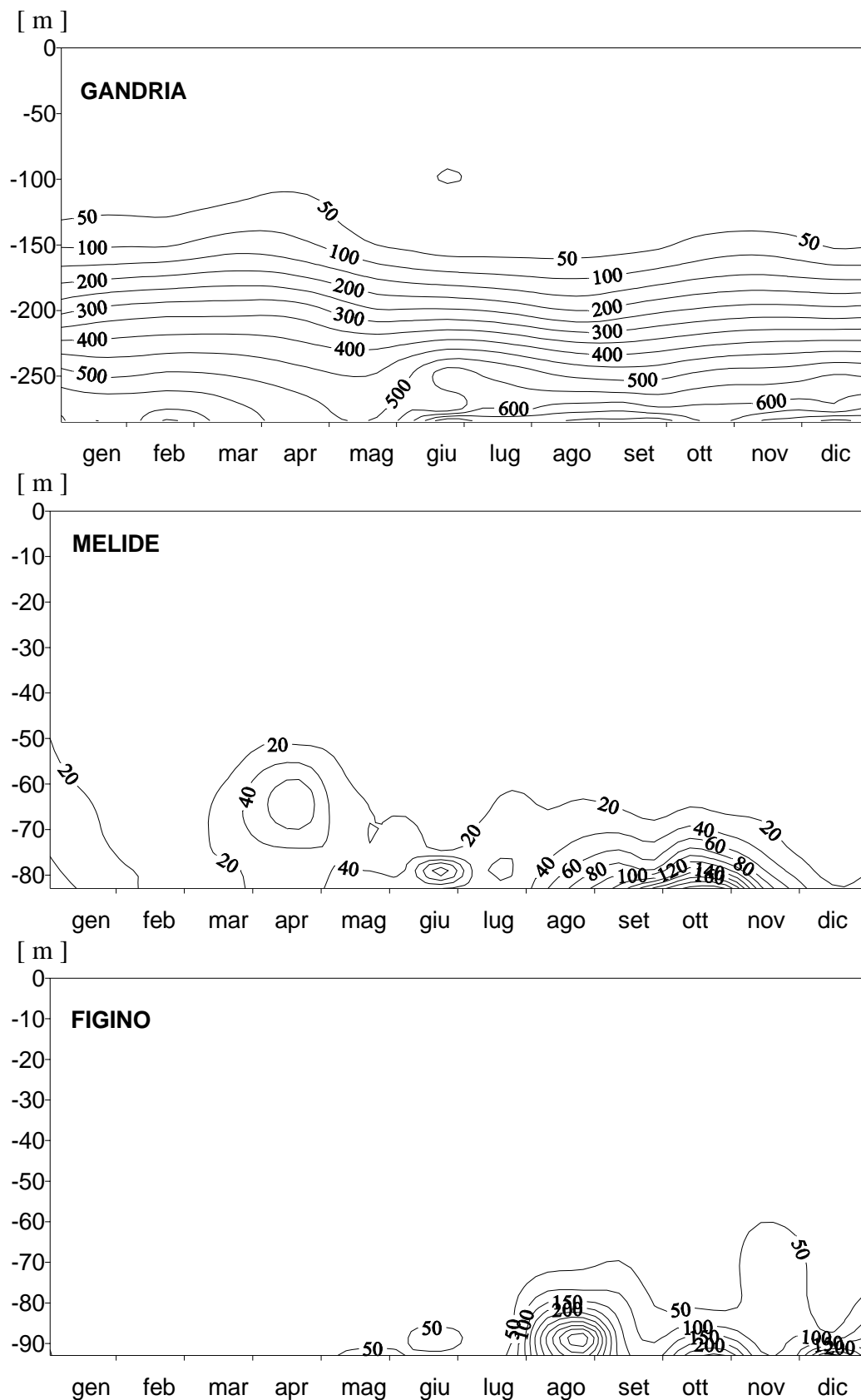


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2002: andamento del ferro disciolto [mg m^{-3}].

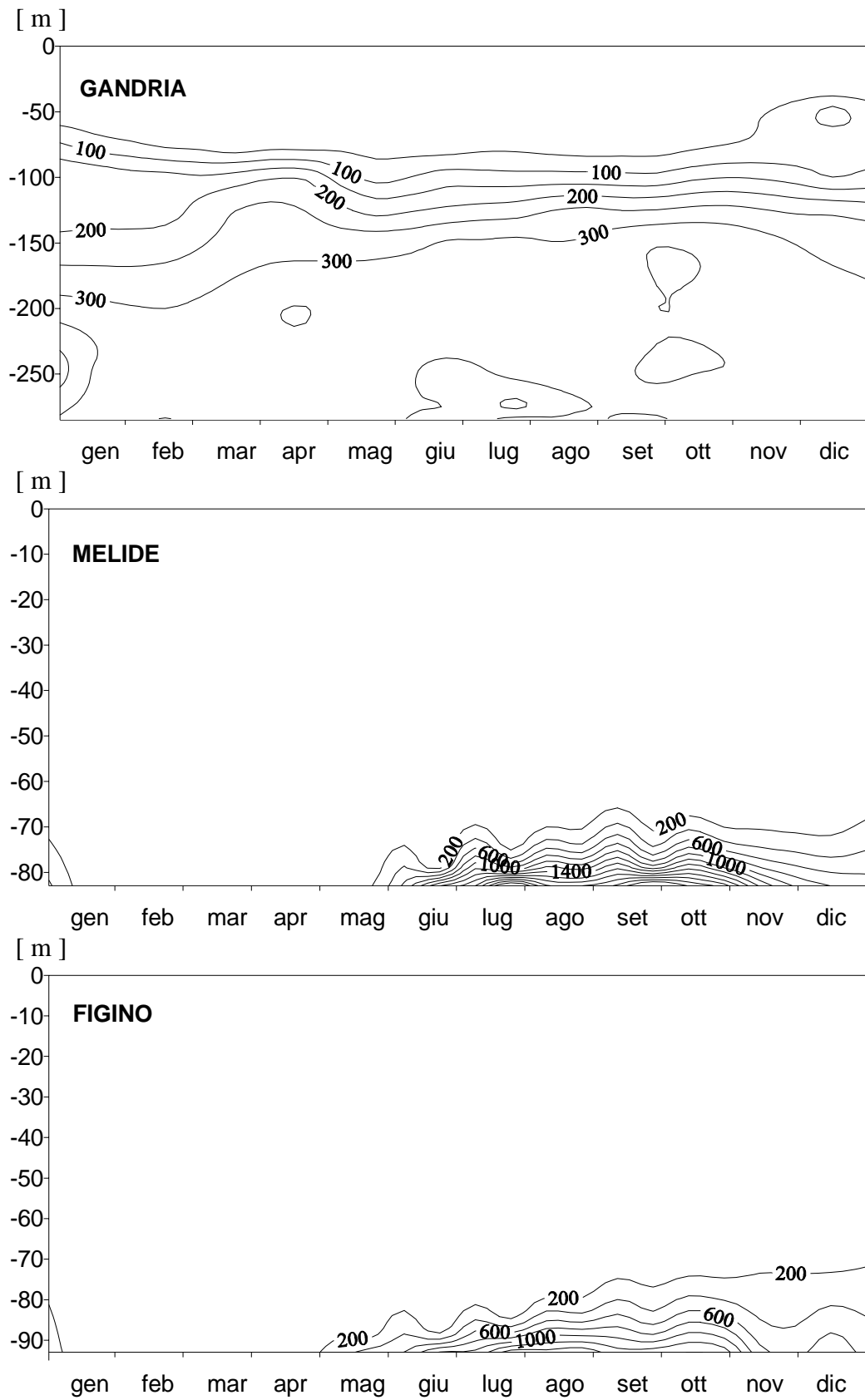


Fig. 5.13. Lago di Lugano, 2002: andamento del manganese disciolto [mg m^{-3}].

6. INDAGINI SUL FITOPLANCTON

6.1. Struttura dei popolamenti

Nel corso del 2002 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'andamento stagionale del popolamento fitoplanctonico ha evidenziato due fasi principali di sviluppo: la prima, all'inizio del periodo vegetativo, è stata dominata come di consueto dai popolamenti di diatomee, mentre la seconda, già all'inizio dell'estate, ha ricevuto un importante contributo dalle crisoficee, dalle cianoficee e, limitatamente al bacino sud, anche dalle cloroficee. A partire d'agosto la comunità fitoplanctonica è stata caratterizzata da un costante predominio delle cianoficee, che non hanno però fatto registrare valori di densità particolarmente elevati. Infine, le piogge alluvionali di novembre hanno provocato un forte dilavamento dello strato epilimnico, e di conseguenza anche un notevole impoverimento della biocenosi algale.

Fra i principali gruppi tassonomici, le **cianoficee** sono risultate in netta ripresa in entrambi i bacini lacustri, grazie ad un discreto sviluppo di specie filamentose tra maggio e settembre (Aphanizomenon flos-aquae: fino a 6.5 milioni di cellule l^{-1} , Plantothrix [ex Oscillatoria] rubescens: fino a 47 milioni di cellule l^{-1} , Pseudanabaena [ex Oscillatoria] limnetica: fino a 30 milioni di cellule l^{-1}); fra le specie coccali si registra una forte presenza di Snowella lacustris nel bacino sud, in agosto (1.5-3.9 milioni di cellule l^{-1}) e di diverse Chroococcales in tutto il lago, in ottobre (fino a 60 milioni di cellule l^{-1}). Nel corso degli ultimi mesi dell'anno, fra le specie dominanti è ricomparsa Limnothrix [ex Oscillatoria] redeckei (con massimi di densità compresi tra 6 e 10 milioni di cellule l^{-1}): questa cianoficea filamentosa non era stata più stata osservata nel lago dal 1998.

Le **diatomee** hanno presentato uno sviluppo di rilievo durante i mesi di marzo e aprile in tutto il lago, e successivamente ancora in giugno nel bacino sud. Come al solito, la punta primaverile è stata caratterizzata dalla presenza di specie centriche, fra le quali quest'anno unicamente Stephanodiscus parvus, specie di piccole dimensioni, ha fatto registrare punte di rilievo (nel bacino nord 6.3 milioni di cellule l^{-1} ; nel bacino sud 23 milioni di cellule l^{-1}); in netto calo sono invece risultate le specie centriche di maggior dimensioni, anch'esse tipiche di questo periodo (Stephanodiscus neoastrea, Cyclotella radiosa). Le specie pennate più abbondanti sono risultate dapprima Asterionella formosa (in marzo: Gandria 1.6 milioni di cellule l^{-1} , Melide 0.7, Figino 0.2), e quindi Fragilaria crotonensis (in giugno: Gandria 0.2 milioni di cellule l^{-1} , Melide 1.4, Figino 2.1).

Uno degli elementi più significativi del quadro fitoplanctonico del 2002 è dato dalla netta flessione del popolamento delle **cloroficee** dopo due anni estremamente favorevoli a questo gruppo tassonomico: in particolare la fase estiva e tardo-estiva di

sviluppo delle clorococcali è risultata estremamente ridotta nel bacino nord, mentre nel bacino sud essa è rimasta limitata alle specie Sphaerocystis schroeteri in agosto (a Melide 0.8 milioni di cellule l^{-1} , a Figino 1.4) e Cœlastrum astroideum in settembre (a Melide 1.2 milioni di cellule l^{-1} , a Figino 1.6). All'interno del gruppo, i maggiori valori di densità sono stati raggiunti da Chlorhormidium sp., una specie filamentosa che ha avuto il momento di massimo sviluppo in luglio, nel bacino sud (Melide: 5.2 milioni di cellule l^{-1} , Figino: 3.7). Anche per quanto riguarda le **coniugatoficee** l'anno 2002 ha fatto registrare valori di densità estremamente bassi in tutto il lago, con un'unica modesta fase di sviluppo per Mougeotia sp. in settembre-ottobre a Gandria (0.1 milioni di cellule l^{-1}), e in novembre a Figino (0.2 milioni di cellule l^{-1}). Una delle specie filamentose tipiche della fase di chiarificazione primaverile delle acque, Tribonema sp. (**xantoficee**), ha raggiunto puntualmente in maggio i massimi di densità, con valori simili agli anni precedenti (attorno a 1 milione di cellule l^{-1}), per poi calare rapidamente già dal mese successivo, in concomitanza con la principale fase di crescita delle **crisoficee**, che quest'anno, oltre che alle punte di Chrysochromulina sp. (2-5 milioni di cellule l^{-1}) hanno fatto registrare, sempre in giugno, i valori più elevati dell'ultimo ventennio per Dinobryon divergens (Gandria: 0.8 milioni di cellule l^{-1} , Melide 2.0, Figino: 1.6). E' interessante ricordare come proprio il genere Dinobryon era stato segnalato fra le specie dominanti del lago all'inizio del secolo scorso, e fra le specie abbondanti fin verso la metà degli anni '60 (Polli & Simona, 1992).

Un ruolo secondario nel quadro fitoplanctonico hanno svolto anche quest'anno le **criptoficee**, di cui il genere Rhodomonas, sempre presente in tutti i campioni, ha raggiunto le massime densità dapprima nei mesi primaverili (attorno ad 1 milione di cellule l^{-1}), e quindi nuovamente in agosto, ma solo nel bacino nord (1.6 milioni di cellule l^{-1}). Del tutto trascurabile, infine, è risultato il contributo delle **peridinee**.

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del 2002, 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 è stata sommata a quella delle cloroficee e rappresentata graficamente da un'unica porzione areale.

Nel bacino nord l'andamento stagionale dei valori è risultato abbastanza monotono, con tre punte principali d'entità piuttosto modesta (attorno a 3 g m^{-3}). Tra aprile e giugno si osserva un predominio dapprima delle diatomee, quindi delle cianoficee, ed infine delle cianoficee assieme alle crisoficee. Un'ulteriore punta di biomassa, meno marcata, si è avuta in ottobre, in concomitanza con la fase di massimo sviluppo delle cianoficee coccali.

Valori nettamente più elevati si riscontrano invece nel bacino sud, dove si osservano due momenti di forte sviluppo algale: i massimi annui (attorno a 4.5 g m^{-3}) sono stati

raggiunti all'inizio della primavera, in occasione della principale fase di crescita delle diatomee, mentre alla seconda punta di biomassa (Melide: 4.3 g m⁻³, Figino: 3.3) hanno contribuito prevalentemente le cianoficee, dapprima assieme alle crisoficee (fine giugno) e successivamente assieme alle crisoficee (luglio). Come nel bacino nord, anche in quello sud le cianoficee sono risultate completamente dominanti da agosto a novembre, periodo durante il quale i valori di biomassa totale sono andati progressivamente calando (da 2.3 a 1.6 g m⁻³). In seguito al periodo di precipitazioni alluvionali, iniziato subito dopo il campionamento di novembre, si è verificato un forte dilavamento dello strato epilimnico lacustre, che ha portato ad un drastico calo dei valori di biomassa fitoplanctonica nel mese di dicembre.

Tab. 6.1. Lago di Lugano, 2002: sviluppo delle principali specie di fitoplancton strato 0-20 m (densità in 10⁶ cellule l⁻¹).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
marzo	Stephanodiscus parvus (3.4) Asterionella formosa (1.6) Alaucoseira islandica (0.4)	Stephanodiscus parvus (21.2) Asterionella formosa (0.7) Alaucoseira islandica (0.6) Rhodomonas (1.5)	Stephanodiscus parvus (23.0) Asterionella formosa (0.2) Alaucoseira islandica (0.5)
aprile	Stephanodiscus parvus (6.3) Asterionella formosa (1.5) Fragilaria crotonensis (0.7)	Stephanodiscus parvus (5.0) Asterionella formosa (0.4) Fragilaria crotonensis (0.3) Alaucoseira islandica (0.1) Rhodomonas (1.0)	Stephanodiscus parvus (2.6) Asterionella formosa (0.3) Fragilaria crotonensis (0.8) Alaucoseira islandica (0.2) Rhodomonas (1.0) Chrysochromulina (1.1)
maggio	Planktothrix rubescens (47.0) Aphanizomenon flos-aquae (1.3) Tribonema (0.6) Fragilaria crotonensis (0.2)	Aphanizomenon flos-aquae (3.2) Tribonema (1.0) Fragilaria crotonensis (0.2) Sphaerocystis Schroeteri (0.4)	Aphanizomenon flos-aquae (4.6) Tribonema (0.8) Fragilaria crotonensis (1.2) Sphaerocystis Schroeteri (0.2) Rhodomonas (1.0)
giugno	Aphanizomenon flos-aquae (1.3) Chrysochromulina (2.6) Dinobryon divergens (0.8) Fragilaria crotonensis (0.2) Chlorhormidium (0.1) Tribonema (0.1)	Aphanizomenon flos-aquae (1.6) Chrysochromulina (5.0) Dinobryon divergens (2.0) Fragilaria crotonensis (1.4) Chlorhormidium (1.1)	Chrysochromulina (2.0) Dinobryon divergens (1.6) Fragilaria crotonensis (2.1) Chlorhormidium (0.7) Tribonema (0.1)
luglio	Pseudanabaena limnetica (20.7)	Pseudanabaena limnetica (29.7) Chlorhormidium (5.2) Chrysochromulina (4.7)	Chlorhormidium (3.7) Chrysochromulina (1.1)
agosto	Planktothrix rubescens (22.1) Rhodomonas (1.6) Chlorhormidium (0.1)	Snowella lacustris (1.5) Sphaerocystis Schroeteri (0.8) Chlorhormidium (0.2)	Snowella lacustris (3.9) Sphaerocystis Schroeteri (1.4) Chlorhormidium (0.4)
settembre	Pseudanabaena cf. galeata (12.9) Aphanizomenon flos-aquae (6.5)	Pseudanabaena cf. galeata (11.1) Aphanizomenon flos-aquae (2.5) Cyclotella ocellata (0.7) Coelastrum polychordum (1.2)	Pseudanabaena cf. galeata (17.3) Aphanizomenon flos-aquae (3.4) Cyclotella ocellata (0.6) Coelastrum polychordum (1.6) Chrysochromulina (1.5)
ottobre	div. Chroococcales (59.9) Aphanizomenon flos-aquae (1.6) Limnothrix sp. (12.2)	div. Chroococcales (28.8) Aphanizomenon flos-aquae (1.2)	div. Chroococcales (14.9) Aphanizomenon flos-aquae (1.2)
novembre	Chlorhormidium (1.0) Limnothrix redeckei (7.9)	Chlorhormidium (0.4) Limnothrix redeckei (10.3) Limnothrix sp. (13.2)	Chlorhormidium (0.6) Limnothrix redeckei (6.1) Limnothrix sp. (10.0) Mougeotia (0.2)
dicembre	Limnothrix redeckei (7.2) Chlorhormidium (0.6)	Limnothrix redeckei (4.5) Chlorhormidium (0.4)	Chlorhormidium (0.2)

La biomassa media annua presenta valori più elevati nel bacino sud (Melide: 1.81 g m^{-3} , Figino: 1.80 g m^{-3}) rispetto al bacino nord (Gandria: 1.68 g m^{-3}). Rispetto all'anno precedente essa risulta in calo nel bacino nord, ma in aumento in quello sud. Di fatto, l'incremento delle cianofitiche osservato in tutto il lago è stato accompagnato, in quest'ultimo bacino, da una sostanziale tenuta degli altri gruppi algali, mentre a Gandria esso è stato controbilanciato da una forte riduzione delle clorofitiche, scese attorno ai valori minimi dopo due anni di predominio assoluto.

Per quanto riguarda la composizione percentuale della biomassa algale del 2002 (media annua, Fig. 6.2.2.), si assiste al ritorno del predominio delle cianofitiche, che a Gandria tornano a superare la soglia del 50%, accompagnate dalle diatomee, in misura variabile tra il 21% (Gandria) ed il 26% (Figino). Le clorofitiche si confermano il terzo gruppo tassonomico del lago unicamente nel bacino sud (12-15%), dove si mantengono attorno ai valori degli anni precedenti, mentre a Gandria esse si presentano in netto calo (6%) e si attestano sui livelli delle peridinee e delle criptofitiche. Fra i rimanenti gruppi algali vi è da rilevare il contributo annuo relativamente importante delle crisofitiche (bacino nord: 3%; bacino sud: 5%), le quali, al momento del loro massimo sviluppo, sono arrivate a costituire il 25% della biomassa totale nel bacino nord, e addirittura il 40% nel bacino sud.

6.3. Clorofilla

Quale utile complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, anche nel corso del 2002 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 ha permesso di evidenziare la marcata tendenza alla stratificazione profonda dei popolamenti algali durante la fase di stagnazione estiva delle acque. L'esigenza di una maggior frequenza nel rilevamento dei profili verticali della clorofilla durante il periodo vegetativo viene confermata, nella rappresentazione grafica, dall'assenza del segnale relativo al principale picco primaverile del bacino sud (cfr. Fig 6.3.3., seconda metà di marzo), proprio a causa del maggior intervallo temporale tra i campionamenti.

L'andamento stagionale della clorofilla è caratterizzato, in entrambi i bacini, da una fase di sviluppo primaverile, con valori distribuiti in maniera abbastanza omogenea lungo la colonna campionata (massimi compresi tra 16 e 19 mg m^{-3}), e da un successivo periodo (maggio-settembre), con valori molto elevati ma concentrati negli strati più profondi (5-15 m): lo strato superiore dell'epilimnio (0-5 m) risulta infatti estremamente povero di clorofilla durante l'intero periodo estivo, e solo da settembre presenta ad un progressivo recupero dei valori. Tra giugno ed agosto sono state

regolarmente misurate punte superiori a 30 mg m^{-3} , con massimi assoluti in giugno a Gandria (38 mg m^{-3}) e Melide (51 mg m^{-3}), ed in luglio a Figino (42 mg m^{-3}), tutti a 8 m di profondità.

A titolo di confronto, nella figura 6.3.2. è riportato il dettaglio grafico (strato 0-20 m) delle isolinee relative all'andamento dell'assorbanza (cfr. paragrafo 5.2.): i dati di base sono stati rilevati con frequenza quindicinale, e con un intervallo di misura di 1 m. Questo parametro permette di rilevare la distribuzione lungo la colonna d'acqua del materiale particellato, e quindi anche della biomassa fitoplanctonica. Di fatto gli andamenti delle isolinee della clorofilla e dell'assorbanza presentano un elevato grado di corrispondenza, soprattutto da maggio ad ottobre; come già accennato sopra, la maggior definizione del grafico dell'assorbanza permette d'evidenziare un'ulteriore punta di materiale particellato negli strati superficiali in corrispondenza con la principale fase di sviluppo delle diatomee (seconda metà di marzo). D'altra parte, in occasione dei principali eventi alluvionali dell'anno (maggio, novembre), le isolinee dell'assorbanza consentono di rilevare l'apporto da parte dei tributari d'ingenti quantitativi di particellato alloctono, che si stratifica nell'epilimnio lacustre in modo differenziato, secondo il grado di densità delle masse d'acqua coinvolte. E' da notare come nella stazione di Melide, influenzata meno direttamente dagli apporti esterni, i valori d'assorbanza corrispondenti ai periodi alluvionali risultano molto più attenuati rispetto alle altre due stazioni di misura, situate in prossimità della foce dei principali tributari del lago (Cassarate, Cuccio per Gandria, Vedeggio e Magliasina per Figino).

- 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 nello strato tra 0 e 20 m.

Le curve presentano un andamento molto simile a quello della biomassa fitoplanctonica (Fig. 6.2.1.), con massimi primaverili crescenti lungo l'asse di deflusso del lago (Gandria: 16.3, Melide: 19.5, Figino: 22.2 mg m^{-3}). Fatta eccezione per una seconda punta estiva di minor entità (Gandria, agosto: 14.3, Melide, giugno: 19.3, Figino, agosto: 16.0 mg m^{-3}), a partire da maggio i valori non hanno più subito variazioni di rilievo, e da settembre sono andati progressivamente calando.

Nonostante le differenze che si osservano nell'andamento stagionale, i valori medi annui delle tre stazioni risultano sostanzialmente simili, compresi tra 8.4 mg m^{-3} (Melide) e 8.8 mg m^{-3} (Gandria). Va comunque ricordato che, ai fini di un corretto confronto dei valori misurati sui campioni integrali, è necessario tenere in conto il rapporto tra lo spessore dello strato produttivo ($Z_{1\%}$) e quello dello strato effettivamente campionato (20 m): sotto quest'aspetto, anche nel 2002 le condizioni di penetrazione subacquea dell'energia fotosintetica sono risultate più favorevoli nel bacino nord che in quello sud (cfr. paragrafo 6.4.).

6.4. Produzione primaria

- Radiazione fotosintetica e strato trofogeno

La misura della radiazione fotosintetica viene utilizzata ai fini della stima della produzione primaria giornaliera, calcolata secondo la relazione di Gächter [9]. L'applicazione di tale relazione richiede condizioni d'irraggiamento solare sufficienti durante il periodo di misura in situ. Per una corretta stima dei dati mensili di produzione risulta quindi opportuno confrontare le condizioni d'irraggiamento rilevate durante le giornate di prelievo con il corrispondente valore medio mensile. Come si può osservare dalla figura 6.4.1., nel corso dei campionamenti del 2002 si sono avute condizioni d'irraggiamento solare molto precarie nei mesi di marzo e settembre a Gandria, maggio, settembre e ottobre a Melide, ottobre e novembre a Figino. Dal momento che quest'anno il periodo vegetativo del lago è iniziato con un certo ritardo (seconda metà di marzo, cfr. Fig. 6.3.3.) si può ritenere che unicamente i deficit d'irraggiamento di settembre ed ottobre abbiano avuto un certo influsso sulla stima del dato annuo di produzione: di conseguenza il valore calcolato per il 2002 potrebbe risultare leggermente sottostimato (circa -5%) nelle stazioni di Gandria e Melide, e sovrastimato (circa +10%) a Figino.

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.

Come deducibile dalla media annua di $Z_{1\%}$ (Gandria: 10.0 m, Melide: 9.5 m, Figino: 9.0 m), anche nel 2002 le condizioni d'irraggiamento subacqueo sono risultate più favorevoli nel bacino nord che in quello sud. Si tratta in ogni modo di valori in netto calo rispetto agli anni precedenti, soprattutto a causa di una minor trasparenza delle acque durante i mesi invernali, quando generalmente si registrano i massimi dell'anno (in febbraio a Gandria si sono misurati 14.5 m, a Melide 12.1 m, a Figino 11.9 m). Durante il periodo vegetativo, il limite inferiore della zona eufotica si è assestato in prossimità del termocline: in questo strato d'acqua si sono create favorevoli condizioni di crescita per specie fitoplanctoniche (quali le cianofitiche filamentose) che prediligono basse intensità luminose, basse temperature ed un elevato tenore di nutrienti: la marcata stratificazione di questi popolamenti algali in profondità (cfr. Figg. 6.3.1. e 6.3.2.) ha costituito un'autentica barriera per la penetrazione della luce, ed ha contribuito, di conseguenza, a limitare sensibilmente l'ampiezza dello strato trofogeno del lago. Prescindendo dai minimi misurati in maggio nelle due stazioni maggiormente esposte all'influsso degli apporti alloctoni d'origine alluvionale (Gandria e Figino), i valori più bassi di $Z_{1\%}$ sono stati misurati in concomitanza con le fasi di maggior sviluppo estivo del fitoplancton negli strati superficiali (cfr. Fig. 6.3.1.): a luglio in tutto il lago (Gandria: 7.3 m, Melide: 8.0 m, Figino: 7.8 m), ed a settembre limitatamente al bacino sud (Melide: 7.9 m, Figino: 6.5 m).

- Produzione giornaliera ed annua

Nella Fig. 6.4.3. è riportato l'andamento dell'attività fotosintetica rilevata mensilmente nelle tre stazioni principali del lago nel corso del 2002. 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 importante contributo alla produzione primaria annua è fornito dallo sviluppo primaverile delle diatomee, che nel 2002 si è verificato con un certo ritardo rispetto al consueto: il campionamento di marzo, effettuato nella prima decada del mese, non ha perciò potuto coincidere con il momento di maggior sviluppo algale, almeno per quanto concerne le stazioni del bacino sud (cfr. Fig. 6.3.3), ed i massimi di questo periodo (tutti attorno a $1.6 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) sono stati così misurati in aprile. Nel corso del trimestre estivo il gravico evidenzia la presenza di un'ulteriore punta di produzione a Gandria (giugno, $1.6 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$), e di due (giugno, agosto) nelle stazioni di Melide (rispettivamente 1.5 e $1.8 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e di Figino (1.9 e $2.2 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

Come già accennato in precedenza, durante il periodo di maggior produzione (aprile-agosto) le condizioni d'irraggiamento in occasione delle misure in situ non sono mai risultate eccessivamente sfavorevoli, per cui l'errore nella stima del valore annuo del 2002 è da ritenersi verosimilmente modesto.

Riguardo ai valori di produttività, le stazioni di Gandria e Melide presentano un andamento simile, con valori elevati da aprile ad agosto (0.10 - $0.19 \text{ g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$; prescindendo dal dato di maggio a Melide a motivo delle anomali condizioni d'irraggiamento), mentre a Figino si osservano tre punte con valori crescenti (da 0.20 a $0.25 \text{ g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) in aprile, giugno e agosto.

Complessivamente la produzione primaria annua del 2002 si è mantenuta attorno ai valori degli anni precedenti, situandosi su livelli simili a Gandria e Melide (286 - $288 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$), e leggermente superiori a Figino ($327 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$). Introducendo la correzione stimata in base ai valori d'irraggiamento, si otterrebbe un dato annuo abbastanza simile in tutte le tre stazioni, attorno a $300 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$. Pur con la cautela imposta dai margini d'errore legati a questo tipo di calcolo, l'evoluzione trofica delle tre stazioni del lago sembra confermare, anche nel 2002, la tendenza sia ad una stabilizzazione dei valori annui di produzione, sia al riavvicinamento del dato di produttività nelle stazioni campionate (Gandria e Melide: 32 ; Figino $40 \text{ g C m}^{-3} \text{a}^{-1}$), legato anche alla diminuzione del gradiente di $Z_{1\%}$ nei due sottobacini del lago.

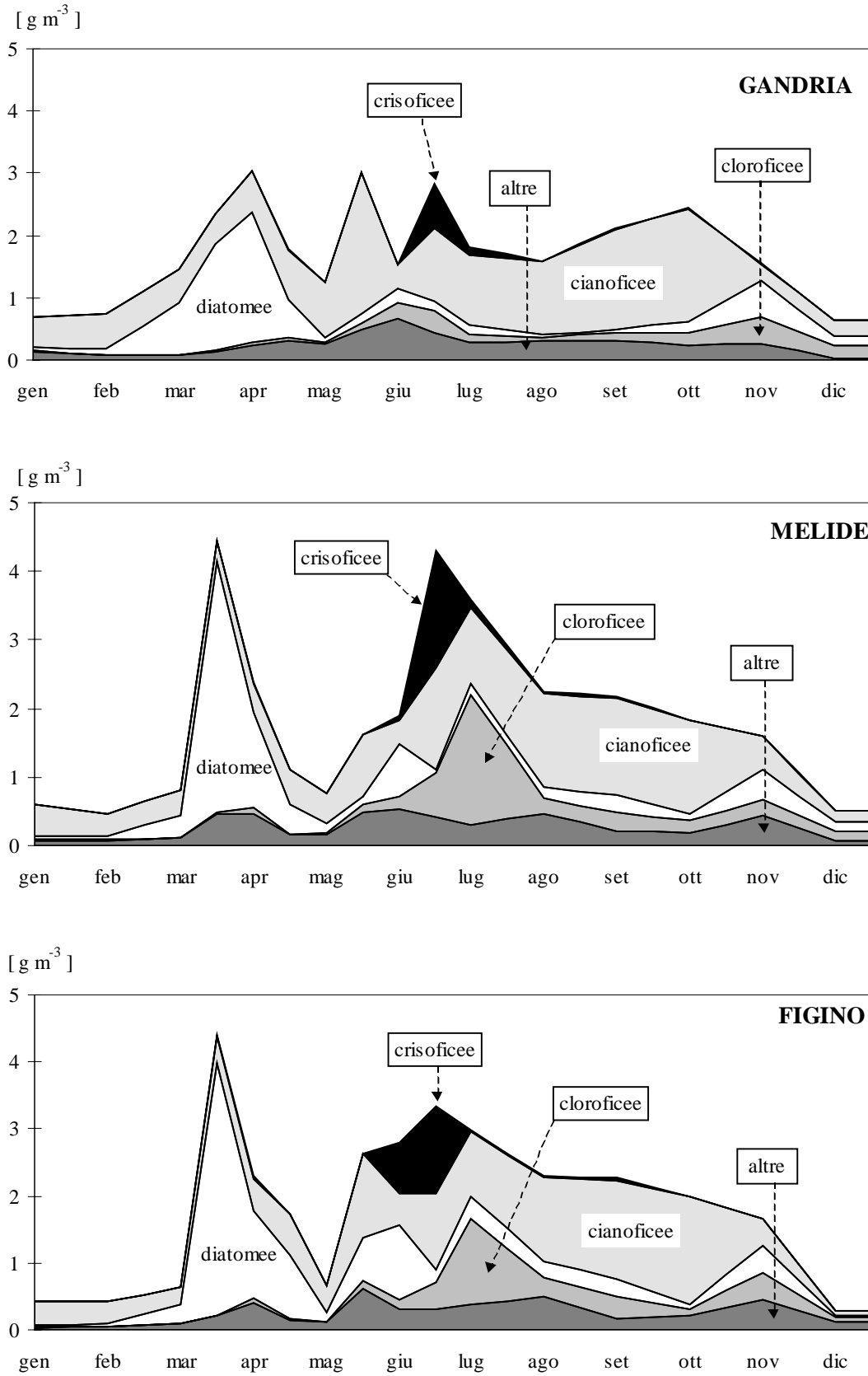


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2002: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

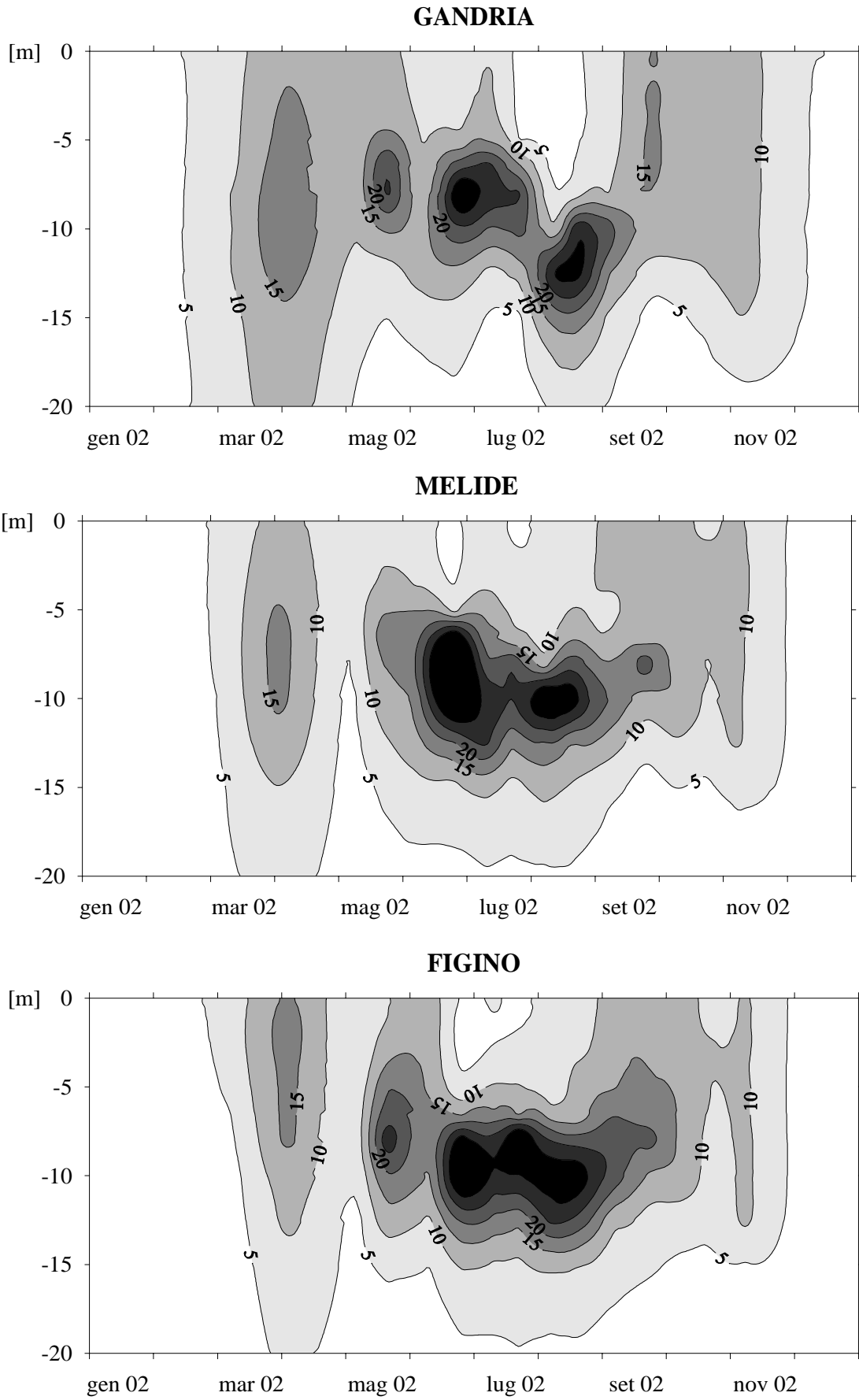


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2002: isolinee della clorofilla *a* [mg m^{-3}]

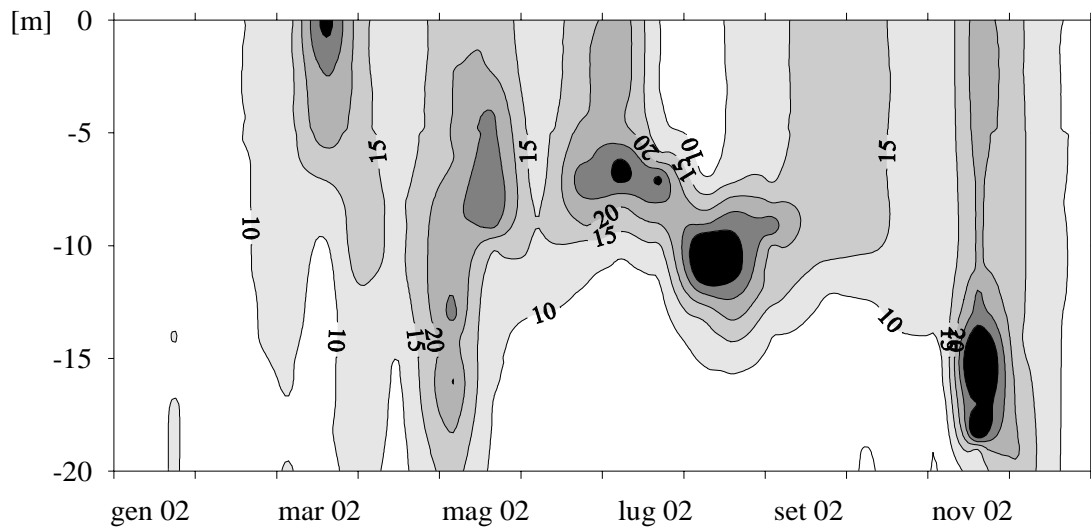
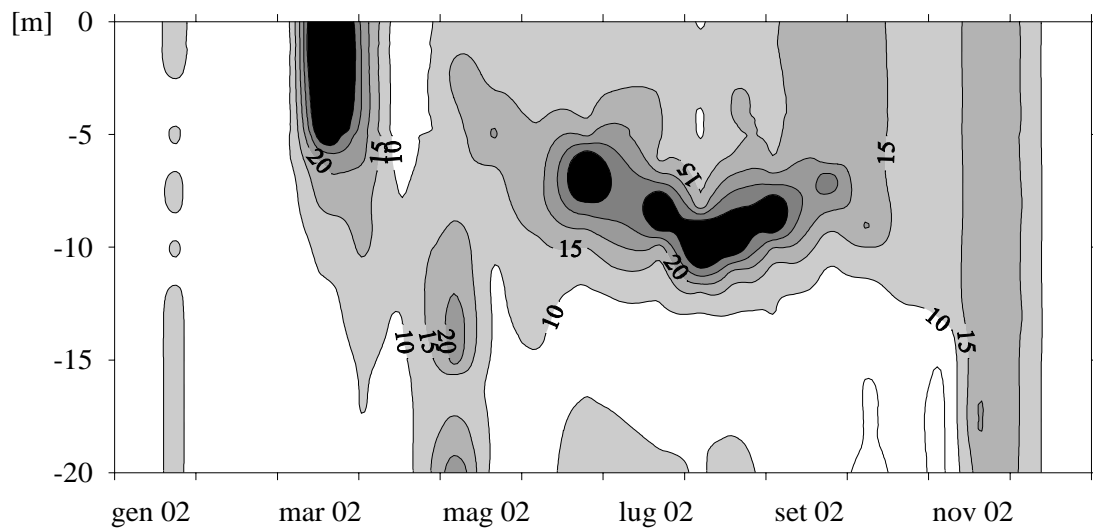
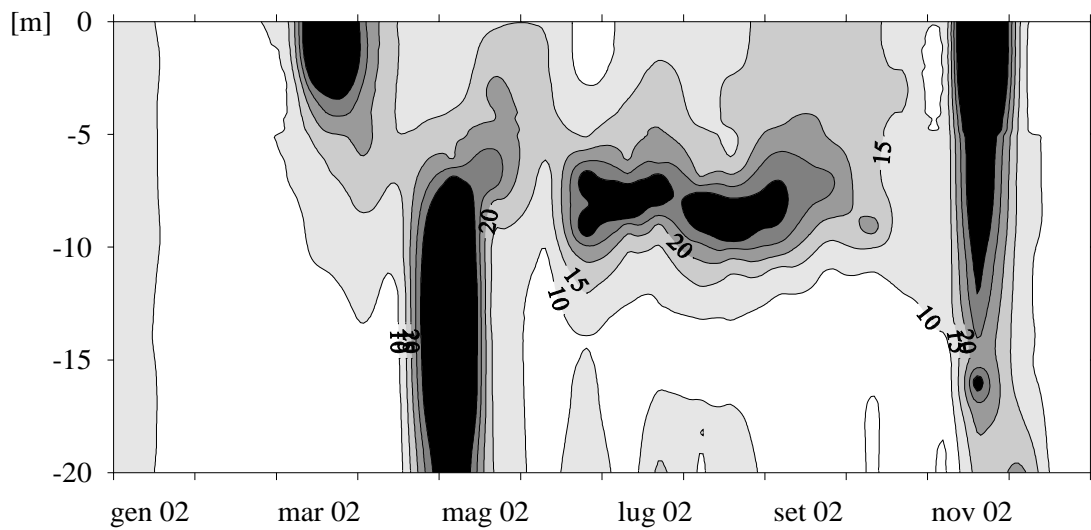
GANDRIA**MELIDE****FIGINO**

Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2002: isolinee dell'assorbanza luminosa [%]

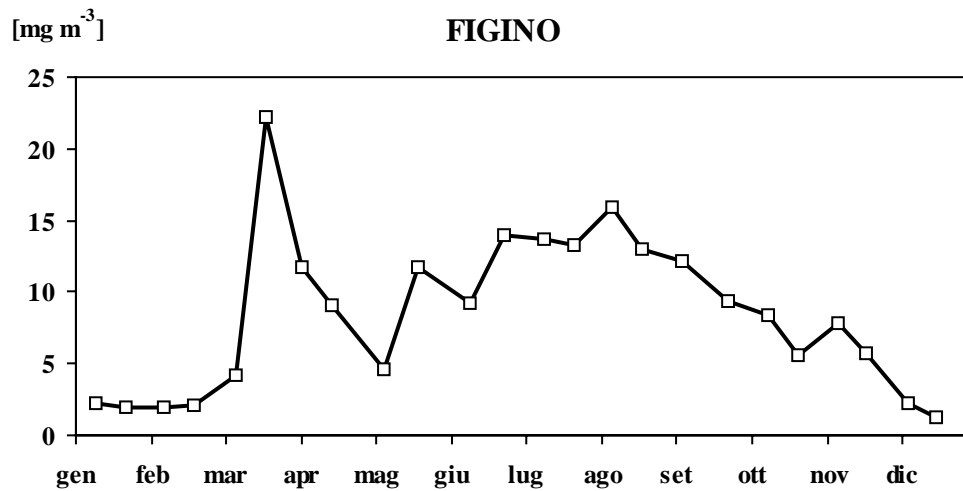
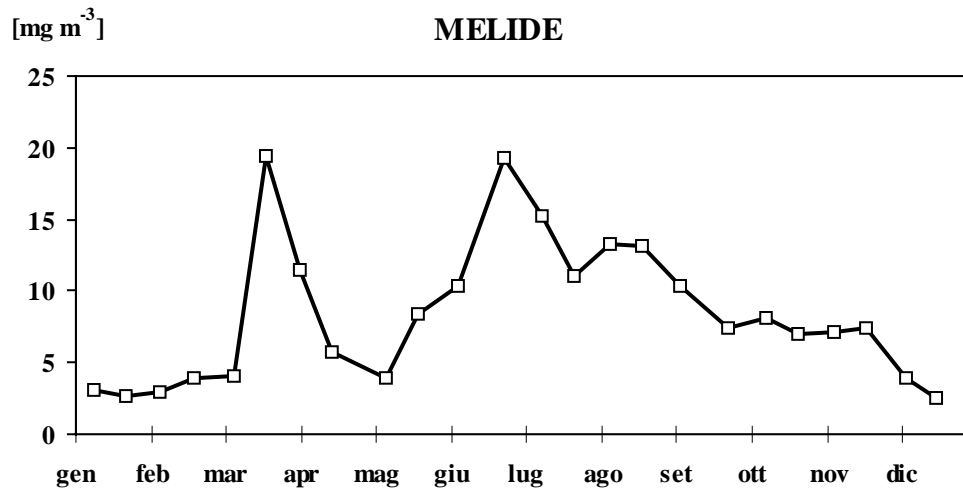
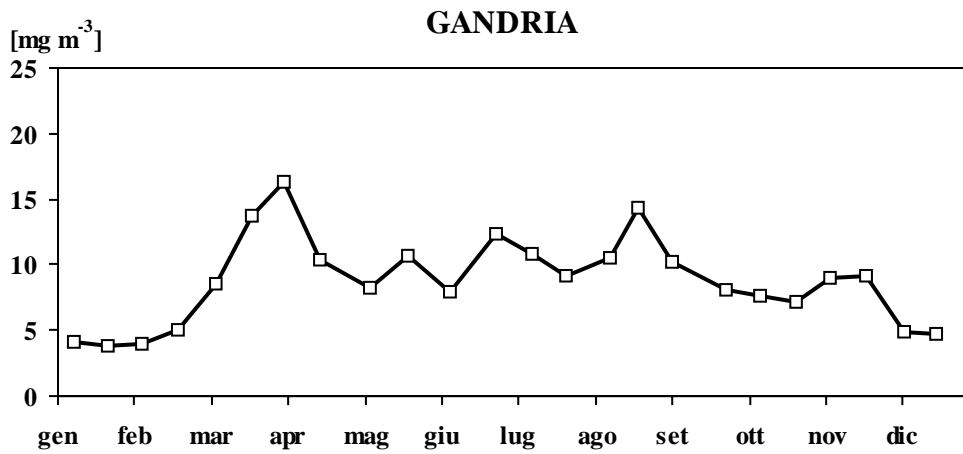


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2002: andamento della clorofilla *a* nello strato 0-20 m.

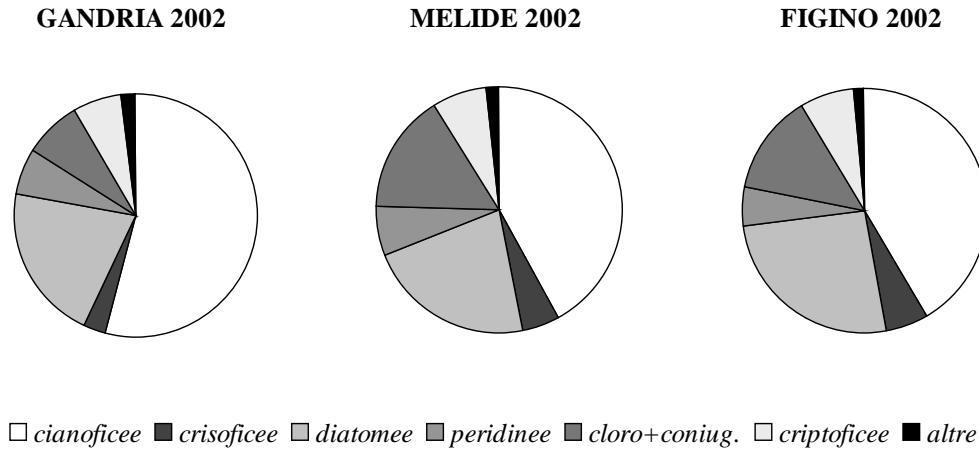


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2002: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.

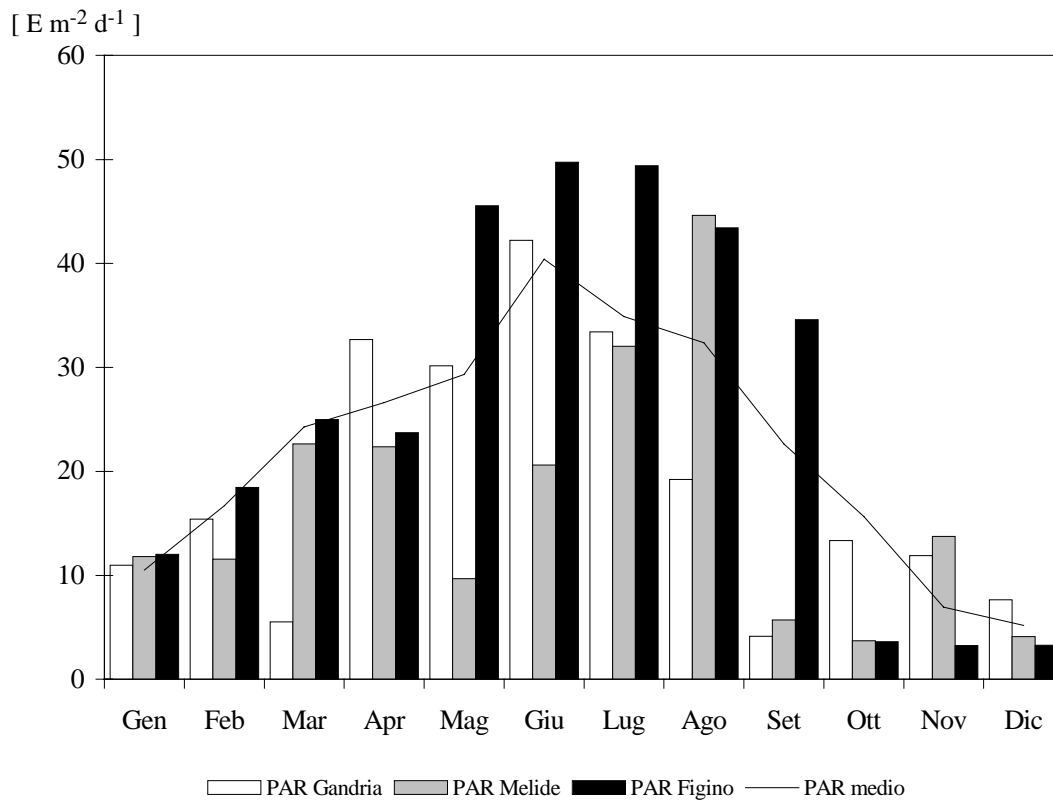


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2002: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

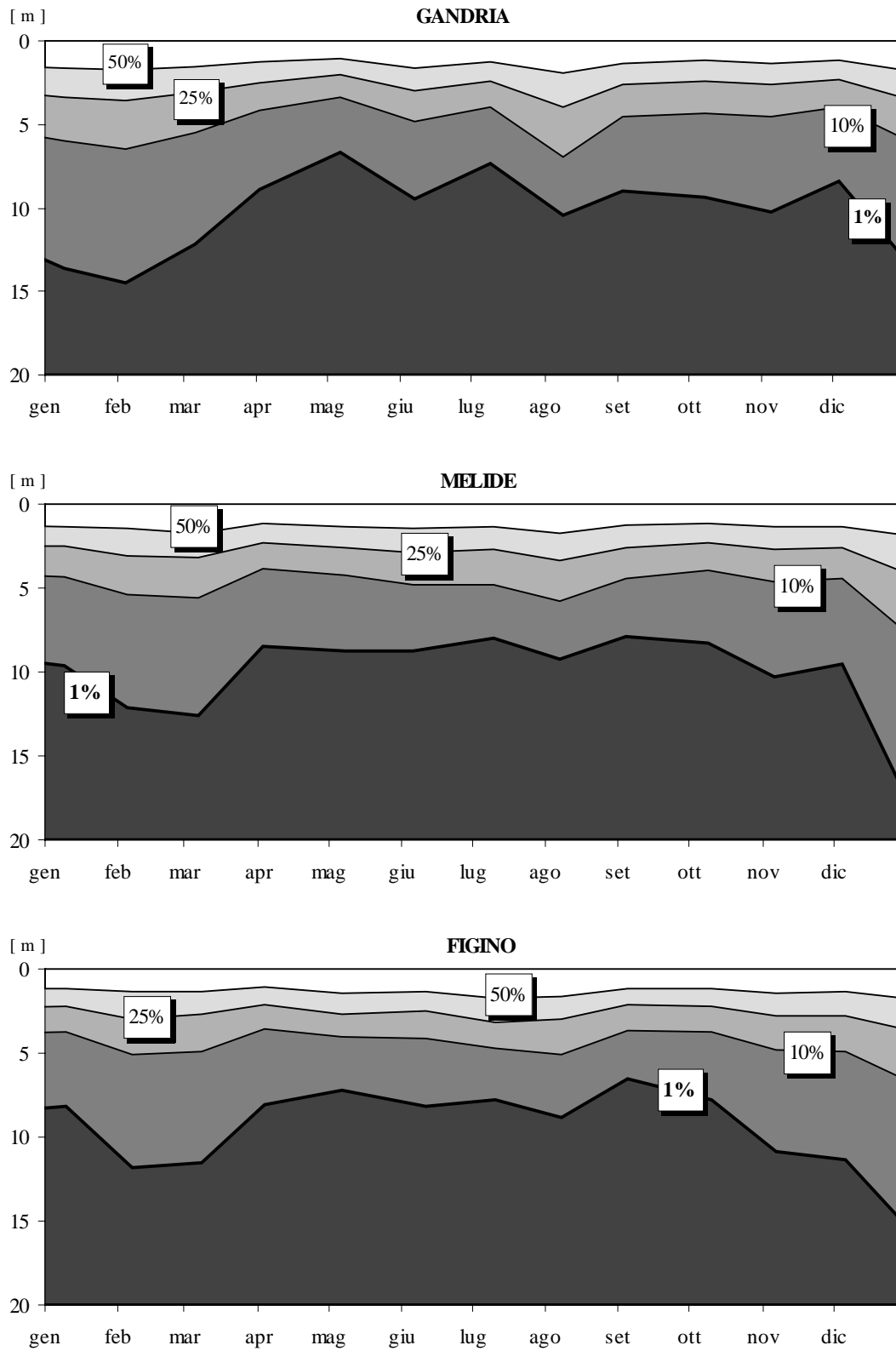


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2002: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

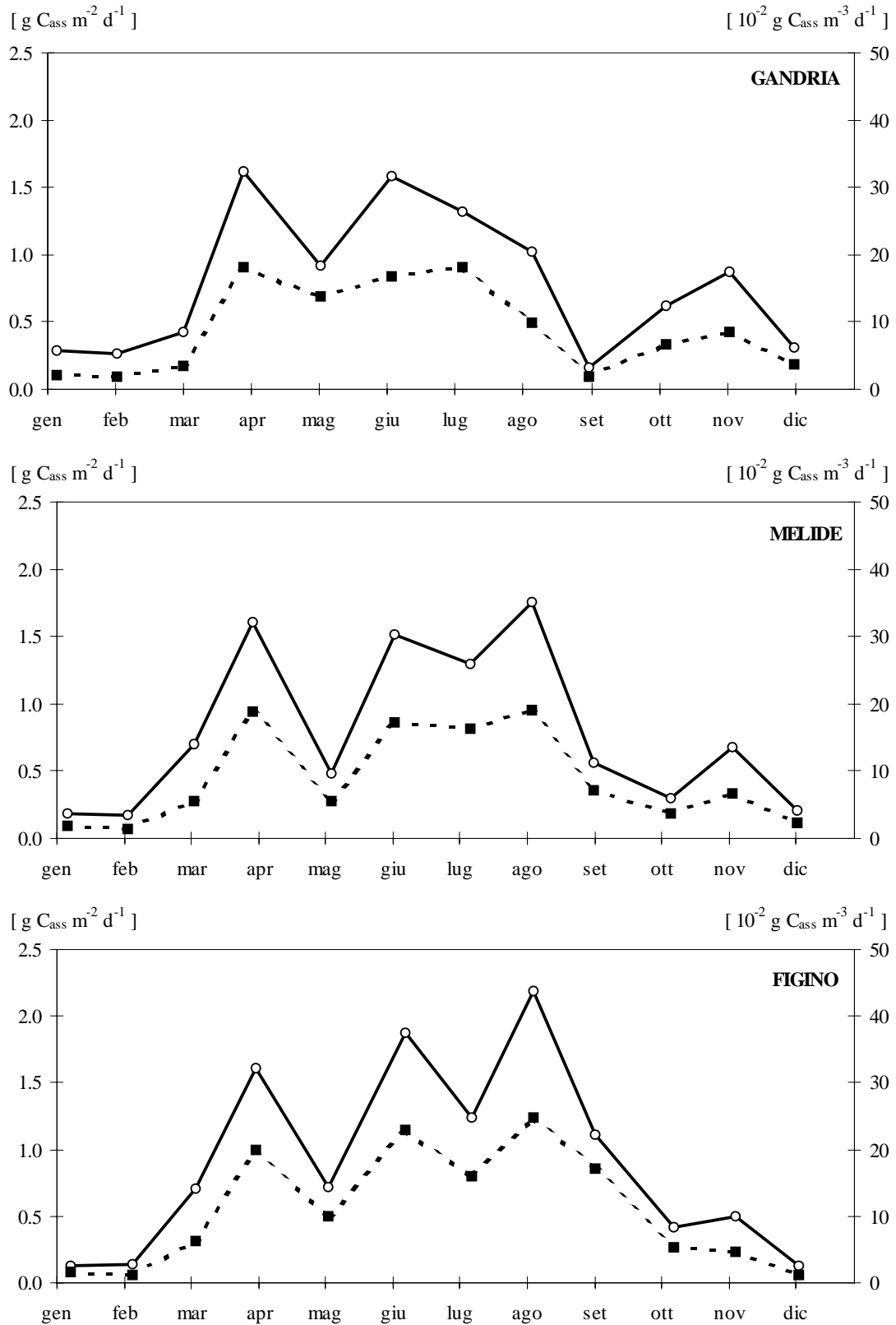


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2002: andamento della produzione primaria areale (linea continua; $g C_{ass} m^{-2} d^{-1}$) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata; $g C_{ass} m^{-3} d^{-1}$).

7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici sono proseguite nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano nel corso del 2002. 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. [5]).

7.1. Densità dei popolamenti

Nella Fig. 7.1. è riportato l'andamento dei valori cumulati di densità dello zooplancton da crostacei presenti nel lago. Le due principali categorie tassonomiche, i cladoceri ed i copepodi, sono separate da una linea continua, mentre, all'interno dei copepodi, la suddivisione fra ciclopoidi e calanoidi è segnata da una diversa tonalità di grigio.

Le tre stazioni campionate presentano un numero d'individui sostanzialmente simile tra loro, con una leggera prevalenza per quanto riguarda il dato di Melide. Il valore medio annuo si situa tra 0.7 e 0.8×10^6 ind m^{-2} per i copepodi, e tra 0.1 e 0.2×10^6 ind m^{-2} per i cladoceri, e risulta in netto calo rispetto agli anni precedenti.

Nel bacino nord si osservano tre punte di densità (inizio maggio, inizio giugno, agosto), tutte costituite per il 70-75% da copepodi ciclopoidi. Nella punta principale, quella d'agosto, (2.0×10^6 ind m^{-2}) i cladoceri giungono a rappresentare il 22% del totale. Nel bacino sud si possono invece distinguere unicamente due punte, di cui la prima si sviluppa già a fine aprile, e la seconda, quella principale, in agosto (Melide: 2.7×10^6 ind m^{-2} , Figino: 2.2×10^6 ind m^{-2}), entrambi con un contributo più marcato da parte dei cladoceri (26-29%).

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 ciclopoidi, il popolamento di Cyclops abyssorum è risultato più abbondante nel bacino sud (massimo nella seconda metà d'aprile) che nel bacino nord (massimo in agosto), Thermocyclops crassus ha presentato un forte sviluppo estivo (massimo in agosto) soprattutto nel bacino nord, e anche Mesocyclops leuckarti, finora sempre attestato su valori modesti, ha raggiunto in tutto il lago valori di densità mai registrati durante l'intero periodo d'osservazione (massimo in novembre). L'unico rappresentante dei calanoidi, Eudiaptomus gracilis, è stato presente durante tutto l'anno a livelli contenuti, più abbondante a Gandria e Melide rispetto a Figino (massimo in maggio-giugno).

Fra i **cladoceri**, Daphnia hyalina e Diaphanosoma brachiurum, le due specie numericamente più importanti del lago, si sono confermate entrambi ancora in

calo rispetto agli anni precedenti. La prima si è sviluppata soprattutto tra fine aprile ed agosto, mantenendosi su livelli decisamente modesti nel bacino nord (massimo in maggio: 0.18×10^6 ind m^{-2}), e solo di poco superiori nel bacino sud (massimo in aprile: $0.27-0.40 \times 10^6$ ind m^{-2}). Il popolamento di D. brachiurum ha mostrato un forte sviluppo in tutto il lago verso la fine dell'estate, con massimi di densità in agosto ($0.32-0.36 \times 10^6$ ind m^{-2}).

Molto scarso si è rivelato, invece, il popolamento di Eubosmina coregoni, la cui principale fase di sviluppo ha avuto luogo in momenti differenti nelle tre stazioni (a Gandria già in giugno, a Melide in agosto, a Figino in settembre). Quale specie tipicamente estiva, Leptodora kindtii (unico cladocero carnivoro del lago) ha raggiunto punte di densità tutto sommato modeste dapprima nel bacino nord (in giugno: $13'000$ ind m^{-2}), e successivamente nel bacino sud (a Melide in luglio-agosto: $9'000$ ind m^{-2} ; a Figino in luglio e settembre: $8'000$ ind m^{-2}).

Nei campioni del 2002, infine, non sono stati rinvenuti esemplari nè di Chydorus sphaericus, nè di Daphnia cucullata.

7.2. Biomassa zooplanctonica

Nella figura 7.2. è rappresentato l'andamento della biomassa dei crostacei nelle tre stazioni di campionamento. Anche quest'anno i valori medi annui complessivi sono risultati in leggera diminuzione, e più bassi nel bacino nord (**Gandria: 3.1 g m^{-2}**) rispetto a quello sud (**Melide: 3.7 ; Figino: 3.4 g m^{-2}**); la differenza tra i due bacini appare ancor più evidente se si confronta il dato medio di biomassa dei cladoceri (Gandria: 0.8 , Melide: 1.3 , Figino: 1.2 g m^{-2}), i quali contribuiscono in misura significativa alla biomassa totale a causa delle loro elevate dimensioni individuali.

Nella curva di **Gandria** si possono osservare tre punte, d'entità relativamente modesta, tra maggio ed agosto, di cui la più elevata in giugno (**6.8 g m^{-2}**). In esse i ciclopoidi rappresentano sempre la frazione principale (40-60%), mentre i cladoceri forniscono un contributo costante (30-35%); i calanoidi raggiungono una certa importanza unicamente in giugno (circa 30%).

Le due stazioni del bacino sud presentano valori di biomassa particolarmente elevati già nella seconda metà d'aprile (massimo annuale a **Melide: 9.5 g m^{-2}**), e successivamente in agosto (massimo annuale a **Figino: 8.1 g m^{-2}**): in entrambi i casi un importante contributo è fornito dai cladoceri (Daphnia hyalina in aprile, Daphnia hyalina e Diaphanosoma brachiurum in agosto), che assieme arrivano a costituire oltre il 50% della biomassa totale. Un'ulteriore punta, di minor entità, si osserva nel corso del mese di giugno, in occasione del massimo sviluppo dei calanoidi (17-30%), mentre verso la fine dell'anno si registra un leggero incremento dei valori, legato al popolamento di Daphnia hyalina (cladoceri).

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 la riduzione del popolamento di cladoceri si è tradotta in una perdita consistente per quanto riguarda la componente erbivora.

Questo effetto risulta particolarmente marcato nel bacino nord, che presenta una media annua di biomassa erbivora nettamente inferiore al bacino sud (Gandria: 1.7, Melide: 2.3; Figino: 2.1 g m⁻²), e che in tre occasioni (marzo, luglio, ottobre) ha fatto registrare percentuali di carnivori abbondantemente superiori al 50%. Nel bacino sud il quadro appare più equilibrato: una netta predominanza di carnivori si osserva solamente a Figino in marzo, un periodo dell'anno caratterizzato da valori di biomassa totale estremamente ridotti.

Per quanto riguarda la biomassa carnivora, vi è da rilevare che essa continua ad essere costituita prevalentemente dagli stadi adulti dei ciclopidi (Cyclops, Thermocyclops, Mesocyclops), mentre il contributo dei cladoceri (con Leptodora kindtii quale unico rappresentante) raggiunge, durante i mesi estivi, punte massime del 4-5%.

Alla luce dei risultati del 2002 si può affermare che la biomassa dello zooplancton da crostacei del Lago di Lugano si conferma sostanzialmente stabile nella sua composizione, ma evidenzia, da alcuni anni, una tendenza calante dei suoi valori annui (sia medi sia massimi), provocata dalla recente evoluzione del popolamento di Daphnia hyalina, la specie quantitativamente più rilevante dello zooplancton lacustre.

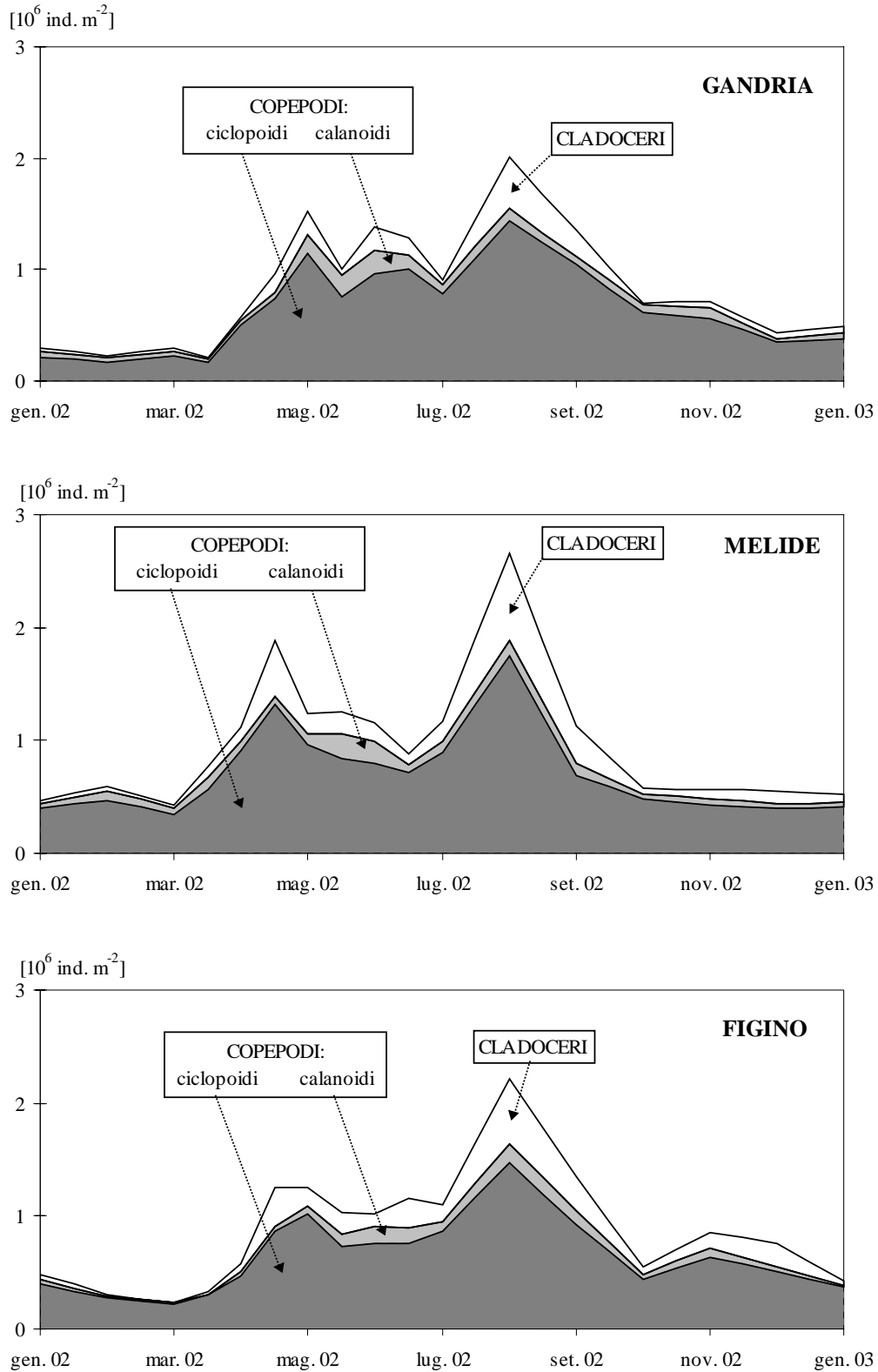


Fig. 7.1. Lago di Lugano, 2002: andamento della densità cumulata dello zooplankton da crostacei.

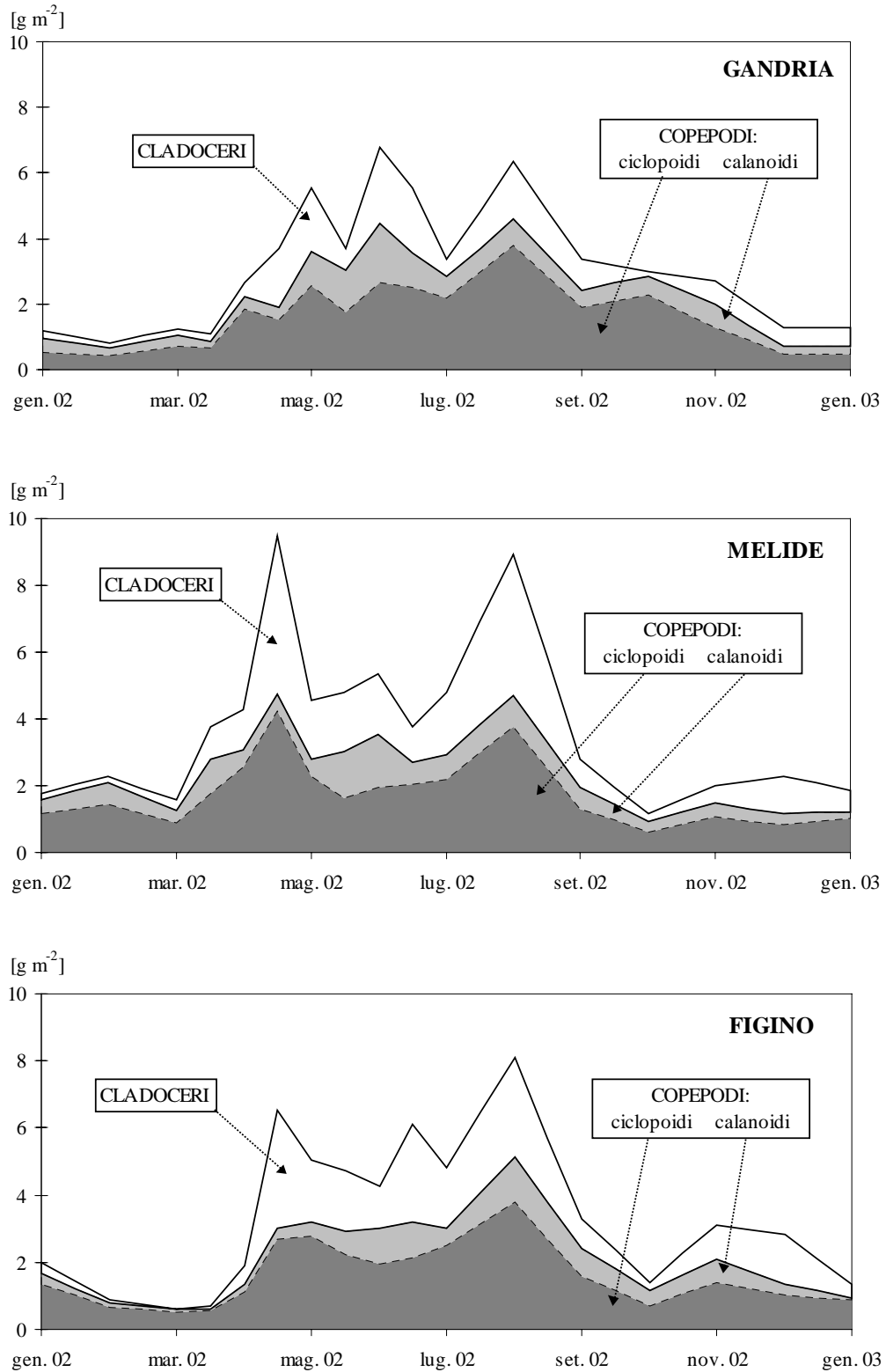


Fig. 7.2. Lago di Lugano, 2002: andamento della biomassa cumulata dello zooplancton da crostacei (peso secco).

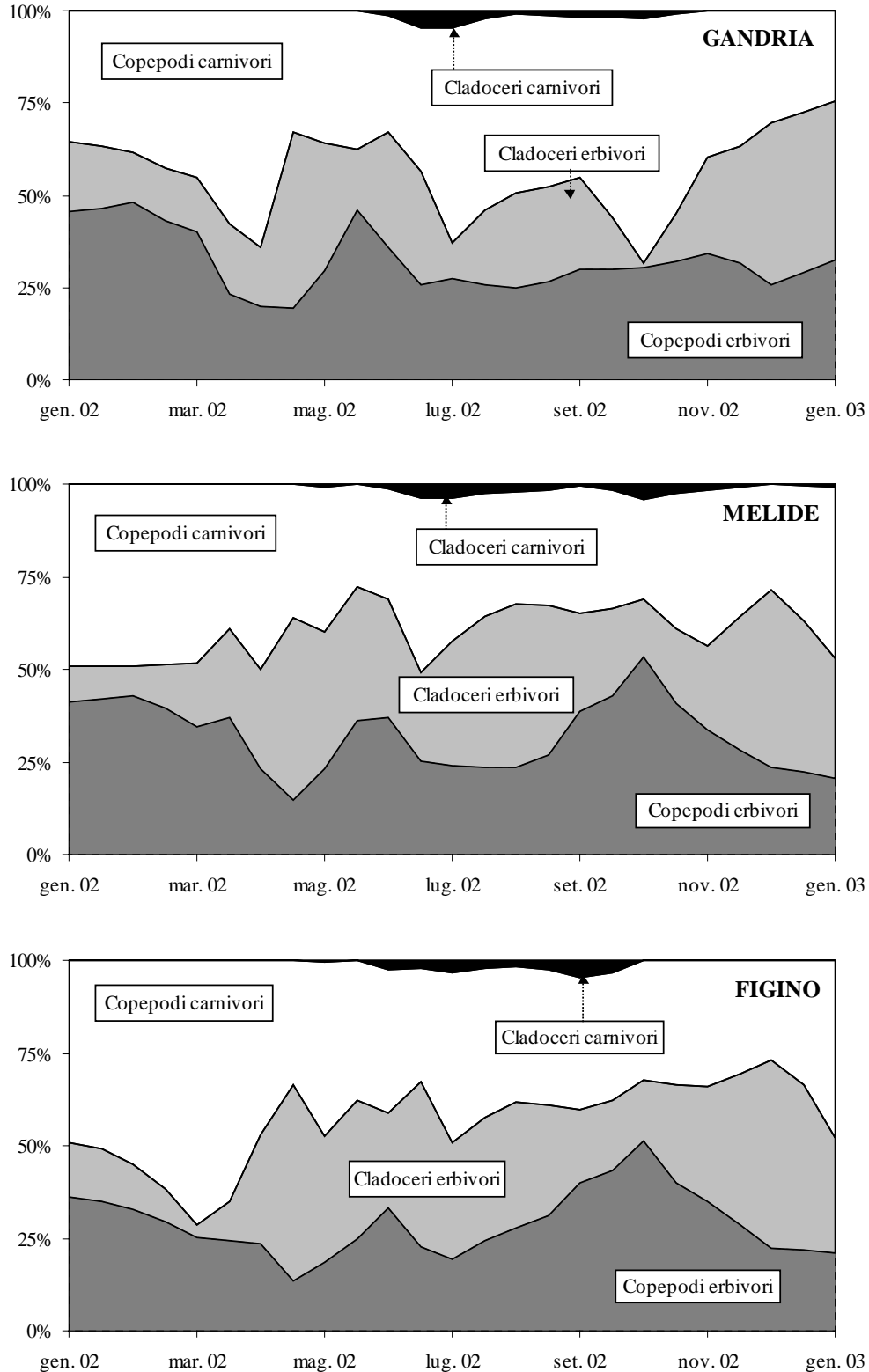


Fig. 7.3. Lago di Lugano, 2002: andamento percentuale della biomassa dello zooplankton erbivoro e carnivoro (peso secco).

8. ANDAMENTO LIMNOLOGICO SUL LUNGO PERIODO

Da oltre 30 anni il Lago di Lugano è oggetto di regolari indagini limnologiche, che si prefiggono di verificarne lo stato qualitativo delle acque, e di seguirne l'evoluzione dello stato trofico in relazione alle misure di risanamento intraprese sul suo bacino imbrifero. Nell'esecuzione delle ricerche si sono avvicendati dapprima il Centro Comune di Ricerca CCR-Euratom d'Ispra (1972-1979), e quindi l'Amministrazione Cantonale del Ticino, dapprima tramite l'Istituto Cantonale Batteriosierologico e dal 1983 dalla la Sezione Protezione Aria, Acqua e Suolo. Nel corso delle successive tappe dell'attività di ricerca, sono state ottimizzate l'ubicazione delle stazioni, le modalità di prelievo, ed i metodi d'indagine. Dal momento che i vari parametri indagati non posseggono sempre un identico grado di continuità e di confrontabilità, i risultati presentati in seguito fanno riferimento alla serie temporale più omogenea a disposizione, corrispondente al periodo (1980)-1983-2002.

8.1. Meteorologia

Utilizzando i parametri che più direttamente influenzano le vicende limnologiche del lago (cfr. Cap. 3) è possibile caratterizzare, nei tratti essenziali, l'andamento meteorologico del periodo pluriennale d'indagine (1980-2002).

La serie cronologica dei valori medi annui di **temperatura dell'aria** (Fig. 8.1.a) rende evidente una tendenza all'aumento praticamente costante, con un incremento medio di $0.062\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ sull'arco di 23 anni, e di $0.051\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$ negli ultimi 16 anni (1987-2002, cfr. 8.2.). Un elemento importante ai fini dei processi di rimescolamento invernale del lago è costituito dal raffreddamento delle sue acque durante il periodo dicembre-febbraio (Ambrosetti et al., 1983): a questo scopo è riportato in grafico anche l'andamento della temperatura media di questo trimestre, che evidenzia un'analogia tendenza all'aumento (1980-2002: $0.060\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$; 1987-2002: $0.031\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$), anche se, di fatto, più discontinua (1980-1986: $-0.029\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$). Nel corso dell'ultimo quinquennio le medie annue sono andate progressivamente crescendo (da 12.5 a 13.2 $^{\circ}\text{C}$), mentre le medie del periodo invernale presentano ampie fluttuazioni (3.9-5.3 $^{\circ}\text{C}$).

La **radiazione globale** (Fig. 8.1.b) presenta un andamento più discontinuo, caratterizzato da un primo triennio (1980-1982) con valori elevati ed in progressiva crescita (da 4200 a 4600 $\text{MJ m}^{-2}\text{ a}^{-1}$), seguito da un periodo con valori attorno a 3900 $\text{MJ m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ (1983-1988), da uno intermedio con valori attorno a 4300 $\text{MJ m}^{-2}\text{ a}^{-1}$ (1989-1994), e dal periodo più recente (1995-2002) con valori alternanti, per lo più elevati (4300-4700 $\text{MJ m}^{-2}\text{ a}^{-1}$). La curva dei valori di radiazione solare misurati durante il periodo vegetativo (marzo-ottobre) presenta un andamento sostanzialmente analogo a quello annuale: di conseguenza, anche ai fini dell'attività fotosintetica algale quest'ultimo quinquennio ha presentato condizioni d'irraggiamento fra le più elevate dell'intero periodo d'osservazione.

Durante due decenni ('80-'90) il regime delle **precipitazioni** (Fig. 8.1.c) è risultato complessivamente deficitario rispetto alla media di riferimento (1961-1990: 1606 mm). Quattro anni hanno fatto registrare quantitativi inferiori a 1400 mm, due dei quali (1991, 1997) addirittura inferiori a 1300 mm. Grazie al contributo di due anni eccezionalmente piovosi (2000, 2002), entrambi appartenenti all'ultimo quinquennio d'indagine, la media del periodo 1980-2002 (1592 mm) è nuovamente tornata a

situarsi molto vicino alla norma: come si può dedurre dalla rappresentazione grafica, in questi due anni è stata raccolta un'aliquota importante di precipitazioni (circa 500 mm) al di fuori del periodo vegetativo.

L'**intensità del vento** (Fig. 8.1.d) presenta valori medi annui fluttuanti, per lo più, tra 6 e 7 km h⁻¹. Solamente quattro anni, sull'intero periodo, hanno fatto registrare quantità di vento inferiore a 6 km h⁻¹ (1980, 1981, 1982, 2002), mentre la soglia dei 7 km h⁻¹ è stata superata un'unica volta (1991). Oltre che dall'efficacia del raffreddamento invernale, i processi di rimescolamento delle masse d'acqua lacustri dipendono in larga misura anche dall'attività eolica in questo periodo stagionale. Di anni con vento invernale (dicembre-febbraio) particolarmente basso (4.4-5.1 km h⁻¹), se ne annoverano quattro (in ordine crescente: 1980, 1997, 1996, 2001), mentre d'inverni molto ventosi, cinque (>6.5 km h⁻¹; in ordine crescente: 1981, 1992, 2000, 1987, 1999). Fra tutti risalta il dato relativo al periodo dicembre 1998 - febbraio 1999 (7.25 km h⁻¹), che ha coinciso con il trimestre invernale più freddo dell'ultimo decennio, e che ha fatto registrare, nel bacino nord del lago, una circolazione delle acque fra le più profonde dell'intero periodo d'indagine.

8.2. Andamento termico nei fiumi e nel lago

Per minimizzare i disturbi termici dovuti all'immissione d'acque reflue o industriali, sono stati presi in considerazione tre fiumi con un modesto insediamento urbano in rapporto all'area del bacino imbrifero. I dati considerati si riferiscono ai corsi d'acqua Cuccio (53 km²), Cassarate (73 km²) e Magliasina (34 km²), di cui sono disponibili, a partire dal 1976, oltre 600 misure istantanee per ogni fiume (Fig. 8.2.1.). La tendenza generale evidenzia, per gli ultimi 27 anni, un aumento della temperatura di circa 2.2 °C per il Cuccio (+ 0.08 °C a⁻¹), di 2.4 °C per il Cassarate (+ 0.09 °C a⁻¹), e di 1.4 °C (+ 0.05 °C a⁻¹) per la Magliasina.

Anche nelle acque lacustri le misure, effettuate dal 1987 con una sonda multiparametrica, mostrano un progressivo riscaldamento della massa d'acqua, particolarmente evidente negli strati superficiali. Considerando gli strati ipolimnici più profondi, meno soggetti alle variazioni stagionali e quindi più adatti al ruolo di "memoria termica", l'incremento medio annuo si situa attorno a +0.04 °C a⁻¹ nello strato 50-100 m, ed a +0.03 °C a⁻¹ nello strato 100-286 m (Fig. 8.2.2.).

8.3. Qualità chimica dei corsi d'acqua

Per seguire l'evoluzione della qualità delle acque nei tributari del Lago di Lugano sono stati presi in considerazione quattro parametri che fungono da indicatori del carico antropico: nitrito, ammonio, fosforo totale e richiesta biochimica d'ossigeno (BOD₅), vedi Figg. 8.3.1-8.3.4. Le maggiori variazioni di concentrazione si riscontrano su quei tributari che ricevono acque reflue provenienti dai principali impianti di depurazione delle acque (IDA), in particolare su Vedeggio, Laveggio, Scairolo e Cassarate. Generalmente si osserva, nel tempo, una tendenza alla riduzione dei valori, riconducibile al progressivo ampliamento e potenziamento dell'IDA esistenti.

Nel Vedeggio, tutti i parametri hanno mostrato notevoli riduzioni delle concentrazioni a partire dal 1995, in seguito all'ampliamento del nuovo IDA di Lugano ubicato lungo il corso del fiume, in territorio di Muzzano. Particolarmente marcato è stato il calo dei composti azotati: dal 1996 i valori mediani di nitrito e

ammonio non hanno più superato rispettivamente $11 \mu\text{g NO}_2^- \text{-N l}^{-1}$ e $0.25 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N l}^{-1}$. Durante l'ultimo quinquennio, il BOD_5 più basso dei nove corsi d'acqua campionati è stato misurato nel Vedeggio e nella Magliasina (valori mediani annui $<2 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$). Sul Laveggio è stata osservata una forte riduzione di tutti i parametri nel corso del biennio 2001-2002, riconducibile al recente ampliamento e potenziamento dell'IDA di Mendrisio. Sullo Scairolo gli effetti di analoghi interventi sull'IDA di Barbengo si sono manifestati solo a partire dall'ultimo semestre del 2002: su quest'ultimo fiume le concentrazioni dei quattro parametri considerati (in particolare NH_4^+ e BOD_5) avevano evidenziato dapprima un forte aumento, negli anni 1995 e 1996, ed in seguito una fase di costante declino verso valori in linea con le normative vigenti. Nel Cassarate, il danneggiamento dell'IDA di Cadro durante l'alluvione del luglio 2001 ha fatto lievitare i valori di BOD_5 ed accentuato, allo stesso tempo, l'aumento del tenore d'azoto ammoniacale e di fosforo totale. Un consistente innalzamento delle concentrazioni d'azoto ammoniacale è stato parimenti riscontrato durante il 2002 nel Livone, nella Magliasina e, in misura minore, nel Cuccio.

8.4. Stato d'ossigenazione delle acque lacustri

L'andamento pluriennale dello stato di ossigenazione delle acque, espresso in termini di concentrazione media mensile ponderata sul volume (mg l^{-1}), è illustrato nelle figure 8.4.1. e 8.4.2, mentre l'evoluzione del bilancio tra l'ossigeno disciolto ed il suo potenziale consumo da parte delle sostanze chimiche riducenti è riportato nelle figure 8.4.3. e 8.4.4.

Nel bacino nord l'ossigeno è generalmente presente all'interno nello strato 0-75 m. Tuttavia nel 2000 sono state rilevate tracce d'ossigeno fino a 110 m, mentre sul fronte opposto, nel 2002, l'anossia è risalita fino a 40 m. La concentrazione media d'ossigeno nello strato 0-100 m è progressivamente diminuita da $5.9 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ (1984-1987) a $4.8 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ (1998-2002). Negli strati profondi si misurano valori crescenti di sostanze riducenti, quali il metano, l'ammonio, il solfuro, assieme al ferro e manganese disciolti. Il deficit d'ossigeno accumulato per l'intero volume si colloca stabilmente nel campo negativo, ed è passato progressivamente da circa -589 t O_2 (1985-87) a $-9'892 \text{ t O}_2$ (1998-2002). Nel corso degli ultimi vent'anni il consumo stagionale medio dell'ossigeno è rimasto attorno a $6'220 \text{ t a}^{-1}$, corrispondente a circa il 39% del contenuto massimo presente alla fine della circolazione invernale.

Nel bacino sud, il consumo d'ossigeno sulla colonna d'acqua è così intenso che nel corso del secondo semestre le concentrazioni d'ossigeno calano rapidamente al di sotto del limite previsto (4 mg l^{-1}) già a partire da 20-30 m, mentre oltre ai 50-70 m di profondità le acque diventano anossiche. Inoltre, in periodi limitati dell'anno, in prossimità del sedimento (a 2 m dal fondo) si misurano elevate concentrazioni di metano, ammonio e solfuri. Il ferro ed il manganese disciolti sono invece presenti anche a quote più distanti dal sedimento (fino a 10 m dal fondo). La presenza di questi riducenti influisce però scarsamente sullo stato d'ossigenazione complessivo, in quanto limitati in uno strato d'acqua di scarso volume. In questo bacino il saldo d'ossigeno sull'intera colonna risulta pertanto costantemente positivo (periodo 1984-87: $6'227 \text{ t O}_2$, periodo 1988-92: $5'475 \text{ t O}_2$, periodo 1993-97: $6'454 \text{ t O}_2$, periodo 1998-2002: $6'451 \text{ t O}_2$). Nell'intervallo compreso tra il 1983 ed il 2002 il consumo

stagionale medio d'ossigeno è stato di circa 4'500 t, equivalente al 51% del contenuto massimo, misurato alla fine del rimescolamento invernale.

8.5. Concentrazione del fosforo totale nel lago

La progressiva entrata in esercizio degli impianti di depurazione delle acque (IDA) (dal 1976), unitamente alla messa al bando dei fosfati nei detersivi domestici (dal 1986), ha consentito di ridurre gradualmente gli apporti di nutrienti (in particolare di fosforo), convogliati al lago dai tributari. Dal momento che la profondità d'intrusione dei fiumi nel lago è generalmente limitata ai primi 30-40 m di profondità, solo durante la fase di circolazione invernale, e in occasione di forti piene, le acque dei tributari possono raggiungere profondità maggiori, e mescolarsi così con l'intero volume lacustre. Questo spiega come la riduzione del carico esterno abbia manifestato i suoi effetti più rapidamente negli strati superficiali che in quelli profondi. Nel caso del bacino nord, dove si è progressivamente instaurata una stratificazione d'origine biogenica (meromissi), la riduzione degli apporti esterni ha esplicitato i suoi benefici unicamente nello strato soggetto al rimescolamento invernale (0-80 m).

Le figure 8.5.1. e 8.5.2. mostrano l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale negli ultimi 20 anni (1983-2002) per i due bacini principali; per il bacino nord sono illustrati anche gli andamenti relativi ai due strati originati dalla situazione di meromissi (0-100 m, 100-286 m).

Il bacino sud presenta, nel periodo, un progressivo calo dei tenori di fosforo totale (da 137 a 47 mg P m⁻³), mentre nel bacino nord i valori riferiti all'intero volume fluttuano in maniera irregolare tra 135 e 170 mg P m⁻³, e si assestano a tutt'oggi attorno a 140 mg P m⁻³. In quest'ultimo bacino le concentrazioni dello strato 0-100 m si sono ridotte, nel ventennio, da 87 a 69 mg P m⁻³: va però rilevato che in questo strato i valori di fosforo totale, dopo essere scesi nel corso del quinquennio 1993-1997 a 52-58 mg P m⁻³, hanno recentemente ripreso a crescere fino agli attuali 69 mg P m⁻³. Le concentrazioni dello strato inferiore (100-286 m) hanno presentato una sostanziale stabilità tra il 1983 ed il 1989 (205-215 mg P m⁻³), seguita da una serie di fluttuazioni con picchi intermedi negli anni 1992 (269 mg P m⁻³) e 1997 (267 mg P m⁻³). Dal 1998 al 2002 esse risultano in calo da 265 mg P m⁻³ agli attuali 205 mg P m⁻³. Una possibile interpretazione di quest'andamento dei valori è fornita da un recente studio sulla dinamica delle correnti di torbida nel bacino nord del lago [6], secondo il quale le forti piene dei fiumi possono dar origine a due tipi di correnti di torbida (intrusive e di fondo), i cui effetti si ripercuotono in tutto il bacino. Le correnti di fondo, in particolare, possono originare un risollevarimento d'importanti masse d'acqua ipolimniche, che provoca un aumento delle concentrazioni di nutrienti negli strati superficiali e, occasionalmente, un forte consumo dell'ossigeno nell'ipolimnio ossico. È lecito supporre che, in questi ultimi anni, alcune delle piene più intense, possano aver svolto un ruolo importante nel determinare l'andamento delle concentrazioni di fosforo del bacino nord.

8.6. Concentrazione dei composti azotati nel lago

In seguito alle variazioni degli apporti dal bacino imbrifero ed alle trasformazioni biogeniche interne, i composti azotati presenti nel lago hanno evidenziato, nel corso

degli anni, importanti cambiamenti, sia a livello delle concentrazioni medie sia riguardo alla composizione specifica.

Nel bacino nord (Fig. 8.6.1.) le concentrazioni d'azoto totale (media sul volume) presentano un progressivo incremento, da 0.45 g N m^{-3} (periodo 1984-88) agli attuali 0.81 g N m^{-3} . Per quanto riguarda le principali forme d'azoto inorganico, va evidenziato come quella nitrica si riscontri unicamente nello strato ossigenato, mentre la forma ammoniacale si osserva in quantità rilevanti unicamente nello strato anossico. Per quanto concerne l'azoto nitrico, tra il 1986 e il 1989 la concentrazione nei primi 100 m (media ponderata) è cresciuta da 0.25 a 0.35 g N m^{-3} rimanendo poi costante fino al 1998. In seguito i valori si sono nuovamente innalzati, toccando 0.47 g N m^{-3} nel 2001, per poi calare e stabilizzarsi attorno agli attuali 0.35 g N m^{-3} . Nello strato compreso tra 100 m ed il fondo, l'andamento temporale delle concentrazioni d'ammonio presenta una fase di marcato incremento tra il 1988 ed il 1990 (da 0.35 a 0.55 g N m^{-3}), cui fa seguito un periodo di crescita regolare, che si conclude nel 1998 quando vengono raggiunti valori medi di 0.70 g N m^{-3} . Nel corso degli ultimi quattro anni il tenore d'ammonio è diminuito progressivamente, assestandosi attorno a 0.45 g N m^{-3} .

Nel bacino sud (Fig. 8.6.2.) l'andamento dell'azoto totale presenta una prima fase di forte rialzo (dal 1987 al 1989), seguita da un lungo periodo di stabilità (tra il 1990 ed il 1996) con valori medi sulla colonna oscillanti tra 1.30 e 1.55 g N m^{-3} . Durante il biennio successivo le concentrazioni si sono ridotte a 1.30 g N m^{-3} , per poi riprendere a crescere costantemente attestandosi sugli attuali 1.60 g N m^{-3} . Il nitrato ha ricalcato fino all'inizio del 2000 l'andamento dell'azoto totale, ma con valori inferiori mediamente del 20%. In seguito, nel corso dell'ultimo triennio, le concentrazioni di nitrato sono calate progressivamente da 1.10 a 1.00 g N m^{-3} .

L'aumento generalizzato dell'azoto totale nel lago è attribuibile, almeno in parte, alla saturazione dei suoli sul bacino imbrifero, che hanno esaurito la capacità di trattenere efficacemente la componente inorganica disciolta (nitrato e ammonio) depositata con le precipitazioni [7]. Inoltre, il fatto che nel lago le concentrazioni di nitrato e ammonio siano rimaste costanti, o in parte diminuite, indica come l'aumento dell'azoto totale sia d'attribuire all'incremento della frazione particellata e/o organica disciolta.

8.7. Modello di bilancio

Per ottenere previsioni sull'evoluzione futura delle concentrazioni di fosforo nel lago, è stato applicato a differenti scenari di carico un modello di bilancio [8]. Il risultato della proiezione degli andamenti per i due bacini è riportato nelle figure 8.7.1. e 8.7.2.

Nel bacino sud è teoricamente possibile raggiungere la concentrazione auspicata (30 mg P m^{-3}), unicamente quando il carico esterno sarà sceso attorno al valore ammissibile stimato (22 t P a^{-1} ; [9]).

Per quanto concerne il bacino nord, il modello di bilancio è stato applicato all'intera colonna d'acqua senza considerare, come in passato, lo strato 0-100 m. Infatti nel corso dell'ultimo ventennio la profondità del rimescolamento invernale nel bacino nord è andata vieppiù riducendosi, passando da circa 100 m, negli anni '80, agli attuali 70-80 m. L'applicabilità di un modello a due box per il bacino nord non è più sostenibile in considerazione della sostanziale risalita della linea di stratificazione e della relativa mancanza di stabilità. Per l'intero bacino nord i risultati del modello

mostrano chiaramente che, anche se si giungesse in tempi brevi ad abbassare il carico di fosforo alla soglia critica auspicata (20 t P a^{-1}), il raggiungimento degli obiettivi di qualità su tutta la colonna richiederebbe alcuni decenni.

8.8. Popolamento planctonico delle acque lacustri

L'andamento pluriennale della biomassa planctonica, suddivisa nella componente vegetale (FITO) e in quella animale (ZOO), presenta sostanziali analogie nelle tre stazioni del lago indagate (Fig. 8.8.1.). Per confrontare direttamente i due andamenti, le concentrazioni della biomassa fitoplanctonica (peso fresco da biovolume; g m^{-3}) sono stati trasformati sotto forma di valore areale (peso secco, g m^{-2}), tenendo conto dello spessore dello strato campionato (0-20 m) ed assumendo un fattore 0.25 per il rapporto tra peso secco e peso fresco del fitoplancton [10]. Un'importante modifica all'interno della catena alimentare si è manifestata verso la fine degli anni '80, quando nel giro di un biennio (1988-1989) in tutto il lago la biomassa vegetale si è ridotta del 50-60%, mentre quella animale è aumentata del 35-60% [11]. Durante gli anni successivi, fino al 1998 compreso, si assiste, sotto l'aspetto quantitativo, ad una generale stabilizzazione della biocenosi planctonica, con fluttuazioni poco marcate dei valori di fitoplancton e più ampie per lo zooplancton. Per contro, nel corso degli ultimi quattro anni (1999-2002), sembra manifestarsi una moderata crescita dei valori di biomassa vegetale, in particolare nel bacino nord, il cui carico esterno di fosforo risulta da qualche anno in aumento (cfr. paragrafo 8.7.), ed in cui, contemporaneamente, si sta registrando anche una diversa distribuzione verticale del carico interno in seguito agli episodi di profondo rimescolamento della colonna d'acqua durante gli inverni 1998-1999 e 1999-2000 (cfr. paragrafo 8.1.). Seguendo quest'evoluzione cronologica, si è cercato di evidenziare, nella composizione della biocenosi vegetale ed animale del lago, gli elementi di cambiamento più caratteristici del periodo d'indagine.

Per quanto concerne il quadro fitoplanctonico (Fig. 8.8.2.), il profondo mutamento osservato alla fine degli anni '80 ha riguardato anche la composizione qualitativa del popolamento algale, con il passaggio, in tutte le tre stazioni, dal predominio assoluto delle cianofitiche (40-50% della biomassa totale) ad una situazione caratterizzata da un leggero predominio delle diatomee (29-37%) e da una netta crescita percentuale delle clorofitiche (circa + 10%). Pur con la prudenza del caso, data la limitatezza temporale dell'ultimo periodo di confronto (1999-2002), quest'ultimo quadriennio sembra contraddistinto sia da una leggera ripresa delle cianofitiche (bacino nord: +6%; bacino sud: +2%) a scapito delle diatomee, sia da un ulteriore incremento delle clorofitiche (bacino nord: +5%; bacino sud: +3%). Il fatto che questa tendenza appaia più evidente nella stazione di Gandria, potrebbe essere messo in relazione con la maggior disponibilità trofica nell'epilimnio di questo bacino, derivante (come sopra già accennato) dalla recente evoluzione del carico di fosforo (esterno ed interno).

Anche la composizione del popolamento zooplanctonico (Fig. 8.8.2.) si è profondamente modificata a partire dal 1989, quando in tutto il lago, sono tornati ad insediarsi stabilmente i calanoidi (Eudiaptomus gracilis) dopo un'assenza di oltre un trentennio: l'avvento di questa nuova specie erbivora ha significato un forte regresso percentuale dei copepodi ciclopoidi, con i cui stadi giovanili essa condivide le fonti alimentari. Parallelamente si è assistito, fra i cladoceri, al capovolgimento dei rapporti di dominanza fra le due specie di Daphnia del lago, con un balzo dal 10% al 30% di

D. hyalina, ed il crollo della popolazione di D. cucullata che fino allora aveva costituito il 20% nel bacino nord ed il 15% in quello sud. Nell'ultimo quadriennio (1999-2002) il quadro dello zooplancton da crostacei è rimasto sostanzialmente invariato, anche se rispetto al periodo precedente (1989-1998) i calanoidi appaiono dovunque in calo (-5%), ed i ciclopoidi in aumento (a seconda delle stazioni, tra +4% e +11%).

8.9. Produzione primaria e strato trofogeno delle acque lacustri

Gli effetti della riduzione di livello trofico del Lago di Lugano nel corso degli ultimi decenni (cfr. paragrafo 8.5.) si sono manifestati non solo in una modifica quantitativa e qualitativa della biocenosi planctonica nel suo complesso, come confermato dai valori ottenuti tramite campionamento integrale della colonna d'acqua corrispondente (per il fitoplancton: 0-20 m, per lo zooplancton: 0-50 m), ma anche in una diversa distribuzione verticale della biomassa vegetale negli strati superficiali del lago, nei quali si svolgono i processi fotosintetici (strato trofogeno, $Z_{1\%}$). Per meglio interpretare la recente evoluzione trofica del lago, sono stati perciò analizzati alcuni tra i principali parametri legati all'attività produttiva primaria (trasparenza delle acque, spessore dello strato trofogeno, clorofilla *a* nello strato trofogeno, produzione areale, produttività sul volume).

Durante i primi due periodi considerati (1983-88 e 1989-98) tutti i parametri evidenziano l'esistenza di un gradiente trofico fra le tre stazioni, con valori crescenti lungo l'asse di deflusso del lago (Gandria-Melide-Figino). Il profondo cambiamento verificatosi nel popolamento planctonico alla fine degli anni '80 ha significato, oltre ad un calo della biomassa vegetale presente nello strato trofogeno (vedi valori di clorofilla *a*), anche un netto miglioramento delle condizioni luminose subacquee (vedi valori di trasparenza e $Z_{1\%}$), accompagnato da una generale diminuzione della produzione primaria, soprattutto per quanto riguarda i valori sul volume (produttività).

Questa tendenza è continuata, anche se in misura decisamente minore e limitatamente al bacino sud, per i valori di produzione e di clorofilla *a* del quadriennio 1999-2002, mentre i due parametri legati al regime luminoso subacqueo (trasparenza, $Z_{1\%}$) rimangono sostanzialmente stabili. Diverso è il caso del bacino nord, nella cui stazione (Gandria) quest'ultimo periodo si assiste ad una generale ripresa di tutti gli indicatori trofici, ed in particolare del valore di produttività sul volume, in concomitanza con l'aumento di carico eutrofizzante (cfr. paragrafo 8.7.). In seguito a quest'inversione di tendenza, si è ulteriormente livellato il gradiente trofico esistente tra i due bacini del lago: attualmente Melide presenta valori più simili alla stazione del bacino nord (Gandria) che all'altra stazione del bacino sud (Figino).

Tab. 8.9. Lago di Lugano, 1983-2002: evoluzione dei principali parametri legati alla produzione primaria.

TRASPARENZA [m]	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
1983-1988	4.5	3.5	3.3
1989-1998	6.3	5.4	4.7
1999-2002	5.7	5.4	4.7
STRATO TROFOGENO ($Z_{1\%}$) [m]	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
1983-1988	9.73	7.49	6.97
1989-1998	12.99	10.23	9.41
1999-2002	11.44	10.36	9.26
CLOROFILLA <i>a</i> (strato trofogeno) [mg m⁻³]	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
1983-1988	12.0	18.2	19.1
1989-1998	7.6	10.9	12.5
1999-2002	10.6	10.2	10.9
PRODUZIONE AREALE [g C m⁻² a⁻¹]	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
1983-1988	377	414	469
1989-1998	282	328	344
1999-2002	298	298	321
PRODUTTIVITA' SUL VOLUME [g C m⁻³ a⁻¹]	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
1983-1988	52.5	76.9	95.3
1989-1998	25.6	42.8	47.2
1999-2002	30.7	34.3	41.3

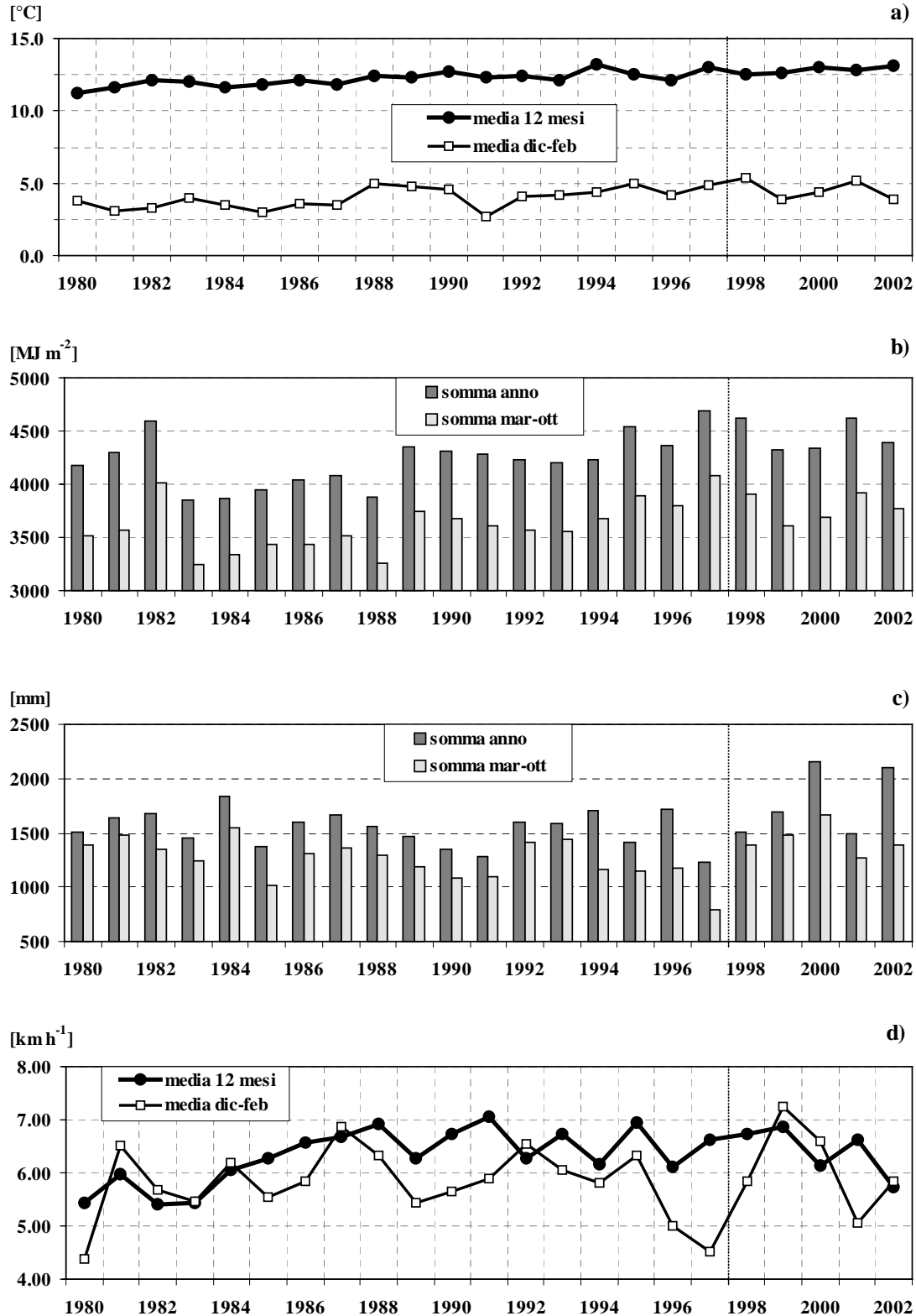


Fig. 8.1.1. Lugano, Biblioteca Cantonale, 1980-2002:

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

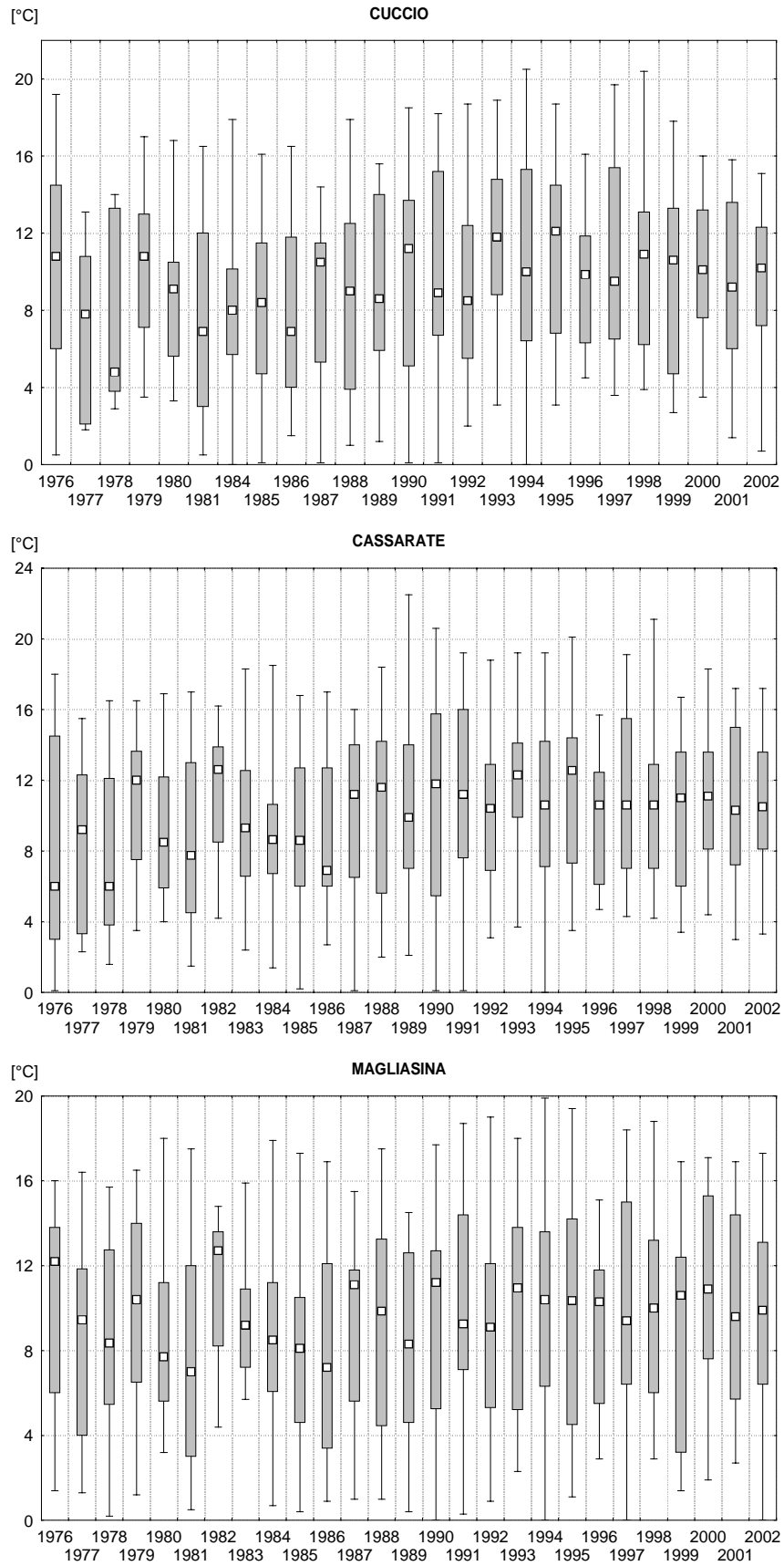


Fig. 8.2.1. Lago di Lugano, 1976-2002: andamento termico nei fiumi Cuccio, Cassarate e Magliasina (mediana, 25%ile, 75%ile, minimo e massimo)

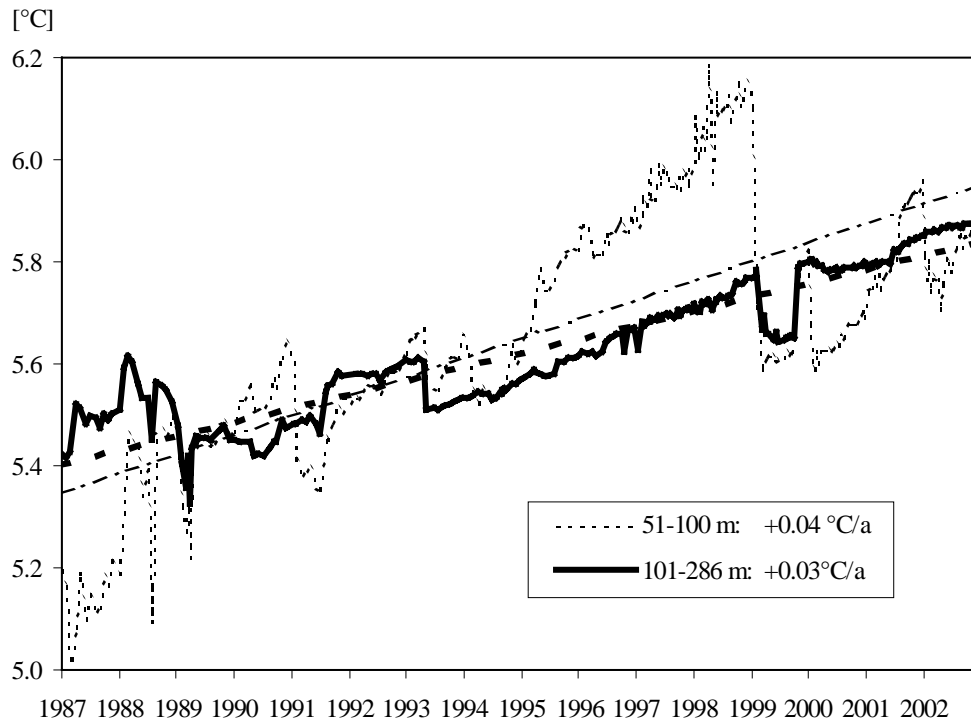


Fig. 8.2.2. Lago di Lugano, 1987-2002: andamento termico e linee di tendenza per due strati profondi del bacino nord.

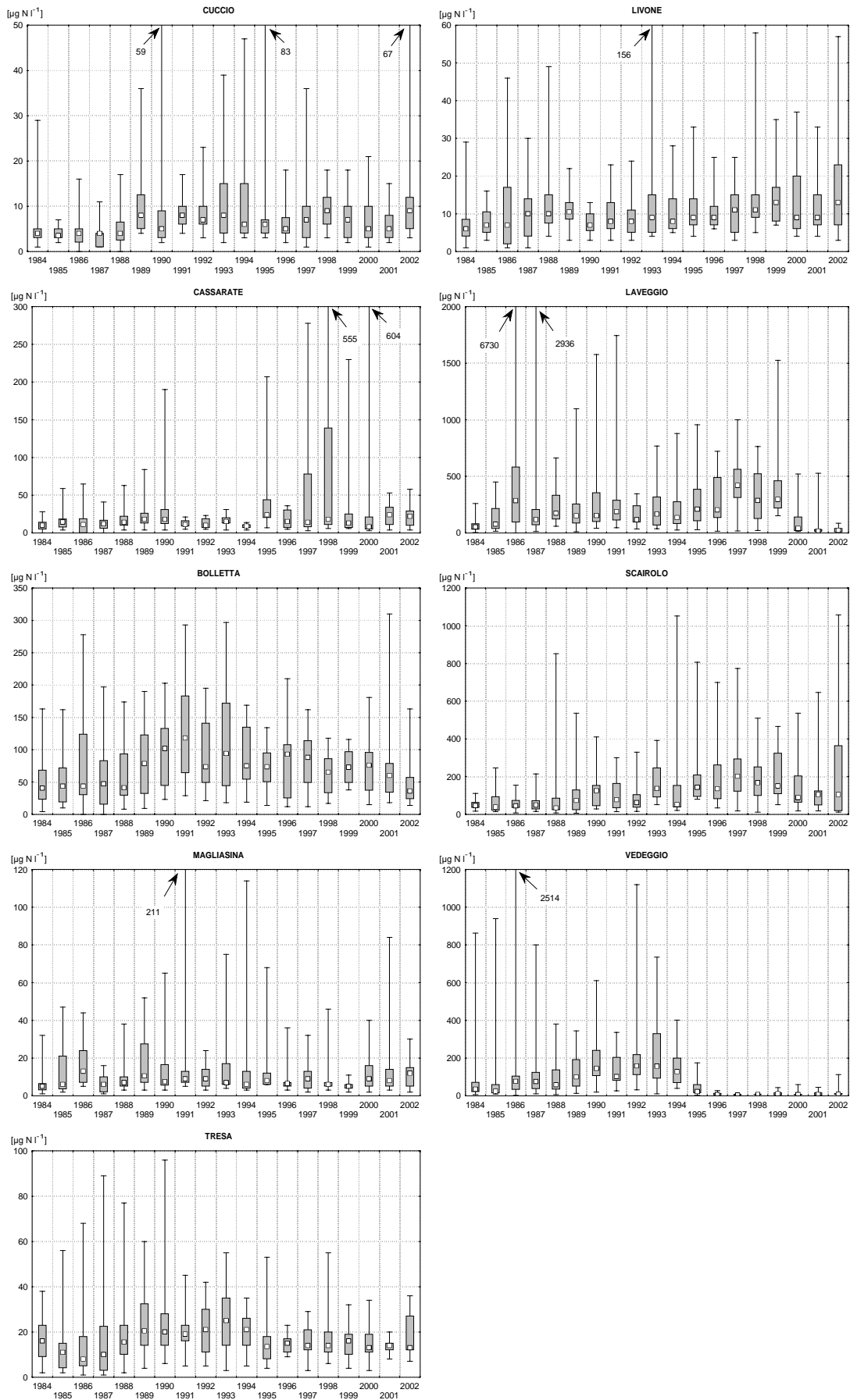


Fig. 8.3.1. Lago di Lugano, 1984-2002: andamento delle concentrazioni di azoto nitroso nei principali corsi d'acqua.

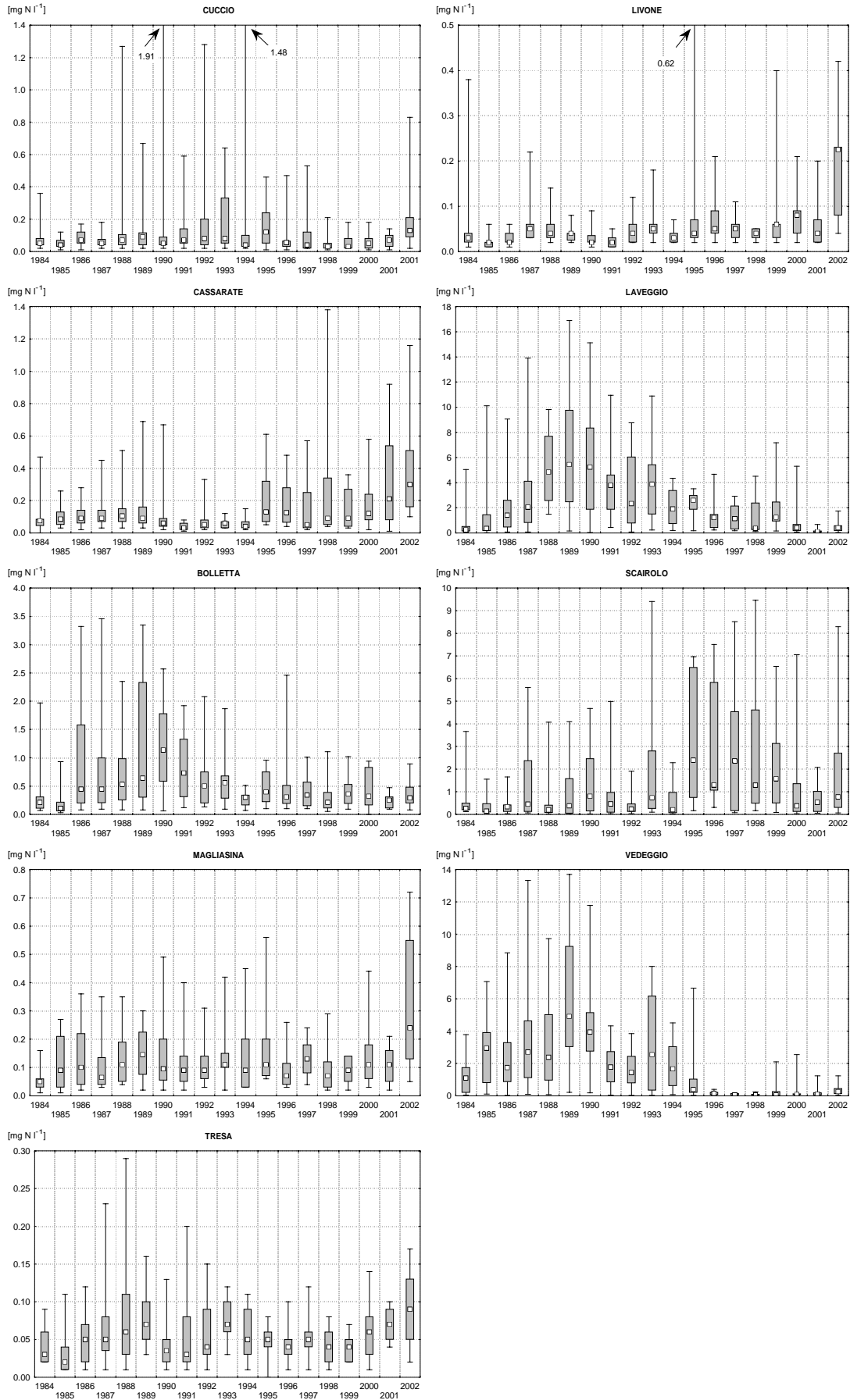


Fig. 8.3.2. Lago di Lugano, 1984-2002: andamento delle concentrazioni d'azoto ammoniacale nei principali corsi d'acqua.

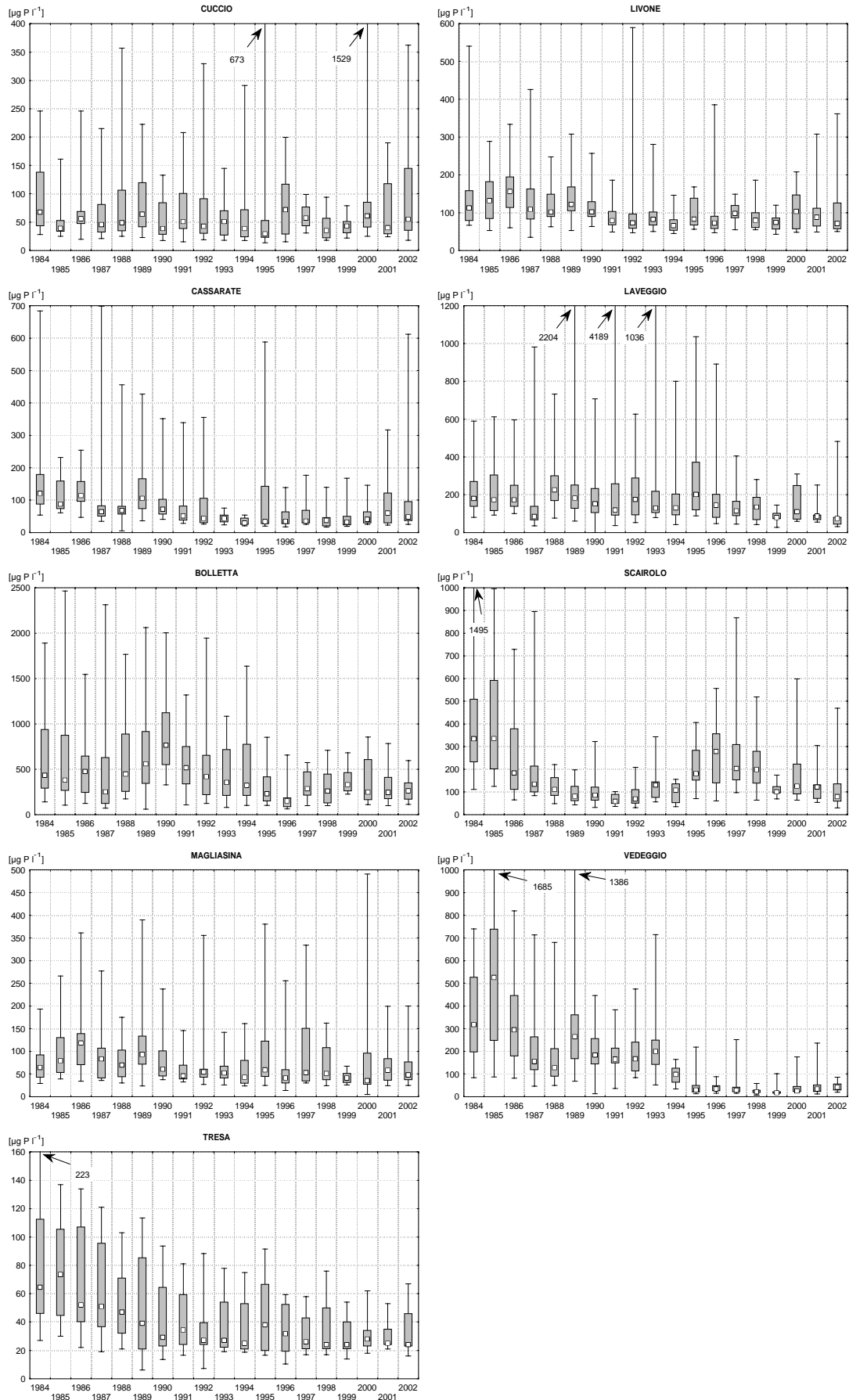


Fig. 8.3.3. Lago di Lugano, 1984-2002: andamento delle concentrazioni di fosforo totale nei principali corsi d'acqua.

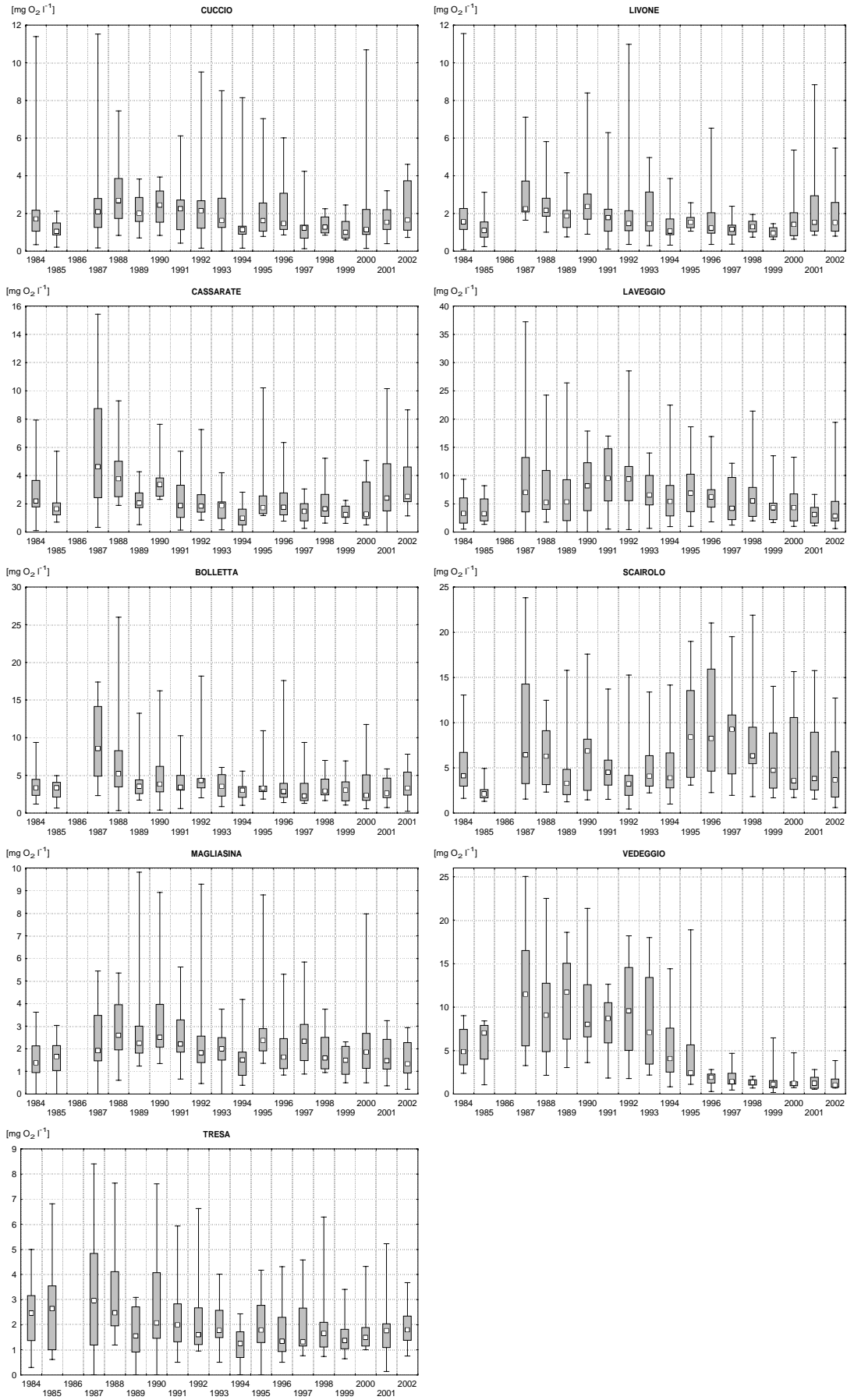


Fig. 8.3.4. Lago di Lugano, 1984-2002: andamento dei valori di BOD₅ nei principali corsi d'acqua.

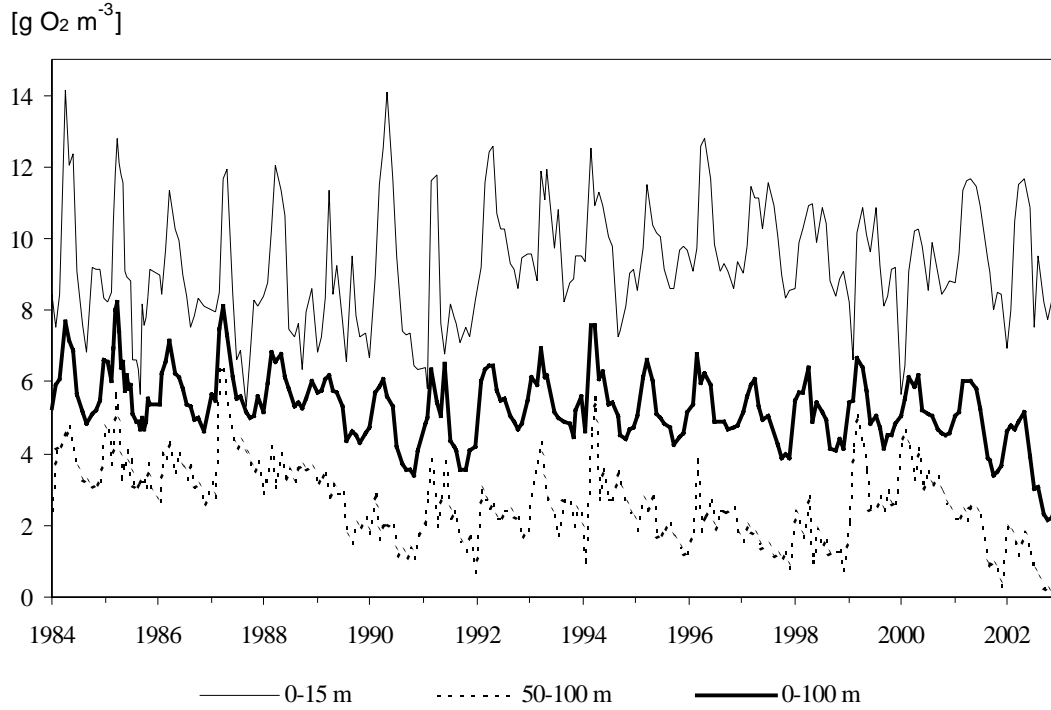


Fig. 8.4.1. Lago di Lugano, 1984-2002: andamento della concentrazione d'ossigeno nei diversi strati del bacino nord.

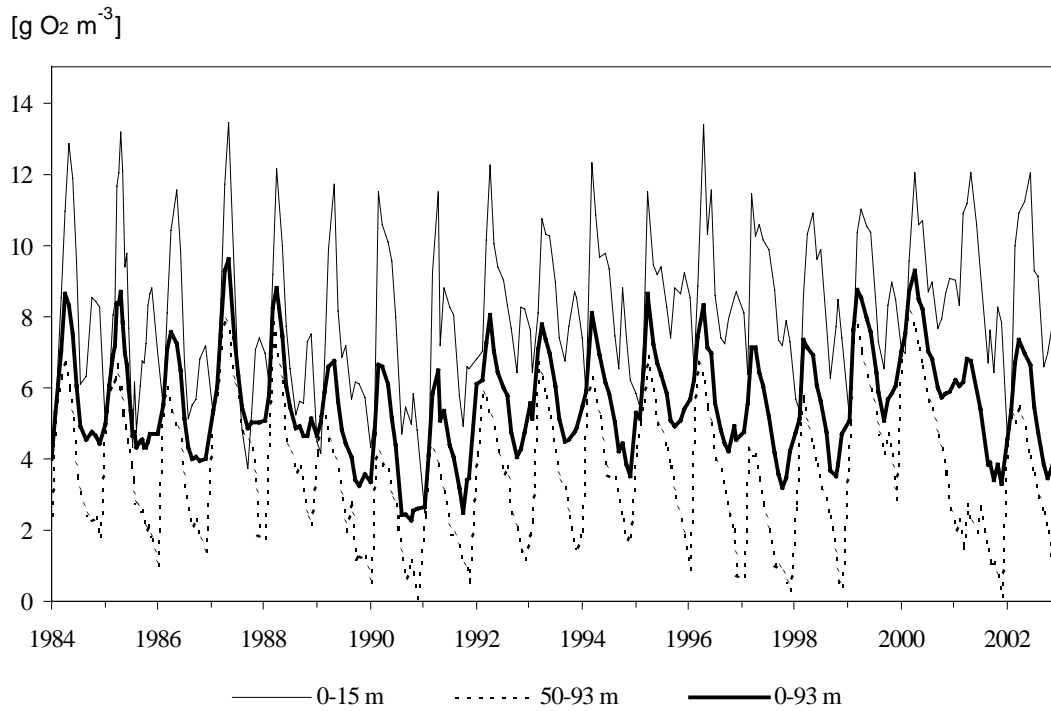


Fig. 8.4.2. Lago di Lugano, 1984-2002: andamento della concentrazione d'ossigeno sull'intera colonna del bacino sud.

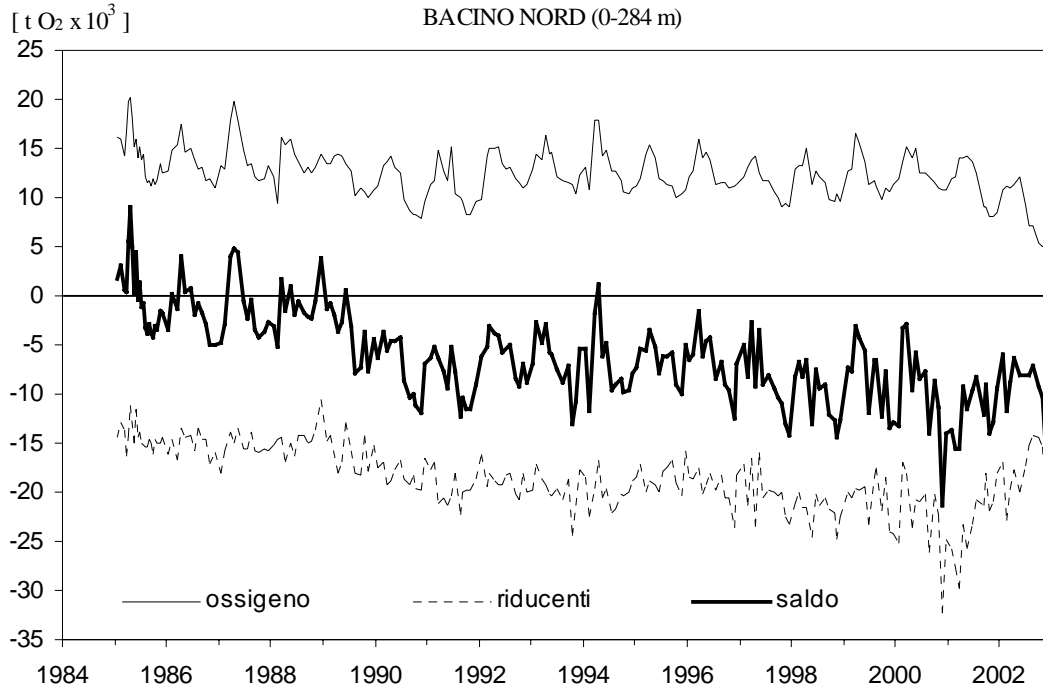


Fig. 8.4.3. Lago di Lugano, 1985-2002: andamento del bilancio delle sostanze ossido-riducenti nel bacino nord.

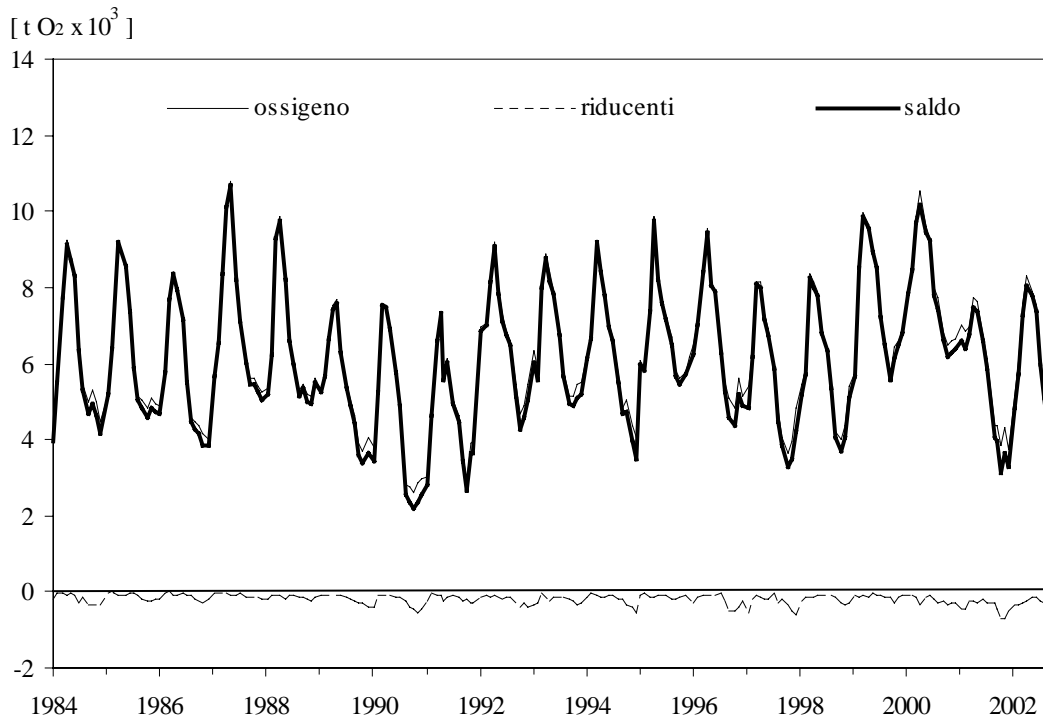


Fig. 8.4.4. Lago di Lugano, 1984-2002: andamento del bilancio delle sostanze ossido-riducenti nel bacino sud.

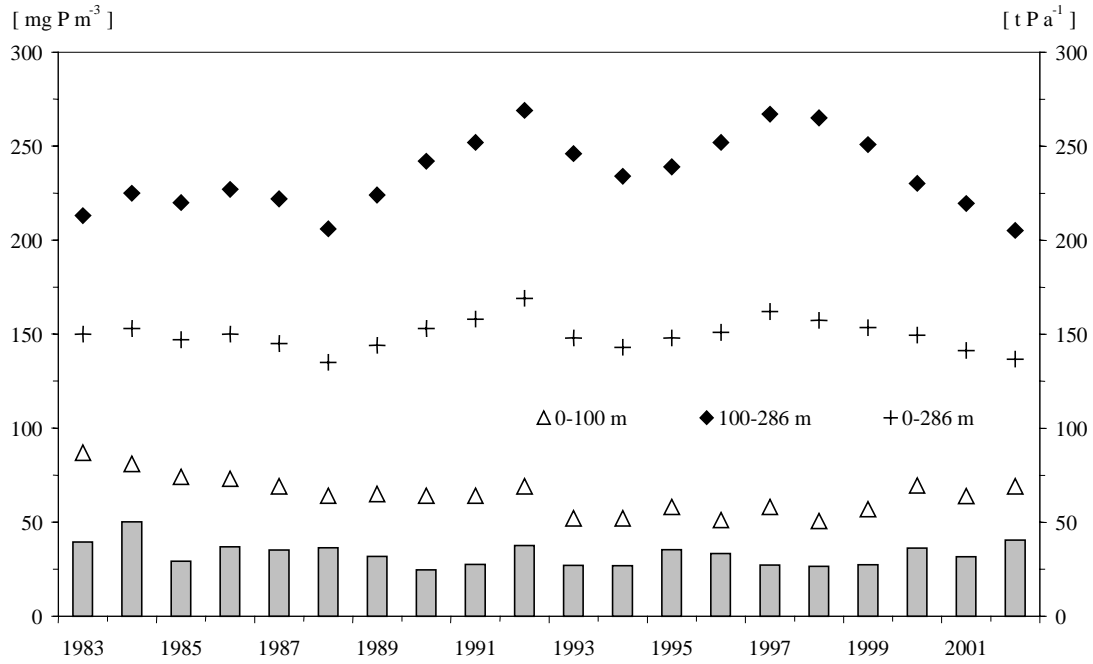


Fig. 8.5.1. Lago di Lugano, 1983-2002: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nei differenti strati del bacino nord.
Le barre verticali corrispondono agli apporti totali.

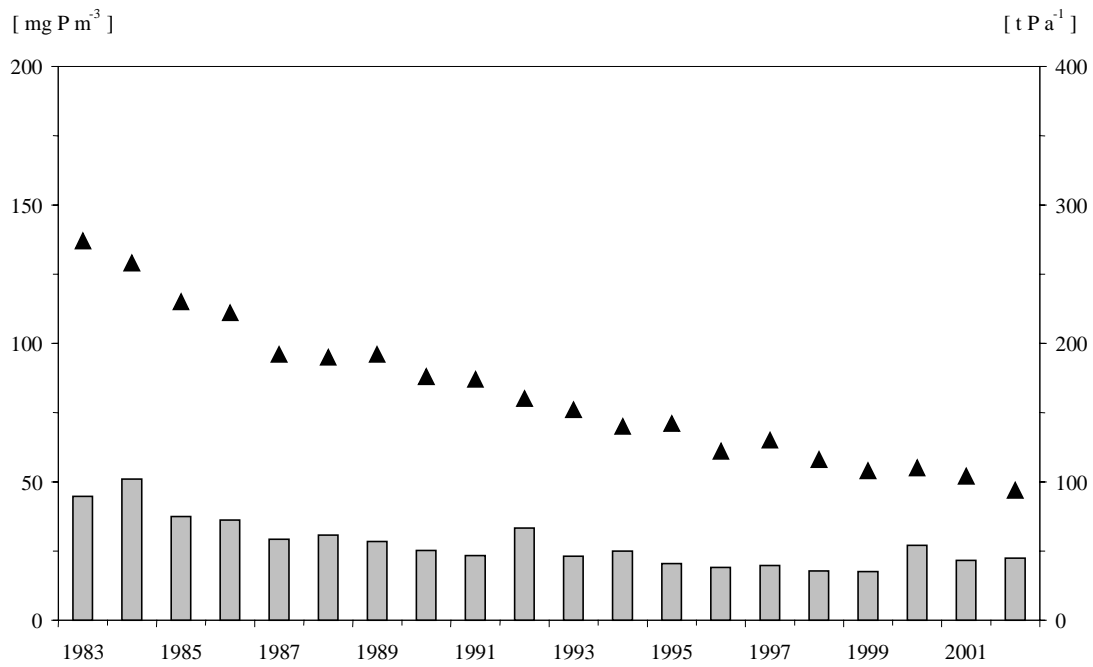


Fig. 8.5.2. Lago di Lugano, 1983-2002: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud.
Le barre verticali corrispondono agli apporti totali.

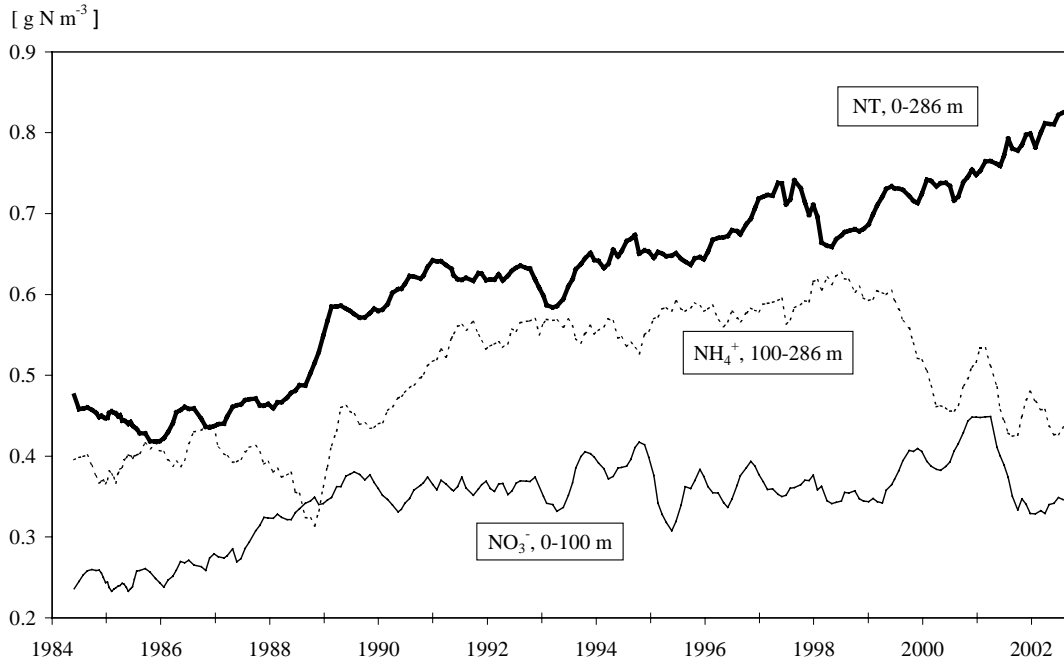


Fig. 8.6.1. Lago di Lugano, 1984-2002: evoluzione della concentrazione di composti azotati nei diversi strati del bacino nord.

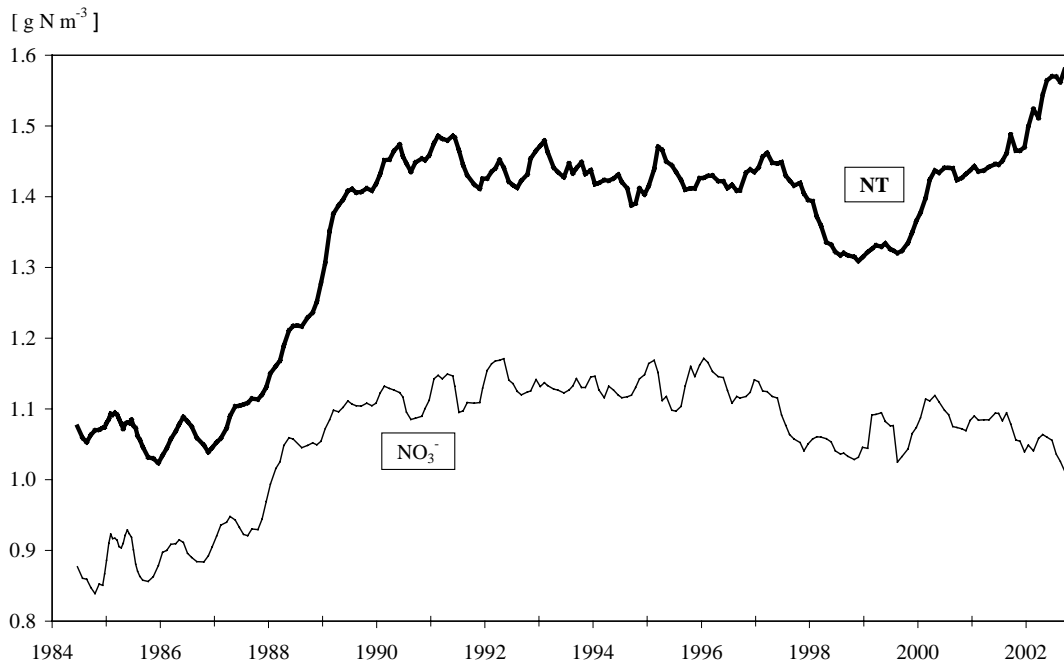


Fig. 8.6.2. Lago di Lugano, 1984-2002: evoluzione della concentrazione di composti azotati nel bacino sud.

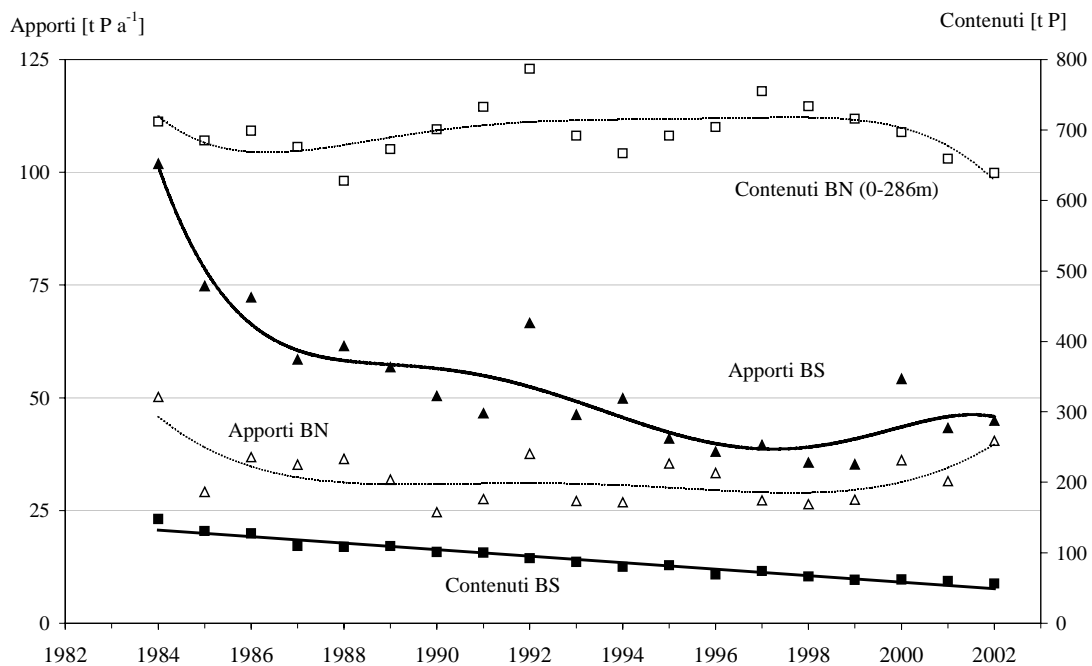


Fig. 8.7.1. Lago di Lugano, 1982-2002: evoluzione degli apporti di fosforo e variazioni di contenuto sull'intera colonna del bacino nord (BN) e del bacino sud (BS).

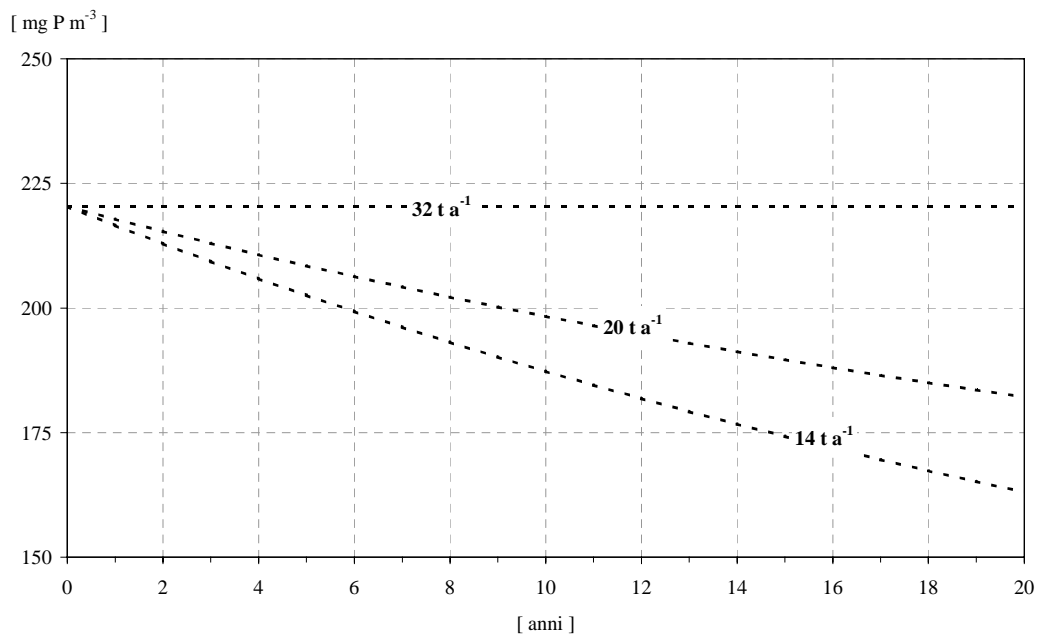


Fig. 8.7.2 Lago di Lugano, bacino nord: modello previsionale dell'evoluzione delle concentrazioni di fosforo totale, con differenti scenari di carico (strato 0-286 m).

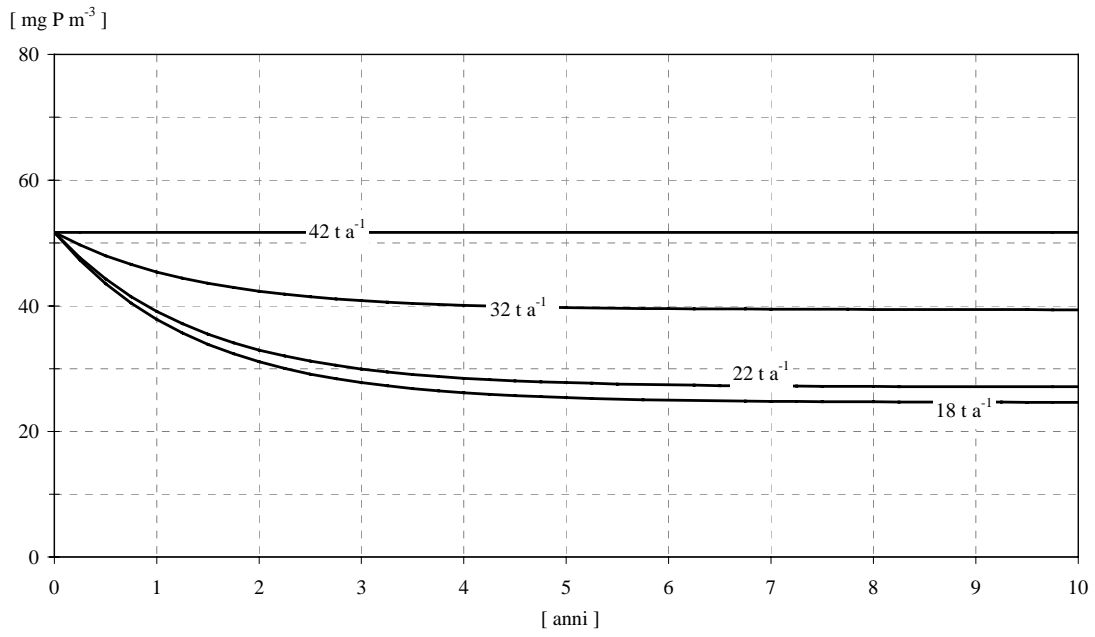


Fig. 8.7.3. Lago di Lugano, bacino sud: modello previsionale dell'evoluzione delle concentrazioni di fosforo totale, con differenti scenari di carico.

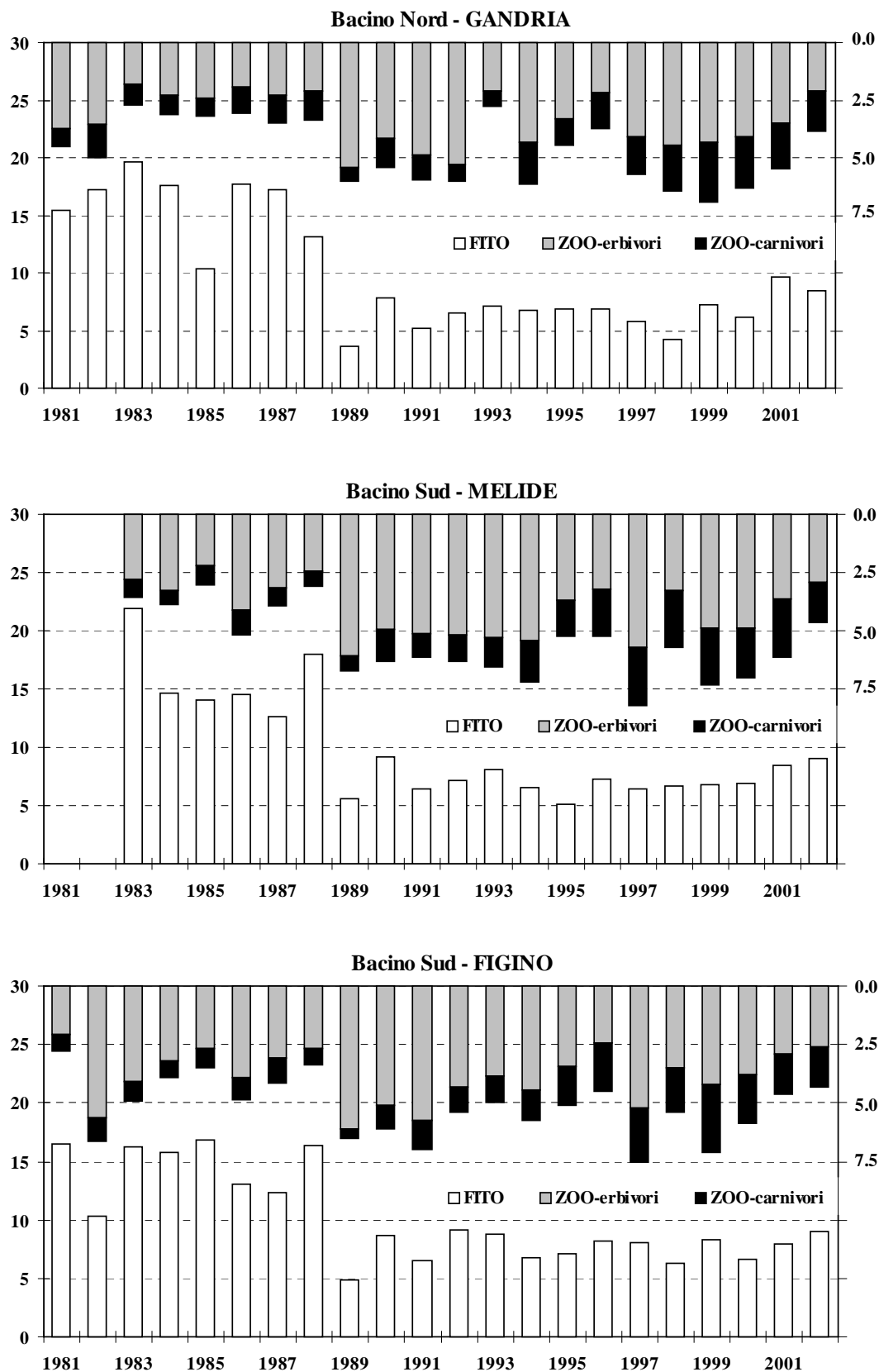


Fig. 8.8.1. Lago di Lugano, 1981-2002: andamento della biomassa planctonica [g m⁻²; peso secco].

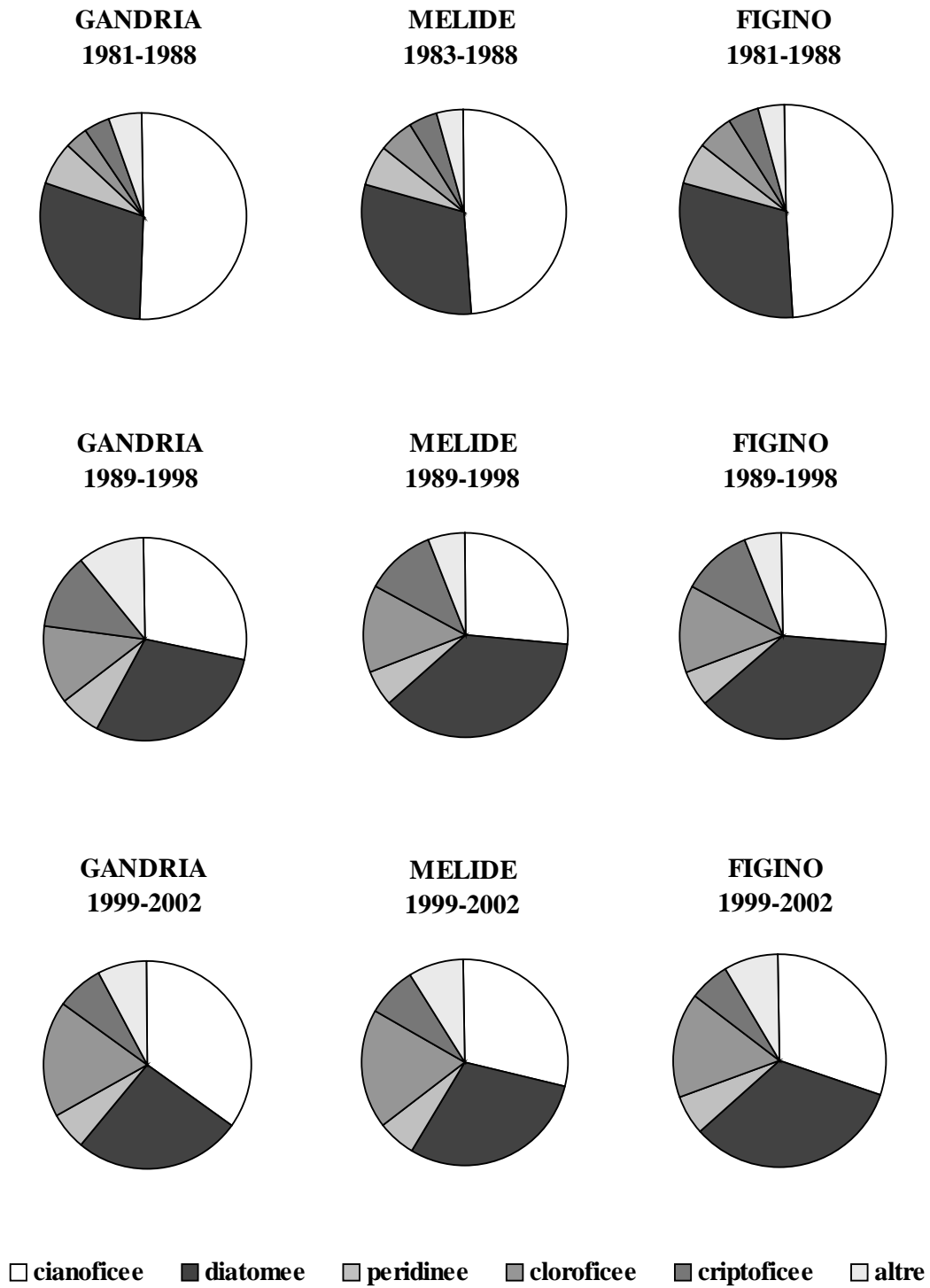


Fig. 8.8.2. Lago di Lugano, 1981-2002: evoluzione della composizione percentuale della biomassa fitoplanctonica.

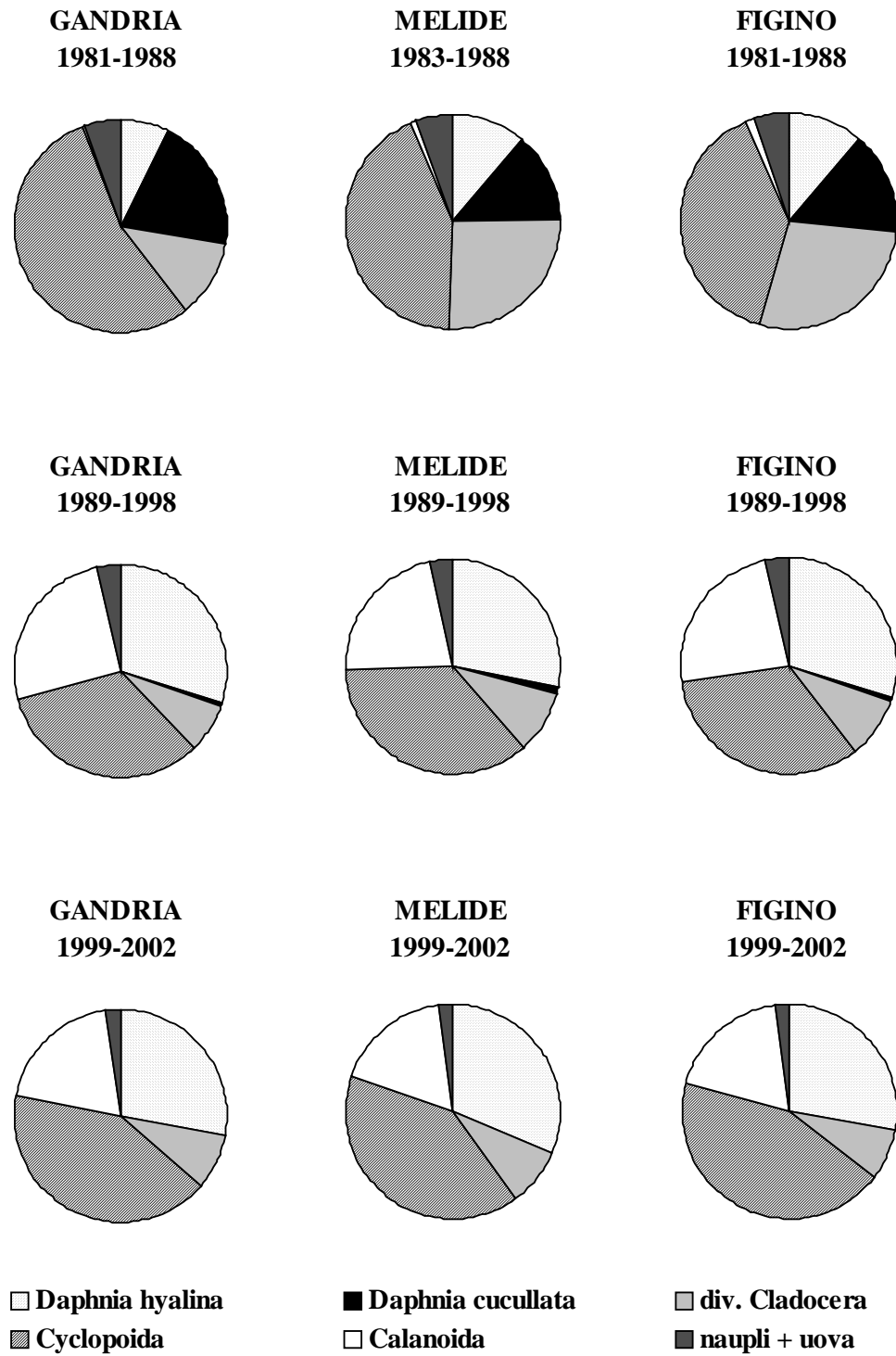


Fig. 8.8.3. Lago di Lugano, 1981-2002: evoluzione della composizione percentuale della biomassa zooplanctonica.

9. CONCLUSIONI

L'ultimo quinquennio ha confermato la stabilizzazione degli apporti esterni in entrambi i bacini principali del Lago di Lugano. I carichi medi di fosforo, veicolati al lago, si sono stabilizzati, negli ultimi tre lustri nel bacino nord, attorno a valori rispettivamente di 31.5 t P a^{-1} , e nel bacino sud a valori di 43 t P a^{-1} per gli ultimi due lustri.

Risulta pertanto un apporto di fosforo superiore a quello accettabile, concordato a suo tempo dalla Commissione Italo-Svizzera, pari al 50% per il bacino nord e del 100% per il bacino sud.

La concentrazione di fosforo totale nel quinquennio trascorso si è attestata per i valori massimi primaverili tra 50 e 70 mg P m^{-3} nel bacino nord, e tra 45 e 55 mg P m^{-3} nel bacino sud.

Come risulta dal monitoraggio in corso da oltre venti anni, le concentrazioni di fosforo, misurate negli strati superficiali dei due principali bacini lacustri (nord e sud), si sono assai ridotte e risultano oggi molto simili tra loro, nonostante permangano significative differenze per quanto riguarda il rilascio del fosforo sia tra i due bacini principali (nord e sud) sia all'interno di quello sud (Melide e Figino [12]).

Nel bacino nord, dal 1998, le concentrazioni di fosforo negli strati superficiali sono aumentate a scapito di quelle presenti negli strati profondi dove al contrario è stata registrata una riduzione. È pertanto ipotizzabile che la diversa distribuzione verticale del fosforo, evidenziata negli ultimi anni, possa impedire, a corto - medio termine, una diminuzione del livello trofico del lago [13]. La particolare situazione di questo bacino fa sì che, per raggiungere la soglia di concentrazione prevista per il suo risanamento (30 mg P m^{-3}), è necessario prendere in considerazione ulteriori misure volte alla riduzione degli apporti esterni. Per poter meglio quantificare il carico esterno di fosforo sarebbe inoltre auspicabile un'indagine specifica mirante a definire tipologia e struttura dei carichi diffusi, analogamente a quanto avvenuto per il Lago di Costanza [14, 15].

Per quanto concerne gli apporti complessivi di azoto totale nel corso degli ultimi 20 anni, si è riscontrato un aumento da 550 a circa 700 t N a^{-1} nel bacino nord ed una stabilizzazione attorno alle $1'400 \text{ t N a}^{-1}$ in quello sud. Per contro le concentrazioni a lago sono aumentate nel bacino nord da circa $0,4$ a $0,8 \text{ mg N l}^{-1}$ e da $1,1$ a $1,6 \text{ mg N l}^{-1}$ in quello sud. Un simile andamento è stato osservato in maniera più continua nel bacino nord, e in due fasi distinte nel bacino sud. Tuttavia, all'aumento dei valori d'azoto totale sull'intera massa lacustre non ha corrisposto un'analoga evoluzione delle componenti inorganiche disciolte (azoto nitrico ed ammoniacale), per cui si può supporre che il maggior incremento a lago, per questo parametro, sia legato alla frazione organica (biomassa planctonica).

L'ossigenazione delle acque lacustri rimane sempre critica nel bacino nord, in particolare negli anni caratterizzati da inverni miti, che provocano un minor

apporto d'ossigeno agli strati profondi: nel 2002, ad esempio, si è verificato il minor rimescolamento degli ultimi 22 anni, con il limite superiore dello strato anossico in risalita fino a 40 m di profondità. La situazione in questo bacino potrebbe permanere critica anche in futuro, soprattutto se la produzione algale dovesse ulteriormente aumentare e se si presentasse una successione d'inverni miti. E' chiaro che il processo di redistribuzione del fosforo, che sembra essersi accentuato negli ultimi anni veicolando sostanze ridotte e nutrienti verso gli strati superiori, potrebbe avere come risultato un'erosione delle riserve d'ossigeno e stimolare, nel contempo, la crescita algale nelle acque superficiali. Va d'altra parte tenuto conto del ruolo "tamponante", che l'ampio strato d'acqua ossigenata (dalla superficie fino a 50-80 m di profondità) svolge all'interno di questo processo.

Nel bacino sud il quadro dell'ossigenazione appare meno preoccupante, anche se si sta assistendo, negli ultimi anni, ad un aumento della durata della fase anossica nell'ipolimnio profondo, che si è protratta senza pausa, in alcune occasioni, da un anno all'altro.

Il quadro generale della biocenosi planctonica del lago è caratterizzato da un livello trofico ancora eccessivo, nonostante il miglioramento generale delle condizioni osservato alla fine degli anni '80. La risposta del lago alle misure di risanamento intraprese a partire dal 1976, anno dell'entrata in funzione dei primi importanti impianti di depurazione, dimostra come la sua attività biologica dipenda ancora in larga misura, oltre che dalle vicende meteo-climatiche, dalla disponibilità di fosforo negli strati epilimnici, sede dei processi produttivi primari.

Alla luce di queste considerazioni, un ulteriore passo verso il risanamento delle acque del lago è prospettabile unicamente attraverso il completamento (dove ancora necessario) ed il mantenimento di un elevato livello di collettamento e di depurazione delle acque reflue provenienti dagli agglomerati urbani delle due nazioni confinanti. Ulteriori, eventuali, interventi straordinari per accelerare il raggiungimento degli obiettivi di qualità, sono stati studiati e attentamente valutati durante il presente quinquennio dalla Commissione Italo-Svizzera, tramite le sue articolazioni tecnico-scientifiche. Tuttavia, data l'incertezza legata ai risultati che queste misure avrebbero determinato ed alle preoccupazioni in merito ad eventuali ripercussioni ambientali negative, le indicazioni scaturite da questi studi sono state, per il momento, accantonate.

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 fattiva 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] GÄCHTER, R., 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion: Modelle und in-situ-Messungen. Schweiz. Z. Hydrol. 34:211-244.
- [5] DUMONT, H.J., I. VAN DE VELDE & S. DUMONT, 1975. The dry weight of biomass in a selection of cladocera, copepoda and rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. Oekologia, 19: 75-97
- [6] LAVELLI A. & G. DE CESARE, 2001. Modélisation des courants de turbidité dans le bassin nord du Lac de Lugano. EPFL-LCH, Rapport n° 10-2001, pp. 144.
- [7] MOSELLO R., A. BARBIERI, M. C. BRIZZIO, A. CALDERONI, A. MARCHETTO, S. PASSERA, M. ROGORA & G. TARTARI, 2001. Nitrogen budget of Lago Maggiore: the relative importance of atmospheric deposition and catchment sources, J. Limnol., 60(1): 27-40.
- [8] GÄCHTER, R. & D. IMBODEN; 1982. Lake restoration. Chemical processes in lakes. John Wiley and Sons, 363-387.
- [9] CIPAIS (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.
- [10] BÜRGI, H.R., P. WEBER and H. BACHMANN, 1985. Seasonal variations in the trophic structure of phyto-and zooplankton communities in lakes in different trophic states. Schweiz. Z. Hydrol. 47/2: 197-224.
- [11] BARBIERI, A. & M. SIMONA, 1997. Trophic evolution of Lake Lugano following recovery intervention. Documenta Ist. Ital. Idrobiol., 61: 73-91.
- [12] VERONESI, M., 1999. Nutrient release from the sediments of the southern basin of Lake Lugano (Switzerland-Italy). Dissertation UNI Zürich; 107 pp.
- [13] 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., (in preparazione).

- [14] IGB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 1998. Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees. Bericht Nr. 49; 49 pp.
- [15] IGB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 1999. Phosphor und Stickstoff aus diffusen Quellen im Einzugsgebiet des Bodensees 1996/97. Bericht Nr. 51; 86 pp.

RESPONSABILE DELLA RICERCA

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

COORDINATORE DEL PROGETTO

Dipl. sc.nat. Marco Simona	biologo
----------------------------	---------

AUTORI

Dipl. sc.nat. Marco Simona	biologo
Dr. sc. nat. Mauro Veronesi	biologo
Dr. Alberto Barbieri	chimico

COLLABORATORI

Sig. ^{ra} Manuela Simoni Vassalli	laboratorista
Sig. ^{ra} Marina Surace Ecoffey	laboratorista
Sig. ^{ra} Radka Hefti	laboratorista

COLLABORATORI ESTERNI

Dr. ^{ssa} Margherita Canepa	biologa
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