

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

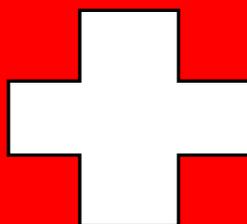
Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2008 - 2012
Campagna 2008

Istituto Scienze della Terra
Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana

su mandato della Repubblica e Cantone del Ticino



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

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

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2008-2012

Campagna 2008

Istituto Scienze della Terra
Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana

su mandato della Repubblica e Cantone del Ticino

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

Istituto Scienze della Terra (IST-SUPSI), 2009: *“Ricerche sull’evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2008.”*

Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 94 pp.

RIASSUNTO

Questo volume presenta i dati limnologici sul Lago di Lugano raccolti dall'Istituto Scienze della Terra (IST) della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI) durante la campagna 2008, nell'ambito dell'attività di ricerca della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere svolta a partire dal 1978. Dal 1° gennaio 2008, in corrispondenza con l'inizio del nuovo quinquennio 2008-2012, le ricerche limnologiche sul Ceresio vengono svolte dall'IST-SUPSI su mandato dell'Amministrazione del Cantone Ticino.

Le informazioni ottenute nel corso del 2008 permettono di aggiornare le serie storiche disponibili per i principali parametri limnologici e di descrivere le tendenze evolutive del Lago in relazione agli interventi di collettamento dei reflui e 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. Rispetto al quinquennio precedente (2003-2007) gli apporti risultano in aumento del 30% nel bacino nord e del 35% in quello sud. Il Vedeggio, con 9.4 t P a^{-1} , è il corso d'acqua che ha convogliato a lago il carico maggiore di fosforo totale, anche se qualitativamente il fiume che mostra il carico areale più elevato è il Bolletta con $390 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

Il bacino sud ha confermato il progressivo aumento di fosforo totale osservato a partire dal 2003, che ha raggiunto nel 2008 una concentrazione media sulla colonna di 48 mg P m^{-3} . Nel bacino nord la destratificazione dell'inverno 2004-2005 aveva ridotto la concentrazione media annua da 138 a 115 mg P m^{-3} . Dopo il successivo, completo, rimescolamento dell'inverno 2005-2006 i valori sono ulteriormente calati per assestarsi sugli attuali 80 mg P m^{-3} . Nel 2008 in questo bacino, complice una circolazione invernale ridotta, lo stato d'ossigenazione delle acque profonde è peggiorato in seguito all'innalzamento dell'isolinea di $1.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ fino a 60 m, mentre l'isolinea di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ (limite ipossia) è oscillata intorno ai 40 m.

A livello del popolamento planctonico, il quadro del 2008 è caratterizzato da valori di biomassa fitoplanctonica in aumento rispetto al biennio precedente. Non si è tuttavia assistito ad un parallelo incremento della biomassa zooplanctonica erbivora, a motivo della scarsa edibilità delle specie algali. Le intense precipitazioni del 2008 hanno favorito la crescita delle diatomee, in particolare nel secondo semestre.

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso del 2008 si può affermare che il Lago di Lugano, nonostante i miglioramenti mostrati, si trova tuttora in uno stato d'elevata eutrofia, la più elevata tra i grandi laghi svizzeri, con un tenore di sostanze nutrienti in progressiva e costante evoluzione. Il miglioramento qualitativo delle acque lacustri, lentamente avviato nel corso degli anni '80 grazie al progressivo completamento delle misure esterne di risanamento, si è parzialmente stabilizzato nel corso del decennio successivo: lo stato limnologico attuale è ancora caratterizzato da una certa variabilità e instabilità, pur risultando sicuramente più accettabile e fruibile rispetto al periodo di massima eutrofizzazione (negli anni '70-'80). L'eccezionale evento di destratificazione delle acque del bacino nord, occorso nel corso dell'inverno 2004-2005, ed il successivo completo rimescolamento del 2006, hanno segnato due tappe decisive sulla via del recupero del lago, soprattutto in considerazione degli effetti sullo stato d'ossigenazione e sul tenore di fosforo delle acque profonde.

S U M M A R Y

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during 2008 by the Institute of Earth Sciences (IST) of the University of Applied Sciences of Southern Switzerland (SUPSI), in the frame of the research program promoted since 1978 by the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

Starting from 2008 limnological research on lake Lugano is carried out by IST-SUPSI under commission of the public administration of Cantone Ticino. Information obtained in 2008 contributed to update the long term records available for the different limnological parameters and to describe the trend of lake trophic evolution with respect to the recovery measures realised until now.

During the last year emphasis was given to the detailed analysis of phosphorus loads from the main sub-basins, in order to detect to what extent already realised sewer mains and sewage treatment plants contributed to improve lake's trophic state. With respect to the last five-year period (2003-2007) phosphorus load has increased of 30 % in northern basin and of 35 % in the southern. River Vedeggio with 14.2 t P a^{-1} has conveyed to the lake the largest phosphorus load, though from the qualitative point of view river Bolletta has shown the highest areal load: $390 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

In southern basin total phosphorous concentration has continued its slow increase, attending in 2008 48 mg P m^{-3} . In the northern one 2004-2005 winter destratification reduced phosphorus concentration down to 115 mg P m^{-3} ; after the following, complete, overturn of winter 2005-2006 phosphorus concentration further decreased to the present 80 mg P m^{-3} . Owing to the mild winter in this latter basin the oxygenation state of hypolimnic water remained unsatisfactory in the hypolimnion, with the 1.0 mg P m^{-3} isoline reaching 60 m depth.

The planktonic community has been characterised by increasing phytoplankton biomass values with respect to the previous biennium. However, a similar increase in zooplankton biomass (in particular the herbivorous component) was not observed, as a consequence of low algal edibility.

Considering the results obtained in 2008 it can be affirmed that, notwithstanding the observed improvement, Lake Lugano is still in a state of high eutrophy, the highest among Swiss lakes, with nutrient concentrations in progressive and steady development. In this delicate phase of the recovery process it is essential to evaluate all further measures to reduce the residual external load, strictly monitoring the limnological trend of the lake ecosystem. The observed destratification of the northern basin occurred in winter 2004-2005 and its following complete mixing represent two important steps toward the complete recovery of Lake Lugano, on account of their effects on oxygenation state and phosphorus concentration in deep hypolimnion.

INDICE

	pagina
1. <u>INTRODUZIONE</u>	9
1.1. Prefazione	9
1.2. Simbologia e unità di misura	10
1.3. Caratteristiche morfometriche e idrologiche	11
1.4. Ubicazione delle stazioni di prelievo e misura	12
2. <u>CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'AREALE LACUSTRE</u>	15
2.1. Radiazione solare globale	15
2.2. Temperatura atmosferica	16
2.3. Precipitazioni	16
2.4. Intensità e direzione del vento	18
3. <u>CARATTERISTICHE IDROLOGICHE</u>	23
3.1. Regime del livello lacustre	23
3.2. Regime dei corsi d'acqua	25
4. <u>APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI</u>	27
4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari	27
4.2. Carichi chimici	37
4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto	41
5. <u>CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICHE E CHIMICO- FISICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	43
5.1. Trasparenza	43
5.2. Torbidità	43
5.3. Temperatura dell'acqua	44
5.4. Ossigeno disciolto	44
5.5. Valore pH ed alcalinità	44
5.6. Conducibilità elettrica specifica	45
5.7. Composti del fosforo	45
5.8. Composti dell'azoto	46
5.9. Silice	47
5.10. Metano	47
5.11. Solfuri	48
5.12. Ferro disciolto	48
5.13. Manganese disciolto	48
5.14. Andamento pluriennale del fosforo totale	49
6. <u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	69
6.1. Struttura dei popolamenti	69
6.2. Variazioni della biomassa	70
6.3. Clorofilla	71
6.4. Produzione primaria	72
7. <u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	83
7.1. Densità dei popolamenti	83
7.2. Biomassa zooplanctonica	84

8.	<u>CONCLUSIONI</u>	89
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	90
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	93

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante la campagna d'indagine del 2008, primo anno del settimo quinquennio di ricerche limnologiche sul Lago di Lugano, promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. Con il 2008 si è aperta anche una nuova tappa nella lunga serie pluriennale d'indagini su questo corpo d'acqua, tramite il trasferimento del programma di ricerche limnologiche sul Lago di Lugano al Centro di competenza acqua dell'Istituto Scienze della Terra (IST-SUPSI) di Lugano-Trevano.

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

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

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

Tutti i risultati analitici relativi alla campagna di prelievo e di misure del 2008 sono depositati presso la Segreteria della Commissione.

1.2. Simbologia e unità di misura

CHIMICA E FISICA

prof. :	profondità	[m]
m s.l.m. :	metri sul livello del mare	[m]
h :	ora	[h]
d :	giorno	[d]
m :	mese	[-]
a :	anno	[a]
Q :	portata	[m ³ s ⁻¹]
T :	temperatura	[°C]
torb :	torbidità	[FTU]
trasm :	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 reattivo disciolto	[mg m ⁻³]
PT :	fosforo totale	[mg m ⁻³]
SiO ₂ -Si :	silicati reattivi	[g m ⁻³]
NO ₂ ⁻ -N :	azoto nitroso	[mg m ⁻³]
NO ₃ ⁻ -N :	azoto nitrico	[g m ⁻³]
NH ₄ ⁺ -N :	azoto ammoniacale	[g m ⁻³]
NT :	azoto totale	[g m ⁻³]
Fe ²⁺ :	ferro disciolto	[mg m ⁻³]
S ²⁻ :	zolfo disciolto	[mg m ⁻³]
Mn ²⁺ :	manganese disciolto	[g m ⁻³]
CH ₄ :	metano	[g m ⁻³]
DOC :	carbonio organico disciolto	[g m ⁻³]
POC :	carbonio organico particellato	[g m ⁻³]

FITOPLANCTON

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

ZOOPLANCTON

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

STATISTICA

%ile:	percentile
d.s:	deviazione standard

ABBREVIAZIONI

BN:	bacino nord
BS:	bacino sud

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

1.3. Caratteristiche morfometriche e idrologiche del Lago di Lugano

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

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

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

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

1.4. Ubicazione delle stazioni di prelievo e misura

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

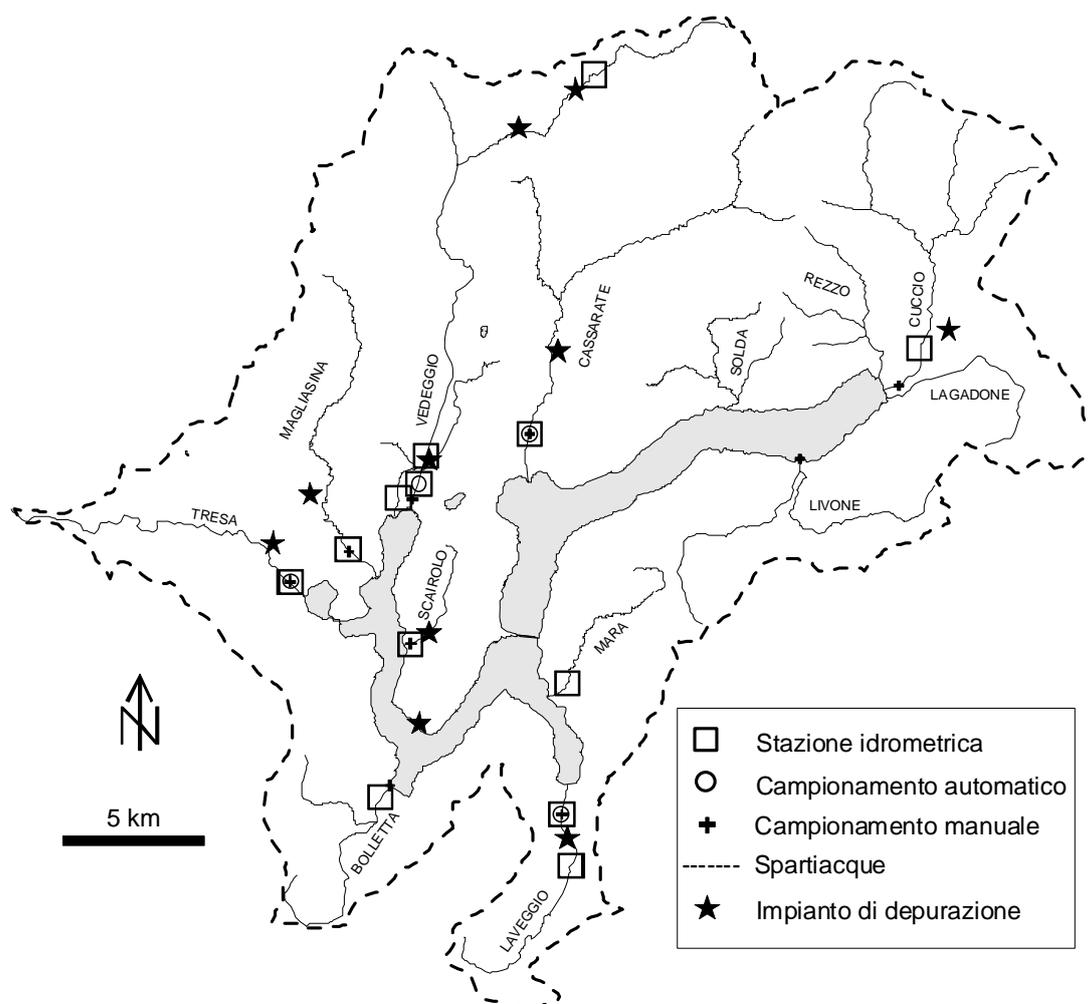


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

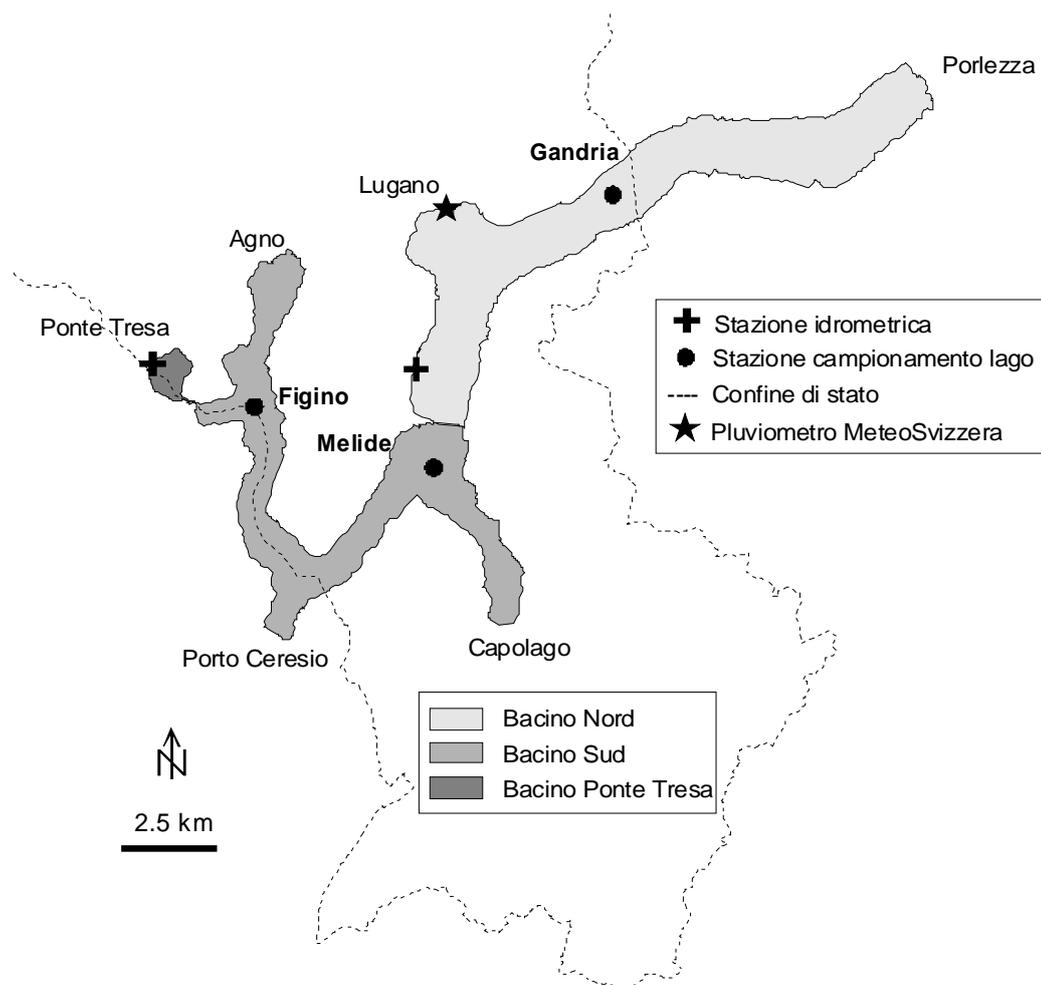


Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

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

2. CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'AREALE LACUSTRE

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

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

In seguito al trasferimento del programma di ricerche limnologiche sul Lago di Lugano al Centro di competenza acqua dell'Istituto Scienze della Terra (IST-SUPSI), con l'inizio del nuovo quinquennio d'indagine della Commissione (2008-2012) si offre l'opportunità di integrare nel presente capitolo un supplemento d'informazioni sulla pluviometria del bacino imbrifero del Lago di Lugano. A tale scopo vengono utilizzati i dati rilevati dalla rete idropluviometrica cantonale ticinese, gestita dall'IST, e da una serie di ulteriori stazioni federali (MeteoSvizzera).

I dati relativi all'andamento mensile del 2008 sono stati confrontati, come di consueto, con i valori del periodo climatologico di riferimento 1961-90 [1] per quanto concerne i parametri della temperatura atmosferica e delle precipitazioni, mentre per la radiazione solare il confronto viene effettuato con la media del periodo 1980-2005. Per quanto riguarda l'andamento dell'intensità e della direzione dei venti si propone invece il confronto con il ventennio 1986-2005, in quanto le misurazioni degli anni precedenti hanno evidenziato alcuni errori.

A livello generale, sul versante sudalpino il 2008 si è distinto per temperature e precipitazioni nettamente sopra la norma, mentre i valori di soleggiamento si sono mantenuti quasi normali nel Ticino centrale e meridionale. [2].

2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2008	4711 MJ m ⁻²
Radiazione - media periodo 1980-2005	4328 MJ m ⁻²

La radiazione solare ha fatto registrare anche nel 2008 un valore decisamente elevato, nettamente superiore alla media pluriennale, ed in linea con l'andamento degli ultimi anni. Come illustrato dalla grafica dell'andamento dei valori (Fig. 2.1), tutti i mesi, tranne gli ultimi due dell'anno, hanno presentato valori superiori alla media: i maggiori incrementi si sono registrati in marzo (+28%) febbraio (+25%) ed ottobre (+13%). Sotto quest'aspetto,

pertanto, anche quest'anno, come nei tre precedenti, durante l'intero periodo d'attività vegetativa (marzo-ottobre) si sono verificate favorevoli condizioni di crescita per il fitoplancton.

2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2008	12.7 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	12.0 °C

La temperatura media annua del 2008 a Lugano è risultata ancora nettamente superiore alla media del periodo di riferimento, anche se inferiore alla media dell'ultimo quinquennio (13.1 °C). Tutti i valori mensili (Fig. 2.2) presentano incrementi rispetto alla media, tranne luglio (-0.3 °C), rinfrescato dalle frequenti precipitazioni, e settembre (-1.1 °C): i maggiori scarti si sono avuti in gennaio (+1.9 °C), febbraio e marzo (entrambi con +1.5 °C). I valori elevati del primo trimestre dell'anno, assieme a quelli degli ultimi mesi dell'anni precedente, hanno contribuito in maniera decisiva a rallentare la fase di raffreddamento delle acque lacustri, indebolendo, di conseguenza, il processo di circolazione invernale delle acque.

Il valore di temperatura atmosferica più elevata è stato misurato il 27 di giugno (31.7 °C), mentre quello più basso il 28 dicembre (-4.0 °C).

2.3. Precipitazioni

Precipitazioni Lugano - totale 2008	2188 mm
Precipitazioni Lugano- media periodo 1961-1990	1606 mm

Dopo un quinquennio in cui il totale annuo delle precipitazioni si è mantenuto nettamente al di sotto della norma, il 2008 ha fatto registrare un valore annuo fra i più elevati dell'intero periodo di riferimento. Nella stazione di Lugano, in questo periodo, solo tre volte era stata superata la soglia dei 2000 mm. Di fatto gli unici tre valori mensili deficitari rispetto alla media (agosto: -67 mm; febbraio: -38 mm; gennaio: -32 mm) sono stati ampiamente compensati dagli incrementi registrati in quasi tutti gli altri mesi, in particolare da quello di luglio (+236 mm; Fig. 2.3.1).

Per una migliore caratterizzazione di questo parametro meteorologico, con l'inizio del presente quinquennio d'indagine vengono presentati i valori di precipitazione misurati nell'intera rete pluviometrica installata sul bacino imbrifero del lago (Tab. 2.3; Fig. 2.3.2).

In tutte le stazioni pluviometriche del bacino imbrifero del lago sono state registrate precipitazioni annue superiori ai 2000 mm. A Lugano la precipitazione annua è stata pari a 2189 mm, mentre la media nel periodo 1961-1990 risulta pari 1606 mm. La precipitazione annua massima si è registrata nel pluviometro di Colla con 2923 mm. Mediamente, nel bacino del lago, le precipitazioni sono state del 50% superiori rispetto alla media.

2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2008	5.17 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media periodo 1986-2005	6.53 km h ⁻¹

L'intensità dei venti nel 2008 ha fatto registrare il valore più basso dell'intero periodo d'osservazione, dopo due anni già caratterizzati da un'attività eolica particolarmente modesta. L'andamento dei valori mensili (Fig. 2.4.1) mette in evidenza un'attività eolica superiore alla media unicamente nel mese di marzo, tradizionalmente molto ventoso, con un incremento di 1.1 km h⁻¹ rispetto alla media. In questo mese hanno predominato le correnti da nord, che hanno fatto registrare i giorni più ventosi dell'anno (5 marzo: 23 km/h⁻¹; 20 e 23 marzo: 18 km/h⁻¹) con raffiche fino a 60-70 km/h⁻¹. Punte di vento superiori sono state misurate solo il 22 gennaio (91 km h⁻¹) ed il 30 ottobre (87 km h⁻¹), ma si è trattato di eventi occasionali, che non hanno influito in misura sensibile sul dato mensile. Fatta eccezione per aprile, che presenta un deficit contenuto (-0.8 km h⁻¹), tutti gli altri mesi hanno fatto registrare deficit rilevanti (compresi tra -1.0 e -2.5 km h⁻¹). Particolarmente rilevante per quanto riguarda gli effetti dell'attività eolica sul rimescolamento della colonna d'acqua lacustre è il dato relativo all'intensità dei venti durante la fase finale di raffreddamento del lago (dicembre-febbraio): in questo senso l'inverno 2007-2008 ha presentato valori fra i più bassi dell'intero periodo di confronto.

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

Durante il 2008 la **direzione media mensile** del vento è rimasta costantemente attorno ai settori N/NW: anche se tra febbraio e luglio la direzione più frequente è risultata quella dal settore S, questo fatto non ha influenzato la risultante mensile (media vettoriale) a motivo della bassa intensità di questi venti.

La **distribuzione annua** delle percentuali di frequenza della direzione dei venti, suddivisa negli otto settori principali del quadrante, è riportata nella figura 2.4.2. Il grafico del 2008 conferma il marcato allineamento lungo l'asse nord-sud osservato negli ultimi anni, dovuto alla crescita del settore S ed al progressivo ravvicinamento dei valori da NW, W e SW. Si conferma così, anche quest'anno, lo spostamento dell'orientamento delle direzioni prevalenti, che fino al 2001, si presentava lungo la direttrice NW-SE. Valutazioni più ponderate riguardo ad un reale cambiamento del regime di direzione dei venti nel corso degli ultimi anni potranno comunque essere formulate unicamente sulla base di un più ampio periodo di confronto.

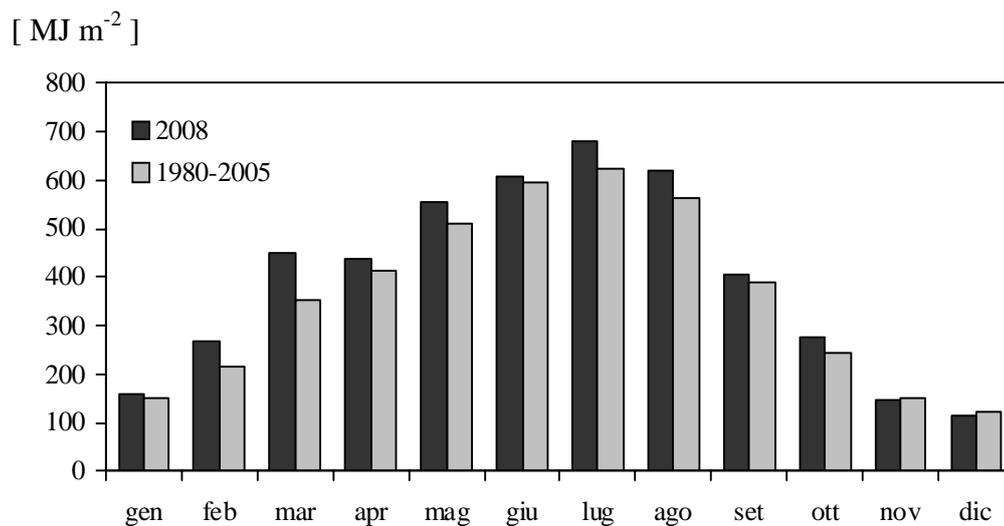


Fig. 2.1 Regime mensile della radiazione globale rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

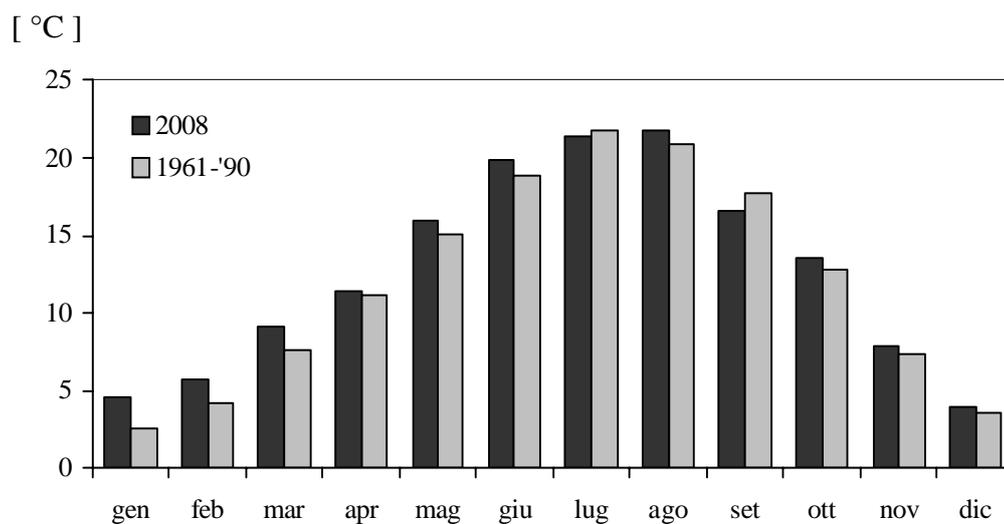


Fig. 2.2 Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

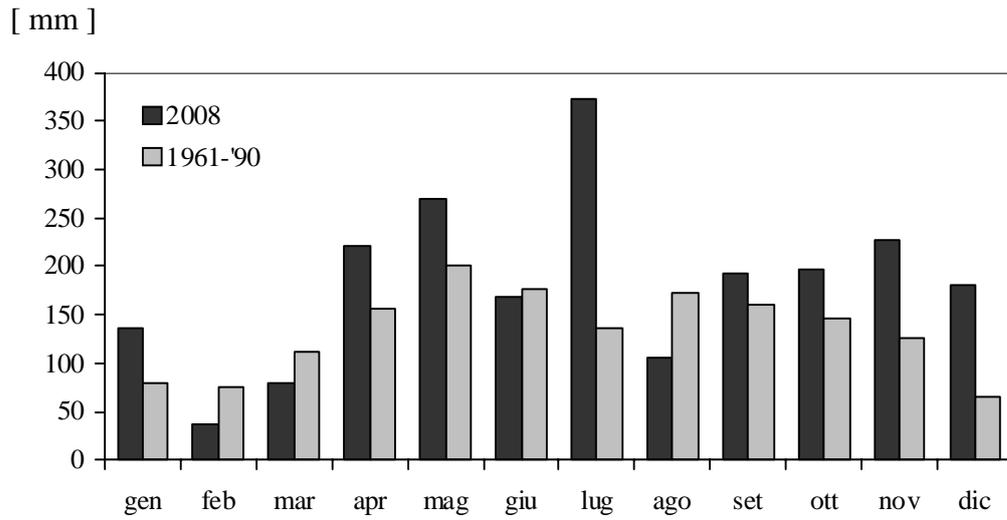


Fig. 2.3.1 Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

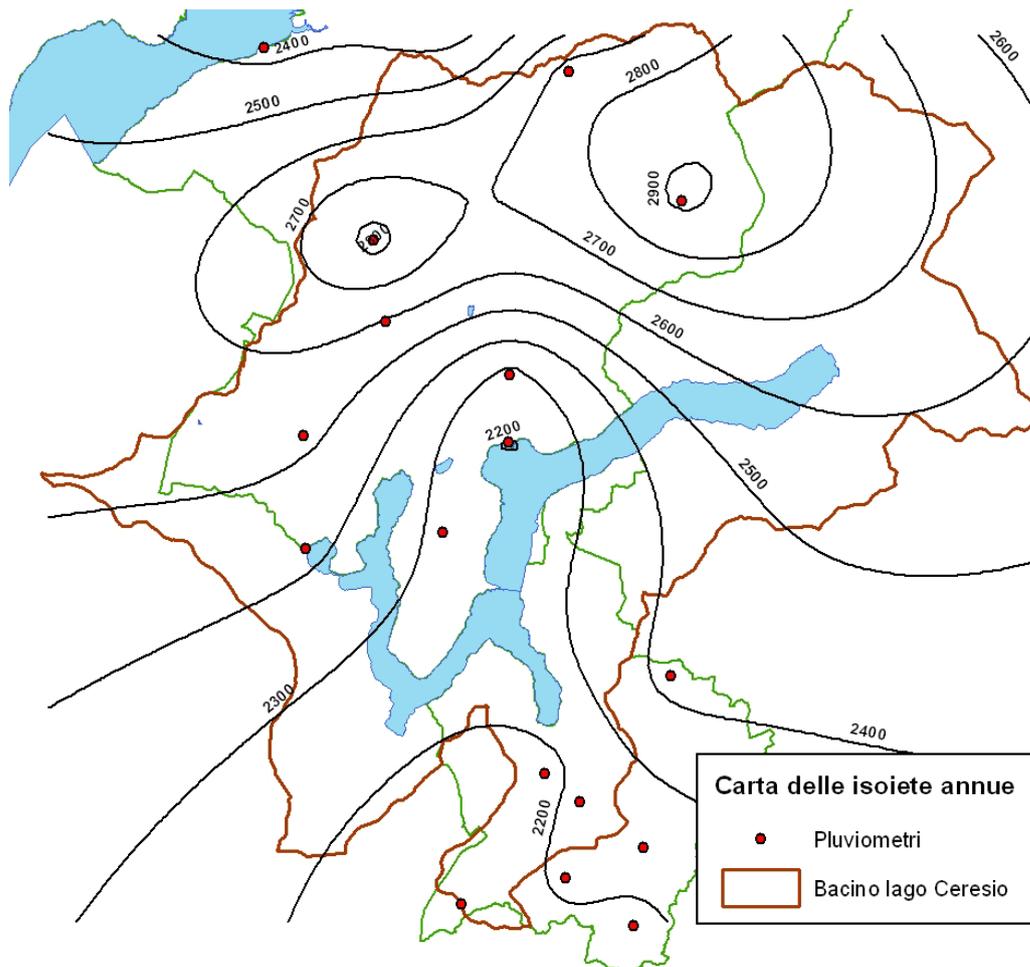


Fig. 2.3.2 Carta delle isoiete dell'anno 2008 per il bacino imbrifero del lago di Lugano.

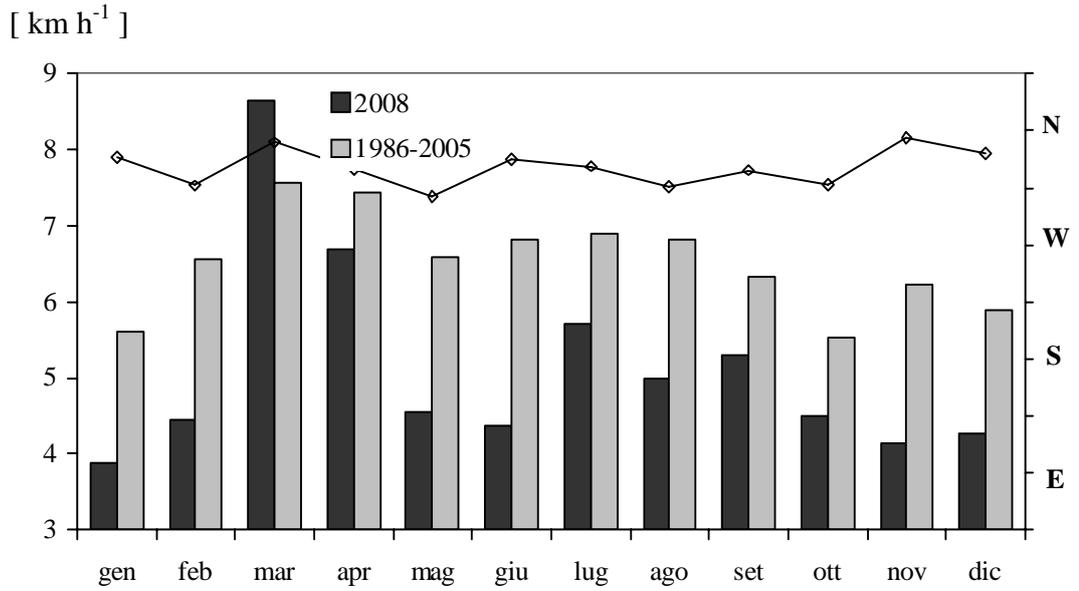


Fig. 2.4.1: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media (linea), rilevato presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

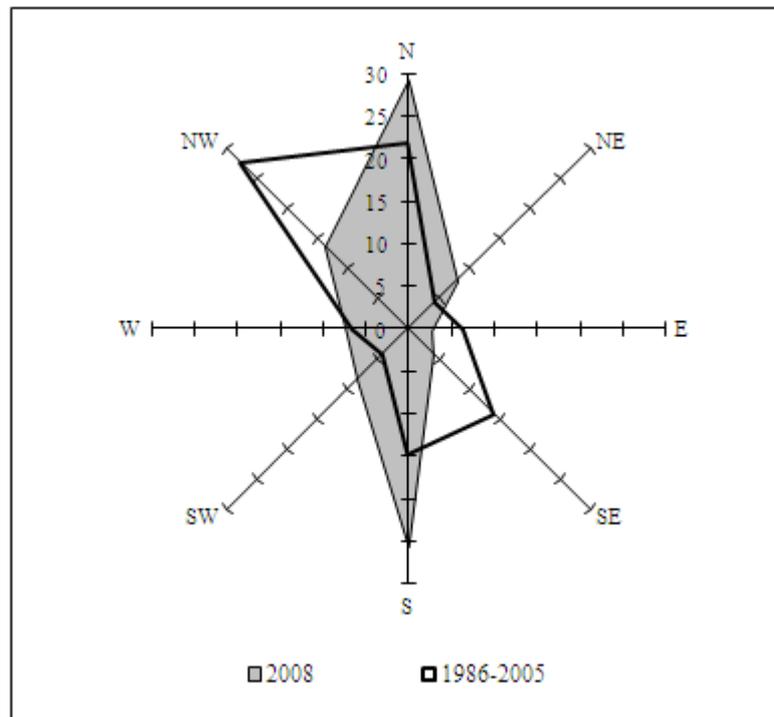


Fig. 2.4.2: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

3. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

3.1. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre, registrata a Melide Ferrera nel 2008 è stata di m 270.58 m s.l.m. risultando di 9 cm superiore a quella del periodo di riferimento (1965-2007: 270.49 m s.l.m.). Si noti che il valore medio massimo annuale da quando il lago è regolato si è registrato nel con 270.60 m s.l.m.

Il minimo assoluto è stato toccato il 27 ottobre con 270.27 m s.l.m., mentre la punta massima, pari a 271.25 m s.l.m., è stata raggiunta il 14 luglio al termine dei due eventi pluviometrici che hanno caratterizzato l'inizio del mese di luglio. L'escursione massima per il 2007 è stata di 98 cm (Fig. 3.3.). Si noti che era dall'esondazione del novembre 2002 che il lago non raggiungeva più livelli così elevati.

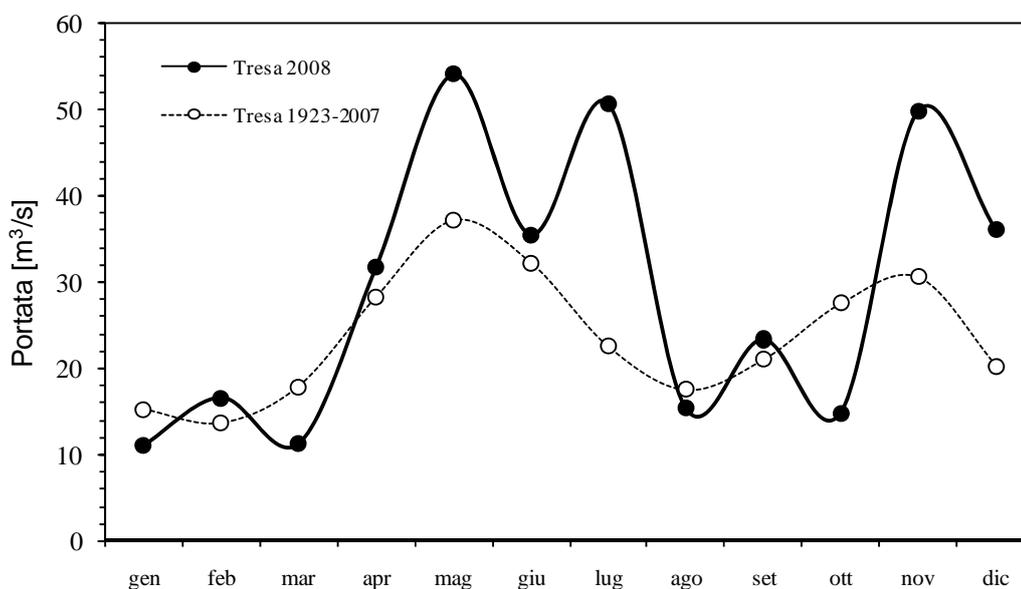


Fig. 3.1. Regime mensile dei deflussi del fiume Tresa (emissario) nel 2008 e nel periodo di riferimento (1923-2007). Si noti che, a partire dal 1963 la portata dell'emissario risulta modificata artificialmente dalla regolazione.

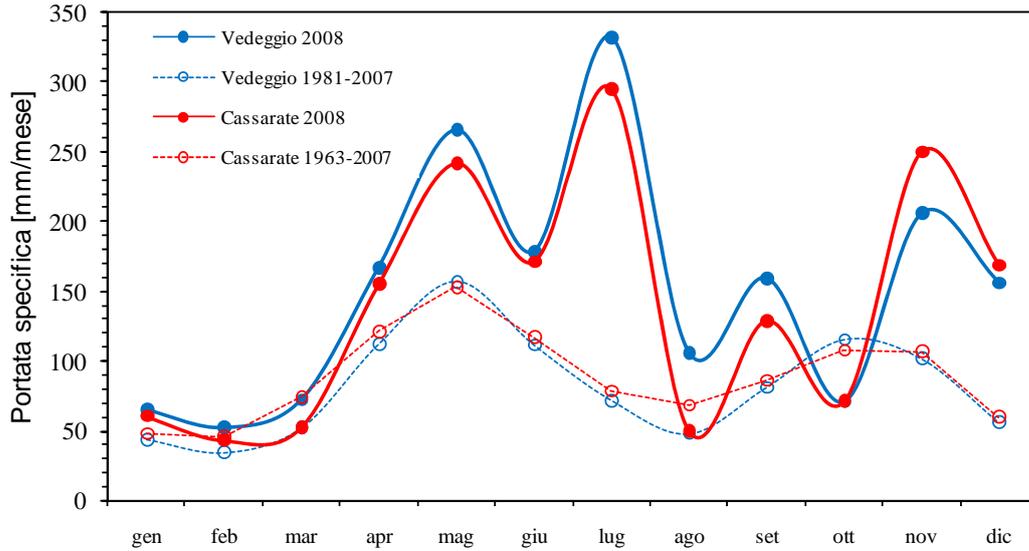


Fig. 3.2. Regime mensile dei deflussi specifici (portata per unità di superficie del bacino imbrifero) dei fiumi Veduggio (principale immissario del bacino sud) nel 2008 e nel periodo di riferimento (1981-2007) e Cassarate (principale immissario del bacino nord) nel 2008 e nel periodo di riferimento (1963-2007).

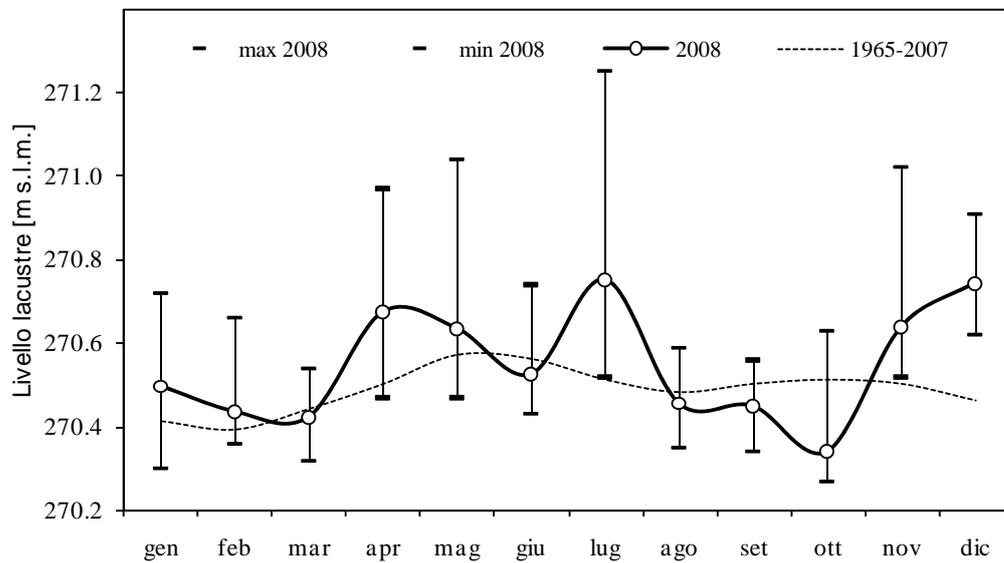


Fig. 3.3. Lago di Lugano, 2008: regime mensile (o) e valori estremi (-) del livello lacustre, e confronto con periodo di riferimento.

3.2. Regime dei corsi d'acqua

La tabella 3.1. presenta i valori di deflusso (medie mensili e annue) dei nove corsi d'acqua controllati, relativi all'anno 2008 ed ai corrispondenti periodi di confronto.

Come riferito nel capitolo precedente, il 2008 è stato un anno molto ricco di precipitazioni, per cui le portate degli immissari hanno segnato un aumento medio del 61% rispetto alle medie pluriennali di riferimento. La portata media della Tresa ha invece subito un incremento del 24% rispetto alle medie pluriennali. L'incremento maggiore è stato rilevato sul Vedeggio, con una portata media annua superiore dell'87% rispetto alla norma. L'unico mese che è risultato deficitario su tutti i tributari è risultato ottobre, in cui nei tributari è defluito il 20-50% d'acqua in meno rispetto alla norma. Nei quattro mesi di giugno, luglio, agosto e settembre è per contro defluito il 50% del volume complessivo annuo.

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

Corso d'acqua	Periodo	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
Bolletta	2008	1.11	0.58	0.69	1.29	2.20	1.16	1.25	0.44	0.49	0.60	1.82	2.03	1.14
	1986-2007	0.56	0.48	0.54	0.97	0.92	0.68	0.47	0.37	0.53	0.86	0.91	0.59	0.66
	%	198%	121%	129%	133%	239%	171%	269%	119%	93%	70%	201%	344%	174%
Cassarate	2008	1.66	1.27	1.44	4.41	6.66	4.87	8.13	1.38	3.67	1.95	7.12	4.65	3.94
	1963-2007	1.31	1.34	2.04	3.45	4.21	3.32	2.15	1.87	2.44	2.96	3.03	1.64	2.48
	%	127%	94%	70%	128%	158%	147%	378%	74%	150%	66%	235%	283%	159%
Cuccio	2008	1.01	1.05	1.34	2.82	5.17	3.87	4.63	1.64	2.49	1.56	3.92	1.92	2.62
	1986-2007	1.18	1.13	1.36	2.24	2.96	2.54	2.00	1.43	1.75	2.45	2.43	1.48	1.91
	%	85%	93%	98%	126%	175%	153%	232%	115%	142%	64%	161%	130%	137%
Laveggio	2008	1.69	0.91	0.95	1.72	2.33	1.97	1.63	0.98	0.90	0.79	1.95	2.44	1.53
	1978-2007	0.92	0.89	1.08	1.46	1.56	1.22	0.90	0.72	0.86	1.19	1.21	0.91	1.08
	%	184%	103%	88%	118%	149%	161%	183%	136%	105%	66%	161%	270%	142%
Mara	2008	0.44	0.44	0.58	1.27	1.33	1.15	1.01	0.35	0.46	0.51	1.48	1.17	0.85
	1994-2007	0.50	0.39	0.55	0.84	0.92	0.65	0.63	0.47	0.51	0.61	0.84	0.52	0.62
	%	88%	113%	106%	150%	144%	178%	160%	75%	90%	83%	175%	227%	136%
Magliasina	2008	0.95	0.85	1.03	2.20	3.52	1.92	3.41	0.59	1.94	0.77	2.85	1.87	1.83
	1980-2007	0.65	0.57	0.83	1.67	2.04	1.55	0.90	0.60	1.11	1.68	1.53	0.78	1.16
	%	146%	149%	124%	132%	173%	124%	379%	98%	175%	46%	187%	239%	157%
Scairolo	2008	0.36	0.23	0.24	0.52	0.72	0.74	0.72	0.19	0.23	0.27	0.60	0.69	0.46
	1982-2007	0.24	0.22	0.22	0.34	0.40	0.33	0.24	0.22	0.26	0.35	0.37	0.24	0.29
	%	149%	109%	109%	154%	181%	222%	298%	88%	89%	77%	163%	293%	162%
Vedeggio	2008	2.56	2.20	2.83	6.76	10.40	7.23	13.00	4.16	6.46	2.78	8.33	6.12	6.08
	1981-2007	1.69	1.41	2.02	4.54	6.16	4.51	2.80	1.85	3.26	4.51	4.11	2.18	3.26
	%	151%	156%	140%	149%	169%	160%	464%	225%	198%	62%	203%	281%	187%
Tresa	2008	11.11	16.59	11.28	31.70	54.05	35.44	50.63	15.35	23.36	14.83	49.79	36.11	29.19
	1923-2007	15.3	13.7	17.9	28.2	37.1	32.2	22.5	17.5	21.0	27.5	30.5	20.3	23.6
	%	73%	121%	63%	112%	146%	110%	225%	88%	111%	54%	163%	178%	124%

Vari tributari del lago sono stati interessati nel 2008 da due importanti eventi alluvionali nel mese di luglio ([3] e [4]), nei giorni del 6-7 luglio e 12-13 luglio. Tutti gli immissari del lago sono stati interessati in maniera ingente da questi due eventi. In particolare per Scairolo e Cuccio si è registrato il massimo evento storico, mentre anche per Veduggio e Cassarate l'evento è stato molto rilevante. Per il Veduggio il deflusso medio nel mese di luglio è stato quasi 5 volte superiore rispetto alla norma.

4. APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI

4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari

Nelle figure 4.1.3a.-e. sono rappresentati graficamente i principali valori statistici (mediana, 25%ile, 75%ile, massimo e minimo) per tutti i parametri indagati sui nove tributari, nel corso del 2008.

La distribuzione dei valori di deflusso per i diversi corsi d'acqua, rilevati al momento del campionamento, mostra che i 13 prelievi rispecchiano in maniera soddisfacente il regime idrologico annuale (Fig. 4.1.3a.), anche se il confronto con la curva di frequenza delle portate medie giornaliere annue (Fig. 4.1.1.) evidenzia, per il Tresa, un'eccessiva rappresentatività delle situazioni di piena (dati UFAM: www.hydrodaten.admin.ch). Durante i campionamenti su questo fiume sono stati rilevati la mediana più alta ($22.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ed il massimo annuale, raggiunto a metà luglio ($136 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) in occasione di intense precipitazioni (cfr. paragrafo 2.3.). Vedeggio ha fatto segnare un valore mediano di $4.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ mentre per i rimanenti fiumi i valori si sono mantenuti inferiori a $2.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Il deflusso minore tra i fiumi campionati è stato registrato sullo Scairolo con una mediana di $0.35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

I valori di temperatura nel 2008 hanno mostrato forti escursioni (Fig. 4.1.3a.) legate all'andamento stagionale della temperatura atmosferica (cfr. paragrafo 2.2.). Sul Tresa lo scarto tra valore massimo e minimo è di 16.9°C , mentre sugli altri tributari l'escursione termica è risultata compresa tra 8.0°C e 15.0°C . La temperatura mediana più elevata è stata misurata sul Tresa (14.8°C), che ha fatto pure segnare la punta massima, pari a 23.0°C (inizio settembre). Il minimo assoluto è stato per contro misurato in dicembre sulla Magliasina (2.7°C). Le misurazioni dell'UFAM effettuate sul Tresa a Ponte Tresa riportano un massimo di 25.9°C l'8 agosto (Fig. 4.1.2.).

Per quanto concerne la conducibilità elettrica (Fig. 4.1.3a.) il Laveggio presenta la mediana più elevata ($720 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguito dai tributari Scairolo, Livone e Bolletta con valori compresi tra 330 e $400 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nei rimanenti cinque fiumi, le mediane sono oscillate tra 120 e $210 \mu\text{S cm}^{-1}$. I massimi annuali sono stati rilevati in ottobre sul Laveggio ($704 \mu\text{S cm}^{-1}$) e Bolletta ($701 \mu\text{S cm}^{-1}$). Su questi tributari si sono osservate le maggiori variazioni di conducibilità: rispettivamente 426 e $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ tra massimo e minimo annuale.

I valori d'alcalinità più elevati, con mediane comprese tra 2.6 e 4.0 eq m^{-3} , sono stati misurati su Laveggio, Livone, Scairolo e Bolletta (Fig. 4.1.3b.), fiumi che drenano bacini costituiti prevalentemente da rocce calcaree. Le alcalinità più basse ($<1.1 \text{ eq m}^{-3}$) sono state registrate per contro negli affluenti Cassarate, Cuccio, Magliasina e Vedeggio che raccolgono l'acqua da aree con roccia madre cristallina. Il Tresa occupa una posizione intermedia con un valore mediano pari a 1.76 eq m^{-3} . Le oscillazioni più marcate sono state osservate su Laveggio, Scairolo e Bolletta con escursioni annue di 2.1-2.5 eq m^{-3} e possono essere ricondotte in particolare ai singoli eventi di pioggia intensa che hanno caratterizzato i mesi di aprile e luglio.

Il valore pH mostra un andamento simile all'alcalinità (Fig. 4.1.3b.): il Livone ha fatto registrare la mediana più elevata, pari a 8.48 unità, mentre sul Vedeggio è stato riscontrato il valore più basso (7.52). Gli altri tributari presentano mediane pH comprese tra 7.8 e 8.4. I minimi ed i massimi annuali sono stati

rilevati rispettivamente in aprile sul Vedeggio (7.34) e a metà maggio sul Tresa (8.80). Su quest'ultimo fiume, l'elevata variabilità annuale (escursione di 0.91 unità) è dettata dall'attività fotosintetica nell'epilimnio lacustre, mentre per lo Scairolo le forti oscillazioni (1.55) possono essere ricondotte agli apporti dell'impianto di depurazione situato circa 700 m più a monte e all'effetto di diluizione durante forti precipitazioni.

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.3b.) ha mostrato concentrazioni regolarmente superiori a $8.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Nel loro insieme i fiumi risultano dunque ben ossigenati durante tutto l'anno.

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

Per quanto concerne l'azoto nitroso, nel Bolletta sono stati misurati valori estremi di mediana e massimo annuale, con rispettivamente 40 e 125 mg N m^{-3} (aprile), mentre negli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane si sono mantenute tra 3 mg N m^{-3} (Vedeggio) e 15 mg N m^{-3} (Scairolo). Su Bolletta e Cassarate sono state osservate forti escursioni dei valori annui, pari a rispettivamente 104 e 113 mg N m^{-3} .

Per l'azoto nitrico i fiumi Scairolo e Laveggio mostrano mediane molto elevate rispetto agli altri tributari, rispettivamente di 6.0 N m^{-3} e di 4.4 N m^{-3} . Il valore massimo è stato misurato nel Laveggio con 11.25 g N m^{-3} in settembre. Gli altri fiumi hanno mostrato mediane comprese tra 2.9 (Vedeggio) e 0.8 g N m^{-3} (Cuccio).

Nel caso dell'azoto ammoniacale il Bolletta è risultato il fiume più problematico con una mediana di 0.35 g N m^{-3} , mentre sugli altri corsi d'acqua i valori si sono mantenuti compresi tra 0.02 e 0.07 g N m^{-3} . Il massimo annuale è stato misurato sullo Scairolo in febbraio con 1.91 g N m^{-3} .

I valori di azoto totale (Fig. 4.1.3d.) più elevati sono stati registrati nello Scairolo con una mediana di rispettivamente 7.74 g N m^{-3} . Segue il Laveggio con 5.48 g N m^{-3} , mentre i rimanenti fiumi hanno evidenziato valori compresi tra 1.1 e 4.1 g N m^{-3} . Sul Laveggio è stata inoltre registrata la concentrazione massima: 24.3 g N m^{-3} in novembre. In generale la distribuzione delle concentrazioni di azoto totale riflette quella dell'azoto nitrico, che costituisce la sua componente principale.

I tenori più elevati di fosforo reattivo (Fig. 4.1.3d.) sono stati misurati nel Bolletta (mediana: 138 mg P m^{-3} ; massimo annuale assoluto in ottobre: 316 mg P m^{-3}) e nel Livone (mediana di 76 mg P m^{-3}). I valori mediani degli altri sei tributari si sono situati al di sotto di 30 mg P m^{-3} .

Per quanto riguarda il fosforo totale (Fig. 4.1.3d.), il valore ammissibile nei tributari è stato calcolato partendo dai carichi critici dei due bacini lacustri [5] e dai valori di deflusso. Nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata, pari a 293 mg P m^{-3} , valore che supera di dieci volte quello auspicato per il bacino sud (29 mg P m^{-3}); sia in questo tributario che nel Livone le concentrazioni di fosforo totale hanno superato i limiti in occasione di tutti i prelievi. Gli altri affluenti hanno presentato mediane superiori ai rispettivi valori di riferimento, ad eccezione di Cassarate, Scairolo e Tresa. Il massimo assoluto dell'anno (506 mg P m^{-3}) è stato misurato ad inizio aprile nel Bolletta.

I valori mediani di carbonio organico disciolto (DOC; Fig. 4.1.3e.) si sono sempre mantenuti sotto i 2.5 g C m^{-3} . Il Bolletta ha presentato la mediana più elevata (2.40 g C m^{-3}), mentre il Cassarate ha mostrato le escursioni più marcate: 3.05 g C m^{-3} tra massimo e minimo. Sul Livone a fine aprile è stato riscontrato il massimo assoluto, pari a 4.13 g C m^{-3} .

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; Fig. 4.1.3e.), si evidenzia il Bolletta sia per la sua mediana elevata ($4.75 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$) che per il massimo assoluto ($16.48 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ ad inizio aprile).

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.3e.) sono state registrate nello Scairolo (mediana: 4.01 g Si m^{-3}) il cui bacino imbrifero è costituito prevalentemente da porfiriti. Su questo affluente è stato misurato a fine settembre anche il massimo annuale (5.30 g Si m^{-3}). Le concentrazioni più basse di silice sono state rilevate nell'emissario Tresa (mediana: 0.69 g Si m^{-3}), in seguito alla sua assimilazione da parte delle diatomee fitoplanctoniche nell'epilimnio lacustre. I valori mediani degli altri tributari sono risultati compresi tra 2.1 (Livone) e 3.8 g Si m^{-3} (Vedeggio).

Per una stima precisa dei carichi di nutrienti addotti da Cassarate, Vedeggio, Tresa e Laveggio sono stati monitorati con dei campionatori automatici gli andamenti settimanali di azoto e fosforo totali. I campioni vengono raccolti in continuo tramite prelievo automatico proporzionale alla portata e sono conservati a 5°C . Sul Vedeggio sono disponibili dati solo fino a metà aprile in quanto il campionatore è stato dismesso per consentire i lavori di allargamento dell'alveo. I dati settimanali hanno evidenziato forti escursioni di valore (Figg. 4.1.4a.-d.) non rilevabili con i soli campionamenti istantanei mensili. I campionamenti automatici consentono infatti di rilevare brevi episodi di carico elevato di nutrienti provenienti, ad esempio, da industrie, scaricatori di piena o impianti di depurazione. Parimenti permettono di ridimensionare punte estemporanee di carico registrate durante i campionamenti istantanei, in particolare nei corsi d'acqua a carattere torrentizio come il Cassarate; infatti su questo fiume durante il prelievo manuale di metà luglio, quando erano in corso precipitazioni estremamente intense, sono stati misurati 135 mg P m^{-3} di fosforo totale ed una portata giornaliera di $14.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mentre i prelievi cumulati settimanali di quel mese hanno rilevato concentrazioni comprese tra 20 ed 55 mg P m^{-3} con portate medie settimanali tra 2.7 e $14.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

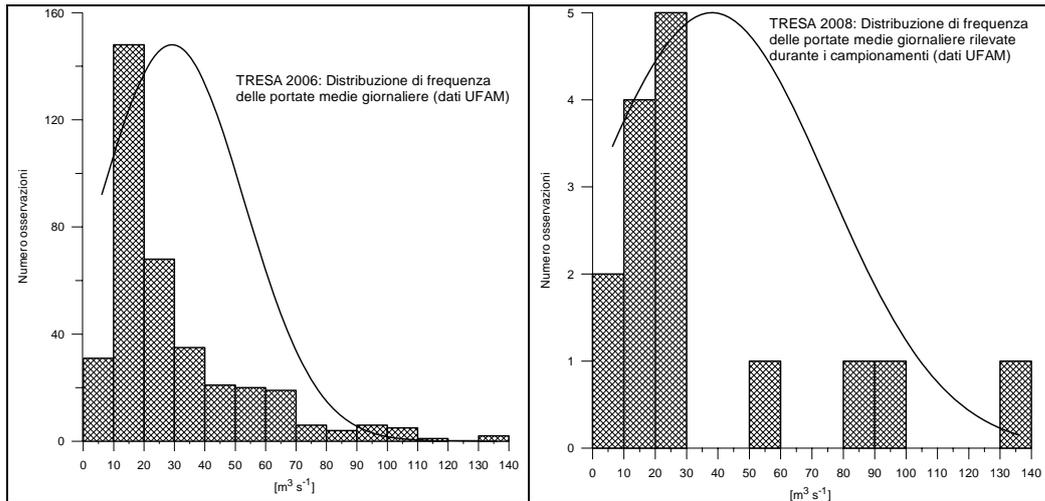


Fig. 4.1.1. Lago di Lugano, 2008: curve di frequenza delle portate medie giornaliere sul fiume Tresa; confronto tra l'intero set di dati annuale (a sinistra) e le 15 portate rilevate durante i campionamenti (dati UFAM).

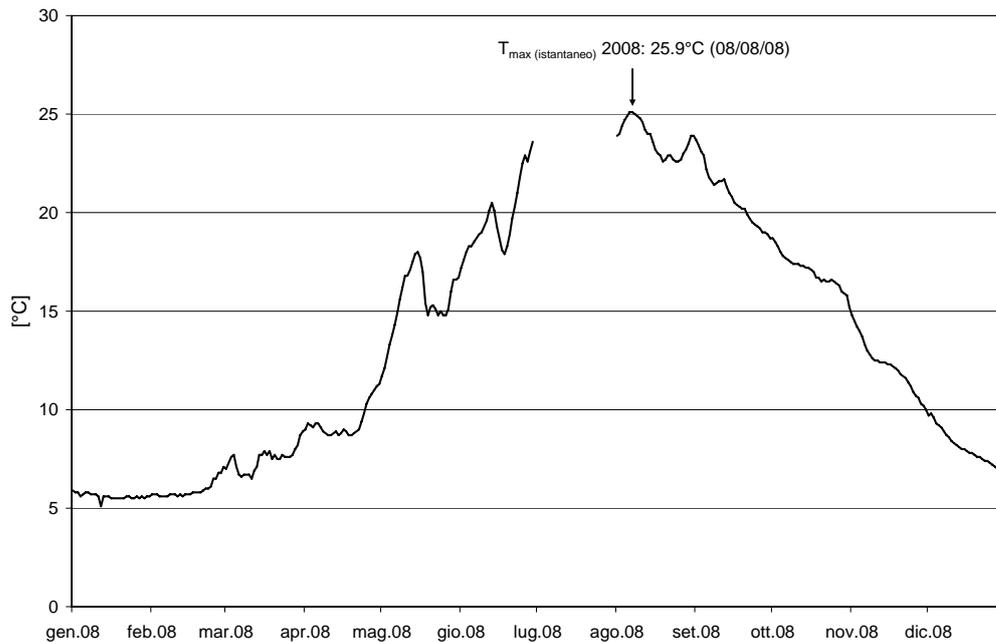


Fig. 4.1.2. Lago di Lugano, 2008: andamento della temperatura media giornaliera nel fiume Tresa a Ponte Tresa, località Rocchetta (dati UFAM).

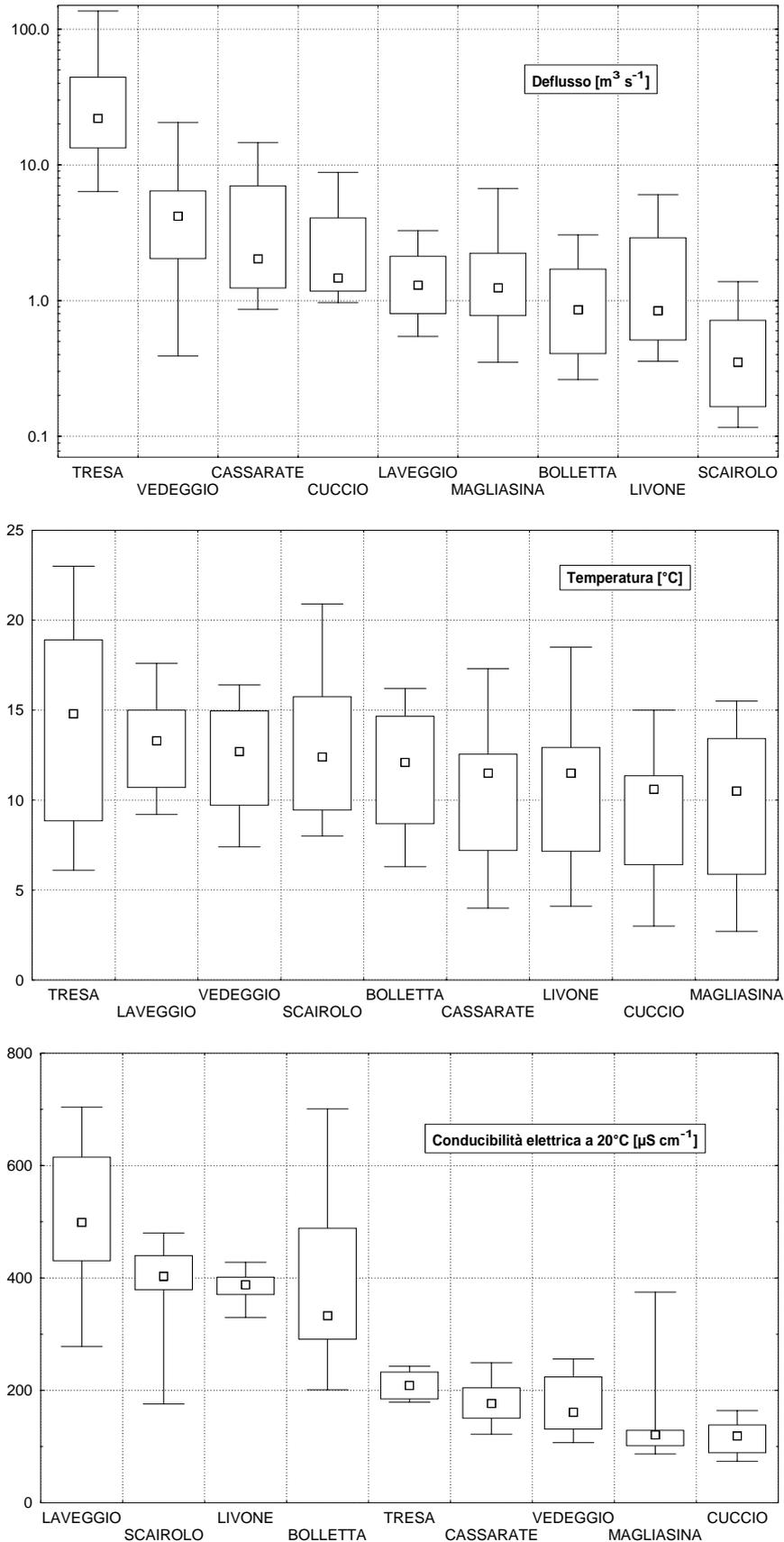


Fig. 4.1.3a. Lago di Lugano, 2008: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

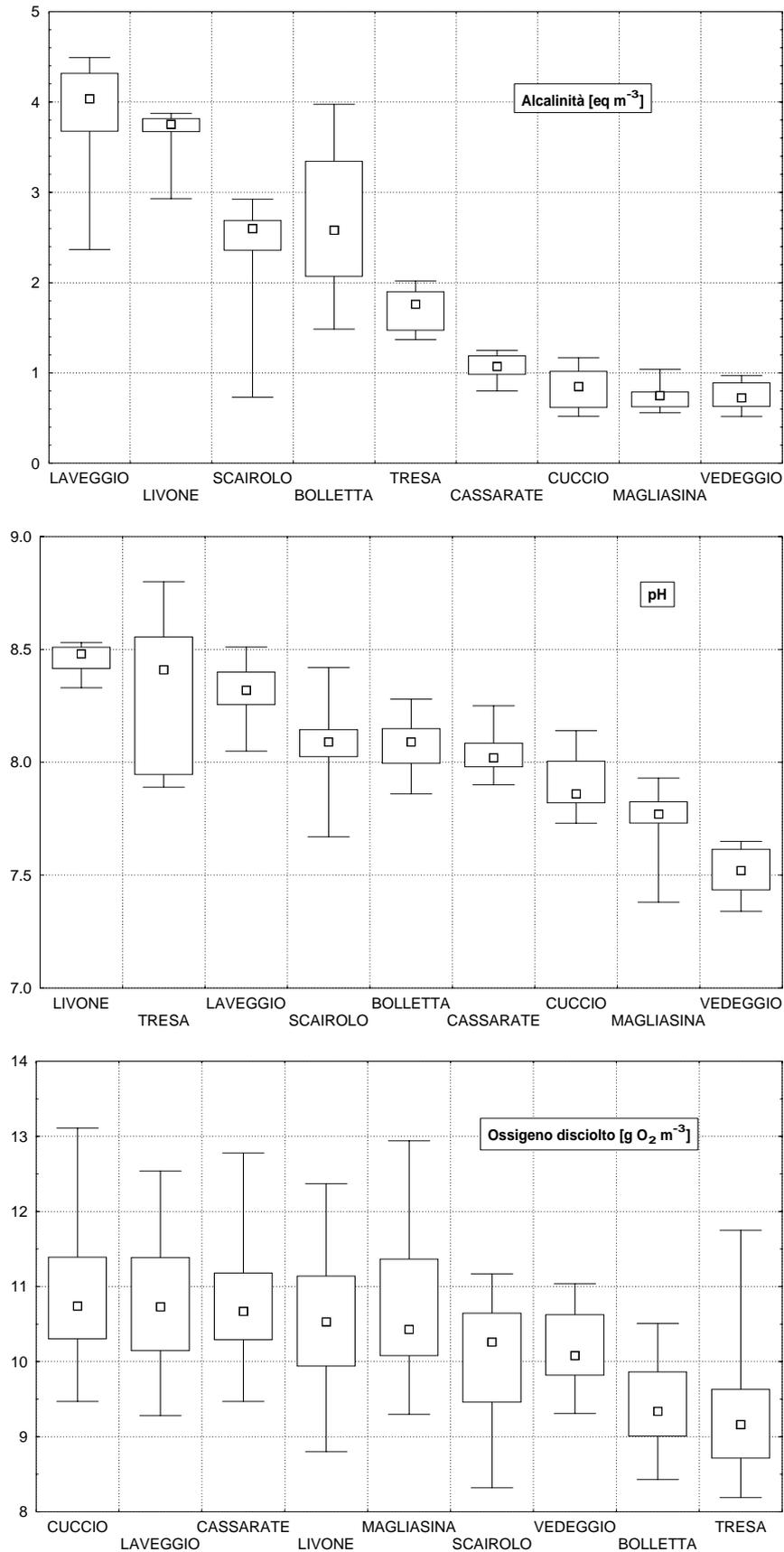


Fig. 4.1.3b. Lago di Lugano, 2008: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

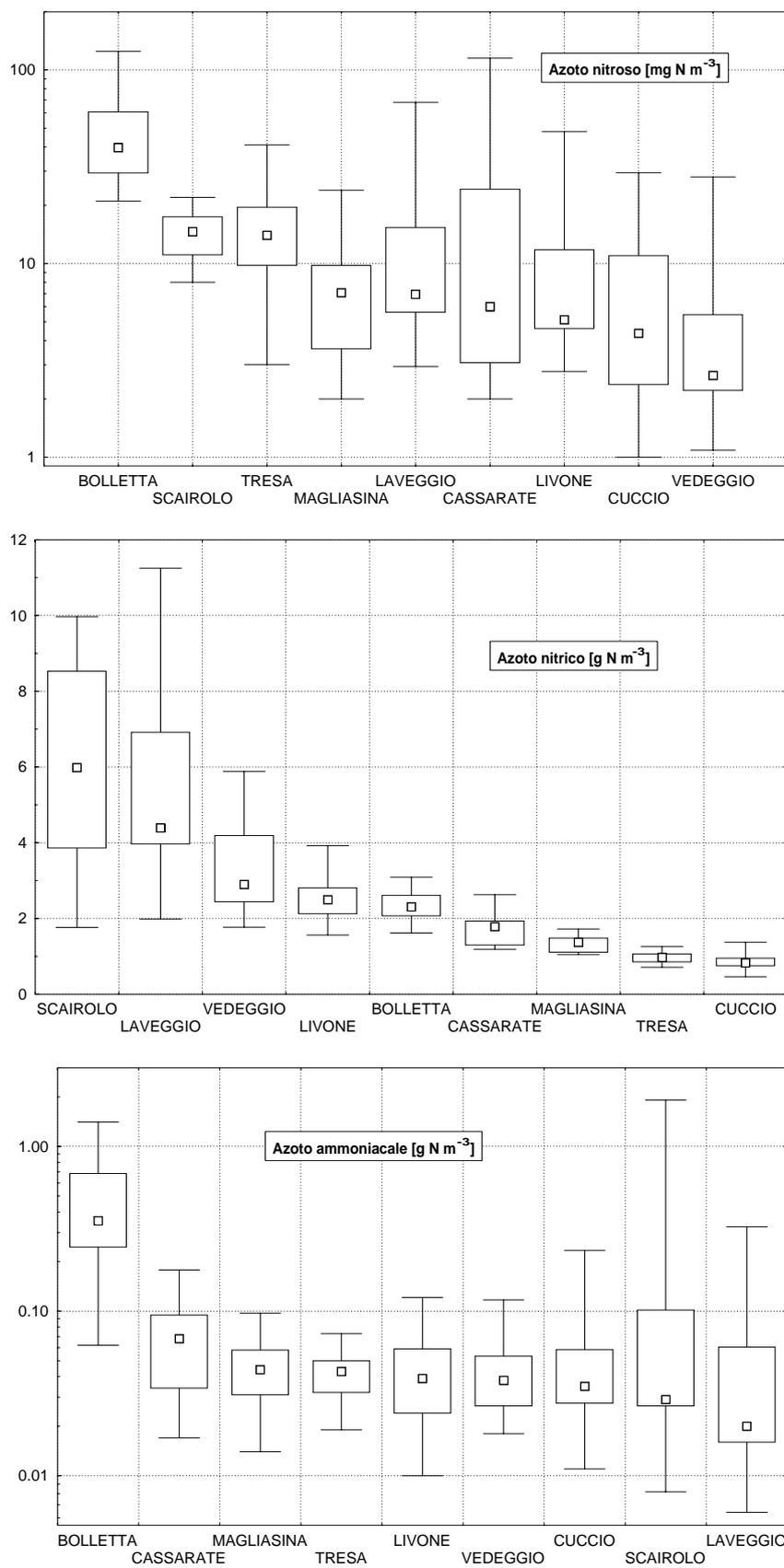


Fig. 4.1.3c. Lago di Lugano, 2008: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

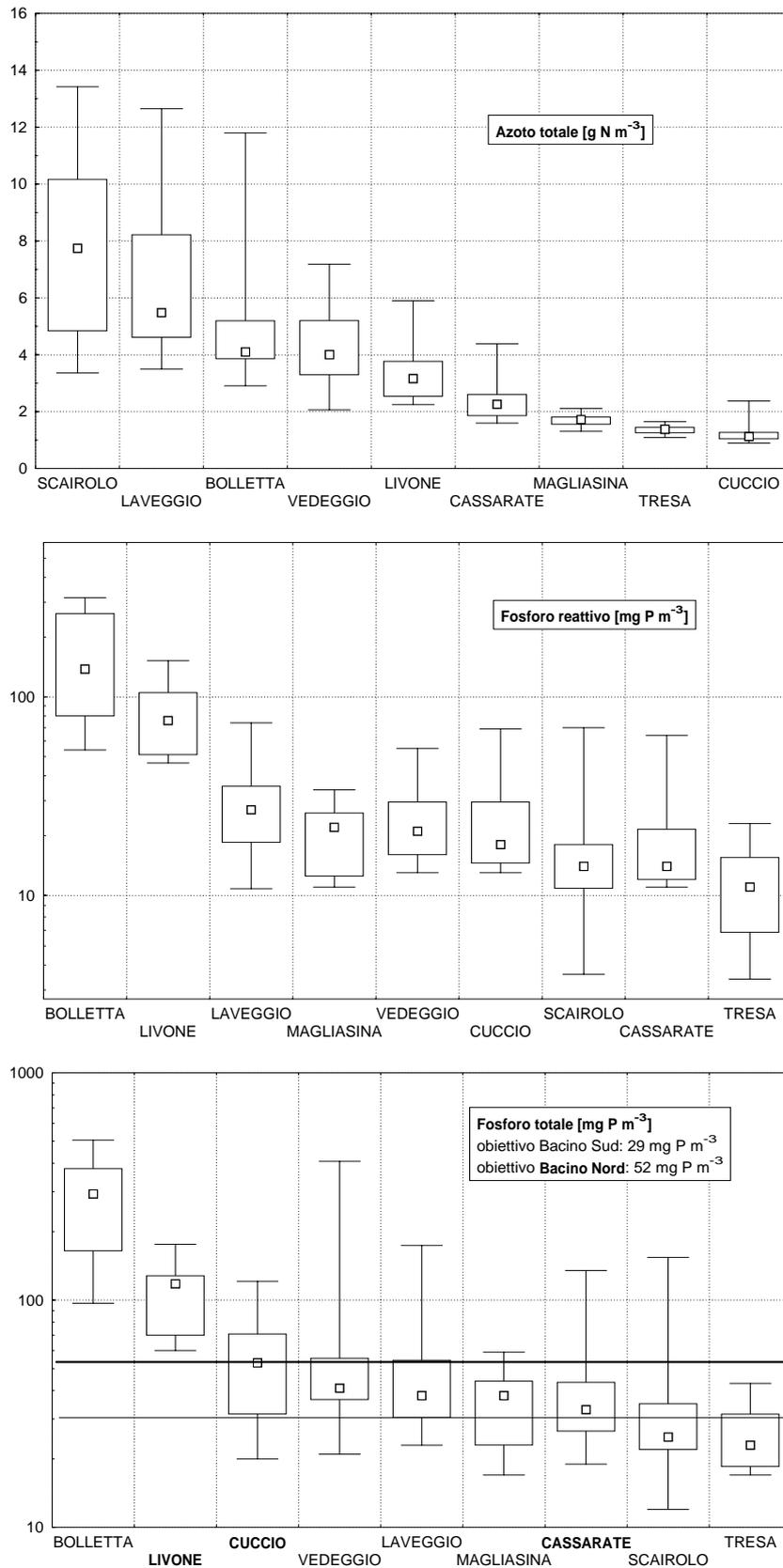


Fig. 4.1.3d. Lago di Lugano, 2008: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo. Nel grafico relativo al fosforo totale i tributari del bacino nord sono indicati in grassetto.

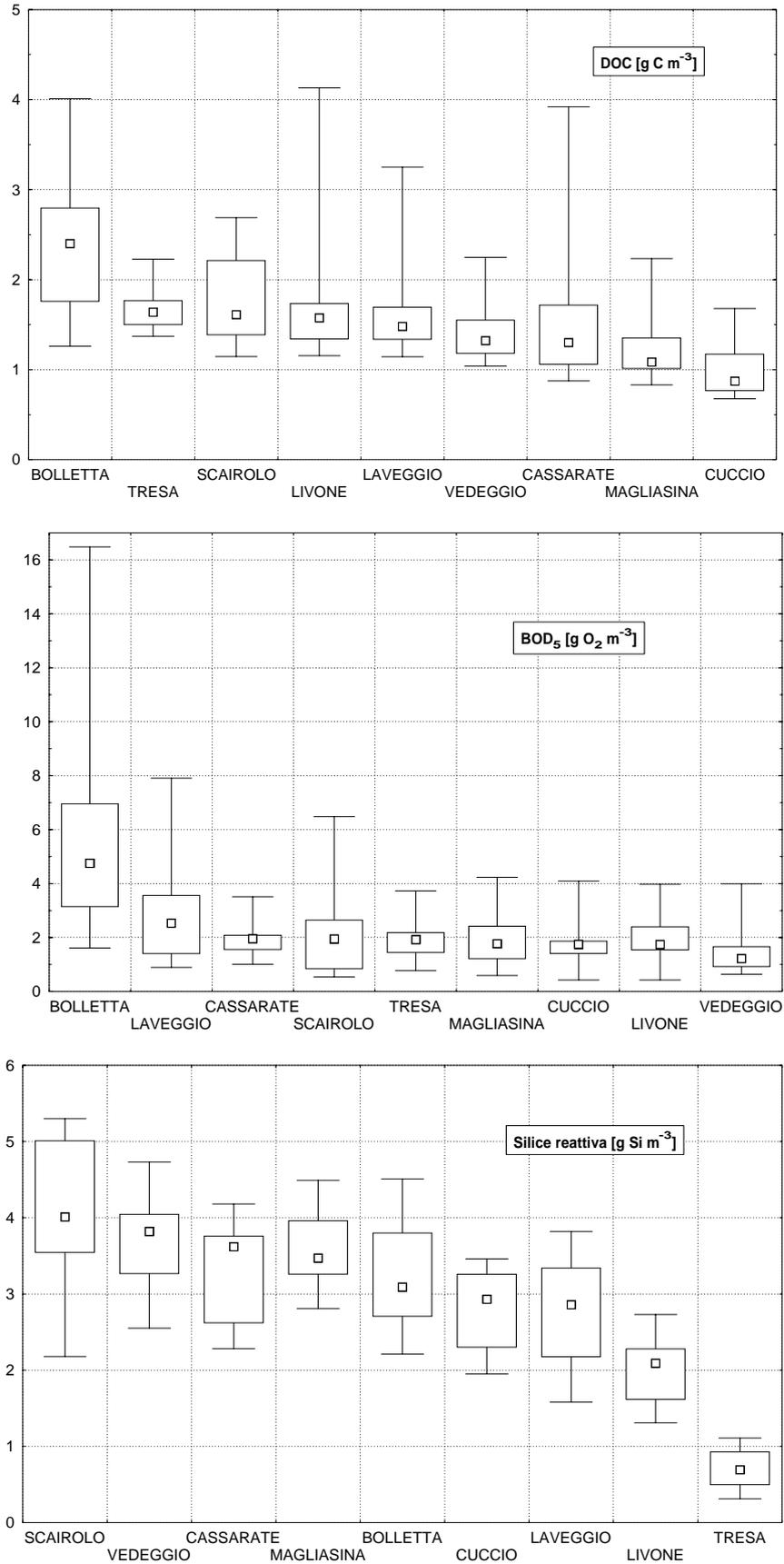


Fig. 4.1.3e. Lago di Lugano, 2008: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

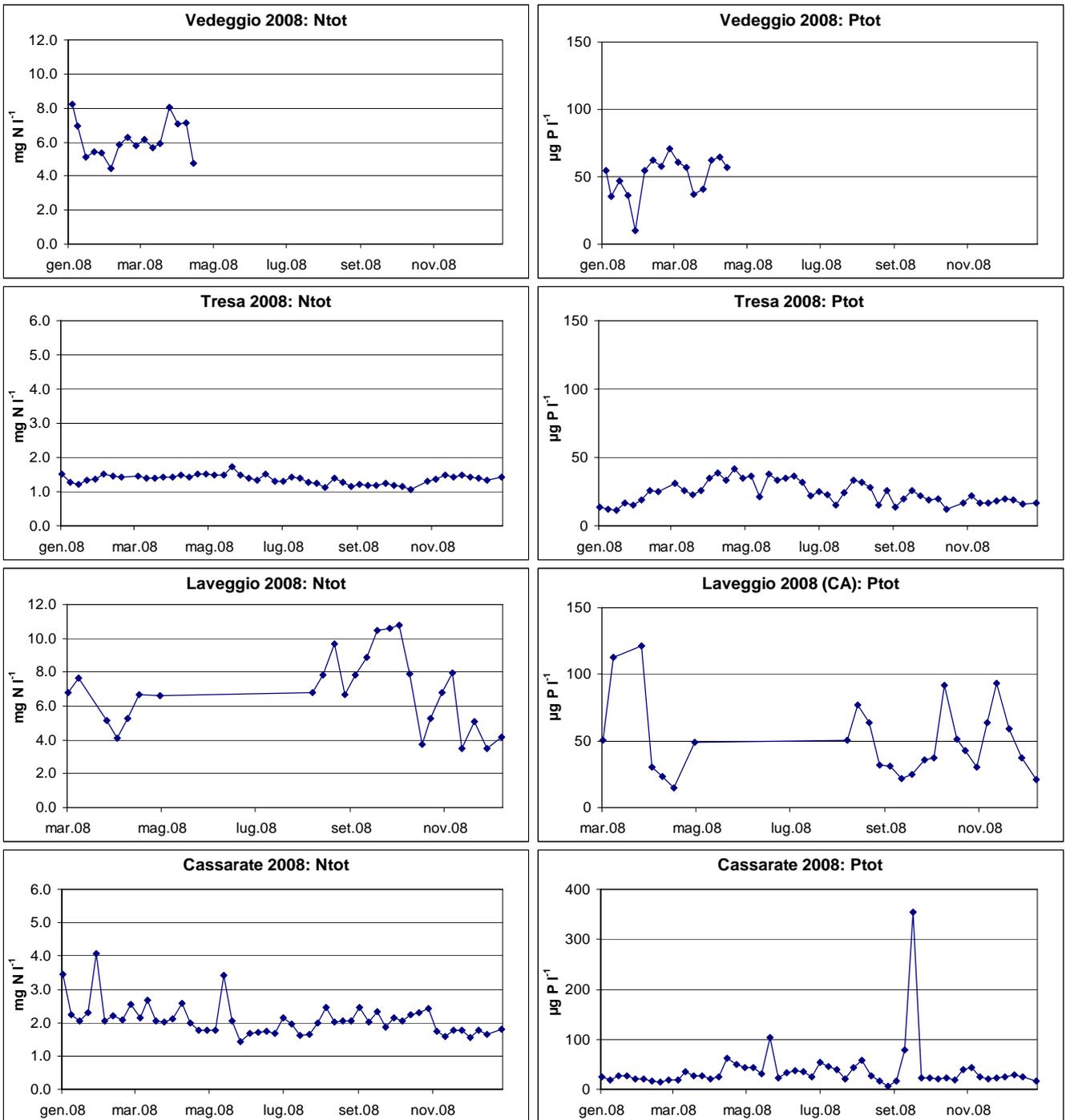


Fig. 4.1.4.: Lago di Lugano, 2008: andamento settimanale delle concentrazioni di azoto e fosforo totali nei fiumi Veduggio, Tresa, Laveggio e Cassarate (campionamento in continuo).

4.2. Carichi chimici

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

Tra gli immissari si evidenzia il Vedeggio che ha convogliato a lago i carichi più elevati di fosforo ortofosfato (4.1 t P a^{-1}) e totale (9.4 t P a^{-1}), azoto nitrico (413 t N a^{-1}), azoto totale (571 t N a^{-1}), silicati reattivi (568 t Si a^{-1}), ossigeno disciolto ($1'635 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$) e richiesta biochimica d'ossigeno ($310 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$). Il Bolletta è stato responsabile del principale apporto di azoto nitroso (1.8 t N a^{-1}) ed azoto ammoniacale (17 t N a^{-1}), mentre tramite il Livone è giunto a lago il carico più elevato carbonio inorganico ($2'217 \text{ t C a}^{-1}$).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti consente una valutazione sull'effettivo stato qualitativo dei corsi d'acqua (Tab. 4.2.2. e Fig. 4.2.2.). Rispetto alla tabella 4.2.1. sul Vedeggio si registra solo il massimo concernente la silice: $6.1 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Per contro sul Bolletta si confermano gli apporti più elevati di azoto nitroso ($79 \text{ mg N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e di azoto ammoniacale ($0.89 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), a cui si aggiungono i maggiori contributi areali per fosforo reattivo e totale (202 e $390 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e richiesta d'ossigeno ($10.7 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Dal Laveggio provengono i carichi areali più elevati per quanto concerne azoto nitrico ($6.8 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e totale ($9.8 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Per quanto attiene l'ossigeno disciolto ed il carbonio inorganico i valori massimi sono stati misurati rispettivamente su Cassarate ($17.9 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e Livone ($72.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Per il fosforo totale, i carichi areali ammissibili CIPAIS, stimati per il recupero del Lago di Lugano, sono stati superati di dieci volte sul Bolletta. L'elevato carico di fosforo (sia assoluto che areale) su questo tributario può essere ricondotto agli apporti in uscita dai due impianti di depurazione, agli scaricatori di piena posti sul sistema misto, nonché a singoli scarichi di abitazioni non ancora allacciate alla rete delle canalizzazioni.

Confrontando l'apporto complessivo annuo di nutrienti algali con i carichi generati dai quattro maggiori impianti di depurazione delle acque (IDA) sui rispettivi ricettori (dati forniti dai gestori degli impianti; tab. 4.2.3.) emerge che per il fosforo totale il contributo dagli IDA oscilla tra il 20% ed il 30% con l'eccezione dell'impianto sul Cassarate che genera solo il 4% dell'intero carico. Trattandosi di IDA molto performanti le percentuali elevate indicano che gli apporti da altre fonti (diffusa, erosiva, scaricatori di piena) sono limitati oppure che il ricettore ha una portata limitata in rapporto al carico dell'IDA, come è evidente in particolare sullo Scaiolo.

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2008: 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	1443	2.0	5.1	1.2	186	7	266	419	1321	220
Cuccio	673	1.6	5.5	0.4	65	4	94	234	883	139
Livone ¹	2217	3.1	4.9	0.8	111	3	148	104	517	90
Diga Melide	10597	3.6	14.3	2.1	95	5	271	148	4697	-
Bolletta	928	3.9	7.6	1.5	76	17	157	108	344	209
Laveggio	2044	1.6	3.0	0.9	209	5	274	123	501	152
Magliasina	503	1.0	2.1	0.3	69	2	91	205	604	88
Scairolo	382	0.4	0.8	0.2	61	3	82	54	143	33
Vedeggio	1280	4.1	9.4	0.9	413	9	571	568	1635	310
Tresa	18139	9.0	23.0	14.8	885	37	1251	721	8502	1827

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2008: 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	19.5	27	69	16	2.5	0.09	3.6	5.7	17.9	3.0
Cuccio	12.5	29	102	8	1.2	0.07	1.7	4.4	16.4	2.6
Livone ¹	72.4	100	160	26	3.6	0.09	4.8	3.4	16.9	2.9
Diga Melide	35.7	12	48	7	0.3	0.02	0.9	0.5	15.8	-
Bolletta	47.6	202	390	79	3.9	0.89	8.1	5.6	17.6	10.7
Laveggio	70.7	56	103	31	7.2	0.17	9.5	4.2	17.3	5.3
Magliasina	14.7	28	61	8	2.0	0.07	2.7	6.0	17.6	2.6
Scairolo	39.4	39	84	17	6.3	0.33	8.4	5.6	14.7	3.4
Vedeggio	13.8	45	101	10	4.4	0.09	6.1	6.1	17.6	3.3
Tresa	29.5	15	37	24	1.4	0.06	2.0	1.2	13.8	3.0

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.3. Lago di Lugano, 2008: carichi di nutrienti provenienti dai maggiori impianti di depurazione delle acque [t a⁻¹]

Impianto di depurazione acque	Fiume ricettore	PT	NT
Lugano	Vedeggio	2.5 (27%)	205 (36%)
Medio Cassarate	Cassarate	0.2 (4%)	N/D
Mendrisio	Laveggio	0.9 (30%)	102 (37%)
Pian Scairolo	Scairolo	0.2 (25%)	44 (54%)

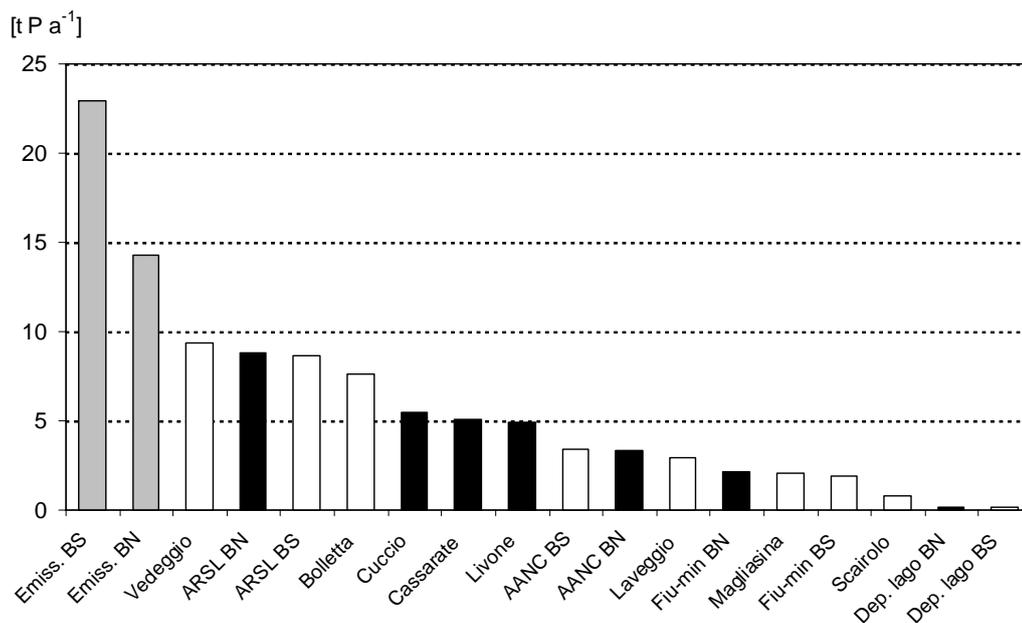


Fig. 4.2.1. Lago di Lugano, 2008: apporti al lago di fosforo totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

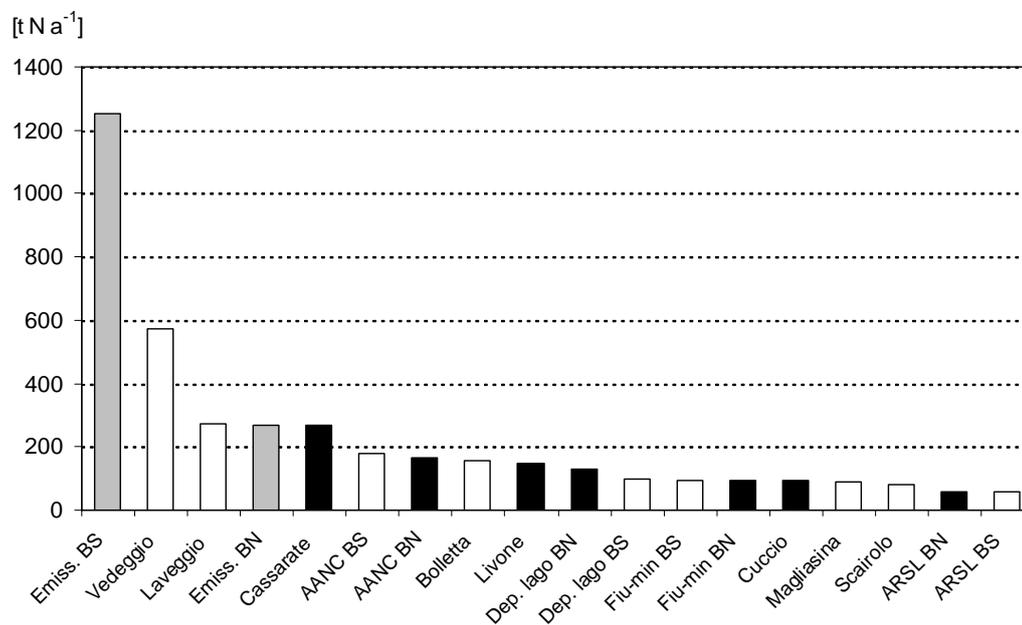


Fig. 4.2.2. Lago di Lugano, 2008: apporti al lago d'azoto totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

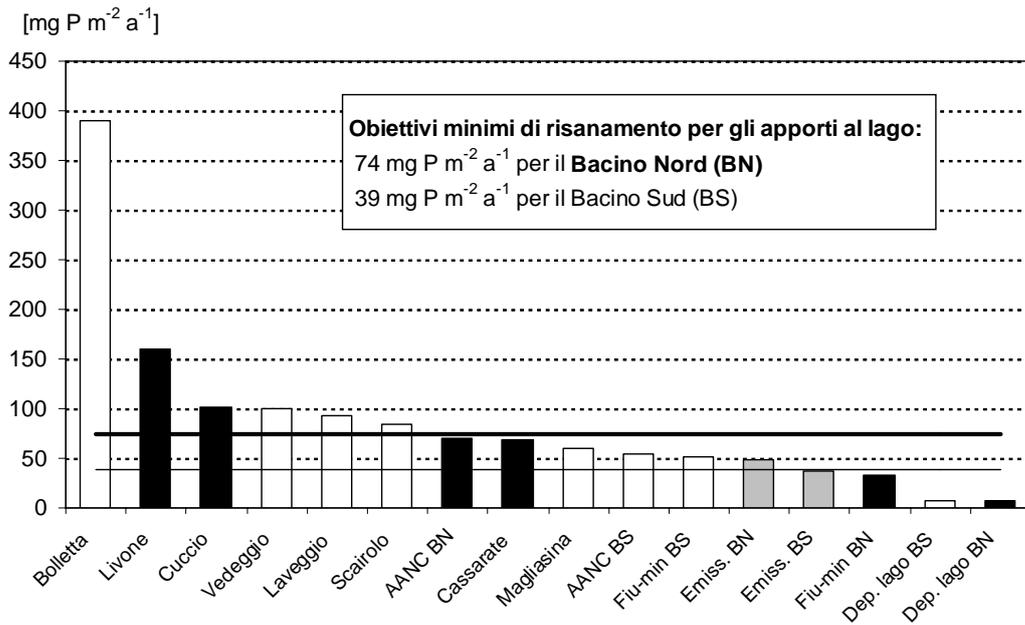


Fig. 4.2.3. Lago di Lugano, 2008: carichi areali di fosforo totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

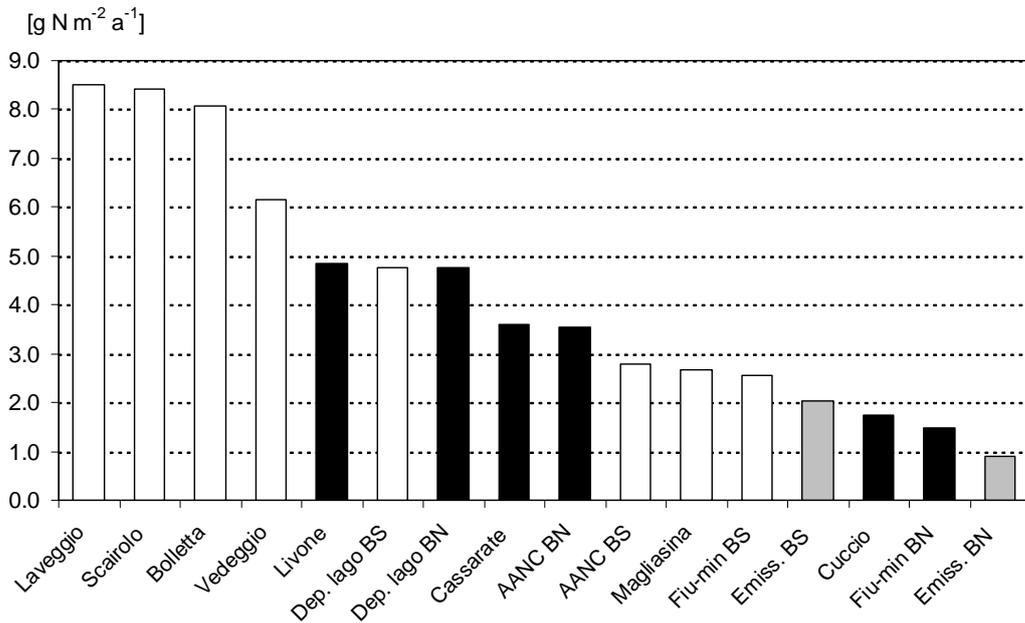


Fig. 4.2.4. Lago di Lugano, 2008: carichi areali d'azoto totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori, Dep.lago: deposizioni sul lago).

4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto

Per il calcolo dei bilanci di massa dei principali nutrienti algali (azoto e fosforo), oltre alle fonti di carico riportate nel capitolo 4.2., sono stati considerati gli apporti originati dall'area non campionata, dagli abitanti rivieraschi e dagli scaricatori di piena a lago (ARSL), e dalle deposizioni atmosferiche (Tab. 4.3; Figg. 4.2.1 e 4.2.2).

L'apporto complessivo di fosforo totale equivale a 29.9 t P a⁻¹ per il bacino nord ed a 51.3 t P a⁻¹ per il bacino sud: questi due valori sono superiori rispettivamente di circa il 30% e del 35% in confronto alla media dell'ultimo quinquennio (2003-2007). Nel 2008 il principale carico di fosforo è stato riversato nel bacino nord dagli scaricatori di piena a lago e dagli abitanti rivieraschi (8.8 t P a⁻¹, valore stimato), mentre nel bacino sud il maggior contributo è da ascrivere al bacino nord medesimo (14.3 t P a⁻¹). Il carico esportato nel 2008 dall'emissario Tresa è risultato più che doppio (224%) rispetto alla media pluriennale (10.3 t P a⁻¹).

Gli apporti d'azoto sono risultati superiori alla media quinquennale, con 956 t N a⁻¹ (+45%) nel bacino nord, e 1'876 t N a⁻¹ (+40%) nel bacino sud. I carichi più rilevanti sono provenuti dal Cassarate (266 t N a⁻¹) per il bacino nord, e dal Veduggio (571 t N a⁻¹) per il bacino sud.

Le aree campionate del bacino nord rappresentano il 37% dell'intero bacino imbrifero: da esse sono provenuti il 59% degli apporti di fosforo ed il 63% 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 (18%).

Nel bacino sud viene controllato direttamente l'86% dell'area del bacino imbrifero, dalla quale viene convogliato al lago il 76% del fosforo e ed l'82% dell'azoto. Le quote rimanenti provengono prevalentemente dagli ARSL per il fosforo (17 %), e dalle aree non campionabili per l'azoto (9%).

Nella tabella 4.3. sono riportati inoltre, per i fiumi Cassarate, Veduggio, Laveggio e Tresa, i carichi di fosforo totale ed azoto totale calcolati in base alle concentrazioni dei campioni settimanali cumulati, raccolti con i campionatori automatici (vedi capitolo 4.1.). Questi campioni, denominati "CAut", fungono da controllo del dato fornito dal campionamento istantaneo ("CIst"). Dal confronto tra i valori dei carichi calcolati sulla base dei dati relativi ai due tipi di campionamento emergono alcune differenze di rilievo. Come anticipato nel capitolo 4.1 per evitare un'eccessiva sovrastima del carico di fosforo dal Cassarate la concentrazione "CIst" rilevata in luglio è stata sostituita quella "CAut" della settimana corrispondente in quanto quello da "CIst". La stessa operazione è stata effettuata sul Veduggio per il campionamento di marzo. Sul Tresa il carico "CAut" coincide con quello stimato con "CIst" sia per l'azoto che per il fosforo. Su Cassarate e Laveggio le differenze, per entrambi i parametri variano di ±10-15%.

Tab. 4.3. Lago di Lugano, 2008: 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	266 (235) ⁴	-	5.1 (4.8) ⁴	-
Cuccio	94	-	5.5	-
Livone ¹	148	-	4.9	-
Vedeggio	-	571	-	9.4
Magliasina	-	91	-	2.1
Laveggio	-	274 (300) ⁴	-	3.0 (2.5) ⁴
Bolletta	-	157	-	7.6
Scairolo	-	82	-	0.8
Apporto da BN	-	271	-	14.3
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	603	1542	17.6	39.1
Area non campionata ²	168	178	3.3	1.9
Totale areale emerso	770	1720	20.9	42.5
ARSL ³	59	58	8.8	8.7
Deposizioni sul lago	131	97	0.2	0.1
Totale bacino imbrifero	961	1875	29.9	51.3
Carichi in uscita	271	1251 (1287) ⁴	14.3	23.0 (23.0) ⁴

¹ valore di deflusso estrapolato dai fiumi Cassarate e Cuccio

² carico estrapolato dai fiumi minori

³ apporti rivieraschi e contributo scaricatori di piena a lago

⁴ carichi misurati con i campionatori automatici in continuo

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

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

5.1. Trasparenza

A Gandria la trasparenza delle acque (Fig. 5.1.) a fine gennaio è risultata elevata (16.6 m). I valori sono poi rapidamente diminuiti a partire da febbraio in concomitanza con l'inizio del periodo vegetativo, raggiungendo un minimo di 3.0 m in aprile. Ad inizio maggio ed in luglio si sono verificate due fasi di chiarificazione delle acque favorite dall'attività dello zooplancton erbivoro che ha temporaneamente innalzato la trasparenza a 8.5 - 9.0 m. Dopo un costante calo culminato con il minimo annuale ad inizio settembre (2.9 m) i valori sono gradualmente aumentati per toccare a dicembre 13.8 m.

Per quanto riguarda il bacino sud, l'andamento della trasparenza è stato simile nelle due stazioni, anche se a Melide le fluttuazioni sono risultate leggermente più marcate. In gennaio in questa stazione è stato rilevato il massimo annuale di 13.2 m mentre il minimo (2.3 m) è stato misurato a Figino a fine luglio. Durante il periodo di chiarificazione delle acque (maggio/giugno) la trasparenza ha raggiunto 8.8 m a Melide e 6.6 m a Figino.

Il valore medio annuo del 2008, calcolato su 24 osservazioni, è stato di 7.4 m a Gandria, 6.7 m a Melide, e 5.6 m a Figino, per cui si riconferma il gradiente trofico lungo il senso di deflusso del lago. L'escursione annua della trasparenza ha raggiunto 13.7 m nel bacino nord e 10.7 m in quello sud.

5.2. Torbidità

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

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

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

dell'anossia (cfr. Fig. 5.4.) e all'intensificarsi di fenomeni di ossidoriduttivi all'altezza dell'ossicline.

5.3. Temperatura dell'acqua

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

In seguito ad un inverno rigido ma con attività eolica estremamente bassa (cfr. paragrafo 2.4.) il rimescolamento delle acque ha coinvolto solamente i primi 70-80 m di profondità in tutto il lago.

Nel bacino nord il progressivo sprofondamento dell'isoterma di 5.6 °C dai 100 m di gennaio ai 200 m di dicembre è indice di un costante riscaldamento degli strati profondi.

I minimi dell'anno in superficie sono stati misurati in febbraio (6.00 °C a Gandria, 5.83 °C a Melide e 5.70 °C a Figino), risultando superiori di 0.8-1.3 °C rispetto al 2007. La fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio è iniziata in aprile ed è proseguita fino in estate, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno: 22.83 °C a Gandria in luglio, e 23.43 °C a Melide e 23.77 °C a Figino, entrambi in agosto. La successiva fase di raffreddamento si è svolta in modo regolare fino a dicembre, con gradienti di temperatura meno forti rispetto al periodo di riscaldamento.

5.4. Ossigeno disciolto

La figura 5.4. riporta l'andamento della concentrazione d'ossigeno disciolto rilevato con la sonda multiparametrica, i cui valori sono stati regolarmente confrontati con quelli di laboratorio (metodo di Winkler), ottenendo una buona corrispondenza tra le due serie di dati ($\pm 5\%$), in particolare sopra i 2 g O₂ m⁻³.

Nel bacino nord il massimo assoluto dell'anno è stato misurato a fine maggio a 5 m di profondità (12.83 g m⁻³). L'isolinea corrispondente al valore di 4.0 g O₂ m⁻³, sotto la quale le condizioni d'ossigenazione sono considerate critiche (area in grigio), è oscillata tra 40 e 70m durante l'anno.

L'incompleto rimescolamento invernale delle acque del bacino sud ha fatto sì che alla fine dell'inverno si riscontrassero ancora condizioni ipossiche sul fondo. L'isolinea di 4.0 g O₂ m⁻³, localizzata in marzo a 80 m a Melide e a 65 m a Figino, si è progressivamente innalzata e, complice un minimo metalimnico particolarmente marcato, ha raggiunto la profondità di 10 m in settembre. Durante il periodo vegetativo, le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, facendo segnare un massimo a maggio a 5 m di profondità (11.86 g O₂ m⁻³ a Melide e 13.00 g O₂ m⁻³ a Figino).

5.5. Valore pH ed alcalinità

In tutto il lago le maggiori variazioni del valore pH (Fig. 5.5.1.) e dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.) sono state rilevate all'interno dello strato trofogeno, e sono legate all'andamento dall'attività fotosintetica. Un gradiente verticale dei valori pH

sulla colonna d'acqua si è instaurato già a partire da marzo, mentre l'alcalinità, essendo un parametro più conservativo, ha iniziato a ridursi significativamente solo in maggio.

Nel bacino nord, il valore più alto di pH dell'anno è stato pari 9.17 unità (maggio), mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.6 e 7.9. L'alcalinità ha raggiunto in agosto un minimo annuo di 1.43 eq m^{-3} in superficie. Sotto i 30 m di profondità i valori si sono mantenuti compresi tra 2.3 e 2.5 eq m^{-3} in assenza di gradienti di rilievo.

Per quanto concerne l'epilimnio del bacino sud i valori massimi di pH e minimi d'alcalinità sono stati misurati nella stazione di Figino, con rispettivamente 9.11 (maggio) e 1.41 eq m^{-3} (settembre). A partire da giugno, nell'ipolimnio del bacino sud si sono instaurati deboli gradienti verticali d'alcalinità, con valori compresi tra 2.1 e 2.4 eq m^{-3} .

5.6. Conducibilità elettrica specifica

L'andamento della conducibilità (Fig. 5.6.) presenta analogie con quello dell'alcalinità (Fig. 5.5.2.). In marzo si sono mantenuti gradienti di ca. $15 \mu\text{S cm}^{-1}$ per i primi 80-100 m, a riprova di una circolazione solo parziale delle acque.

Nell'epilimnio di Gandria, a partire da aprile, l'assimilazione dei nutrienti e del carbonio inorganico (bicarbonato) da parte del fitoplancton ha progressivamente fatto scendere i valori della conducibilità che, a 0.4 m di profondità, è passata da 230 ai $169 \mu\text{S cm}^{-1}$ di agosto. Dalla profondità di 20 m fino al fondo i valori sono risultati compresi tra 230 e $250 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Nell'epilimnio del bacino sud la conducibilità si è gradualmente ridotta dai $245 \mu\text{S cm}^{-1}$ di marzo fino a toccare in luglio a 0.4 m un minimo a Melide di $181 \mu\text{S cm}^{-1}$ e a Figino di $166 \mu\text{S cm}^{-1}$. Da giugno, i valori ipolimnici del bacino sud hanno mostrato un leggero aumento che ha portato, sul fondo, a valori intorno a $270 \mu\text{S cm}^{-1}$.

5.7. Composti del fosforo

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

Nel bacino nord la parziale circolazione invernale ha portato in marzo a concentrazioni omogenee di fosforo totale (Fig. 5.7.2) intorno a 60 mg P m^{-3} all'interno dei primi 50 m. Tra i 50 m ed i 200 m di profondità le concentrazioni sono oscillate tra 60 e 100 mg P m^{-3} , mentre al di sotto dei 200 m sono risultate in costante crescita dai $60-80 \text{ mg P m}^{-3}$ di gennaio ai $100-180 \text{ mg P m}^{-3}$ di dicembre. Si è infatti ridotta la presenza di materiale alloctono colloidale sotto i 200-250 m che dal novembre 2006 al febbraio 2008 (cfr. paragrafo 5.2.) aveva provocato l'adsorbimento e la precipitazione di ingenti quantità di fosforo. Il massimo annuale, pari a 205 mg P m^{-3} è stato rilevato in novembre sul fondo. Nell'epilimnio l'attività algale ha progressivamente ridotto le concentrazioni di questo nutriente dai 60 mg P m^{-3} di marzo al minimo annuo di ottobre (9 mg P m^{-3}). Sotto i 40 m il fosforo ortofosfato (Fig. 5.7.1.) costituisce il 70-90% del

fosforo totale, mentre negli strati superiori il suo contributo percentuale si riduce fino a meno del 10%, in seguito alla produzione di biomassa algale (fosforo particellato).

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto, in marzo, valori omogenei fino a circa 50 m di profondità: 40 mg P m⁻³ a Melide e 35 mg P m⁻³ a Figino. Il consumo della frazione disciolta da parte del fitoplancton è stato accompagnato, anche nell'epilimnio di questo bacino, da una progressiva riduzione dei valori di fosforo totale, il cui minimo annuale è stato registrato in ottobre a Figino (9 mg P m⁻³). Negli strati profondi, il rilascio del fosforo dai sedimenti anossici durante la fase di stagnazione è stato interrotto in marzo e aprile dalla parziale circolazione, risultando comunque molto più marcato a Melide rispetto a Figino. Le concentrazioni massime di fosforo totale sono state misurate a due metri dal fondo, in novembre a Melide (695 mg P m⁻³) e in gennaio a Figino (144 mg P m⁻³). Nell'epilimnio del bacino sud la percentuale di fosforo reattivo sul totale durante è passata dal 70-80 % di febbraio a meno del 10 % durante il periodo vegetativo. Sotto i 30 m la quota di ortofosfato è risultata compresa tra 70 e 90 %. Tuttavia a Figino durante il secondo semestre al di sotto dei 70 m il fosforo particellato è aumentato fino a costituire il 40 % del totale, probabilmente in seguito all'adsorbimento del fosforo disciolto agli idr/ossidi di ferro e manganese precipitati all'altezza dell'ossiclino.

5.8. Composti dell'azoto

Tra le forme d'azoto presenti nelle acque lacustri, quelle inorganiche disciolte (nitrico: Fig. 5.8.1.; nitroso: Fig. 5.8.2.; ammoniacale: Fig. 5.8.3.) costituiscono una frazione importante, in particolare nel bacino sud, dove la percentuale varia dal 50 all'80 %. Nel bacino nord i composti azotati disciolti costituiscono una frazione minore, oscillante tra il 20 ed il 60 %, ad indicare la predominanza della forma particellata organica. Le maggiori fluttuazioni quantitative dell'azoto totale dipendono in particolare dall'andamento delle concentrazioni delle componenti nitrica ed ammoniacale.

Nel bacino nord l'azoto nitrico è stato rilevato a concentrazioni inferiori a 0.5 g NO₃-N m⁻³, mentre quello ammoniacale era presente solo nell'ipolimnio anossico, sotto i 230 m. In estate nei primi 10 m il primo si è ridotto al di sotto dei limiti di detezione in seguito alla sua assimilazione da parte del fitoplancton, mentre il secondo ha mantenuto gradienti verticali crescenti verso il fondo (da 0.1 a 0.4 g NH₄-N m⁻³). Concentrazioni significative di azoto nitroso sono state rilevate sporadicamente in particolare nell'epilimnio, con valori inferiori a 10 mg NO₂-N m⁻³.

Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale nel bacino nord (Fig. 5.8.4.) riflettono la dinamica delle sue due componenti principali: nell'epilimnio le concentrazioni estive scendono in ottobre a 0.35 g N m⁻³ in seguito all'assimilazione dell'azoto nitrico, mentre nello strato di fondo il rilascio dell'azoto ammoniacale dal sedimento ha contribuito ad aumentare i valori di azoto totale portandoli ad un massimo di 0.85 g N m⁻³, sempre in ottobre.

Il bacino sud presenta in marzo, al termine della circolazione, tenori d'azoto nitrico quasi uniformi sull'intera colonna (1.0-1.1 g NO₃-N m⁻³). Da aprile ad

agosto si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici, con un minimo in luglio di $0.34 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ a Melide. Con il consolidamento della stratificazione termica e l'instaurarsi di condizioni d'anossia nell'ipolimnio, a partire da giugno anche negli strati in prossimità del sedimento si osserva una progressiva diminuzione dei valori di questo ione, legata ai processi di denitrificazione che avvengono all'altezza dell'interfaccia ossido-riducente [6]. In luglio, a Melide, l'azoto nitrico ha fatto segnare la concentrazione più bassa ($0.02 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$) a due metri dal fondo. All'interno dello strato anossico, le isolinee dell'azoto ammoniacale presentano un andamento complementare a quelle della frazione nitrica. Le punte di ammonio sono state misurate nei punti di massima profondità, in novembre a Melide ($1.86 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$) e in dicembre a Figino ($0.71 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$). L'azoto nitroso, prodotto intermedio della de/nitrificazione, è stato riscontrato in quantitativi di un certo rilievo a partire da maggio a Melide sotto i 60 m, dove la concentrazione massima è stata rilevata in luglio ($354 \text{ mg NO}_2\text{-N m}^{-3}$).

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, nello strato epilimnico si osservano, da aprile a ottobre, variazioni di rilievo, determinate in larga misura dai processi d'assimilazione algale della componente nitrica in superficie e dal rilascio di ammonio dal sedimento; i tenori d'azoto totale estremi sono stati misurati a Melide: il minimo nel campione superficiale di settembre (0.81 g N m^{-3}) ed il massimo in novembre sopra il sedimento (2.24 g N m^{-3}).

5.9. Silice

Le concentrazioni dei silicati reattivi del bacino nord (Fig. 5.9.) hanno raggiunto in febbraio una concentrazione di 0.7 g Si m^{-3} nei primi 50 m. I valori epilimnici sono poi calati nel corso del mese successivo in seguito al rapido sviluppo del popolamento di diatomee (cfr. Fig. 6.2.1.) per toccare in novembre, in superficie, il livello minimo: 0.07 g Si m^{-3} . Negli strati profondi le concentrazioni sono rimaste sostanzialmente stabili, con valori crescenti verso il fondo compresi tra 1.0 e 2.0 g Si m^{-3} . La concentrazione massima dell'anno (2.35 g Si m^{-3}) è stata misurata in dicembre a 2 m dal sedimento.

Nel bacino sud, tra febbraio e marzo la distribuzione delle concentrazioni è risultata uniforme fino a 30 m di profondità ($0.9\text{-}1.0 \text{ g Si m}^{-3}$ a Melide e $1.0\text{-}1.1 \text{ g Si m}^{-3}$ a Figino). A partire da marzo si è osservato un forte consumo epilimnico da parte delle diatomee, che ha fatto scendere progressivamente le concentrazioni ai minimi annui (0.12 g Si m^{-3} a Melide in novembre e 0.17 g Si m^{-3} a Figino in maggio). Da maggio a novembre, il graduale rilascio di silice dal sedimento ha lentamente incrementato le concentrazioni dell'ipolimnio profondo, fino a giungere in estate ai massimi annui (2.85 g Si m^{-3} a Melide in novembre; 2.30 g Si m^{-3} a Figino in agosto).

5.10. Metano

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

A Gandria, nel corso del 2008, il metano è stato riscontrato costantemente a profondità superiori a 200 m con valori in progressiva crescita verso il fondo (da 0.1 a 0.7 g CH₄ m⁻³). La concentrazione più elevata (1.07 g CH₄ m⁻³) è stata misurata nel corso del mese di novembre, in prossimità del sedimento

Nel bacino sud la presenza di questo gas disciolto è stata rilevata all'interno dello strato anossico, dapprima ancora in gennaio e quindi nel corso del secondo semestre. La diffusione di metano dai sedimenti lacustri ha portato in novembre le concentrazioni dei campioni di fondo ad un massimo di 3.74 g CH₄ m⁻³ a Melide e di 1.54 g CH₄ m⁻³ a Figino.

5.11. Solfuri

Nel corso del 2008 i solfuri sono stati rilevati solo occasionalmente nello strato costantemente anossico (Fig. 5.11.).

Nel bacino nord si sono misurate concentrazioni significative a partire da maggio, mese in cui i valori hanno iniziato a crescere, toccando in novembre un massimo di 274 mg S²⁻ m⁻³ a due metri dal fondo. Nel bacino sud i solfuri sono stati riscontrati solamente a Melide: massimo in novembre di 133 mg S²⁻ m⁻³ sopra il sedimento.

5.12. Ferro disciolto

Nel bacino nord il ferro disciolto è risultato presente in quantità rilevanti a fine marzo e durante il secondo semestre sotto i 230 m di profondità, in situazioni di marcata anossia (Fig. 5.12.). Le concentrazioni più elevate sono state rilevate in novembre sul fondo, con un valore di 1'108 mg Fe m⁻³.

Nel bacino sud la presenza di ferro disciolto è stata rilevata a basse concentrazioni in particolare a Figino a partire da giugno e al di sotto di 80 m di profondità. Il rilascio di questo metallo dai sedimenti ha portato le concentrazioni a toccare il massimi annuali in dicembre (52 mg Fe m⁻³).

5.13. Manganese disciolto

Nel bacino nord il manganese disciolto (Fig. 5.13.) è stato riscontrato all'interno dello strato anossico sotto i 150 m di profondità ed ha mostrato un forte gradiente di concentrazione verticale, la cui intensità è però scemata a partire da maggio. Il massimo annuale (168 mg Mn m⁻³) è stato misurato in settembre a due metri dal fondo.

Nel bacino sud il manganese è stato misurato in concentrazioni rilevanti a partire da maggio, sotto i 60 m. A differenza del ferro il manganese disciolto presenta un andamento simile in entrambe le stazioni campionate, ed inoltre le concentrazioni sono più elevate rispetto al bacino nord. A Melide il valore massimo è stato toccato in novembre (2'783 g Mn m⁻³), mentre a Figino è stato raggiunto in agosto (1'213 g Mn m⁻³), entrambi nei campioni di fondo.

5.14. Andamento pluriennale del fosforo totale

La figura 5.14. mostra l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale nei due bacini principali del lago durante gli ultimi 26 anni (1983-2008).

Nel bacino nord i valori medi, ponderati sull'intero volume, sono oscillati in maniera irregolare tra 135 e 170 mg P m⁻³ fino al 2004. Come conseguenza della destratificazione dell'inverno 2004-2005 [7] la concentrazione media è crollata a 115 mg P m⁻³, per poi proseguire il suo declino fino agli attuali 80 mg P m⁻³. Le concentrazioni dello strato 0-100 m sono scese da 87 mg P m⁻³ nel 1983 a 52-58 mg P m⁻³ nel quinquennio 1993-1997, per poi risalire nuovamente fino a 101 mg P m⁻³ in corrispondenza del rimescolamento dell'inverno 2005-2006. In seguito, al pari dello strato ossigenato, ha progressivamente ridotto le sue concentrazioni per arrivare ai 67 mg P m⁻³ del 2008.

Nel bacino sud il trend è per contro opposto: nel corso dell'ultimo quarto di secolo si è osservato un progressivo calo del tenore di fosforo totale, da 137 mg P m⁻³ (nel 1983) a 43 mg P m⁻³ (nel 2003 e nel 2005). Poi i valori hanno iniziato a crescere lentamente, in particolare in seguito all'incremento degli apporti provenienti dal bacino nord, per assestarsi a tutt'oggi a 48 mg P m⁻³.

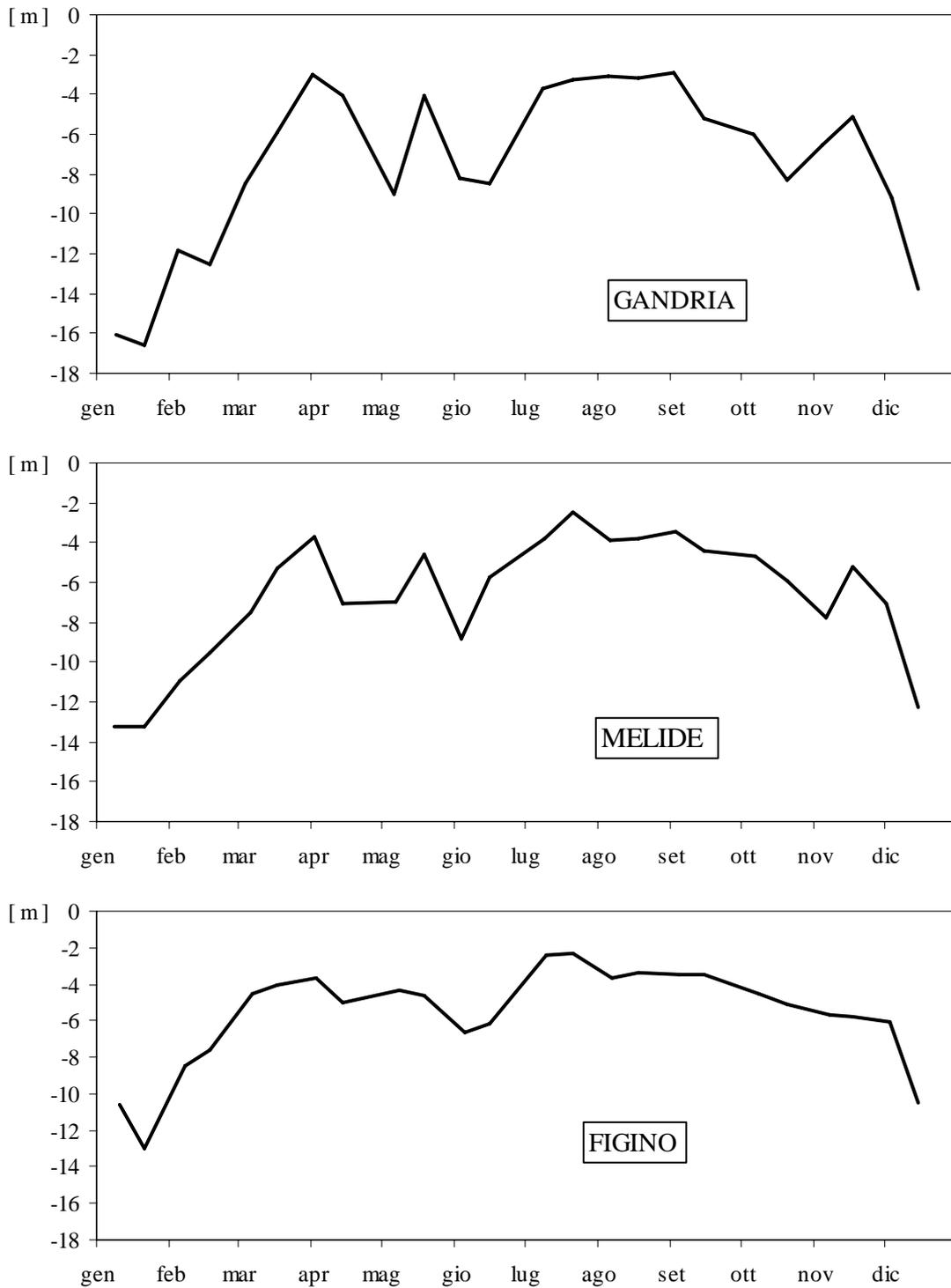


Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2008: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.

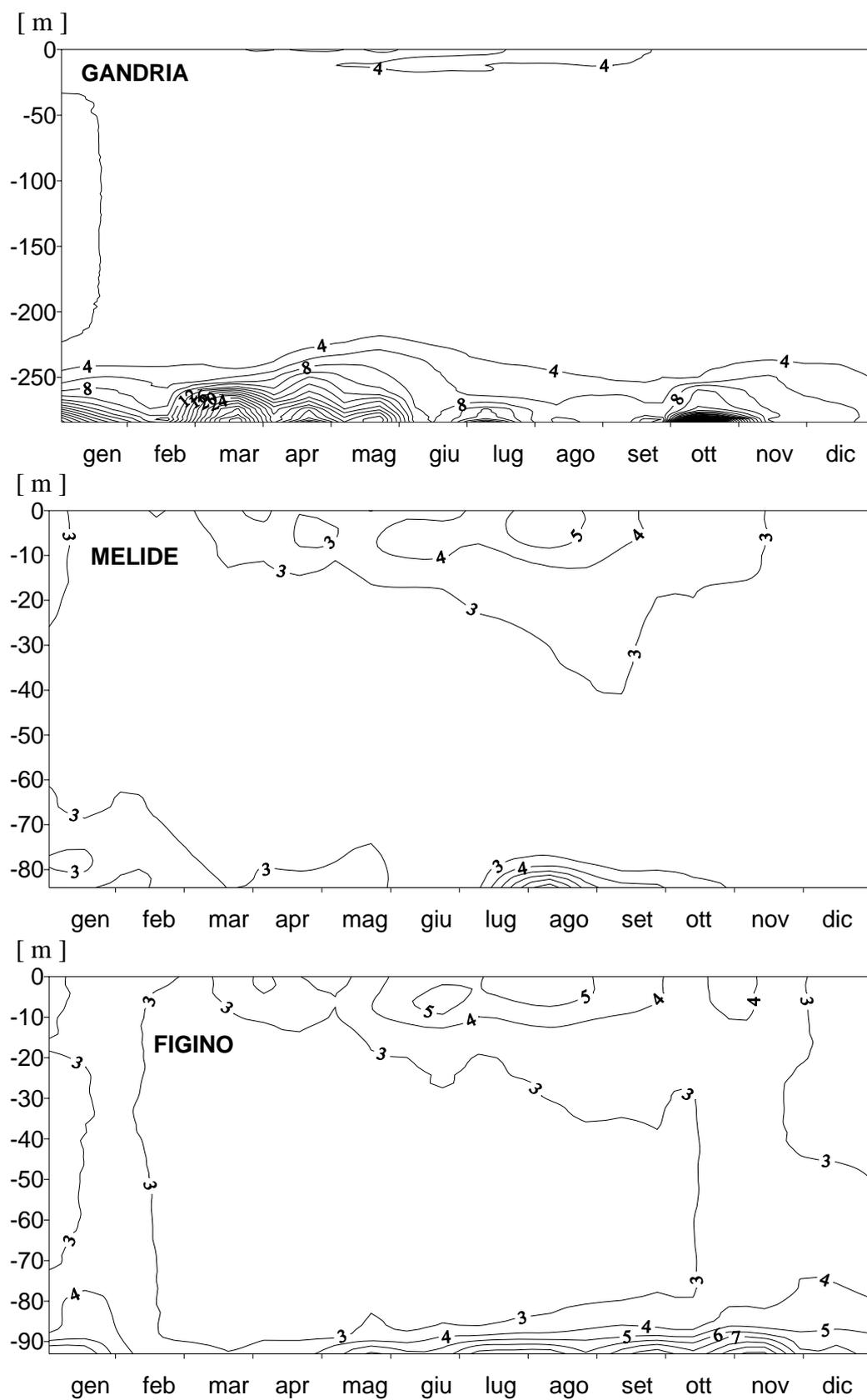


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2008: andamento della torbidità rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica.

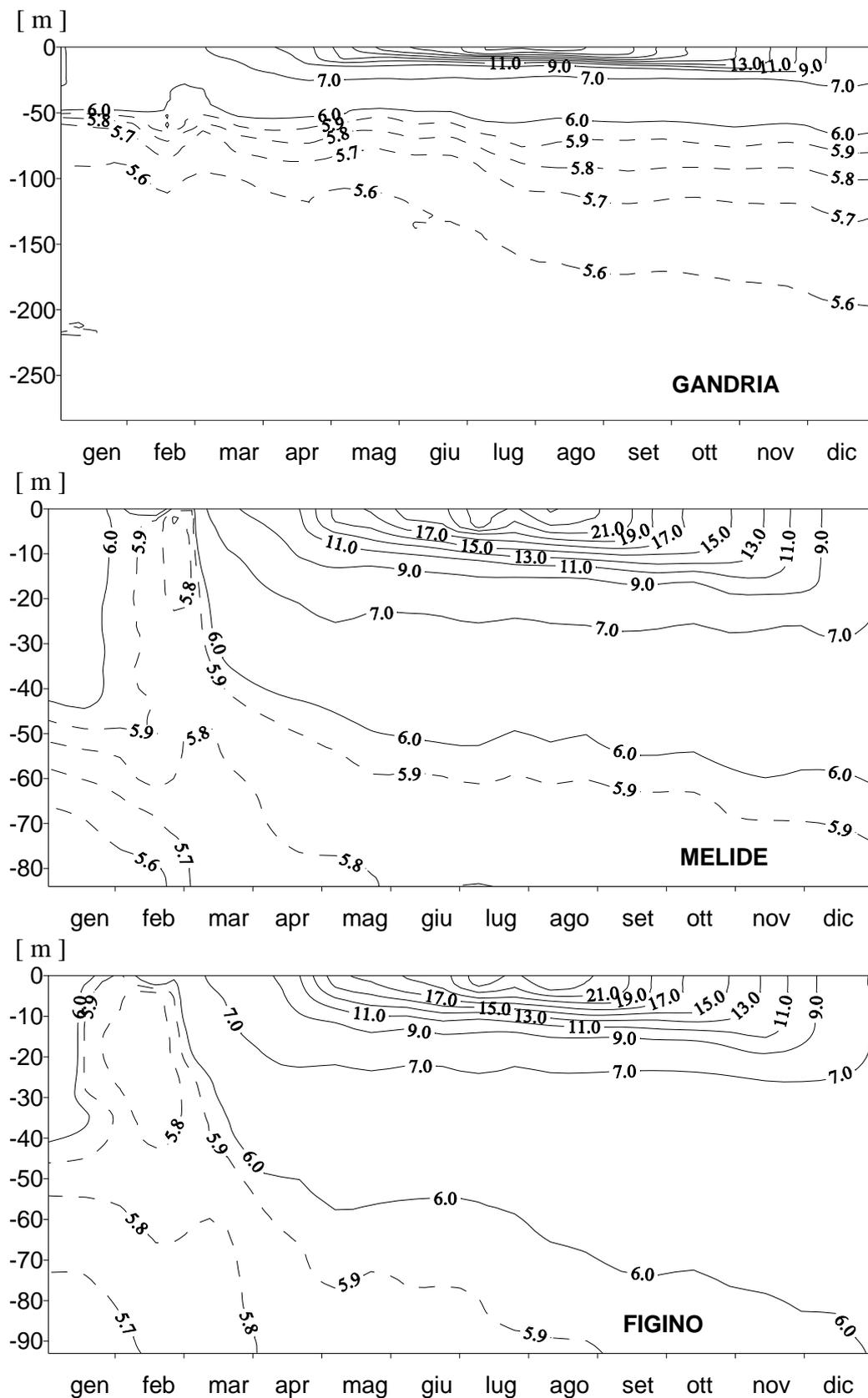


Fig. 5.3. Lago di Lugano, 2008: andamento della temperatura rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [$^{\circ}\text{C}$].

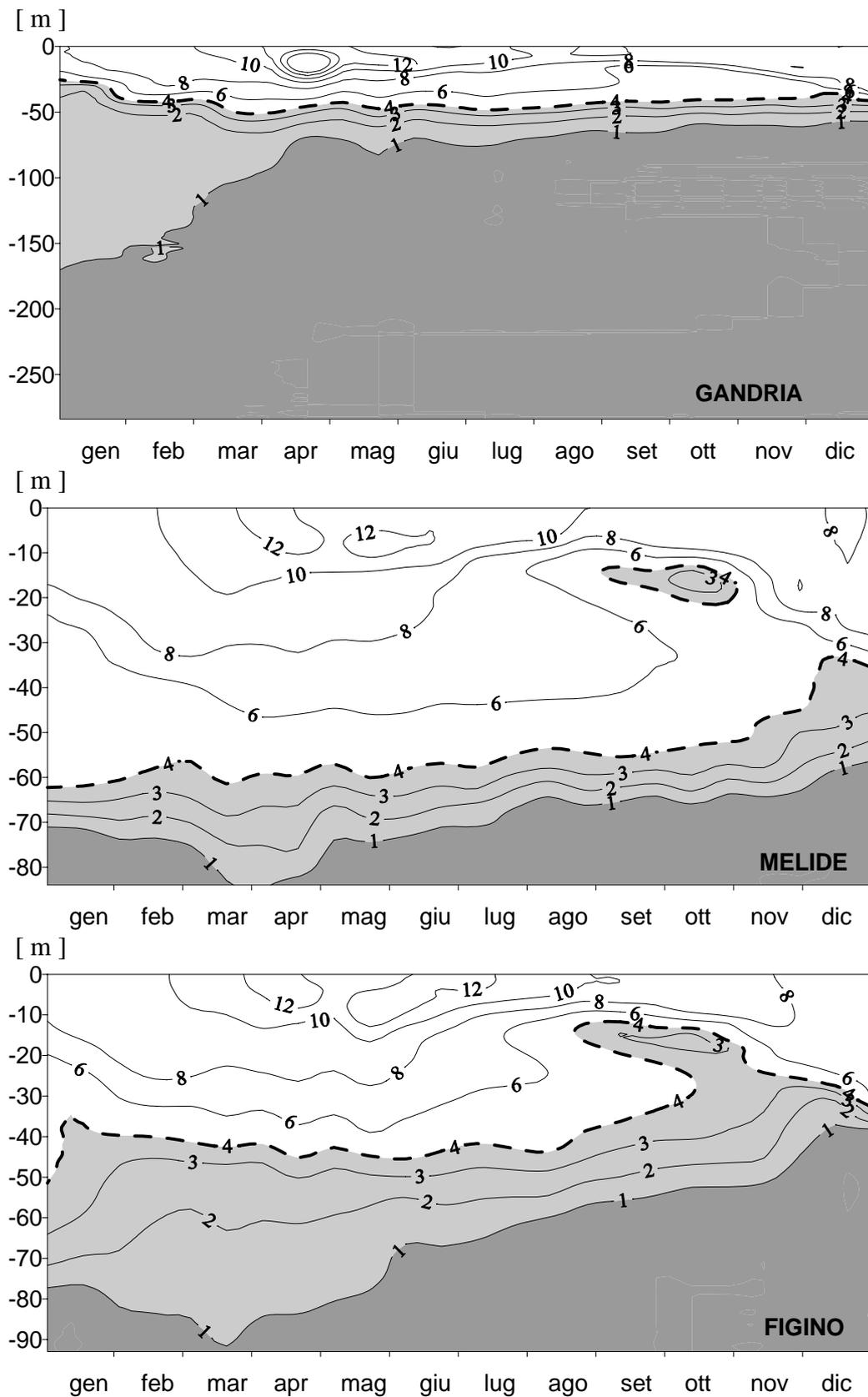


Fig. 5.4. Lago di Lugano, 2008: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [g m^{-3}].

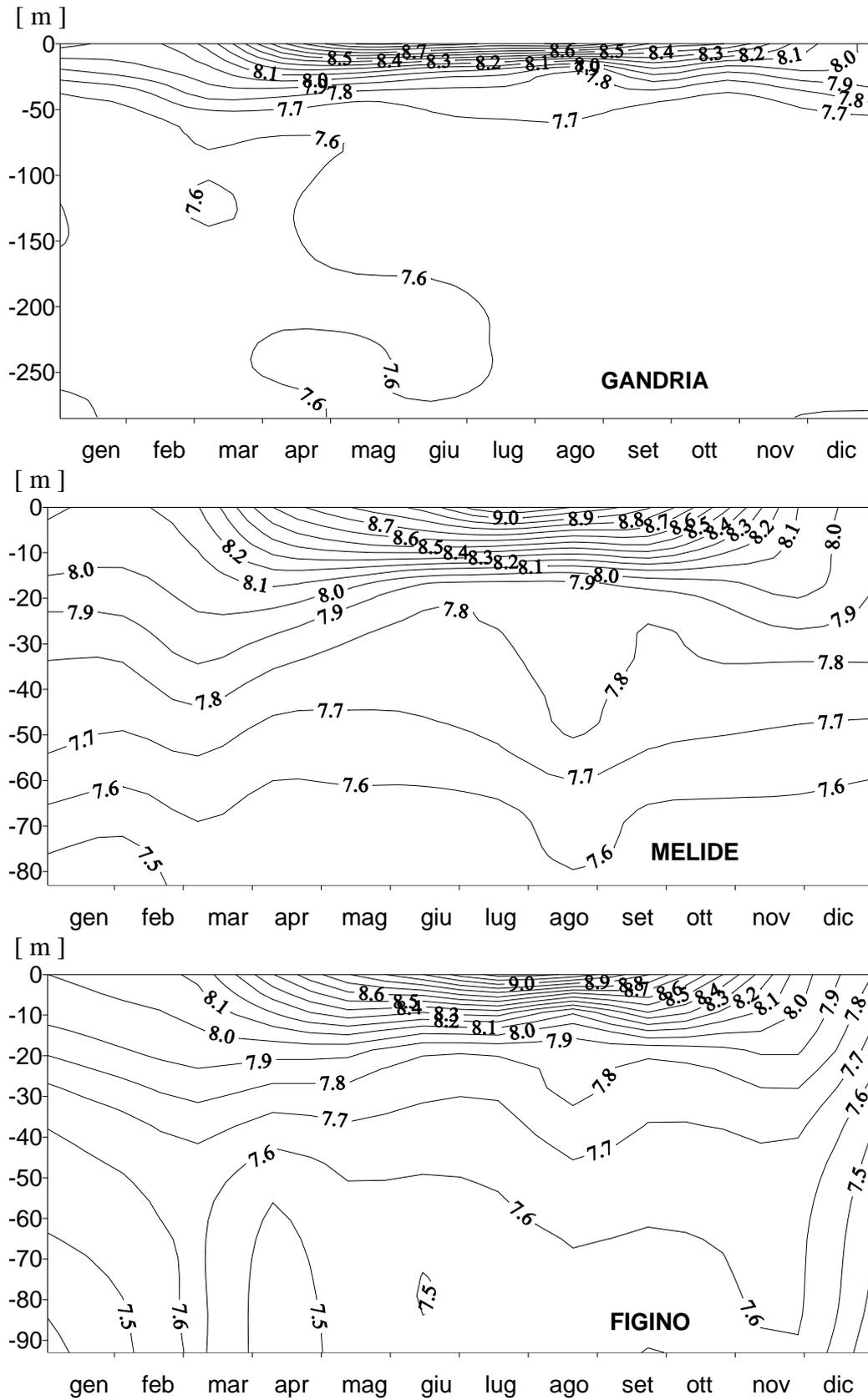


Fig. 5.5.1. Lago di Lugano, 2008: andamento del valore pH.

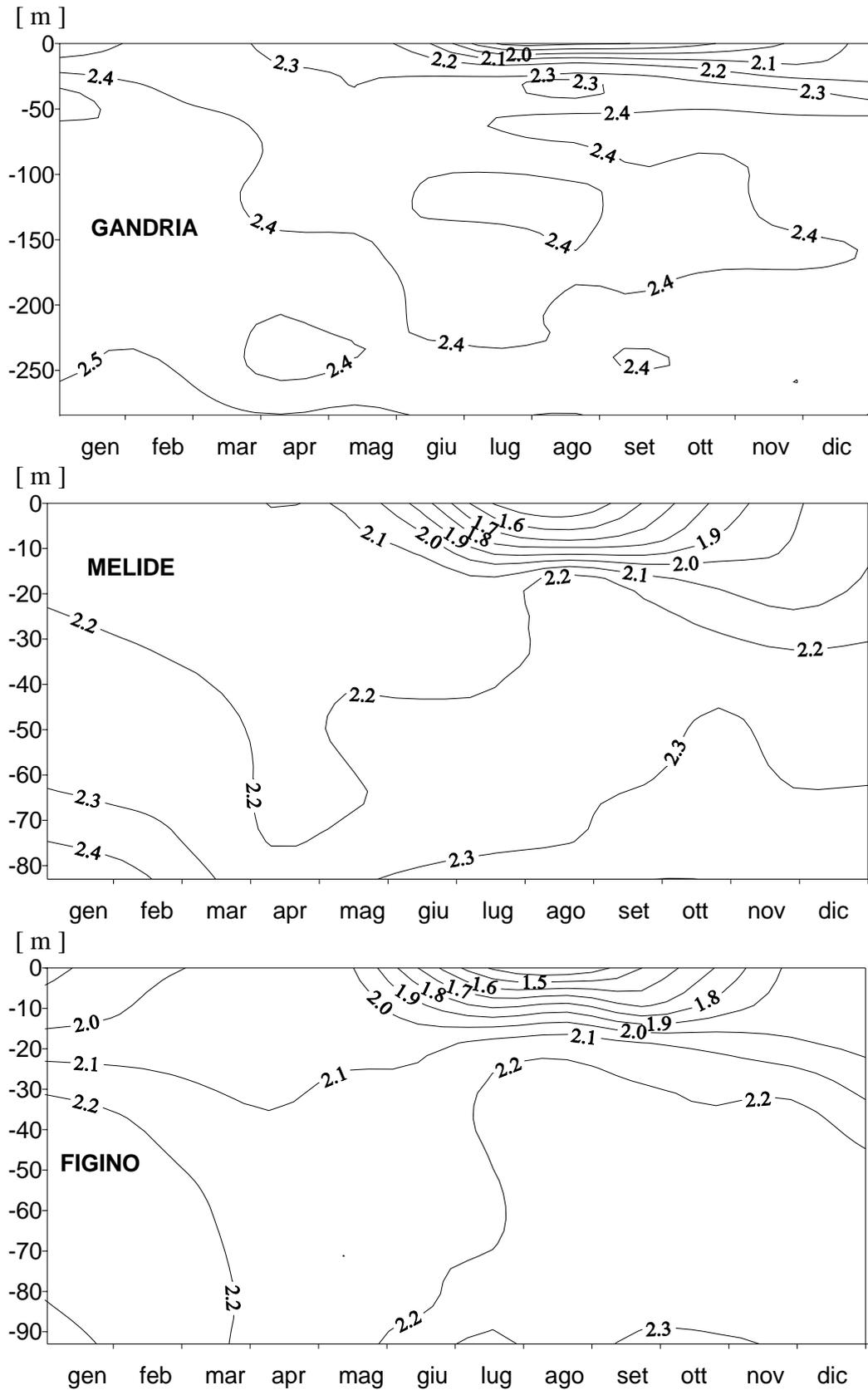


Fig. 5.5.2. Lago di Lugano, 2008: andamento dell'alcalinità [eq m⁻³].

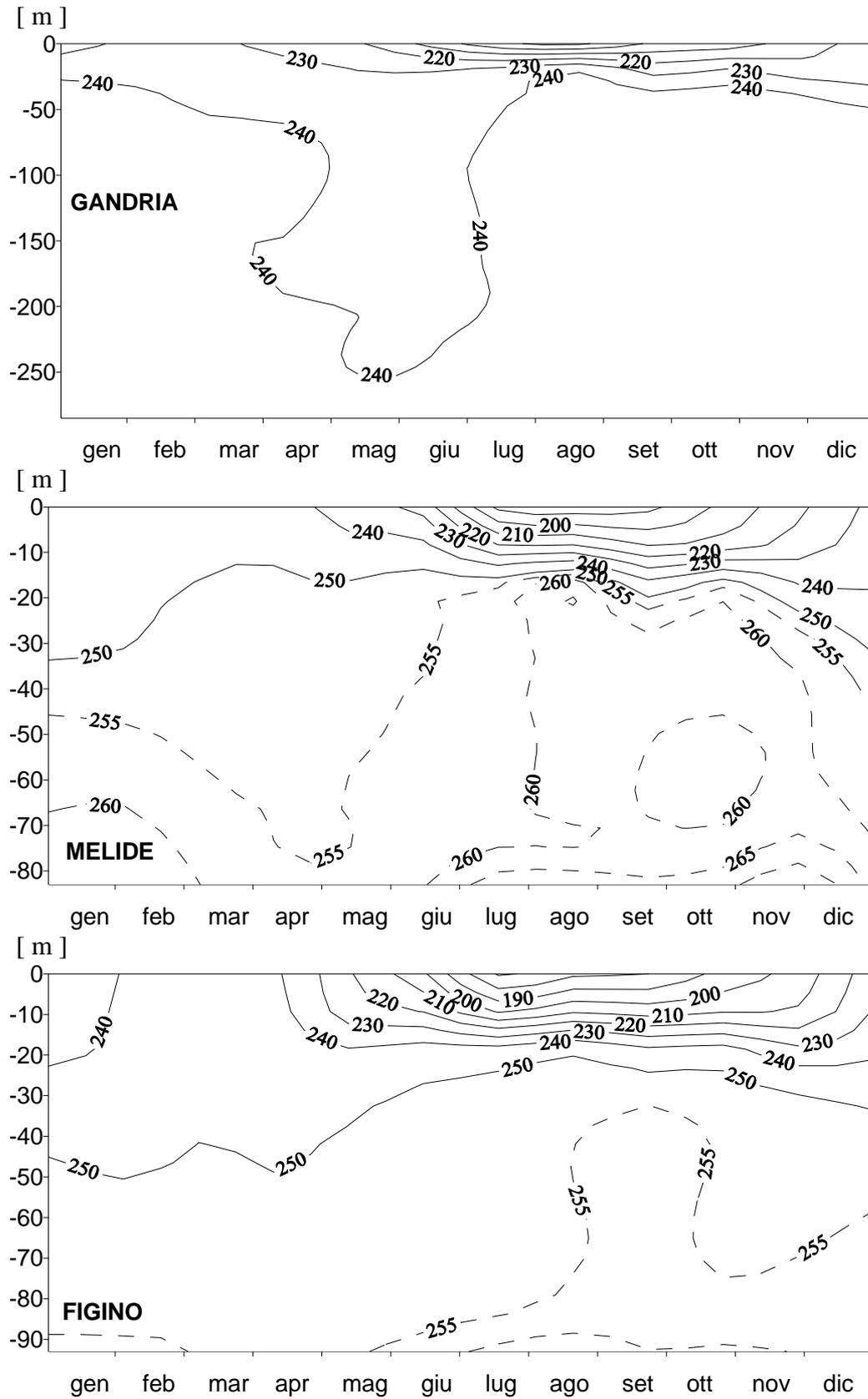


Fig. 5.6. Lago di Lugano, 2008: andamento della conducibilità elettrica [$\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C].

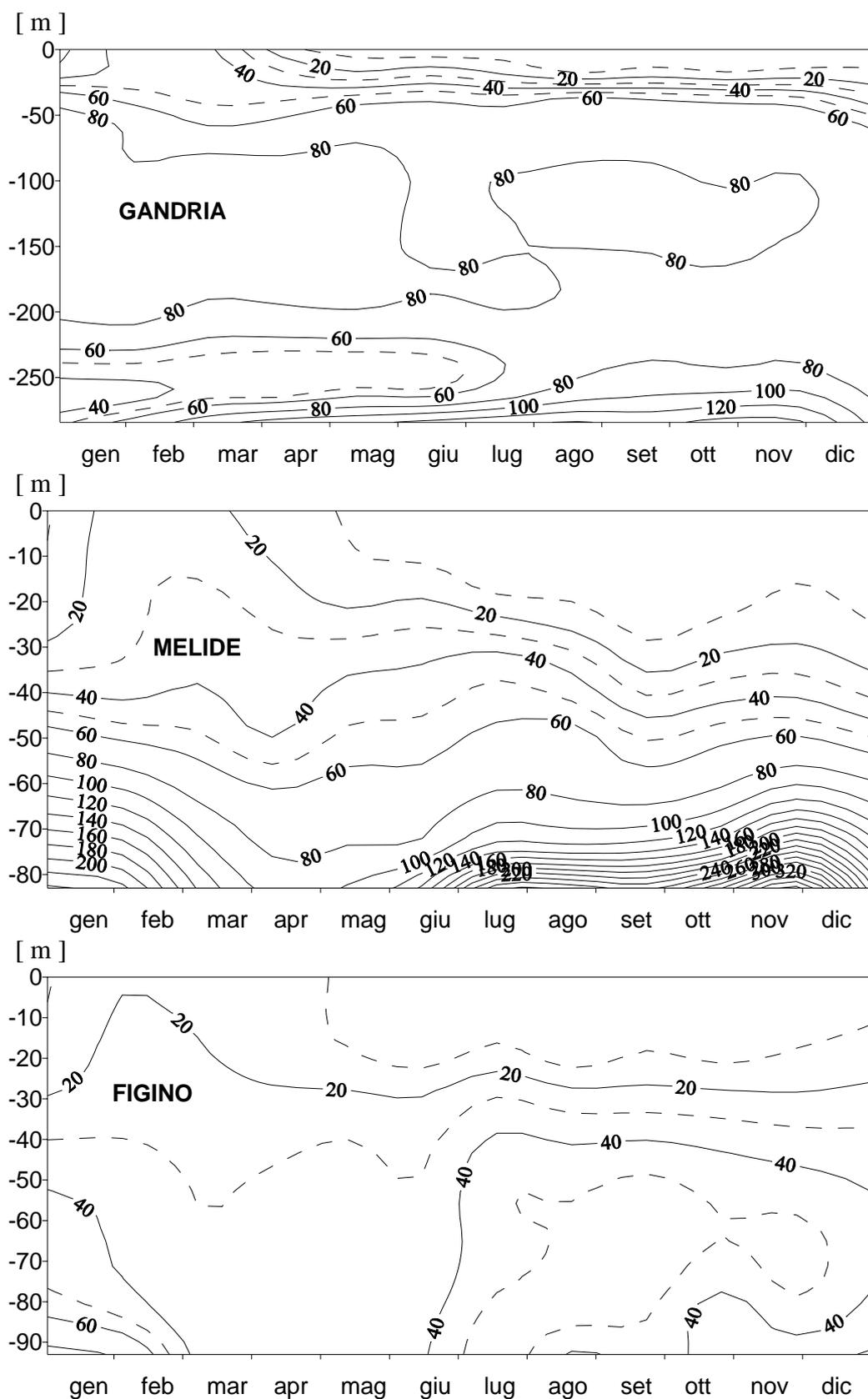


Fig. 5.7.1. Lago di Lugano, 2008: andamento del fosforo ortofosfato [mg P m^{-3}].

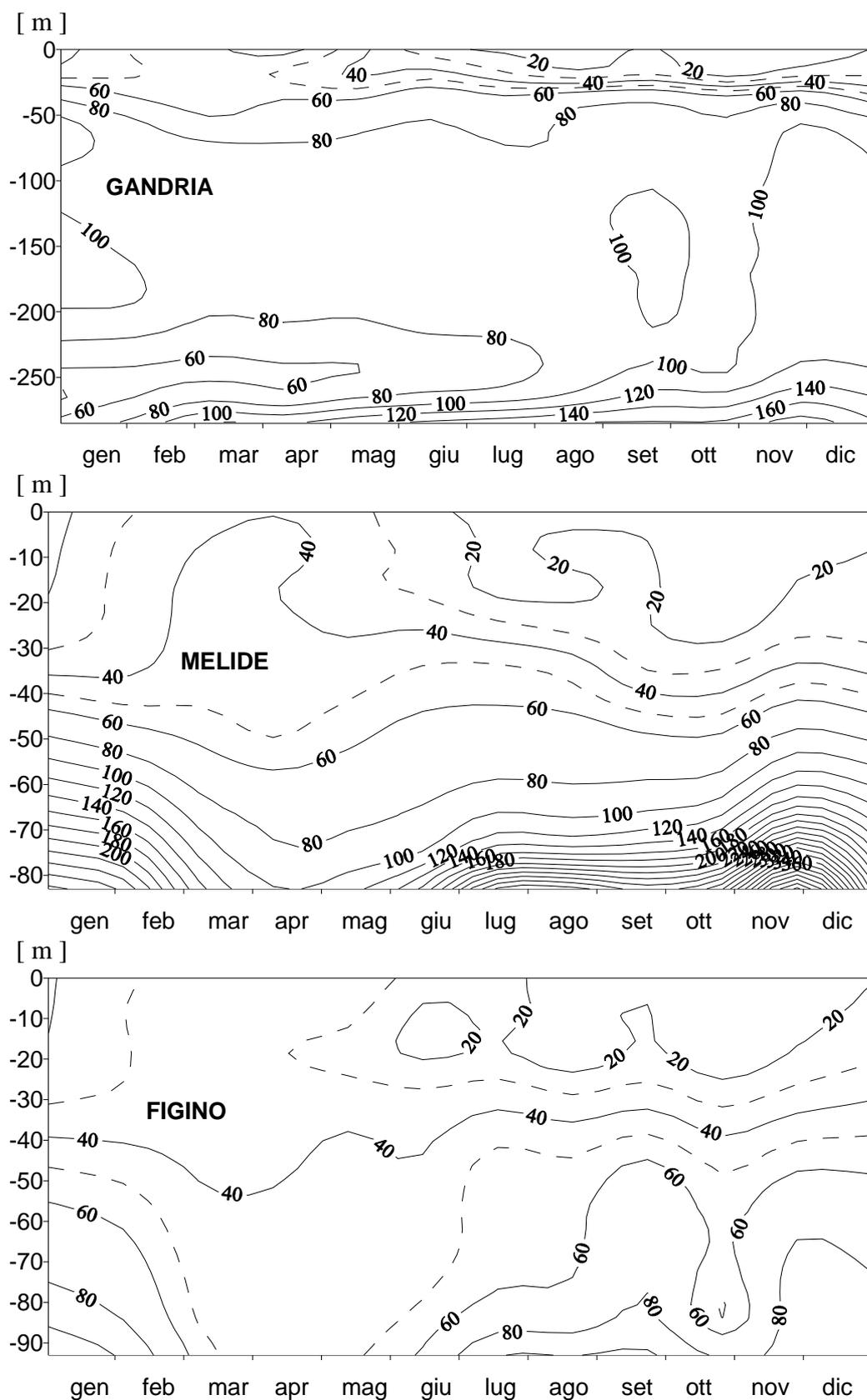


Fig. 5.7.2. Lago di Lugano, 2008: andamento del fosforo totale [mg P m^{-3}].

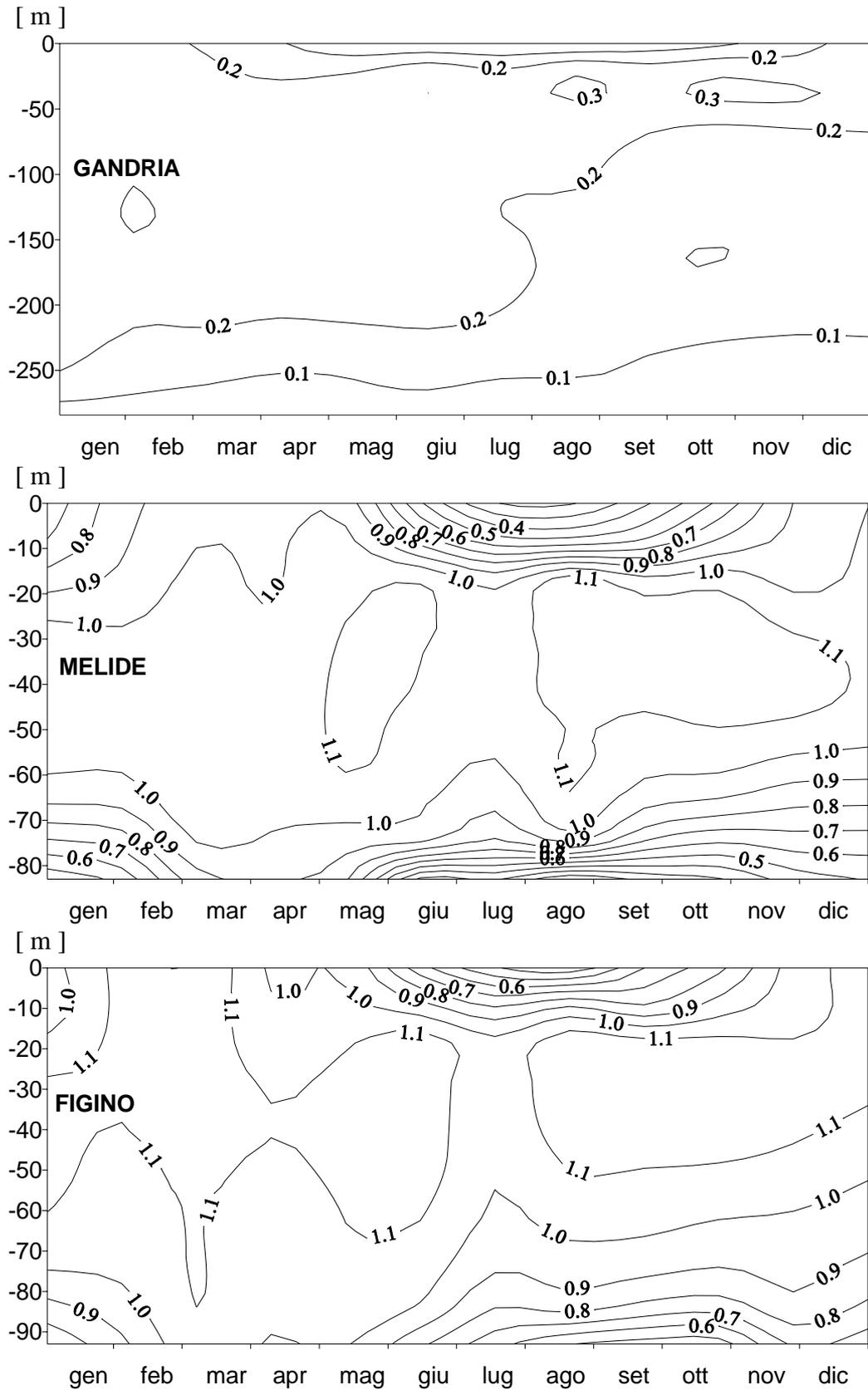


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2008: andamento dell'azoto nitrico [g N m^{-3}].

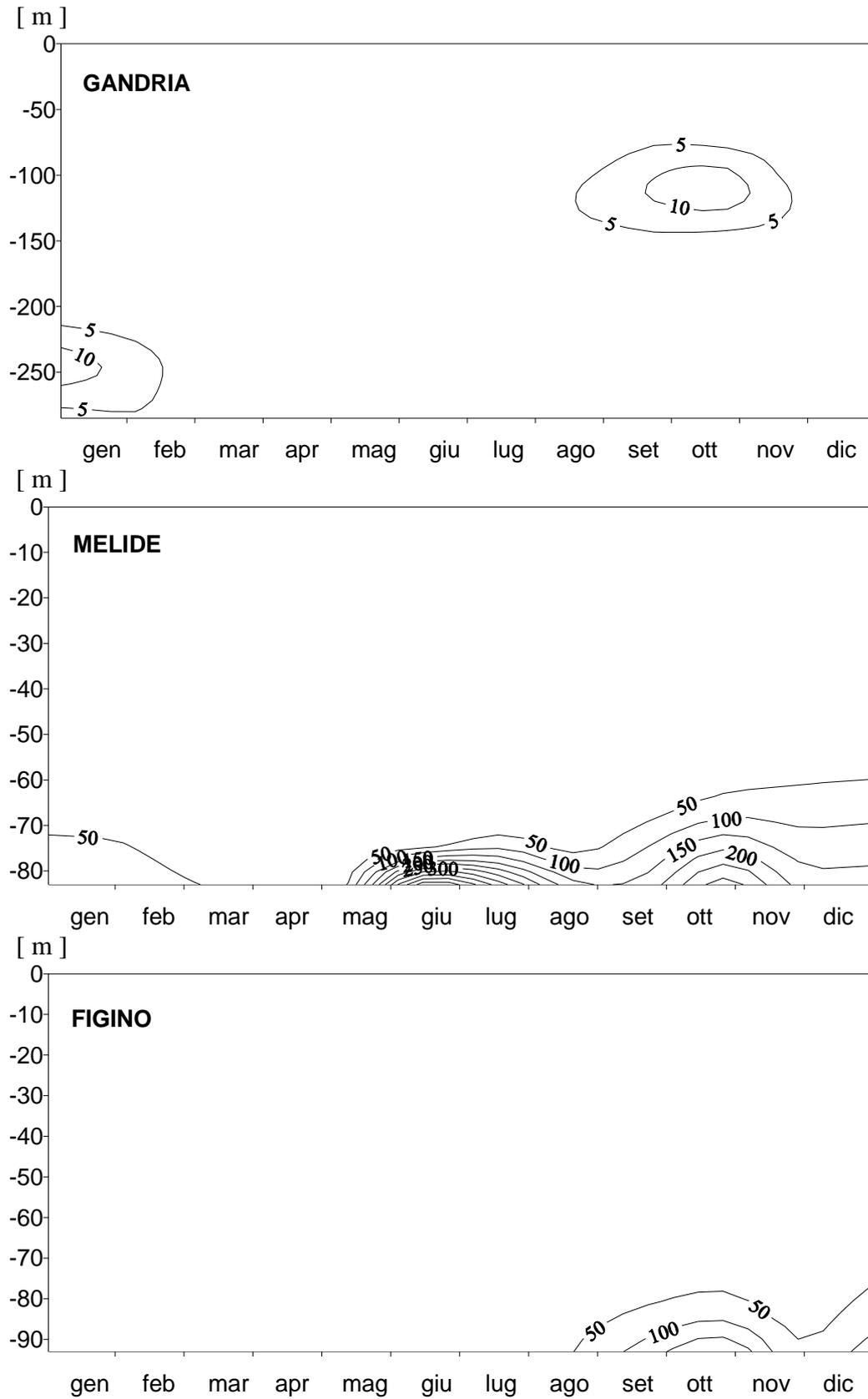


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2008: andamento dell'azoto nitroso [mg N m^{-3}].

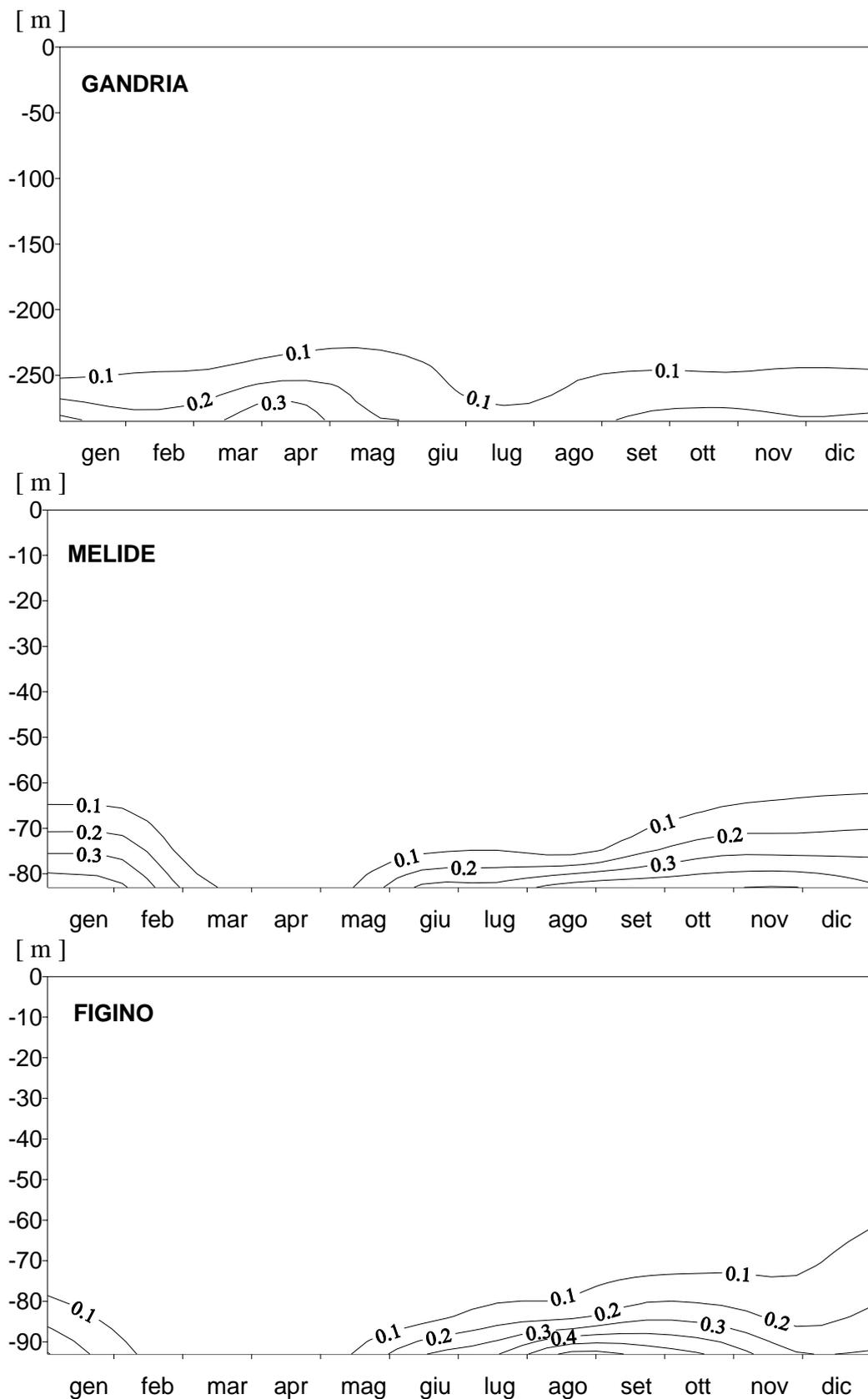


Fig. 5.8.3. Lago di Lugano, 2008: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m^{-3}].

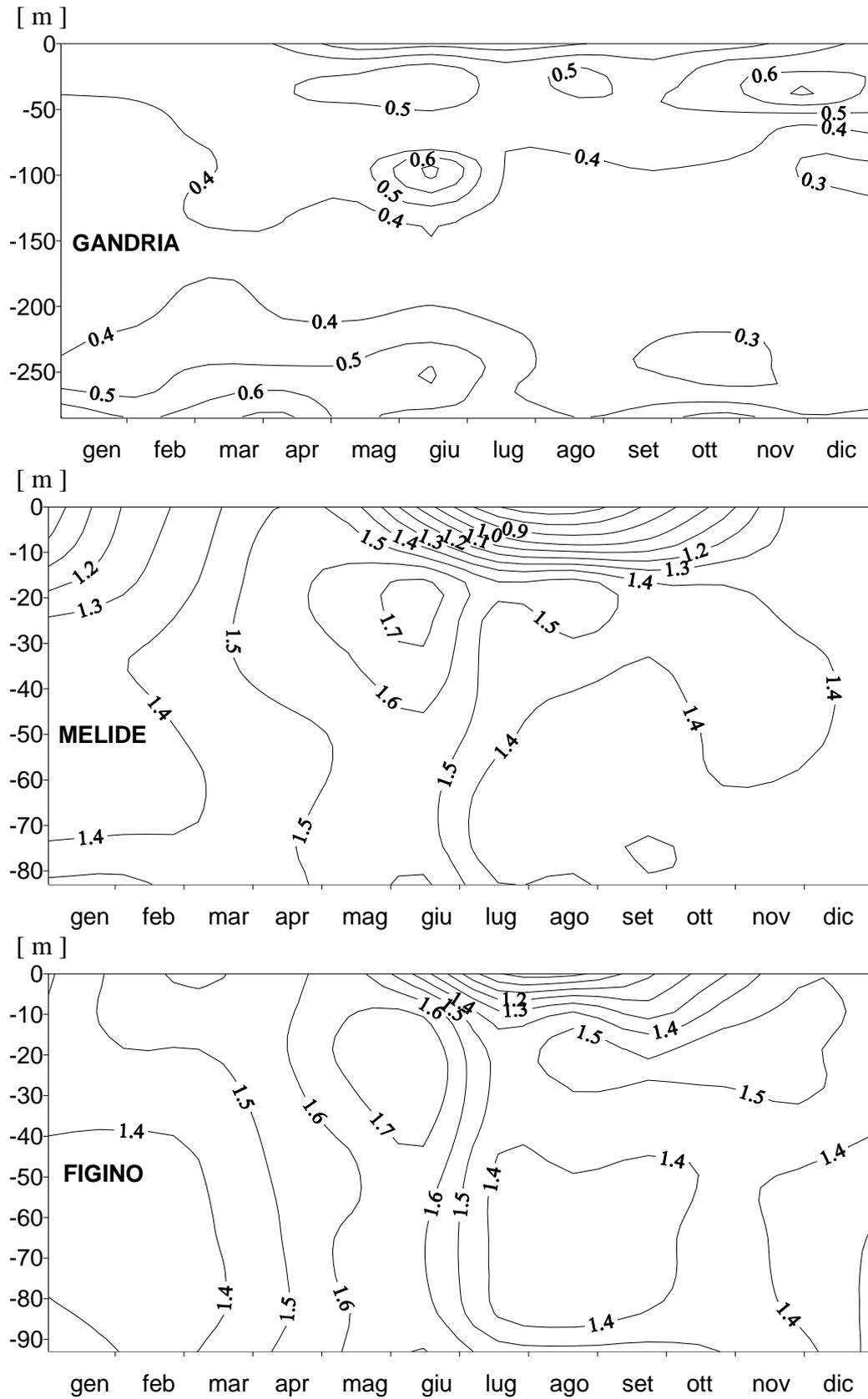


Fig. 5.8.4. Lago di Lugano, 2008: andamento dell'azoto totale [g N m^{-3}].

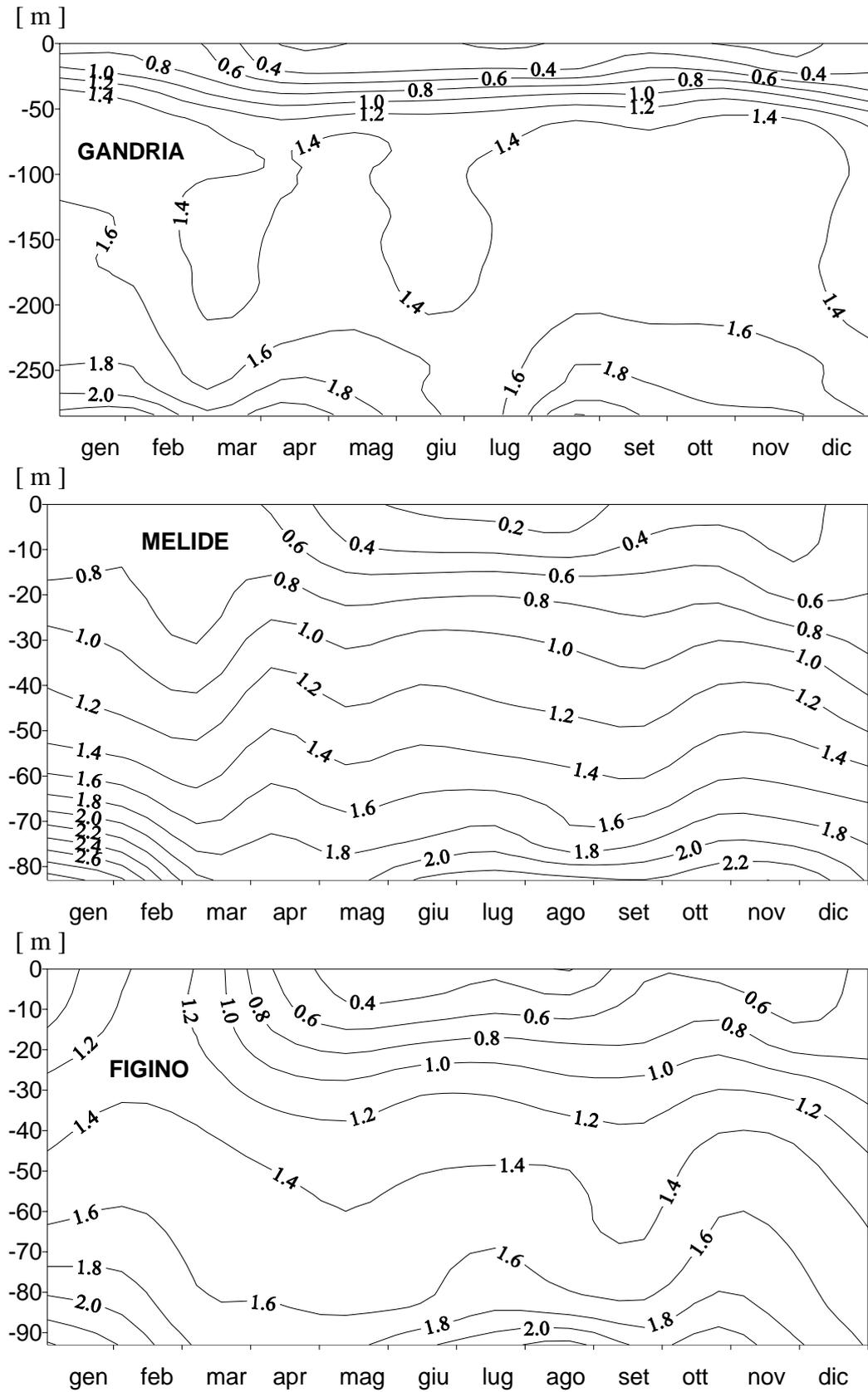


Fig. 5.9. Lago di Lugano, 2008: andamento dei silicati reattivi [g Si m^{-3}].

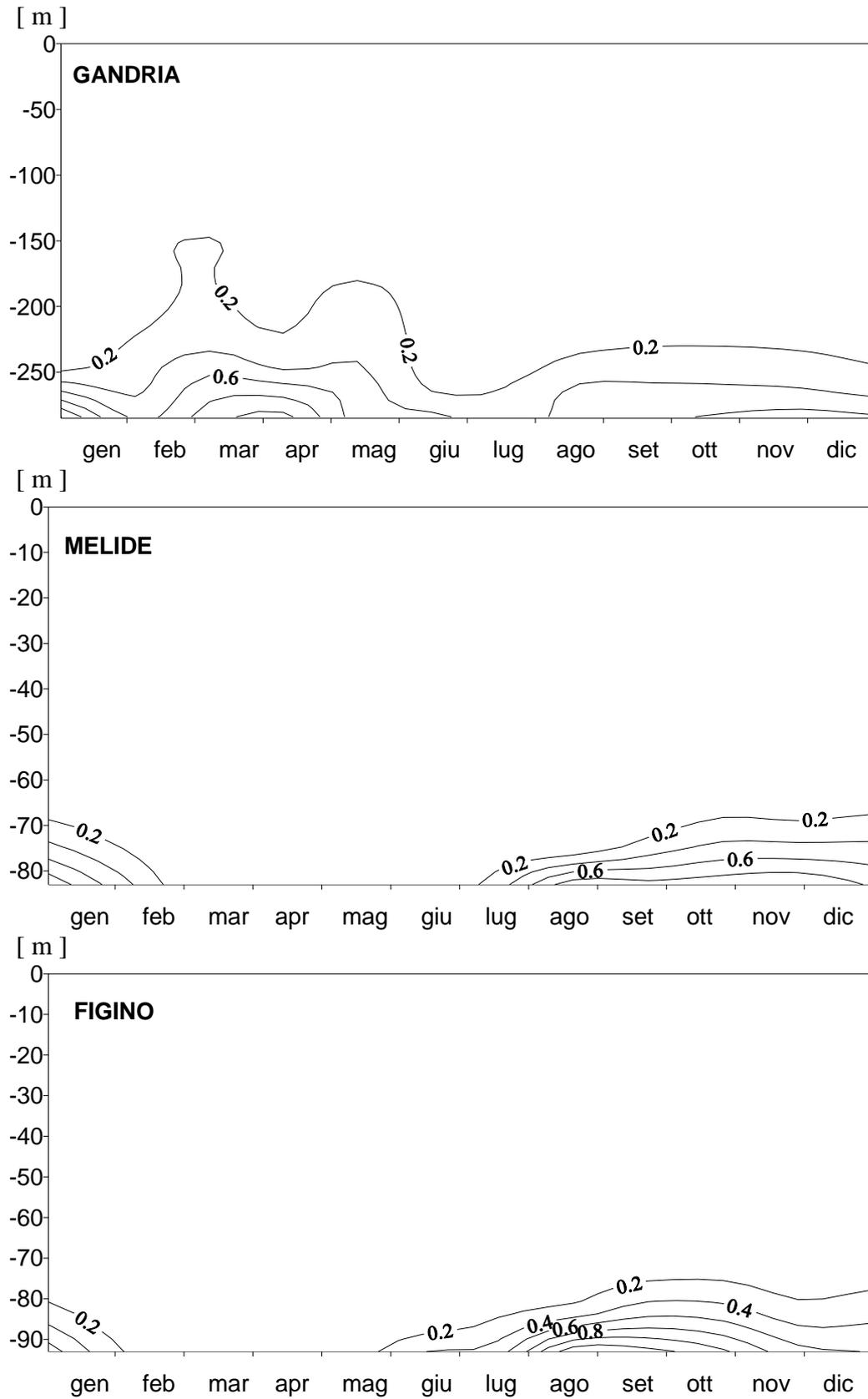


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2008: andamento del metano [g m^{-3}].

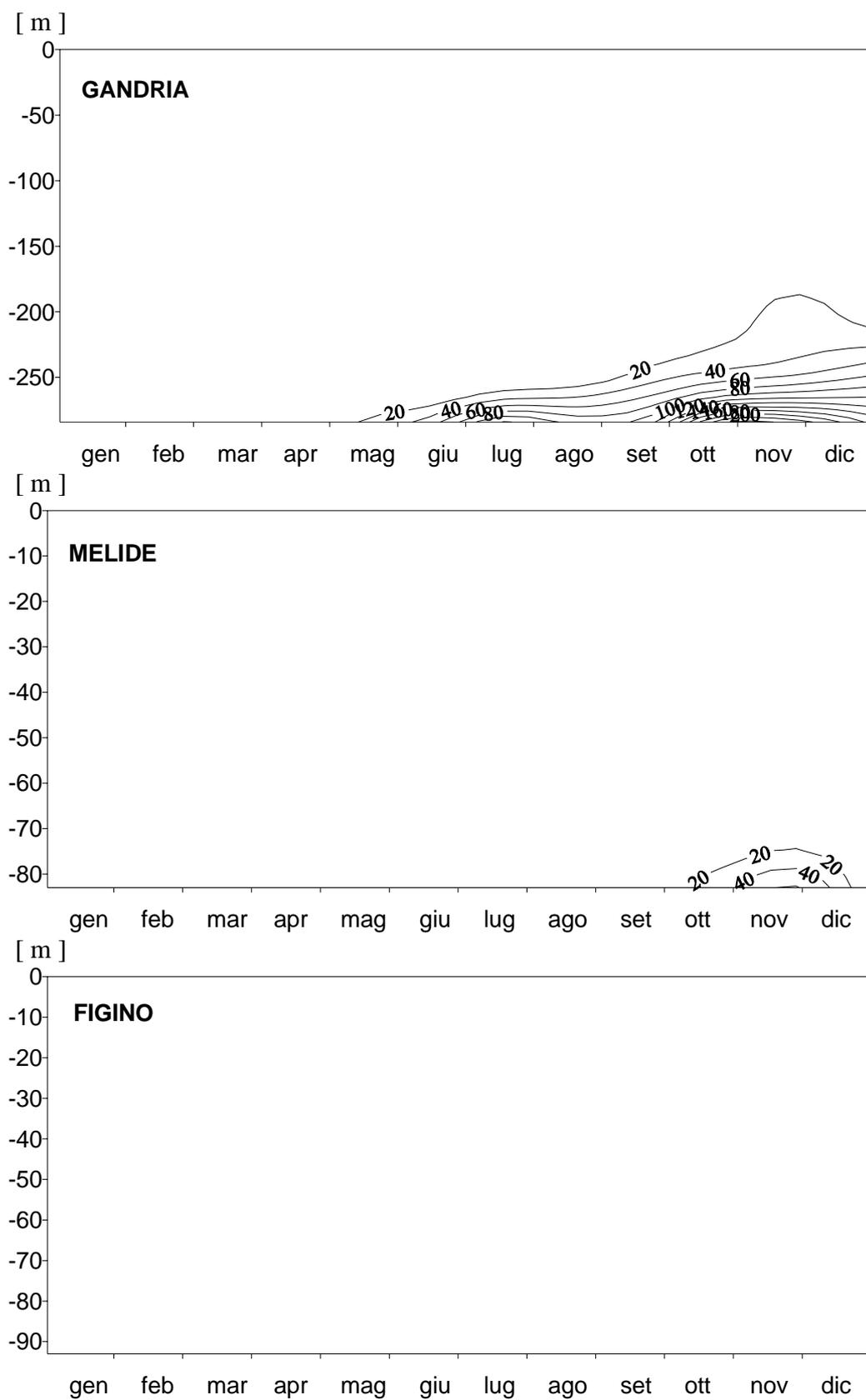


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2008: andamento del solfuro [mg m^{-3}].

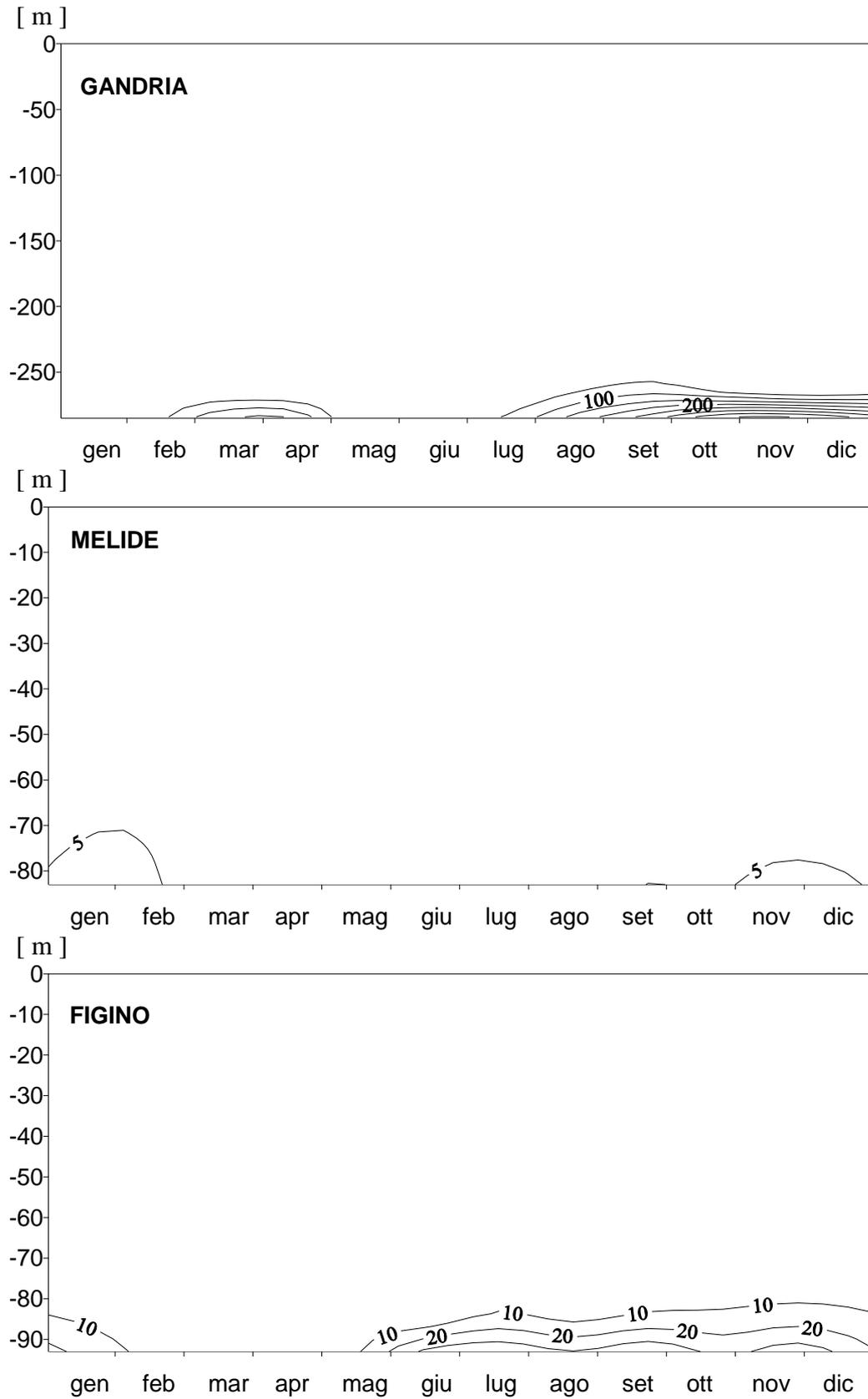


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2008: andamento del ferro disciolto [mg m^{-3}].

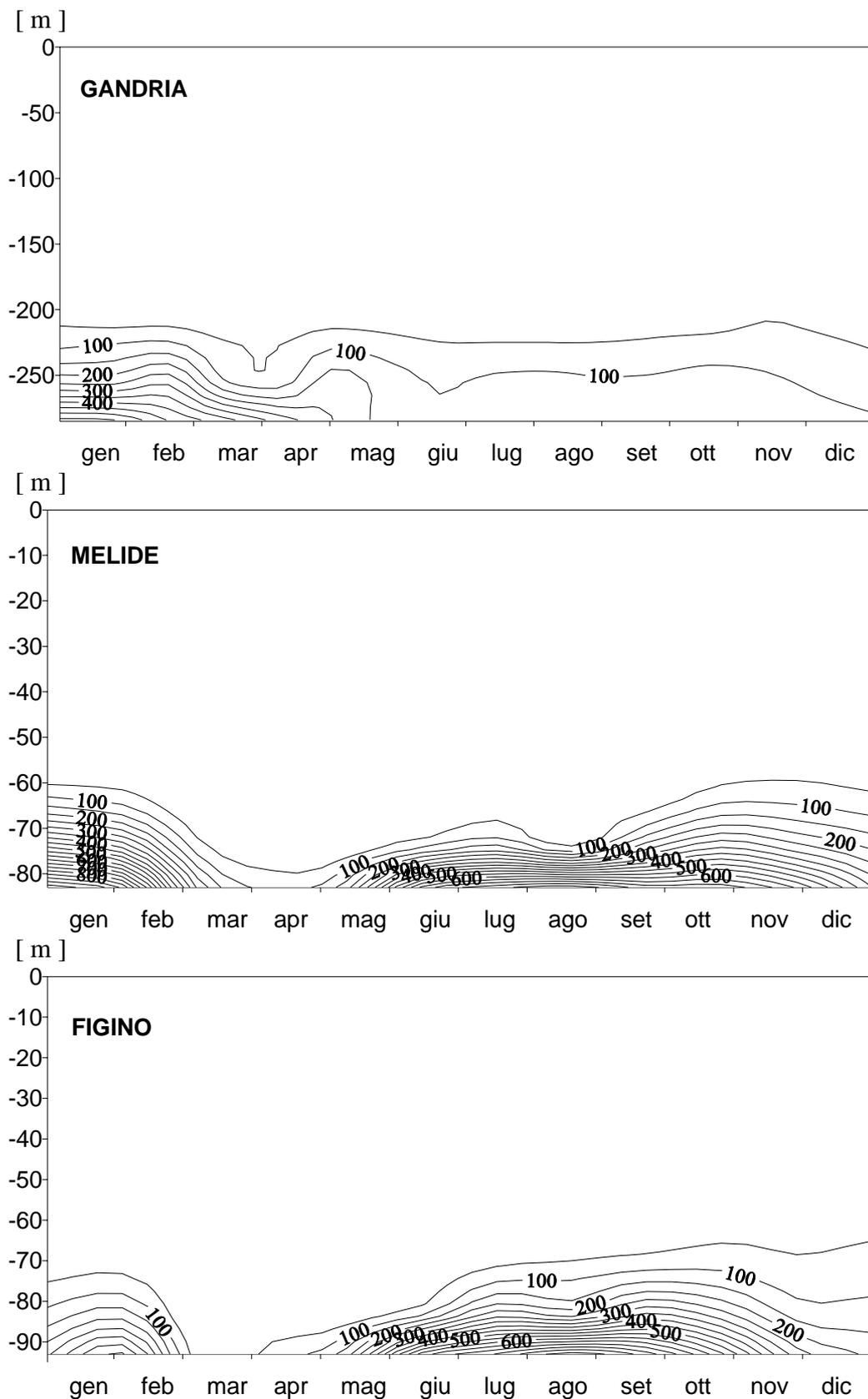


Fig. 5.13. Lago di Lugano, 2008: andamento del manganese disciolto [mg m^{-3}].

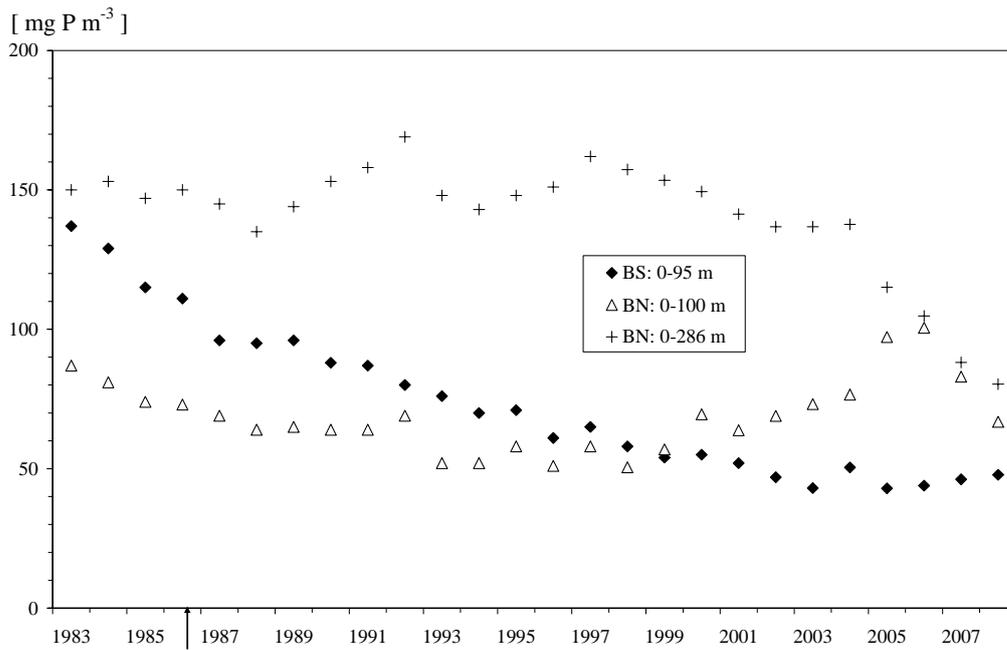


Fig. 5.14. Lago di Lugano, 1983-2006: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud (BS) ed in differenti strati del bacino nord (BN).

La freccia indica l'anno d'entrata in vigore del bando dei fosfati dai detersivi.

6. INDAGINI SUL FITOPLANCTON

6.1. Struttura dei popolamenti

Nel corso del 2008 è continuata la raccolta dei campioni di fitoplancton nelle tre stazioni principali del lago (Gandria, Melide, Figino) secondo le modalità previste dal programma quinquennale. I campionamenti sono stati effettuati con frequenza mensile durante tutto l'anno, e quindicinale durante il periodo primaverile, caratterizzato da una rapida successione dei popolamenti algali. Complessivamente in ogni stazione sono stati raccolti ed analizzati 16 campioni integrali sulla colonna d'acqua compresa tra 0 e 20 m.

Come di consueto, l'evoluzione stagionale del popolamento fitoplanctonico presenta differenze significative tra i due bacini del lago: differenze che quest'anno riguardano prevalentemente la composizione tassonomica e la successione temporale delle specie principali, mentre risultano meno evidenti a livello dei valori complessivi di biomassa. Come conseguenza delle condizioni invernali piuttosto miti, il periodo vegetativo del 2008 ha preso avvio dopo una fase di rimescolamento della colonna d'acqua solo parziale, e quindi con uno scarso rifornimento di nutrienti algali dagli strati profondi verso la zona trofogenica. Di conseguenza anche il popolamento fitoplanctonico ha fatto registrare inizialmente dei valori di densità modesti, in particolare per quanto concerne i gruppi tassonomici tipicamente primaverili (diatomee, criptoficee). Successivamente l'afflusso di nutrienti legato alle abbondanti precipitazioni, ha favorito fasi sviluppo di alcuni popolamenti algali (cloroficee, diatomee) estremamente marcati, dapprima in aprile- maggio, e poi in settembre.

Dall'analisi dei principali gruppi tassonomici risulta che le **cianoficee** sono risultate estremamente scarse nel bacino nord, e limitate alle specie filamentose *Planktothrix rubescens* e *Aphanizomenon flos-aquae* in quello sud.

Come di consueto, le **diatomee** hanno presentato il loro principale momento di crescita all'inizio del periodo vegetativo, manifestatosi quest'anno con un certo ritardo. Fra le specie centriche, fatta eccezione per la stazione di Figino, è infatti venuto a mancare l'importante contributo delle piccole forme precoci (quali *Stephanodiscus parvus*), mentre le forme più grandi si sono sviluppate solo in aprile (*Aulacoseria islandica ssp. helvetica*), e soprattutto in maggio (*Fragilaria crotonensis* nel bacino nord; *Asterionella formosa* nel bacino sud). Nel corso del secondo semestre questo gruppo ha fatto registrare due fasi di sviluppo particolarmente rilevanti: la prima in settembre, con *Fragilaria crotonensis*, e la seconda in novembre-dicembre a Gandria (nuovamente con *Fragilaria crotonensis*) ed in dicembre nel bacino sud (con *Asterionella formosa*).

Le **cloroficee** non sono risultate predominanti solo durante il periodo estivo, durante il quale sono risultate abbondanti soprattutto le specie clorococcali (*Dictyosphaerium pulchellum*, *Sphaerocystis schræteri*, e *Cælastrum polychordum*), ma hanno fatto registrare valori di densità elevati anche in maggio, in seguito all'eccezionale fase di sviluppo della specie volvocale *Pandorina morum*, ed in ottobre, con la specie filamentosa *Oedogonium sp.*

Le **criptoficee** hanno avuto nel genere *Rhodomonas* il loro principale rappresentante: le punte di massimo sviluppo, che generalmente coincidono con l'inizio del periodo vegetativo, sono state rilevate durante il mese d'aprile nel bacino nord, e tra marzo ed aprile in quello sud.

Per quanto concerne i restanti gruppi, le **coniugatoficee** sono risultate in netto calo, le **crisoficee**, le **peridinee** si sono mantenute sui consueti modesti livelli, mentre le **xantoficee**, con *Tribonema sp.*, hanno fatto registrare solo a Gandria valori di densità di un certo rilievo in aprile.

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del 2008, illustra in modo sintetico le analogie e le differenze più significative fra le tre stazioni campionate, sia sotto l'aspetto della composizione tassonomica che della successione cronologica.

Tab. 6.1. Lago di Lugano, 2008: sviluppo delle principali specie di fitoplancton nello strato 0-20 m (densità in 10^6 cellule l^{-1}).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
febbraio	Stephanodiscus parvus/min. (1.0)	Stephanodiscus parvus/min. (0.8)	Stephanodiscus parvus/min. (0.7)
marzo	Asterionella formosa (0.5) Stephanodiscus parvus/min. (0.9)	Asterionella formosa (1.1) Stephanodiscus parvus/min. (3.3) Rhodomonas (1.7)	Stephanodiscus parvus/min. (12.6)
aprile	Aulacoseria islandica helv. (0.8) Rhodomonas (5.1) Tribonema (0.4)	Aulacoseria islandica helv. (0.6) Rhodomonas (1.3)	Aulacoseria islandica helv. (1.2) Rhodomonas (2.1) Fragilaria crotonensis (0.7)
maggio	Aphanizomenon flos-aquae (2.2) Fragilaria crotonensis (1.8) Pandorina morum (2.6)	Aphanizomenon flos-aquae (1.5) Asterionella formosa (0.5) Pandorina morum (1.4)	Aphanizomenon flos-aquae (2.0) Asterionella formosa (1.1) Pandorina morum (0.8)
giugno		Dictyosphaerium pulchellum (0.9) Phacotus lenticularis (0.3)	Fragilaria crotonensis (2.4) Dictyosphaerium pulchellum (0.9) Phacotus lenticularis (0.2)
luglio	Dictyosphaerium pulchellum (0.3)	Sphaerocystis schroeteri (1.4)	Sphaerocystis schroeteri (2.3) Planktothrix rubescens (4.2)
agosto		Sphaerocystis schroeteri (2.0)	Cœlastrum polychordum (0.9)
settembre	Fragilaria crotonensis (2.5) Cœlastrum polychordum (2.7) Sphaerocystis schroeteri (1.3)	Fragilaria crotonensis (0.9) Cœlastrum polychordum (3.2) Planktothrix rubescens (6.1)	Fragilaria crotonensis (1.4) Cœlastrum polychordum (2.3)
ottobre	Oedogonium sp. (0.9)	Oedogonium sp. (0.3) Cœlastrum polychordum (1.2)	Oedogonium sp. (0.3) Cœlastrum polychordum (0.9) Aphanizomenon flos-aquae (2.4)
novembre	Fragilaria crotonensis (1.5)		
dicembre	Fragilaria crotonensis (1.6)	Asterionella formosa (4.1)	Asterionella formosa (3.7)

6.2. Variazioni della biomassa

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

I valori di **biomassa media annua (Gandria: 1.15 g m⁻³; Melide: 1.06; Figino: 1.36)** sono risultati in netta ripresa rispetto agli anni precedenti, con un incremento particolarmente rilevante nella stazione di Figino, ed anche le punte massime hanno toccato livelli decisamente elevati (Gandria: 4.0; Melide: 2.9; Figino: 3.3 g m⁻³).

L'andamento annuale presenta due momenti di forte sviluppo della biomassa algale, il primo dei quali copre l'intero periodo primaverile, mentre il secondo è centrato sul mese di settembre. Inoltre nel bacino sud si osserva un'ulteriore fase

di forte ripresa dei valori nel corso del mese di dicembre, legata all'importante fase di sviluppo delle diatomee pennate.

A Gandria e Melide la tradizionale fase di crescita primaverile delle diatomee ha raggiunto il suo massimo (1.2 g m^{-3}) solo in aprile, mentre a Figino questo gruppo ha fatto registrare elevate punte mensili ($1.7\text{-}2.2 \text{ g m}^{-3}$) durante l'intero periodo primaverile. Nel corso del mese di maggio si è verificata la prima fase di sviluppo delle cloroficee (*Pandorina morum*), che nelle prime due stazioni (ma soprattutto a Gandria) hanno toccato punte d'eccezionale abbondanza, contribuendo in misura preponderante i valori massimi annue sopra indicati.

La successiva fase di sviluppo, in settembre, è risultata più modesta, ed ha riguardato soprattutto i popolamenti di diatomee pennate e cloroficee coccali, con un contributo minore da parte delle cianoficee filamentose.

Sotto l'aspetto della composizione percentuale della biomassa algale del 2008 (valore medio annuo, Fig. 6.2.2.), nel bacino nord le diatomee (36%) si situano praticamente agli stessi livelli delle cloroficee, mentre sono tornate a costituire la frazione principale nel bacino sud: con valori simili a Melide (38%), e addirittura con predominanza assoluta a Figino (52%). Le cloroficee hanno fornito un contributo importante in tutto il lago, con valori in diminuzione lungo l'asse di deflusso (Gandria: 37%; Melide: 25%; Figino: 15%). Le cianoficee costituiscono la terza frazione nel bacino sud (10-12%), mentre hanno subito un drastico calo nel bacino nord (3%).

6.3. Clorofilla

Quale fondamentale complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, nel corso del 2008 sono proseguite le analisi sul contenuto di clorofilla *a* nelle acque epilimniche del lago. Come di consueto i campioni d'acqua sono stati prelevati lungo la colonna d'acqua compresa tra la superficie e 20 m, sia a profondità discrete, sia in modo integrale.

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

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

La distribuzione spazio-temporale dei valori di clorofilla, che rispecchia e conferma l'andamento dei popolamenti fitoplanctonici rilevato nello strato 0-20 m (cfr. Fig. 6.2.1.), mette in evidenza la principale fase di sviluppo delle diatomee all'inizio d'aprile, che ha riguardato quasi tutta la colonna d'acqua campionata: le concentrazioni hanno raggiunto il massimo negli strati superficiali, e sono risultate più elevate nel bacino nord (Gandria: 32 mg m^{-3})

rispetto a quello sud (Melide: 20 mg m^{-3} ; Figino: 27 mg m^{-3}). Un secondo momento di crescita consistente dei valori ha avuto luogo in luglio, ma limitatamente al bacino sud: la distribuzione verticale lungo la colonna d'acqua dei valori evidenzia la presenza di concentrazioni particolarmente elevate attorno ad 8 m di profondità a Melide (21 mg m^{-3}), ed in superficie a Figino (22 mg m^{-3}).

A titolo di confronto, nella figura 6.3.2. è riportato il dettaglio grafico delle isolinee dei valori di torbidità lungo la colonna d'acqua dell'epilimnio (strato 0-20 m; cfr. 5.2.): i dati di base sono stati rilevati con frequenza quindicinale, con un intervallo di misura di 0.5 m. Questo parametro permette di rilevare la distribuzione lungo la colonna d'acqua del materiale particellato, e quindi anche della biomassa fitoplanctonica. Nel corso del 2008 l'andamento dei valori di torbidità riprende solo in parte le principali fasi di sviluppo dei popolamenti algali, in quanto il segnale corrispondente alla componente algale è risultato spesso "disturbato" dalla presenza di particelle detritiche e/o alloctone nell'epilimnio lacustre. Particolarmente significativa, in questo senso, è la presenza dei segnali di forte torbidità dopo gli eventi alluvionale che si sono susseguiti durante il periodo vegetativo.

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

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

L'andamento generale presenta una notevole similitudine con le curve della biomassa fitoplanctonica (Fig. 6.2.1.).

Le punte primaverili, che rappresentano in tutte le stazioni il massimo annuo (Gandria: 19 mg m^{-3} , Melide: 14 mg m^{-3} , Figino: 17 mg m^{-3}), coincidono con la fase iniziale di sviluppo primaverile del fitoplancton. Nel corso del secondo semestre, nel bacino nord i valori si sono mantenuti abbastanza stabili e contenuti, mentre in quello sud essi sono risultati mediamente più elevati, presentando oscillazioni più marcate.

Sia i **valori medi annui** di clorofilla del 2008 (**Gandria: 6.8 mg m^{-3} , Melide: 6.5 mg m^{-3} , Figino: 7.9 mg m^{-3}**) che quelli massimi si situano nell'ambito di variazione degli ultimi anni, per tutte le stazioni campionate.

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 [8]. L'applicazione di tale relazione richiede condizioni d'irraggiamento solare sufficienti durante il periodo di misura in situ. Per una corretta stima dei dati

mensili di produzione risulta quindi opportuno confrontare le condizioni d'irraggiamento rilevate durante le giornate di prelievo con il corrispondente valore medio mensile. Come si può osservare dalla figura 6.4.1., le misure effettuate durante il periodo vegetativo (marzo-ottobre) sono coincise con giornate d'irraggiamento particolarmente deficitario unicamente in aprile a Figino, ed in maggio a Gandria; in tutti gli altri casi, fatta eccezione per il mese di maggio, i valori sono risultati vicini o superiori al dato d'irraggiamento medio. Di conseguenza, per quanto si riferisce all'errore di stima legato alle condizioni d'irraggiamento fotosintetico, il valore di produzione primaria calcolato per il 2008 sarebbe da considerare sovrastimato a Gandria (circa +20%), e sottostimato nelle stazioni del bacino sud (Melide -10%; Figino -15%).

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

A Gandria l'andamento della trasmissione luminosa ha mostrato una rapida riduzione dei valori $Z_{1\%}$ solo alla fine di marzo, è aumentata per effetto del grazing del fitoplancton da parte dello zooplancton erbivoro in maggio-giugno, ed è nuovamente diminuita attorno alla profondità di 8-9 m tra luglio e settembre. Nelle stazioni del bacino sud la riduzione primaverile dello strato trofogeno è risultata meno marcata, ma in compenso i valori sono rimasti costantemente bassi durante il resto del periodo vegetativo, senza evidenziare fasi di marcato effetto grazing, soprattutto nella stazione di Figino.

La penetrazione massima della luce, che generalmente corrisponde al periodo invernale, ha raggiunto in gennaio la profondità di 24.1 m a Gandria, di 19.5 m a Melide, e unicamente 16.0 m a Figino.

Come negli anni precedenti, si conferma la tendenza decrescente del valore medio annuo di $Z_{1\%}$ lungo l'asse di deflusso del lago, in accordo con il gradiente di potenziale trofico riscontrato nello strato produttivo (Gandria: 13.8 m, Melide: 12.4 m, Figino: 10.2 m).

- Produzione giornaliera ed annua

Nella Fig. 6.4.3. è riportato l'andamento dell'attività fotosintetica del fitoplancton, rilevata mensilmente nelle tre stazioni principali del lago nel corso del 2008. 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, $g\ C\ m^{-2}\ d^{-1}$), sia quello della produttività all'interno dello strato trofogeno, corrispondente alla rata d'assimilazione del carbonio per unità di volume (linea tratteggiata, $g\ C\ m^{-3}\ d^{-1}$). Quest'ultimo dato permette di confrontare ambienti trofici differenti in quanto indipendente dallo spessore dello strato produttivo.

L'inizio dell'attività produttiva è avvenuto ad aprile in tutte le stazioni: per il bacino nord (Gandria) il valore misurato in questo mese rappresenta il massimo

annuo ($1.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), risultato solo di poco superiore alla punta estiva d'agosto ($1.7 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Nel bacino sud la fase primaverile di produzione si è protratta fino a maggio, ed ha avuto il suo massimo in quest'ultimo mese a Melide ($1.8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), mentre già in aprile a Figino ($2.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Nel corso dell'estate l'attività produttiva del fitoplancton ha fatto registrare una forte ripresa in tutto il lago: a Gandria, come detto, in agosto, mentre a Melide ($2.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e Figino ($1.7 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) già nel corso del mese di luglio. Il valore giornaliero misurato a Melide costituisce il massimo annuo per l'intero corpo lacustre durante il 2008, ed uno dei più elevati rilevati negli ultimi anni.

Complessivamente, dopo il calo dell'anno precedente, la **produzione areale annua** del 2008 è tornata su valori molto simili nelle tre stazioni, assestandosi attorno al valore medio dell'ultimo quinquennio (**Gandria: 331; Melide: 326; Figino 338 $\text{g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$**). Tenuto conto della correzione richiesta dalle condizioni d'irraggiamento solare nei giorni di misura, la stima del dato annuo di produzione porterebbe a circa $270 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ per Gandria, 350 per Melide, e 330 per Figino.

Anche il dato di **produttività annua** del 2008 ha fatto registrare un riavvicinamento delle tre stazioni rispetto all'anno precedente, (**Gandria: 34; Melide: 32; Figino: 38 $\text{g C m}^{-3} \text{ a}^{-1}$**).

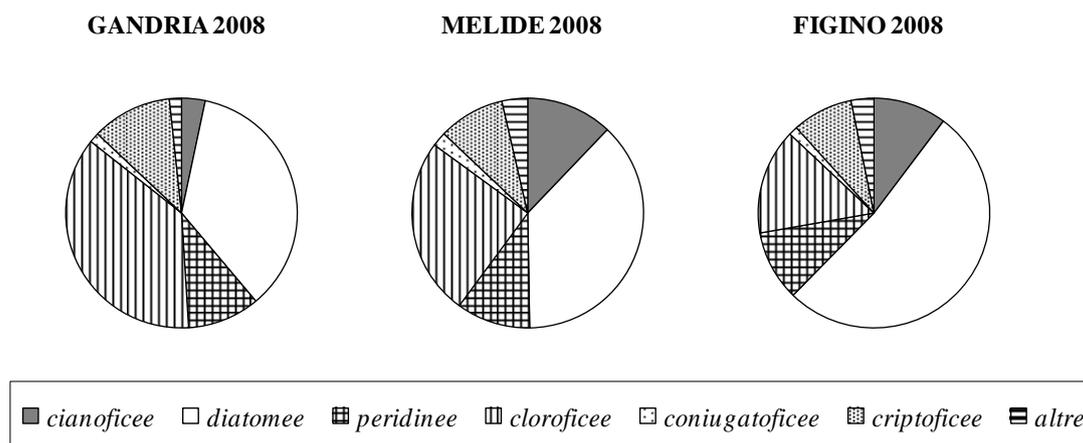


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2008: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.

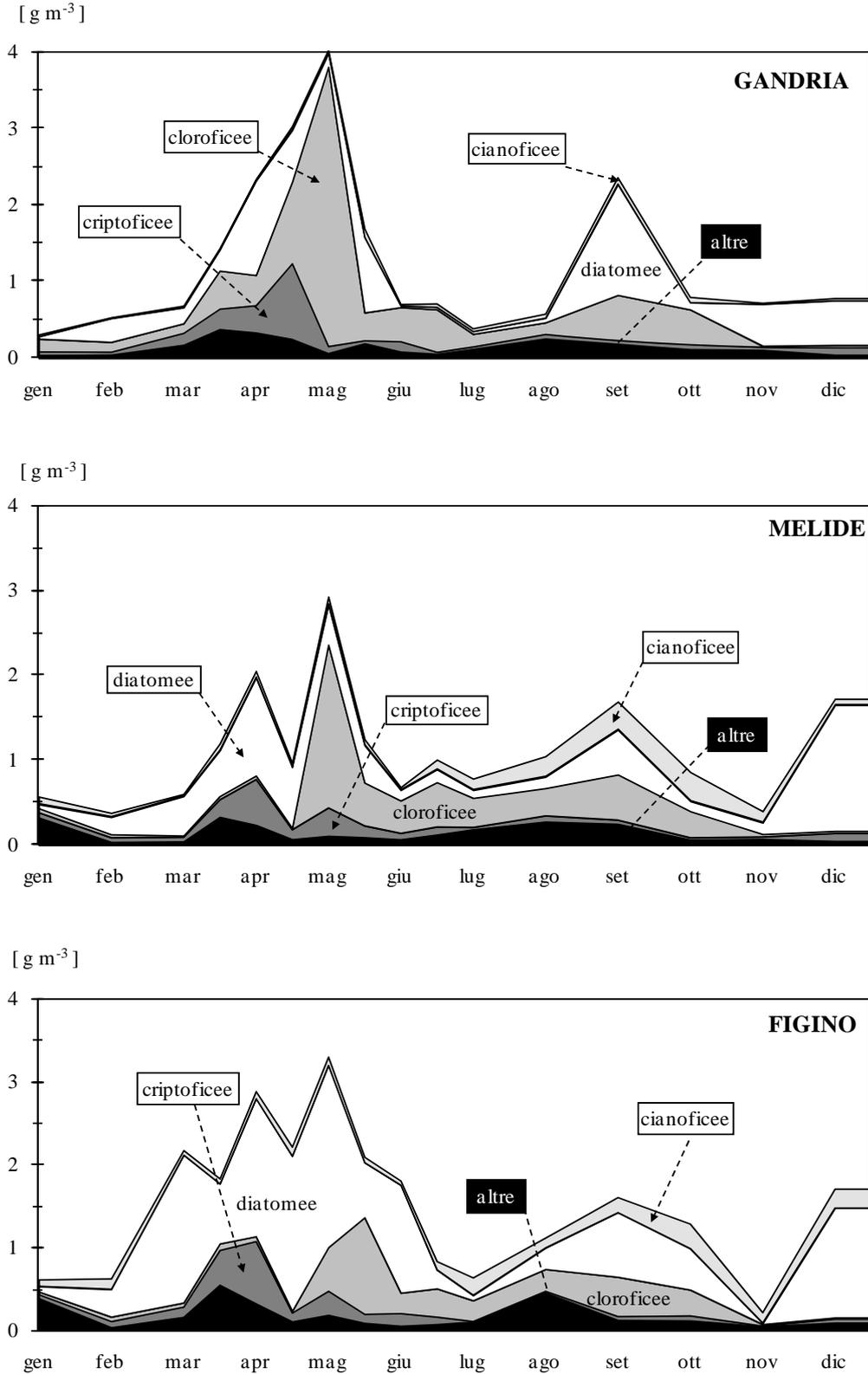


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2008: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

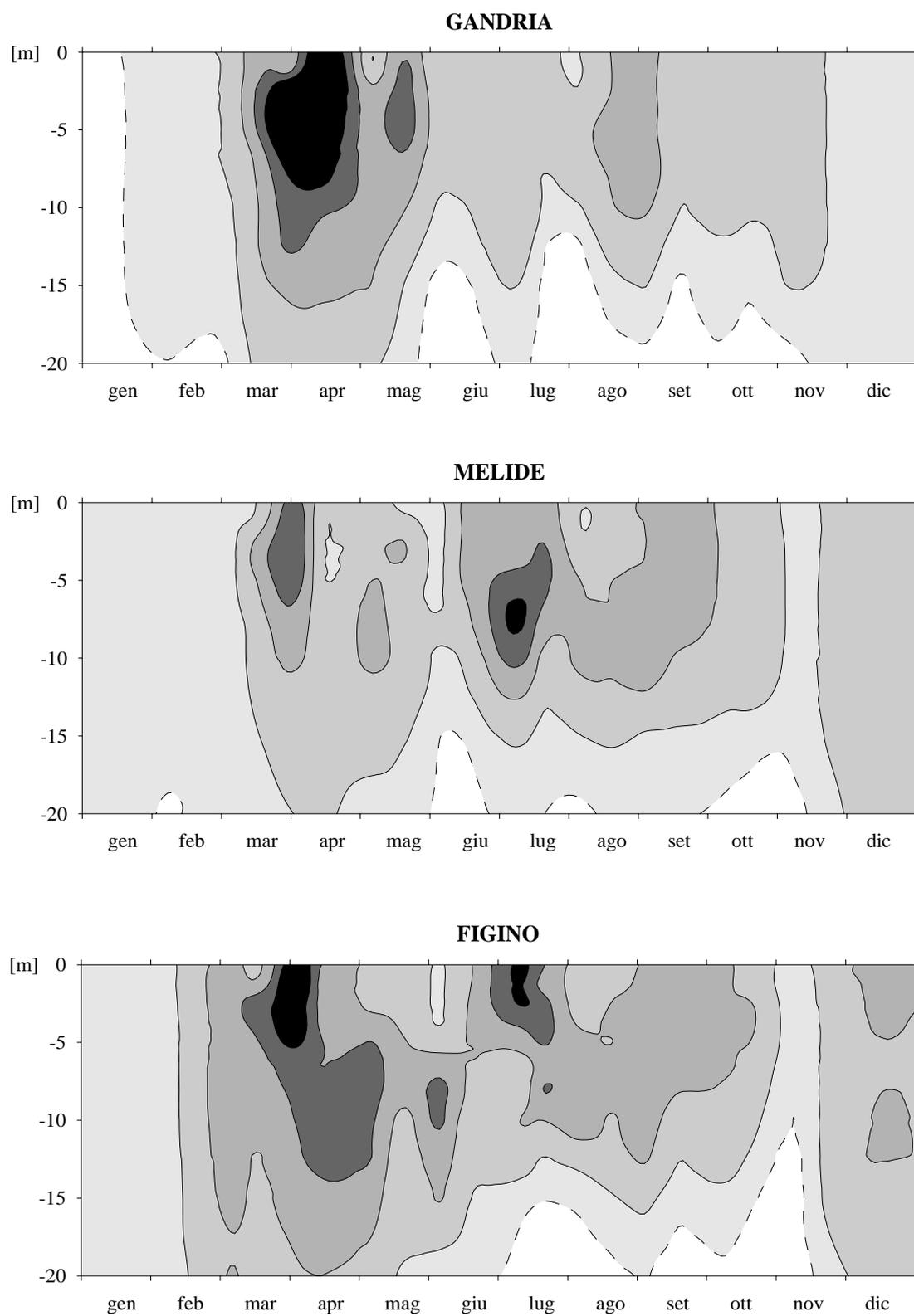


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2008: isolinee della clorofilla *a* [mg m^{-3}]

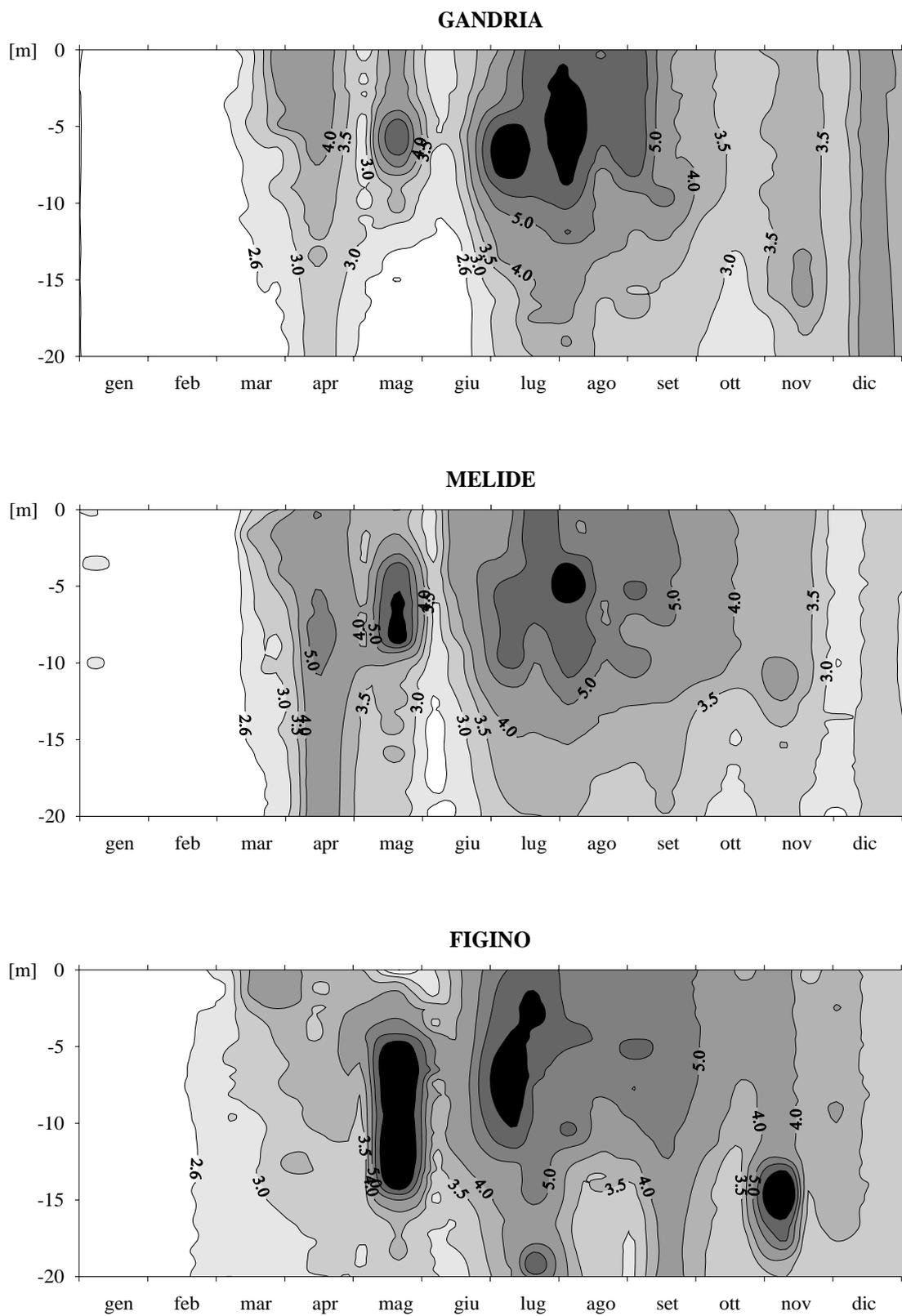


Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2008: isolinee dei valori di torbidità dell'acqua [FTU]

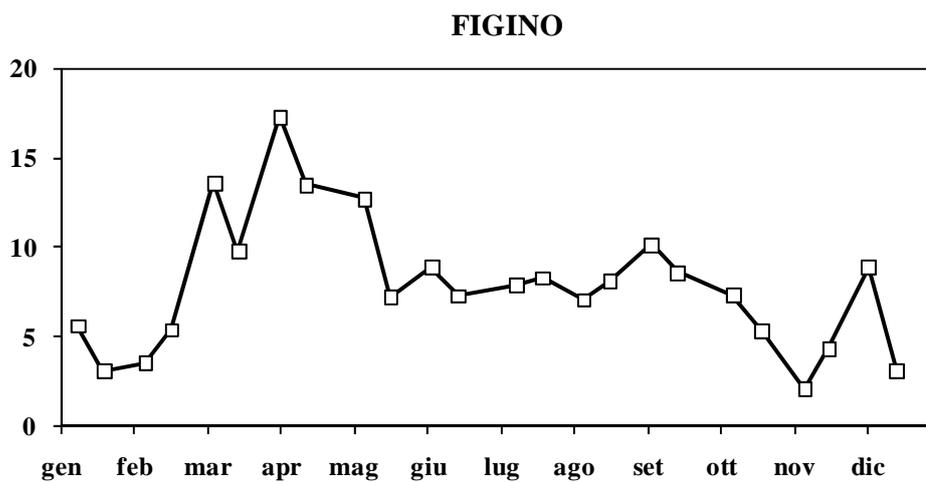
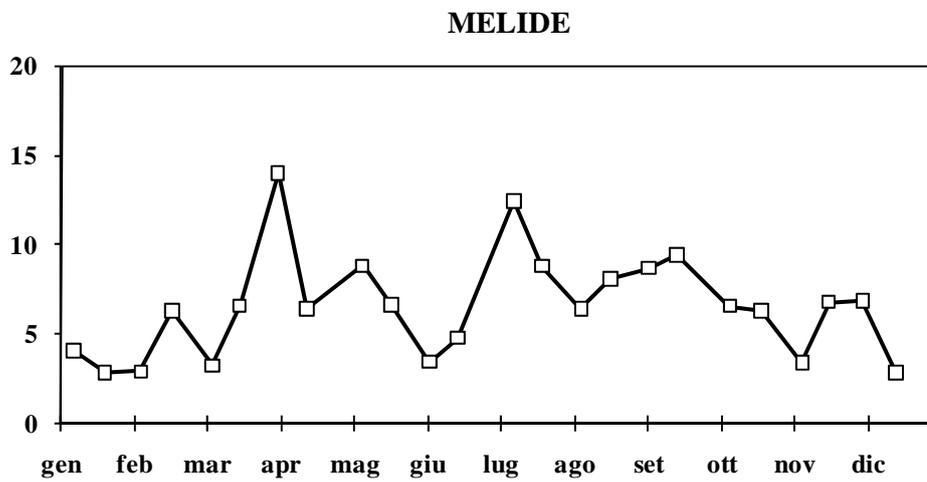
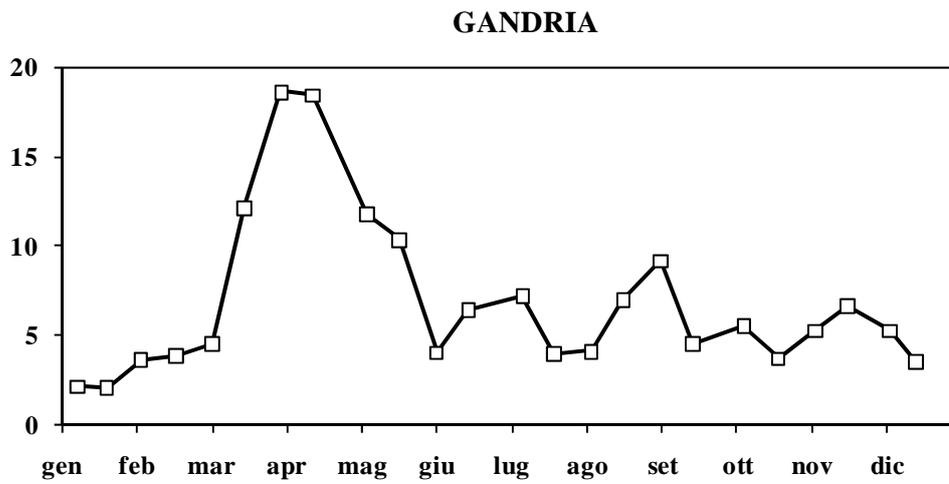


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2008: andamento della clorofilla *a* nello strato 0-20 m. [E m⁻² d⁻¹]

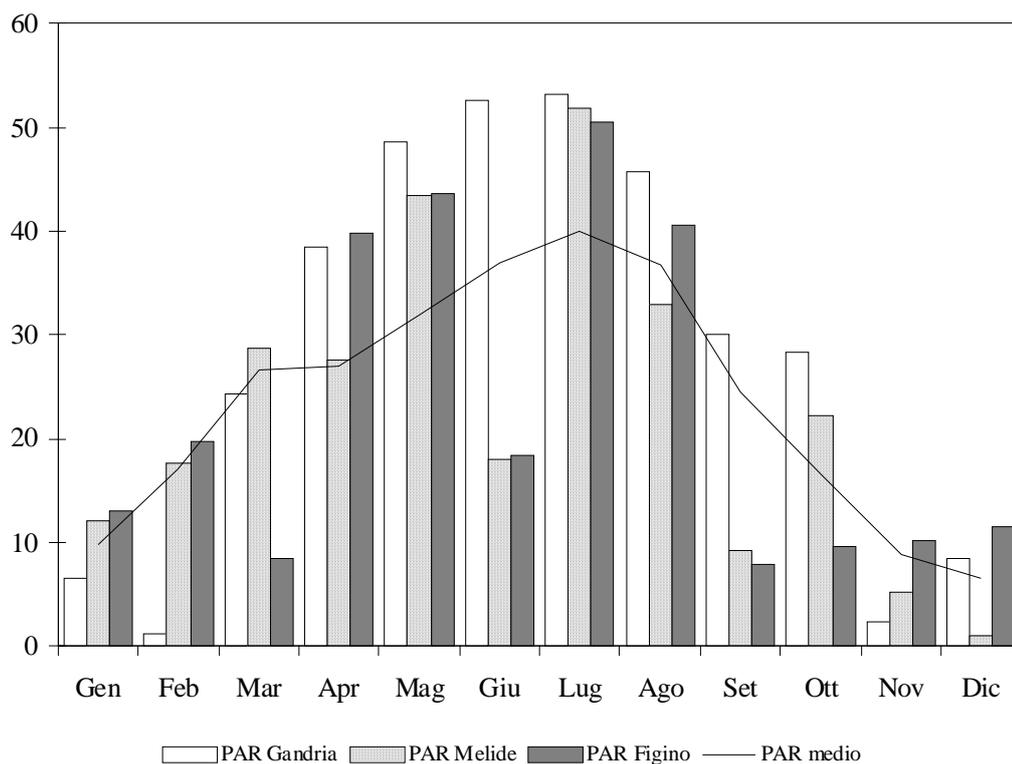


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2008: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

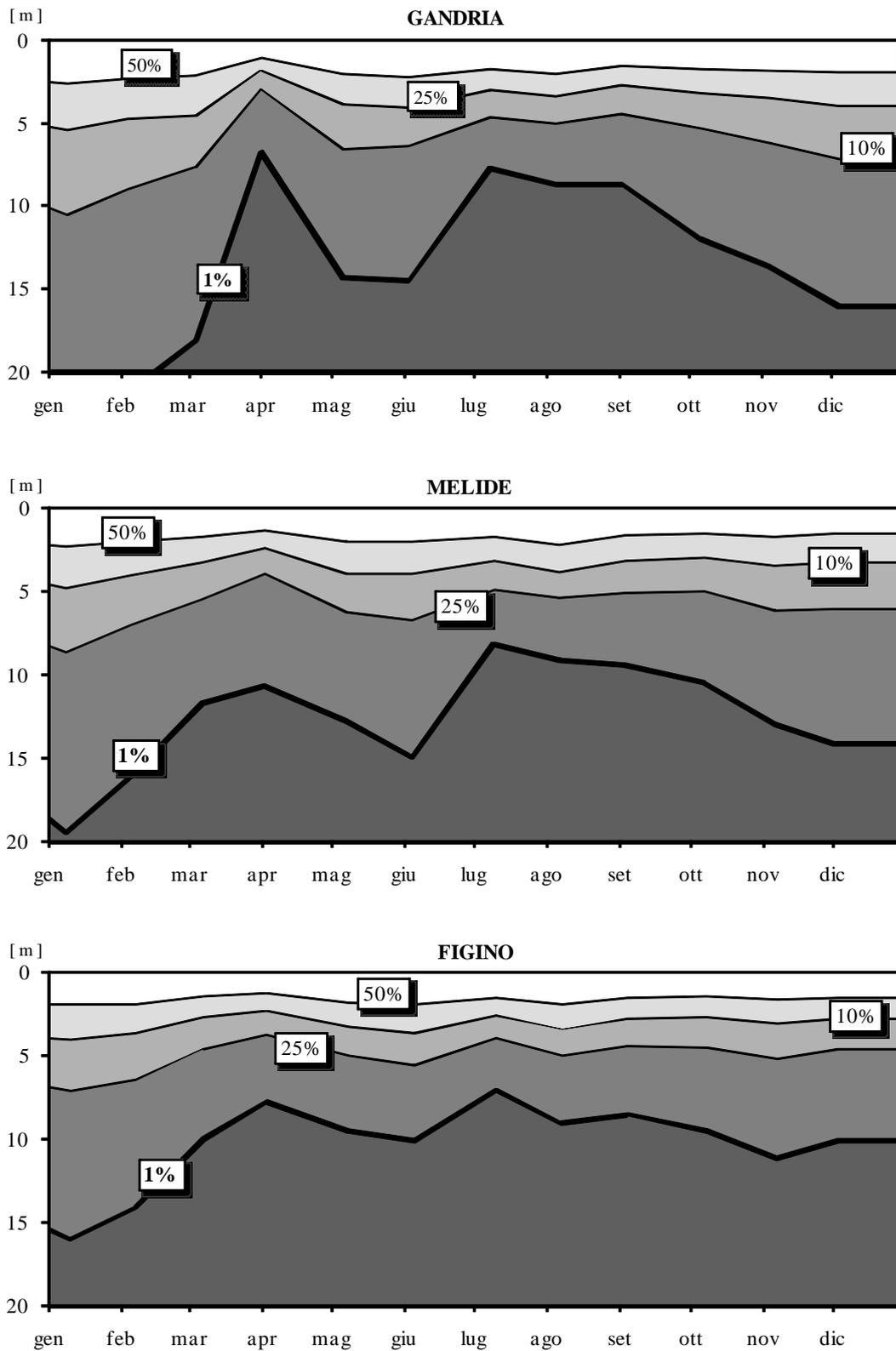


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2008: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

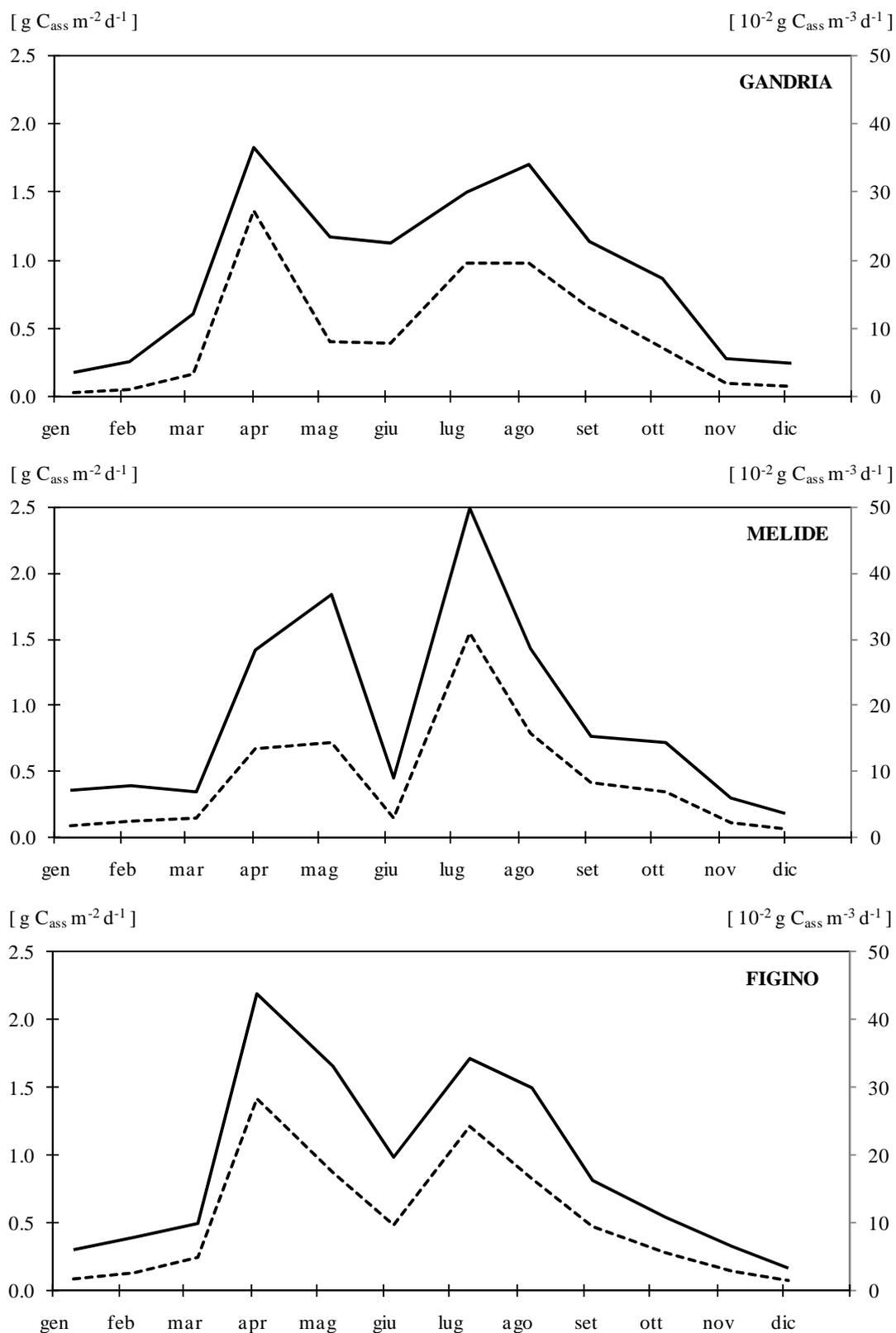


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2008: andamento della produzione primaria areale (linea continua; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$).

7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici sono proseguite nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano nel corso del 2008. 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; [9]).

7.1. Densità dei popolamenti

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

Sulla base della media annuale, il numero totale d'individui è risultato in ulteriore calo in tutto il lago, assestandosi attorno a valori simili nei due bacini lacustri (0.89×10^6 ind m^{-2} a Figino; 0.93×10^6 ind m^{-2} a Gandria; 0.97×10^6 ind m^{-2} a Melide).

L'andamento stagionale presenta a Gandria i maggiori valori di densità in primavera, dapprima con un importante contributo di copepodi ciclopidi, cui hanno fatto immediatamente seguito i cladoceri erbivori. Quest'ultimi si sono mantenuti abbondanti durante il resto del periodo vegetativo, mentre i copepodi (sia ciclopidi che calanoidi) non hanno più fatto registrare momenti di crescita rilevanti. A Melide il quadro dei tre gruppi considerati ricalca quello di Gandria, anche se con un minor contributo dei in primavera, ed uno maggiore verso la fine dell'estate. Per quanto riguarda il popolamento dei cladoceri, la fase di massimo sviluppo primaverile ha avuto luogo con un leggero anticipo rispetto a Gandria, mentre quella estiva con un leggero ritardo. A Figino i valori di densità dei copepodi presentano una fase di sviluppo piuttosto modesta in primavera, seguita da un andamento costantemente su livelli modesti durante il resto del periodo vegetativo; anche i cladoceri sono risultati meno abbondanti, e si sono sviluppati in maniera più irregolare.

Come di consueto i **copepodi** hanno costituito la frazione più abbondante del lago, grazie anche all'elevato numero di forme larvali (naupli) e giovanili (copepoditi). Fra i ciclopidi, *Cyclops abyssorum* costituisce il popolamento principale del lago, ed ha raggiunto il suo massimo in aprile. Per quanto riguarda *Thermocyclops crassus*, i valori di densità più elevati sono stati misurati all'inizio di settembre in tutte le stazioni, mentre *Mesocyclops leuckarti* si è confermato su livelli molto modesti.

L'unico rappresentante dei calanoidi, *Eudiaptomus gracilis*, è risultato sempre presente in tutto il lago a livelli di densità piuttosto costanti. Le fasi di sviluppo

più marcate si sono manifestate in momenti differenti nelle tre stazioni lacustri: a Gandria da giugno ad agosto, a Melide in giugno, a Figino in giugno e luglio ma con valori nettamente più modesti.

Il periodo di maggior sviluppo dei **cladoceri** si è avuto, come di consueto, a partire dal mese di maggio, dopo la prima importante fase di crescita del fitoplancton. Fra le specie più abbondanti si ritrovano *Daphnia hyalina*, il cui popolamento ha raggiunto il suo massimo in maggio, con valori decrescenti lungo l'asse di deflusso del lago (a Gandria è stata addirittura superata la soglia di 1 milione di individui per m⁻²), e *Diaphanosoma brachiurum*, con massimi in agosto-settembre, e valori medi annui in crescita da Gandria a Figino. Accanto a queste due specie tradizionali negli ultimi anni si è affiancata *Eubosmina coregoni*, il cui popolamento nel 2008 si è sviluppato soprattutto in settembre, e nel bacino nord.

Il popolamento di *Leptodora kindtii*, l'unico cladocero carnivoro del lago, si è confermato su livelli piuttosto modesti, con valori di un certo rilievo unicamente a Gandria, tra luglio ed agosto.

7.2. Biomassa zooplanctonica

Nonostante il calo numerico dei popolamenti, il 2008 ha presentato valori **medi annui** di biomassa solo di poco inferiori agli anni precedenti nel bacino nord (**Gandria: 4.5 g m⁻²**) ed a **Melide (4.3 g m⁻²)**, ma in netto calo a **Figino (3.9 g m⁻²)**.

Come illustrato dall'andamento stagionale dei valori (Fig. 7.2.), i massimi annuali sono stati misurati in occasione dei campionamenti di maggio, in occasione delle punte di sviluppo di *Daphnia hyalina*, e sono risultati tutti molto elevati (Gandria: 12.6 g m⁻²; Melide: 10.9 g m⁻²; Figino: 9.9 g m⁻²).

Nelle successive fasi di sviluppo, già a partire da luglio, è progressivamente andato crescendo il contributo del popolamento di *Diaphanosoma brachiurum* alla biomassa zooplanctonica.

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

Dal confronto dei valori medi annui, si osserva che nel 2008 la componente erbivora è stata più abbondante a Gandria (3.3 g m⁻²), rispetto a Figino (3.0 g m⁻²) ed a Melide (2.5 g m⁻²), mentre i carnivori risultano sostanzialmente costanti in tutte le stazioni (1.2-1.4 g m⁻²). La curva della successione temporale delle due componenti (Fig. 7.3.) permette di evidenziare le differenze nella dinamica stagionale dei due bacini del lago. A partire dal mese d'aprile il bacino nord, presenta una costante predominanza della componente erbivora (in media attorno al 75%), costituita in parti uguali da copepodi e cladoceri tranne durante il mese di maggio (ca. 75% di cladoceri).

Nel bacino sud il predominio degli erbivori è risultato meno marcato (in media a Melide 70%, a Figino 65%), con i carnivori che si sono avvicinati al 45% in settembre a Melide ed in maggio a Figino. All'interno della componente

erbivora, inoltre, i cladoceri hanno costituito una frazione mediamente più ridotta, giungendo al massimo a costituire il 65% (Melide) rispettivamente il 55% (Figino) in occasione della principale fase di sviluppo, in maggio.

Complessivamente i dati raccolti nel corso del 2008 confermano le differenze nella struttura trofica delle tre stazioni campionate, evidenziando però una maggiore analogia tra le stazioni di Gandria e Melide, con una quota di produttori primari (fitoplancton) attorno al 55% e di consumatori primari (erbivori) attorno al 32%, rispetto alla stazione di Figino, che ha presentato rispettivamente il 64% di biomassa fitoplanctonica ed il 23% di biomassa erbivora.

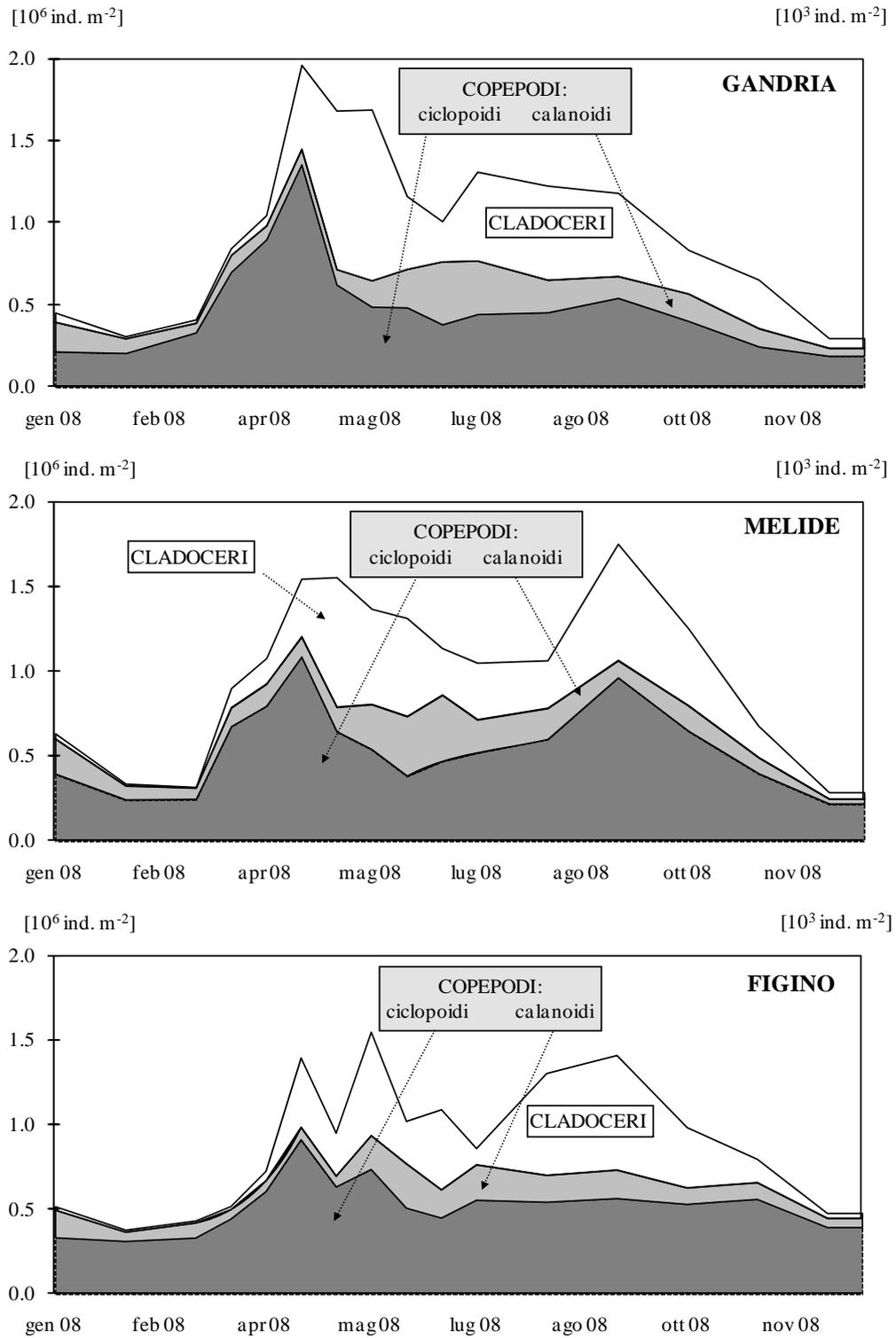


Fig. 7.1. Lago di Lugano, 2008: andamento della densità cumulata dello zooplankton da crostacei.

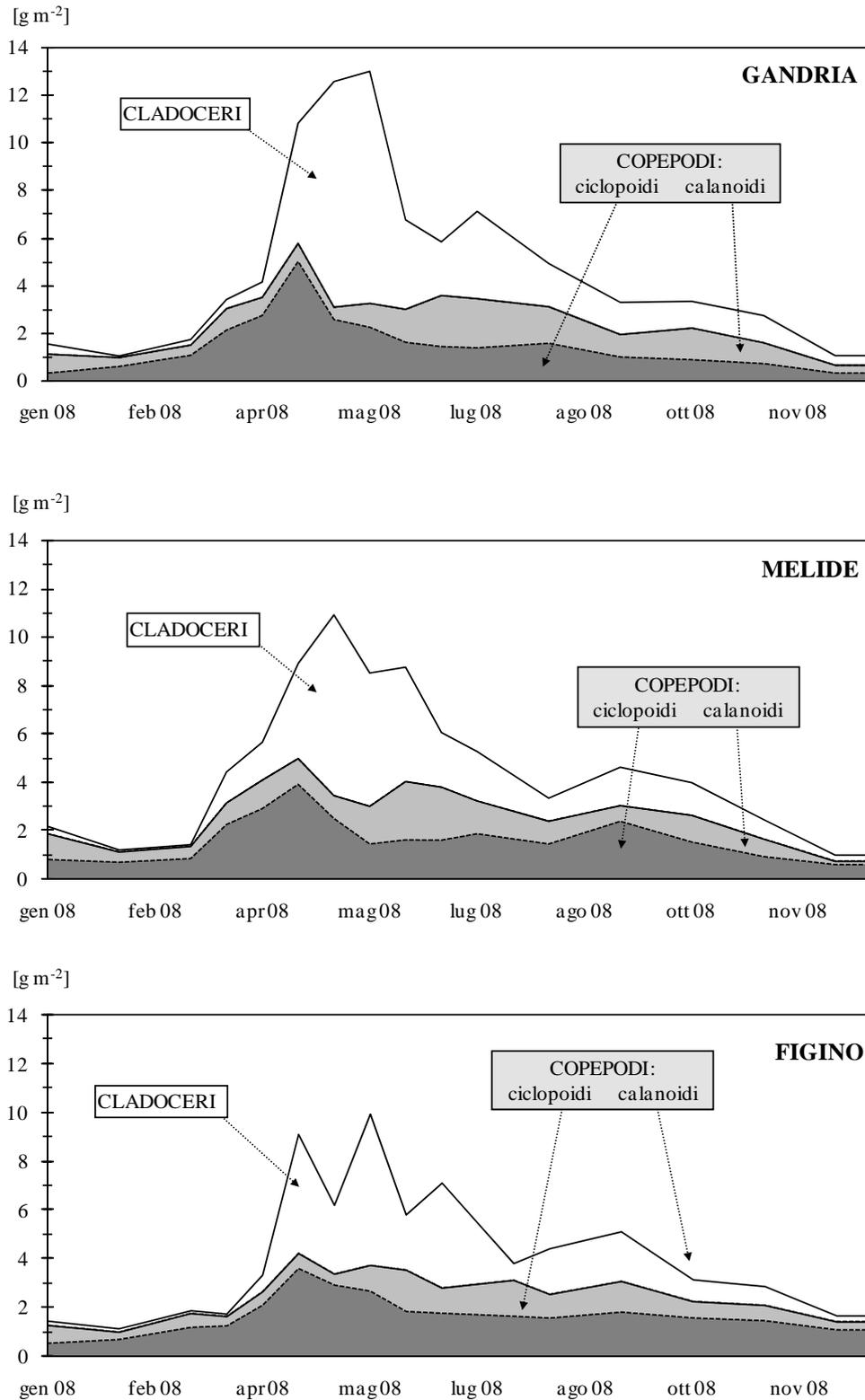


Fig. 7.2. Lago di Lugano, 2008: andamento della biomassa cumulata dello zooplancton da crostacei (peso secco).

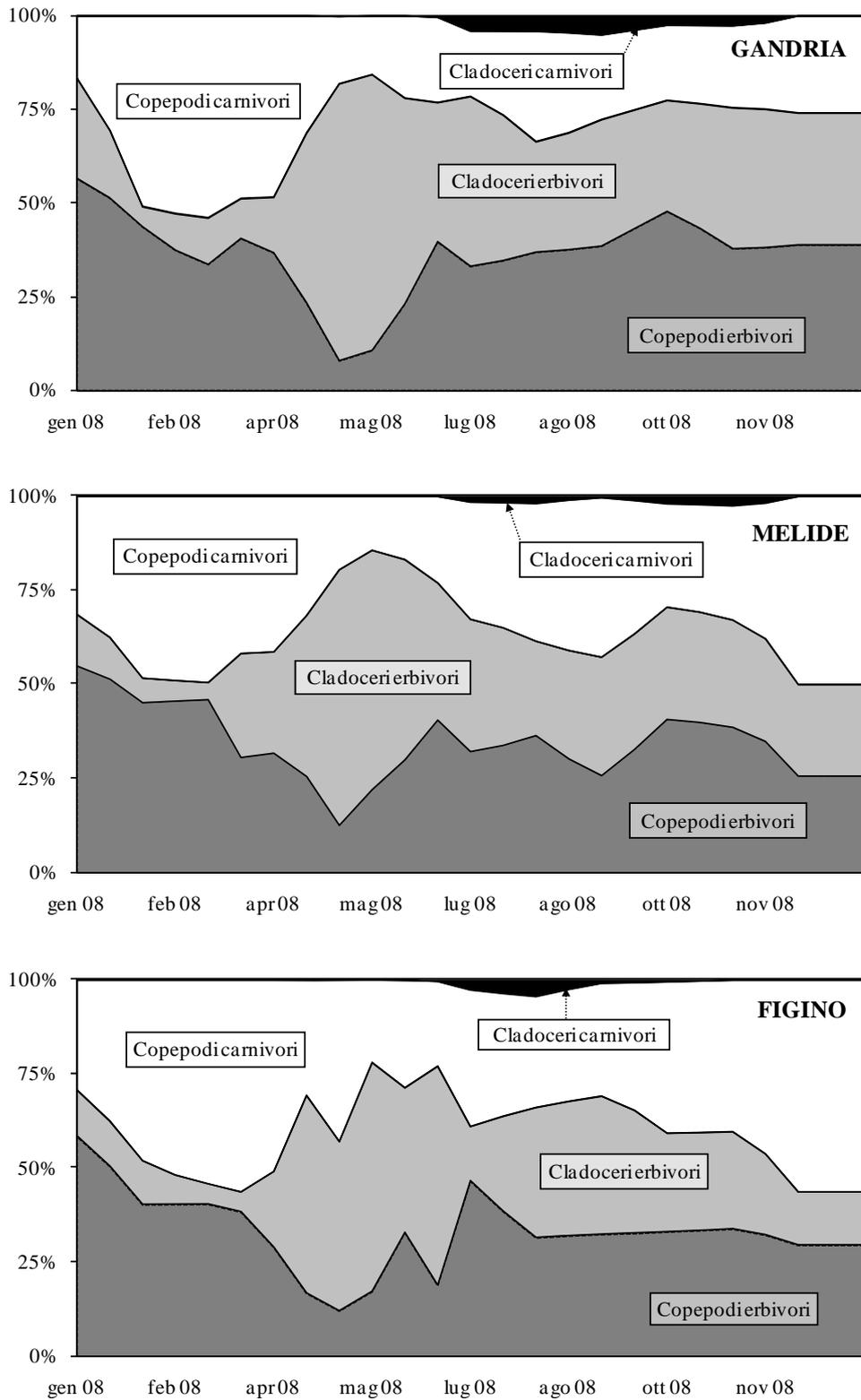


Fig. 7.3. Lago di Lugano, 2008: andamento percentuale della biomassa dello zooplankton erbivoro e carnivoro (peso secco).

8. CONCLUSIONI

Dopo la dissoluzione della stratificazione meromittica del bacino nord, verificatasi nell'inverno 2004-2005 ed il completo rimescolamento della colonna d'acqua verificatosi nell'inverno successivo, il Lago di Lugano è entrato in una nuova tappa del suo cammino verso il recupero completo. Se nel bacino nord la concentrazione di fosforo totale risulta in continuo calo a partire dal 2008 in quello sud si sta per contro assistendo ad un progressivo aumento dei valori che lo sta allontanando dagli obiettivi qualitativi fissati per il suo recupero. Nel bacino nord dopo l'ossigenazione degli strati profondi osservata nel 2008 l'anossia si è ristabilita in maniera permanente sotto i 60 m.

Le abbondanti precipitazioni (+36% a Lugano) si sono manifestate in un marcato aumento dei valori di portata dei tributari (da +25% a +85%). Gli apporti esterni di nutrienti hanno risentito di quest'aumento di deflusso, facendo segnare rispetto al quinquennio precedente (2003-2007) un aumento del 30% nel bacino nord e del 35 % in quello sud. Il Vedeggio con 9.4 t P a^{-1} , è il corso d'acqua che ha convogliato a lago il carico maggiore di fosforo totale, seguito dagli apporti stimati degli scaricatori a lago e degli abitanti rivieraschi (8.8 t P per il bacino nord e 8.7 t P per il bacino sud). Il carico complessivo annuo di fosforo, che comprende la quota relativa ai tributari campionati e la quota non campionata, risulta ancora di molto superiore al valore critico ammissibile, sia per il bacino nord (+ 66%) che per il bacino sud (+ 133%).

Alcuni corsi d'acqua tributari del lago hanno presentato condizioni qualitative critiche, tra questi il fiume Bolletta in particolare per quanto concerne le concentrazioni di azoto ammoniacale e nitroso, il fosforo ortofosfato e totale, la richiesta biochimica d'ossigeno ed il carbonio organico disciolto. Nonostante il suo deflusso relativamente modesto questo corso d'acqua riversa nel lago, a tutt'oggi, il secondo carico di fosforo più elevato fra i tributari campionati (7.6 t P a^{-1}) dopo il Vedeggio.

A fronte dell'impegno profuso dai vari Enti nel ridurre gli apporti di nutrienti a lago si rilevano tuttavia condizioni di criticità nell'ultimo tratto di fiume a valle degli scarichi degli impianti di depurazione. Ciò richiama l'esigenza di uno sforzo supplementare d'indagine, allo scopo di migliorare sia l'identificazione delle fonti di carico, sia la quantificazione dei carichi veicolati. In quest'ambito è in corso uno studio specifico su Cassarate, Vedeggio e Laveggio con l'obiettivo di poter meglio quantificare la quota di carico esterno di fosforo attribuibile alle diverse fonti, oggi stimate sulla base di dati bibliografici.

Nel bacino sud il tenore di ossigeno è risultato critico ($< 4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^3$) per tutto l'anno sotto i 40-60 m di profondità in seguito al solo parziale rimescolamento invernale delle acque. Nel bacino nord questo limite ipossico si è mantenuto a 50 m, a riprova del progressivo reinstaurarsi della meromissi.

Per quanto concerne le concentrazioni di fosforo totale (media annua ponderata sul volume) nel 2008 si presentavano in diminuzione lungo l'asse di deflusso delle acque del lago (Gandria: 80 mg P m^{-3} ; Melide: 54 mg P m^{-3} ; Figino: 39 mg P m^{-3}). La differente disponibilità di fosforo ha condizionato la fase di sviluppo algale: anche se in primavera la prima fioritura ha ridotto di oltre un terzo il

fosforo disponibile, durante il successivo periodo vegetativo le concentrazioni sono risultate consistenti grazie agli apporti esterni legati ai numerosi eventi alluvionali. Sotto quest'aspetto, il monitoraggio dei flussi interni di fosforo rappresenta un elemento fondamentale ai fini di una corretta interpretazione dell'evoluzione trofica di questo bacino [10]. Malgrado il carico attuale si avvicini al valore critico, la particolare conformazione del bacino nord e l'elevato contenuto ipolimnico di fosforo fanno sì che il raggiungimento della soglia prevista di 30 mg P m^{-3} richiederà più tempo rispetto al bacino sud. In quest'ultimo la presenza di fonti di carico esterne più consistenti e regolari (scarichi dei maggiori impianti di depurazione) rispetto al bacino nord ha verosimilmente permesso d'instaurare nello strato produttivo superficiale condizioni trofiche più favorevoli rispetto al bacino nord, consentendo ai popolamenti algali di svilupparsi in misura più abbondante.

Con l'obiettivo di ridurre ulteriormente gli apporti esterni di fosforo rimane attuale l'esigenza di procedere all'eliminazione delle immissioni provenienti dagli abitanti rivieraschi e di mantenere un'alta efficienza della rete delle canalizzazioni.

Il quadro della biocenosi planctonica del 2008 è caratterizzato da una generale ripresa dei valori di biomassa algale attorno ai livelli precedenti all'ultimo biennio (influenzato dagli eccezionali eventi di rimescolamento della colonna d'acqua nel bacino nord, nel corso degli inverni 2005 e 2006), alla quale non ha corrisposto però un incremento dello zooplancton erbivoro, tranne che per la frazione dei cladoceri nelle stazioni di Gandria e Melide.

Nel bacino nord, lo scarso rimescolamento invernale delle acque ha limitato l'afflusso di nutrienti algali dagli strati profondi, provocando un certo ritardo nell'inizio della fase vegetativa del fitoplancton. Le riserve alimentari sono state rapidamente consumate nel corso del periodo primaverile, in seguito allo sviluppo del popolamento di diatomee (*Aulacoseria islandica ssp. helvetica*, *Fragilaria crotonensis*), e successivamente, all'eccezionale fase di crescita di *Pandorina morum* (cloroficee). Le intense precipitazioni che hanno caratterizzato il periodo estivo hanno poi favorito una marcata ripresa dei valori di biomassa (diatomee) nel corso del mese di settembre.

Nel bacino sud è risultata molto ridotta la fase di sviluppo primaverile delle diatomee nella stazione di Melide, mentre a Figino, nel cui bacino confluiscono i carichi residui di importanti impianti di depurazione, essa è risultata più marcata e prolungata nel tempo.

Le specie zooplanctoniche erbivore hanno potuto beneficiare solo in parte dell'elevata disponibilità alimentare a motivo della scarsa edibilità delle specie planctoniche predominanti, fra cui in particolare le diatomee pennate coloniali. Le due principali specie di cladoceri filtratori (*Daphnia hyalina*, *Diaphanosoma brachiurum*) hanno raggiunto la fase di massimo sviluppo, la prima in maggio, la seconda in settembre. Grazie alle favorevoli condizioni alimentari, il popolamento di *Daphnia hyalina* ha fatto registrare valori di densità estremamente elevati, che nel bacino nord hanno addirittura superato la soglia di 1 milione di individui per m^2 .

In conclusione è possibile affermare che la qualità delle acque del Lago di Lugano, dopo aver toccato alla fine degli anni '70 il loro massimo grado d'eutrofizzazione, hanno progressivamente intrapreso il cammino verso uno

stato qualitativo più consono con le esigenze di risanamento previste. Dopo un fase di rapido miglioramento tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90 il lago ha mantenuto per un decennio un livello d'equilibrio trofico più accettabile e fruibile rispetto al passato. In seguito agli straordinari eventi di circolazione invernale degli ultimi due anni (2004-2005 e 2005-2006), il lago è entrato in una nuova tappa del suo lungo cammino verso il completo risanamento. L'andamento discordante del contenuto di fosforo totale nel lago, costante diminuzione nel bacino nord e progressivo aumento in quello sud, rende più che mai opportuno continuare a mantenere sotto stretto controllo, nei prossimi anni, l'evoluzione dell'ecosistema lacustre.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano l'Ufficio federale dell'ambiente, l'Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera) ed i gestori degli impianti di depurazione di Lugano, Mendrisio, Pian Scairolo e Cassarate per la cortese fornitura dei dati.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SPINEDI F., 1991. Il clima del Ticino e della Mesolcina con accenni di climatologia generale. Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia, No. 167; Zurigo.
- [2] SPINEDI F., 2007. Stato meteorologico 2008. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 95: 109-110.
- [3] Istituto Scienze della Terra, 2008. Eventi temporaleschi luglio 2008, Rapporto interno IST.
- [4] Ufficio dei corsi d'acqua – Ufficio pericoli naturali, Cantone Ticino. Eventi meteorologici estate 2008 – Analisi quantitativa, inquadramento statistico, valutazione dei danni.
- [5] CIP AIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere); 1994. Controllo dei carichi di fosforo gravanti sui corpi idrici comuni italo-svizzeri. Gruppo di Lavoro “Interventi di risanamento”; Gruppo di lavoro “Ricerca e stato delle acque”; Milano.
- [6] LEHMANN, M.F., S.M. BERNASCONI, J.A. MCKENZIE, A. BARBIERI, M. SIMONA & M. VERONESI, 2004. Seasonal variation of the ¹³C and ¹⁵N of particulate and dissolved carbon and nitrogen in Lake Lugano: Constraints on biogeochemical cycling in a eutrophic lake. *Limnol. Oceanogr.*, 49 (2):415-429.
- [7] HOLZNER, C.P., W. AESCHBACH-HERTIG, M. SIMONA, M. VERONESI, D.M. IMBODEN & R. KIPFER, 2009. Exceptional mixing events in Lake Lugano (Switzerland/Italy), studied using environmental tracers. *Limnol. Oceanogr.* 54 (4): 1113-1124.
- [8] GÄCHTER, R., 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion: Modelle und in-situ-Messungen. *Schweiz. Z. Hydrol.* 34:211-244.
- [9] 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.
- [10] SIMONA, M., 2003. Winter and spring mixing depths affect the trophic status and composition of phytoplankton in the northern meromictic basin of Lake Lugano. *J.Limnol.*, 62 (2): 190-206.

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

Segretariato:

ing. Giuseppe Amadore
c/o Regione Piemonte
Via Principe Amedeo, 17
I - 10123 Torino (Italia)
Tel: +39 011 432 16 12
Fax: +39 011 432 46 32
E-mail: cipais@regione.piemonte.it
www.cipais.org