

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

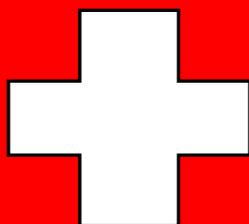
Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2008 - 2012
Campagna 2009

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 2009

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), 2010: *“Ricerche sull’evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2009.”*

Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 100 pp.

RIASSUNTO

Questo volume presenta i dati limnologici sul Lago di Lugano raccolti dall'Istituto scienze della Terra della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (IST-SUPSI) durante la campagna 2009, nell'ambito delle attività di ricerca promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS). Le informazioni ottenute nel corso del 2009 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 il 2009 è proseguita l'analisi dettagliata dei carichi esterni di nutrienti convogliati ai due bacini principali, in modo da verificare in quale misura le opere di risanamento abbiano contribuito al recupero del corpo idrico e da valutare lo scostamento dagli obiettivi di qualità prefissati dalla CIPAIS (carichi critici). Rispetto al quinquennio precedente (2003-2007), nel 2009 gli apporti di fosforo risultano in aumento del 20% nel bacino nord e del 45% in quello sud. Il Vedeggio ha contribuito a quest'aumento convogliando a lago il carico maggiore di fosforo totale (con 18.8 t P a^{-1}), anche se qualitativamente il fiume che mostra il carico areale più elevato è il Bolletta con $408 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

Per quanto concerne il chimismo lacustre, nel 2009 nel bacino sud è stata rilevata una concentrazione media sulla colonna di fosforo totale pari a 45 mg P m^{-3} , valore che ha interrotto la crescita osservata a partire dal 2003; nel corso dei prossimi anni andrà verificato se si è in presenza di una oscillazione interannuale o se si è verificata un'inversione di tendenza. 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 77 mg P m^{-3} . Nel 2009 in questo bacino, complice una discreta circolazione invernale, lo stato d'ossigenazione delle acque profonde è migliorato, con lo sprofondamento dell'isolinea di $1.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ (limite anossia) da 60 m a 110 m, mentre l'isolinea di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ (limite ipossia, soglia critica) è scesa da 50 m agli attuali 80 m. Nel bacino sud l'ipossia stagionale è risultata contenuta raggiungendo in dicembre 60 m a Melide e 40 m a Figino.

A livello del popolamento planctonico, il quadro del 2009 è caratterizzato dal perdurare della scarsità di cianofite in tutto il lago. I valori di biomassa fitoplanctonica, in cui spiccano quantitativamente le diatomee, risultano in marcata diminuzione rispetto all'anno precedente, in particolare a Gandria (-

40%); parallelamente si è assistito ad un significativo calo della componente erbivora della biomassa zooplanctonica.

Alla luce dei risultati ottenuti nel corso del 2009 si può sostenere 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 (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 delle acque profonde e sul tenore di fosforo.

S U M M A R Y

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during 2009 by the Institute of Earth Sciences of the University of Applied Sciences of Southern Switzerland (IST-SUPSI), in the frame of the research program promoted since 1978 by the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. Information obtained in 2009 allow 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 basins, in order to detect to what extent already realised sewer pipes 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 20 % in northern basin and of 45 % in the southern. River Vedeggio with 28.8 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: 408 mg P m⁻² a⁻¹.

As far as lake chemistry is concerned, in 2009 in southern basin a total phosphorous concentration over the entire water column of 45 mg P m^{-3} has been measured, interrupting in fact the progressive increase observed since 2003; during the following years it will be necessary to assess whether this was a simple interannual oscillation or an effective turnabout. In northern basin the 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 77 mg P m^{-3} . Thanks to the moderate 2009 circulation in this latter basin the oxygenation state of hypolimnic water has improved: the 1.0 mg P m^{-3} isoline (anoxia) has dropped from 60 m to 110 m depth, whereas the 4.0 mg P m^{-3} isoline (hypoxia, critical threshold) has moved from 50 m depth to the present 80 m. In the southern basin seasonal hypoxia did not exceed 60 m depth at Figino and 40 m at Melide.

The planktonic community has been characterised by the persistent scarcity of blue-green algae in the whole lake. Phytoplankton biomass, dominated by Diatoms, shows decreasing values with respect to the previous year, in particular at Gandria (-40%); at the same time significant reduction of the herbivorous component of zooplankton biomass was observed.

Considering the results obtained in 2009 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
RIASSUNTO - ABSTRACT	3
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 dei corsi d'acqua	23
3.2. Regime del livello lacustre	24
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, CHIMICO-FISICHE E CHIMICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	43
5.1. Trasparenza	43
5.2. Torbidità	43
5.3. Temperatura dell'acqua	44
5.4. Bilancio termico	44
5.5. Ossigeno disciolto	46
5.6. Valore pH ed alcalinità	46
5.7. Conducibilità elettrica specifica	47
5.8. Composti del fosforo	47
5.9. Composti dell'azoto	48
5.10. Silice	49
5.11. Manganese disciolto	49
5.12. Ferro disciolto	50
5.13. Solfuri	50
5.14. Metano	50
5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale	51

6.	<u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	75
6.1.	Struttura dei popolamenti	75
6.2.	Variazioni della biomassa	76
6.3.	Clorofilla	77
6.4.	Produzione primaria	79
7.	<u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	89
7.1.	Densità dei popolamenti	89
7.2.	Biomassa zooplanctonica	90
8.	<u>CONCLUSIONI</u>	95
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	98
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	99

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante la campagna d'indagine del 2009, secondo anno del settimo quinquennio di ricerche limnologiche sul Lago di Lugano, promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS).

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 trent'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 sul Lago di Lugano ed i suoi tributari costituisce una delle serie temporali d'indagine sui laghi profondi sudalpini fra le più lunghe e complete. Questa disponibilità d'informazione rappresenta un'occasione privilegiata per garantire anche in futuro una gestione integrata ed efficace delle problematiche ambientali che gravano sull'ecosistema lacustre.

La prosecuzione dell'attività di monitoraggio limnologico secondo le attuali direttive dalla CIPAIS 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 2009 sono depositati presso la Segreteria della CIPAIS.

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]
χ :	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⁻ :	solfo disciolto	[mg m ⁻³]
Mn ²⁺ :	manganese disciolto	[g m ⁻³]
CH ₄ :	metano	[g m ⁻³]
DOC :	carbonio organico disciolto	[g m ⁻³]
POC :	carbonio organico particellato	[g m ⁻³]
Q :	quantità di calore	[MJ m ⁻² d ⁻¹]

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).

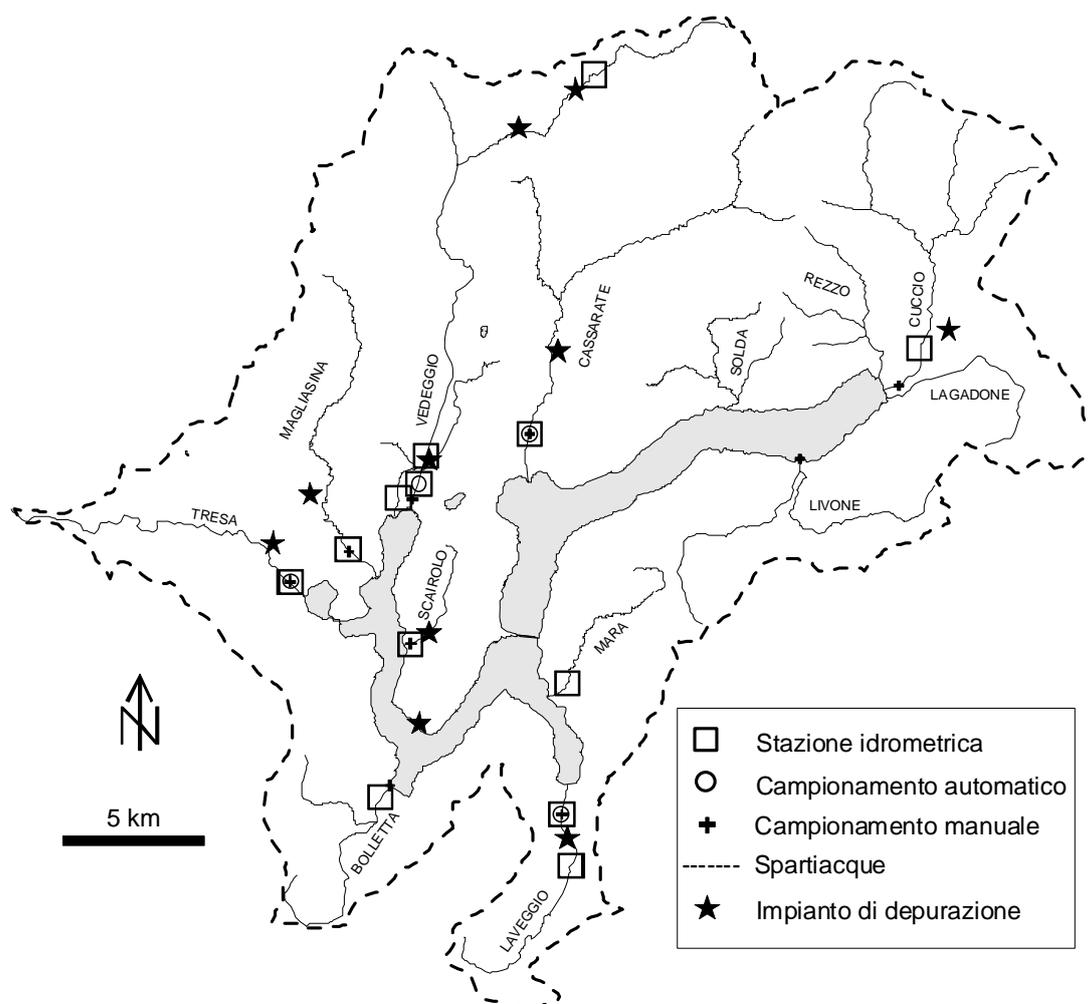


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

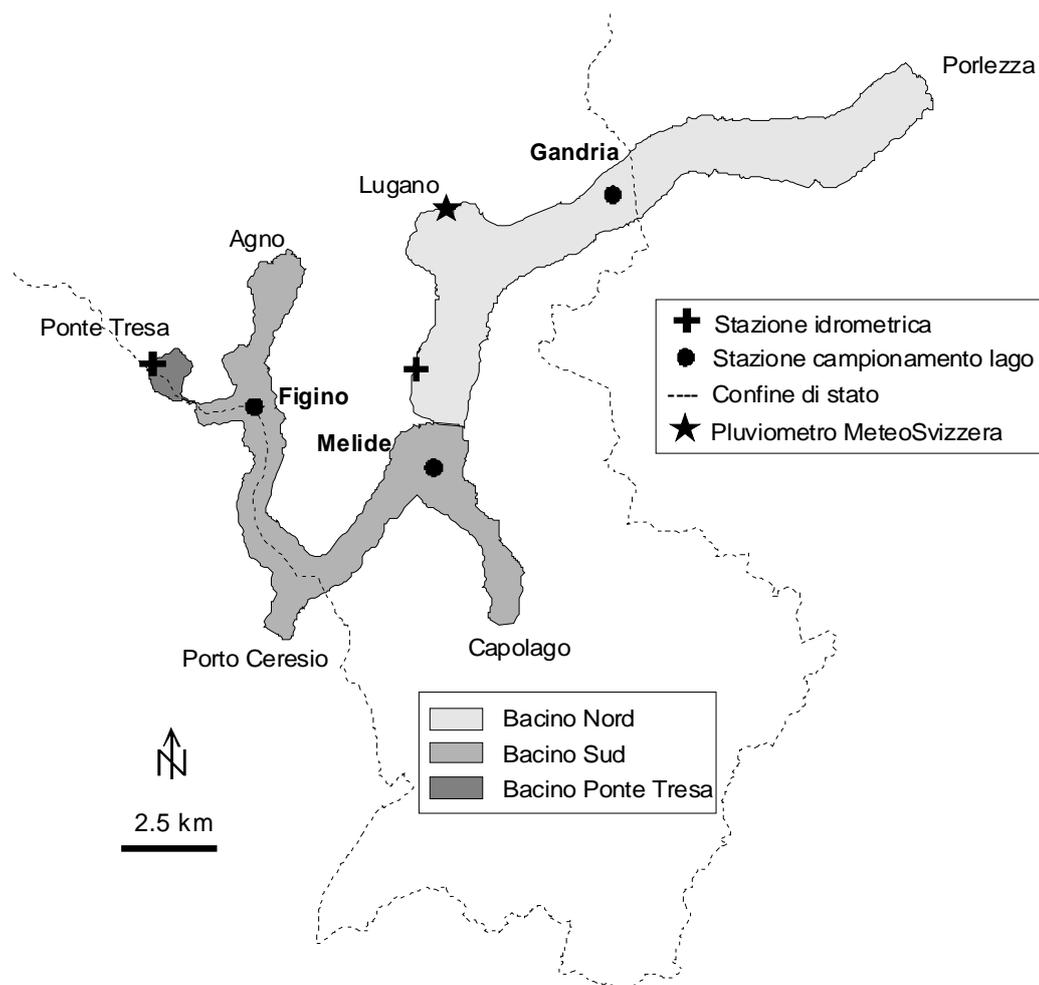


Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

STAZIONE	Longitudine	Latitudine	Longitudine	Latitudine
	CH		WGS84	
GANDRIA	722 219	96 234	9° 00' 56.35"	46° 00' 23.77"
MELIDE	717 735	88 919	8° 57' 24.44"	45° 56' 29.79"
FIGINO	712 855	90 653	8° 53' 39.45"	45° 57' 28.93"

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.

Oltre a queste indicazioni locali viene fornito un supplemento d'informazione sulla pluviometria del bacino imbrifero del Lago di Lugano. A tale scopo è stata utilizzata una parte dei dati rilevati dalla rete idro-pluviometrica cantonale ticinese, gestita dall'IST, e da una serie di ulteriori stazioni federali (MeteoSvizzera). I dati completi sono pubblicati nell'Annuario Idrologico Cantonale [1]

I valori relativi all'andamento mensile del 2009 sono stati confrontati, come di consueto, con quelli del periodo climatologico di riferimento 1961-90 [2] per quanto concerne i parametri della temperatura atmosferica e delle precipitazioni, mentre per la radiazione solare il confronto viene effettuato con la media del 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 2009 si è distinto per temperature ancora nettamente sopra la norma, valori di soleggiamento elevati, e quantitativi di precipitazioni di poco superiori alla media. [3].

2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2009	5108 MJ m ⁻²
Radiazione - media periodo 1980-2005	4328 MJ m ⁻²

La radiazione solare ha fatto registrare nel 2009 il dato più elevato dell'intero periodo d'osservazione, superando seppur di poco il precedente massimo, misurato nel 2007 (+0.7%). Si conferma pertanto la tendenza al rafforzamento della crescita dei valori, con l'andamento degli ultimi anni. Come illustrato dalla grafica dell'andamento dei valori (Fig. 2.1), tutti i mesi, tranne gennaio e novembre, hanno presentato valori superiori alla media: particolarmente rilevanti sono risultati gli incrementi relativi registrati in maggio (+36%) ed

ottobre (+31%), e quelli assoluti nei mesi centrali dell'anno (tra maggio ed agosto, da +82 a +186 MJ m⁻²). Di conseguenza anche quest'anno, come nei quattro precedenti, le condizioni di crescita per il fitoplancton durante il periodo d'attività vegetativa (marzo-ottobre) sono risultate particolarmente favorevoli.

2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2009	13.2 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	12.0 °C

La temperatura media annua del 2009 a Lugano è risultata ancora nettamente superiore alla media del periodo di riferimento, situandosi al terzo posto dell'ultimo trentennio dietro al 2003 (13.8 °C) ed al 2007 (13.6 °C). Tutti i valori mensili (Fig. 2.2) presentano incrementi rispetto alla media, tranne il primo e l'ultimo dell'anno, che coincidono con il dato di riferimento. I maggiori scarti positivi si sono avuti in maggio (+3.6 °C) ed agosto (+2.2 °C): da sottolineare in tutto il Ticino centrale e meridionale il mese di maggio è stato il più caldo in assoluto mai registrato, oltre ad essere tra i più asciutti e soleggiati. Tenuto conto del dato di dicembre 2008, il periodo invernale è risultato per contro abbastanza freddo, ciò che ha favorito un discreto processo di circolazione invernale delle acque.

Il valore di temperatura atmosferica più elevata è stato misurato il 19 di agosto (31.2 °C), mentre quello più basso il 18 dicembre (-5.2 °C).

2.3. Precipitazioni

Precipitazioni Lugano - totale 2009	1680 mm
Precipitazioni Lugano - media periodo 1961-1990	1606 mm

Il totale annuo delle precipitazioni del 2009 si è situato solo di poco al di sopra della norma, confermando la ripresa dei valori osservata nel 2008, dopo un quinquennio costantemente scarso di piogge (2003-2007). Nella stazione di Lugano (Fig. 2.3.1) i quantitativi raccolti mensilmente hanno presentato un andamento piuttosto costante, oscillante tra 50 e 150 mm, interrotto unicamente nei mesi di febbraio (155 mm; +80 mm rispetto alla norma), aprile (264 mm; +108 mm), e soprattutto luglio (397 mm; +261 mm): gli ingenti quantitativi di precipitazioni caduti in quest'ultimo mese sono stati causati dall'elevata intensità di pochi eventi temporaleschi, piuttosto che dalla frequenza delle perturbazioni. La fase di precipitazioni più abbondanti ha avuto luogo tra il 15 e il 17: in 72 ore a Lugano sono caduti oltre 200 l m². L'evento più intenso ha avuto luogo il 17, quando in 1 ora sono stati misurati da 50 a 60 l m², ciò che ha causato numerosi allagamenti e altri disagi.

Per una migliore caratterizzazione di questo parametro, nel corso del presente quinquennio d'indagine promosso dalla Commissione è sembrato opportuno estendere la presentazione dei valori di precipitazione all'intera rete pluviometrica installata sul bacino imbrifero del lago (Tab. 2.3; Fig. 2.3.2).

Tab. 2.3. Precipitazioni mensili e annuali e confronto con i valori medi pluriennali dei pluviometri nel bacino imbrifero del Lago di Lugano [mm].

Stazione	Periodo	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
Lugano	2009	48.7	155.2	109.9	257.3	67	107.5	396.8	75.8	121.4	61.4	151.1	127.6	1679.7
	1961-1990	80	75	111	156	201	176	136	172	160	146	127	65	1605.0
	%	61%	207%	99%	165%	33%	61%	292%	44%	76%	42%	119%	196%	105%
Stabio	2009	58.6	190.1	125.4	287.2	20.5	66.6	179.9	45.5	168.6	97.6	224.7	149.5	1614.2
	1961-1990	80.3	80	114.6	151.2	186.8	141.6	112.3	156.8	130.9	147.4	123.7	65.9	1491.5
	%	73%	238%	109%	190%	11%	47%	160%	29%	129%	66%	182%	227%	108%
Isona	2009	61	166.2	152.4	299.4	75.2	158	292	191.8	107.2	65.8	189.6	156.2	1914.8
	1979-2009	72.8	52.8	100.9	178.5	226.5	206.3	180.6	185.8	198	178.3	141.1	83.7	1805.3
	%	84%	315%	151%	168%	33%	77%	162%	103%	54%	37%	134%	187%	106%
Mendrisio	2009	67.4	188.4	103.9	280	25.2	101.2	168.6	64.4	170.6	86.7	187.2	157.6	1601.2
	1983-2009	79.5	59.3	79.6	161.7	182.3	139.8	119.8	134	156.4	133.9	137.1	80.1	1463.5
	%	85%	318%	131%	173%	14%	72%	141%	48%	109%	65%	137%	197%	109%
Chiasso	2009	63.1	203.7	118.3	295.4	28.1	86.3	184.6	39	212.9	84.1	223.3	169.4	1708.2
	1988-2009	81.5	59.5	65.2	152.2	145.4	131.5	115.7	123.8	170	145.5	158.5	82.8	1431.6
	%	77%	342%	181%	194%	19%	66%	160%	32%	125%	58%	141%	205%	119%
Arosio	2009	49.1	186.7	176.4	299.1	64.6	151.3	289.1	109.4	158.1	76	195.8	156.2	1911.8
	1987-2009	73.2	63.4	76.7	178.8	195.6	200.8	166.7	160.7	196.0	186.9	163.2	83.8	1745.8
	%	67%	294%	230%	167%	33%	75%	173%	68%	81%	41%	120%	186%	110%
Somazzo	2009	59.1	179.5	118.2	299.4	30	99.6	220.7	59.9	171.5	101.3	219.3	176.9	1735.4
	1996-2009	78.4	59.6	74.1	156.2	156.7	132.7	141.8	148.7	135.2	143.1	209.4	101	1536.9
	%	75%	301%	160%	192%	19%	75%	156%	40%	127%	71%	105%	175%	113%
Ponte Tresa	2009	66	284.1	172.2	246.1	61.2	106.1	346.9	70.2	105.7	63	192.1	95.2	1808.8
	1961-1990	82.3	82.7	121.6	181.9	225.9	191.1	157.6	183.1	179.4	180	150.4	70.1	1806.1
	%	80%	344%	142%	135%	27%	56%	220%	38%	59%	35%	128%	136%	100%
Novaggio ¹⁾	2009	59.4	207.2	155.4	341.6	68	109.4	326.2	101	171.2	68.4	212.2	149.2	1969.2
	1961-1990	82.3	82.7	121.6	181.9	225.9	191.1	157.6	183.1	179.4	180	150.4	70.1	1806.1
	%	72%	251%	128%	188%	30%	57%	207%	55%	95%	38%	141%	213%	109%
Colla ²⁾	2009	66.8	136.2	128.4	383.2	58.4	154.4	404.8	182.6	129.2	73.6	175.8	143.0	2036.4
	1979-2009	72.8	52.8	100.9	178.5	226.5	206.3	180.6	185.8	198	178.3	141.1	83.7	1805.3
	%	92%	258%	127%	215%	26%	75%	224%	98%	65%	41%	125%	171%	113%
Grancia ³⁾	2009	57.8	173	99.2	255.4	50	110.4	400.4	80.2	115.8	59.6	146	139.2	1687.0
	1961-1990	80	75	111	156	201	176	136	172	160	146	127	65	1605.0
	%	57%	194%	95%	163%	32%	61%	283%	71%	101%	48%	115%	198%	108%
Trevano ³⁾	2009	45.2	145.4	106	254.2	64.8	107	385.4	122.2	162.3	69.8	146	128.8	1737.1
	1961-1990	80	75	111	156	201	176	136	172	160	146	127	65	1605.0
	%	83%	379%	155%	158%	30%	60%	255%	41%	66%	43%	151%	146%	113%

1) periodo di riferimento della stazione di PonteTresa

2) periodo di riferimento della stazione di Isona

3) periodo di riferimento della stazione di Lugano

In tutto il bacino imbrifero, dopo un 2008 con pluviometria nettamente superiore alla media, il 2009 è stato caratterizzato da valori solo di poco superiori alla media (circa +10%). La precipitazione annua massima si è registrata nei pluviometri di Colla e di Cavargna, dove è stata superata la soglia dei 2000 mm.

Gli accumuli nevosi ed i giorni con neve fresca misurabile sono stati molto superiori rispetto alla media. Il trimestre febbraio-aprile ha avuto una pluviometria media doppia rispetto alla norma, sull'intero bacino del lago ed è culminato con un evento intenso alla fine di aprile.

I mesi con pluviometria inferiore rispetto alla media sono stati soprattutto maggio ed ottobre, mentre nel mese di luglio 3 eventi temporaleschi molto violenti (7, 15 e 17-18 luglio) hanno fatto registrare precipitazioni localmente molto intense e qualche danno: il primo evento ha colpito unicamente la regione del Mendrisiotto, e di conseguenza il fiume Laveggio, il secondo la zona di Varese ed Arcisate (torrente Bolletta) ed il Luganese (roggia Scairolo), mentre il terzo tutti i bacini settentrionali del lago, con danni nella zona del basso Malcantone e della roggia Scairolo. Le intensità di pioggia misurate sono state rilevanti: nei pluviometri di Novaggio e Grancia, ad esempio, il mattino del 17 luglio sono stati raccolti più di 50 mm in 30 minuti.

2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2009	5.54 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media periodo 1986-2005	6.53 km h ⁻¹

Anche nel 2009 i venti hanno fatto registrare un livello d'intensità fra i più bassi dell'intero periodo d'osservazione, allungando la serie degli anni caratterizzati da una modesta attività eolica (media annua <6 km h⁻¹) iniziata nel 2006. L'andamento dei valori mensili (Fig. 2.4.1) mette in evidenza un'attività eolica nettamente superiore alla media (+1.2 km h⁻¹) unicamente nel mese di febbraio, ed un moderato incremento in marzo (+0.5 km h⁻¹), giugno ed ottobre (entrambi +0.4 km h⁻¹). Nel corso del mese di marzo, confermatosi il più ventoso in assoluto, le correnti provenienti dal settore N/NW hanno determinato le giornate più ventose dell'anno, (7 marzo: 26.7 km h⁻¹; 24 marzo: 26.7 km h⁻¹), durante le quali si sono misurate con raffiche fino a 80-90 km h⁻¹. Nettamente inferiori alla media pluriennale sono risultati per contro i valori mensili di gennaio, aprile, agosto, settembre e novembre, che hanno presentato deficit compresi tra -1.7 e -2.6 km h⁻¹. Ai fini dell'indagine limnologica è interessante sottolineare come il rimescolamento invernale della colonna d'acqua lacustre, all'origine della riossigenazione delle acque profonde, sia risultato più profondo nel 2009 rispetto all'anno precedente proprio grazie alla forte ripresa dell'attività eolica durante la fase finale di raffreddamento del lago (febbraio-inizio marzo), dopo l'estrema scarsità di vento di gennaio (cfr. Fig. 5.5.).

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 2009 la **direzione media mensile** del vento si è mantenuta stabilmente attorno ai settori N/NW, anche se in aprile, ed in misura minore in giugno, si osserva un leggero spostamento verso il settore W dovuto all'incremento delle frequenze dei venti provenienti dal settore S.

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 2009 conferma il quadro degli ultimi anni marcato allineamento lungo l'asse nord-sud osservato negli ultimi anni, nonostante una leggera riduzione del settore S a vantaggio dei settori SW e NW. 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.

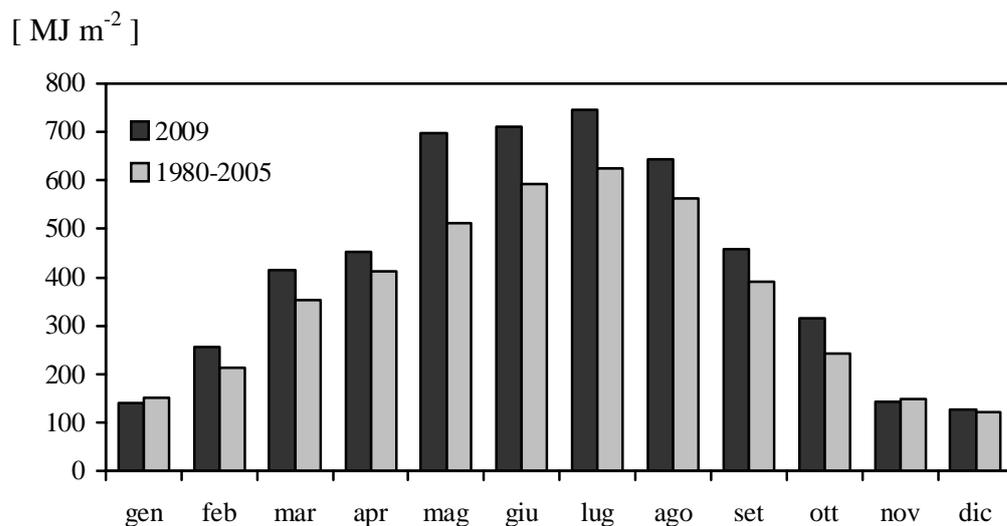


Fig. 2.1 Regime mensile della radiazione globale rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

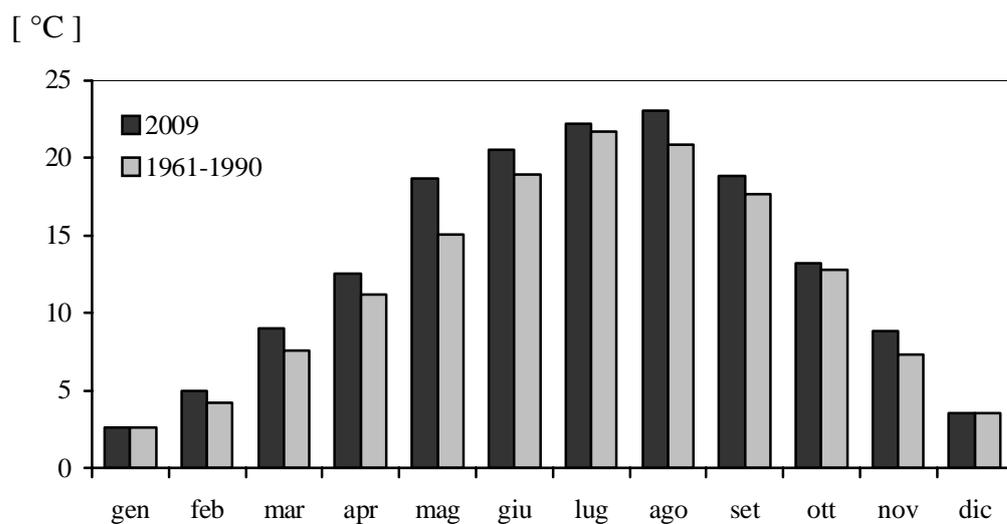


Fig. 2.2 Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

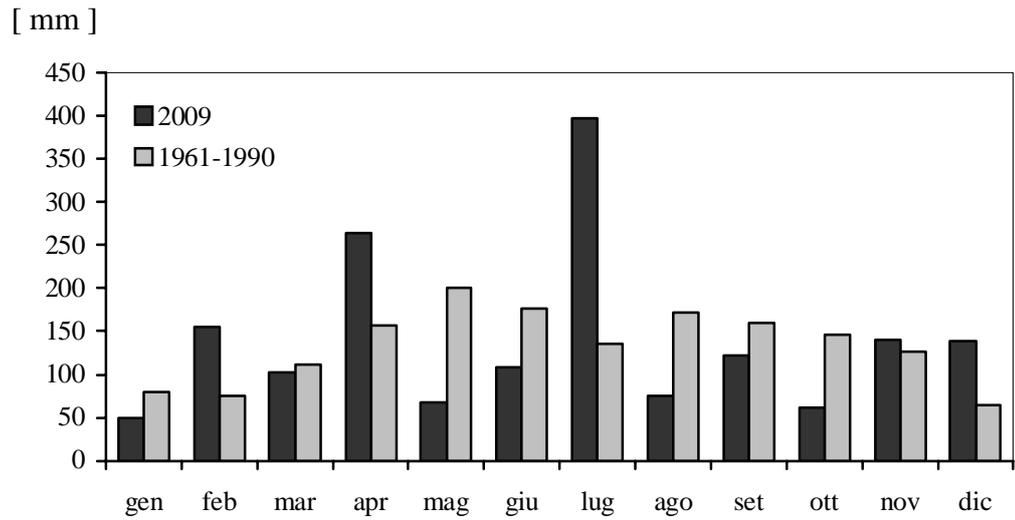


Fig. 2.3.1 Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

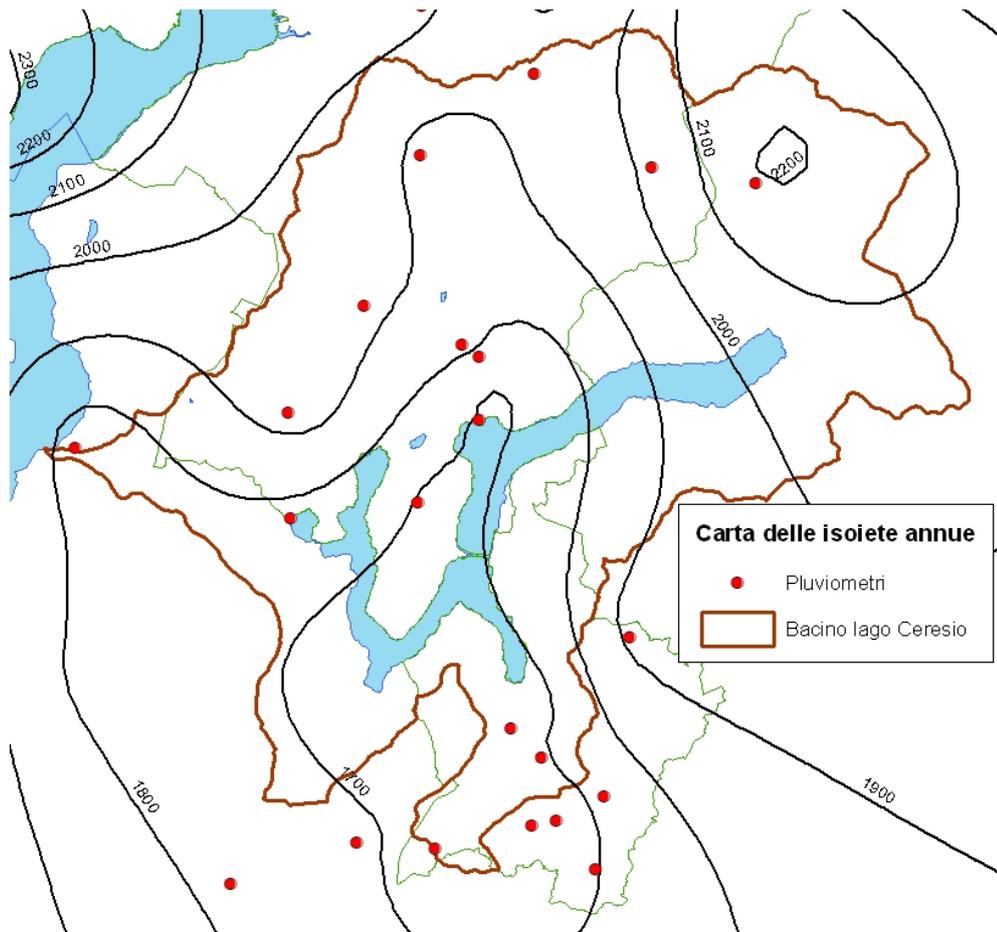


Fig. 2.3.2 Carta delle isoiete dell'anno 2009 per il bacino imbrifero del lago di Lugano.

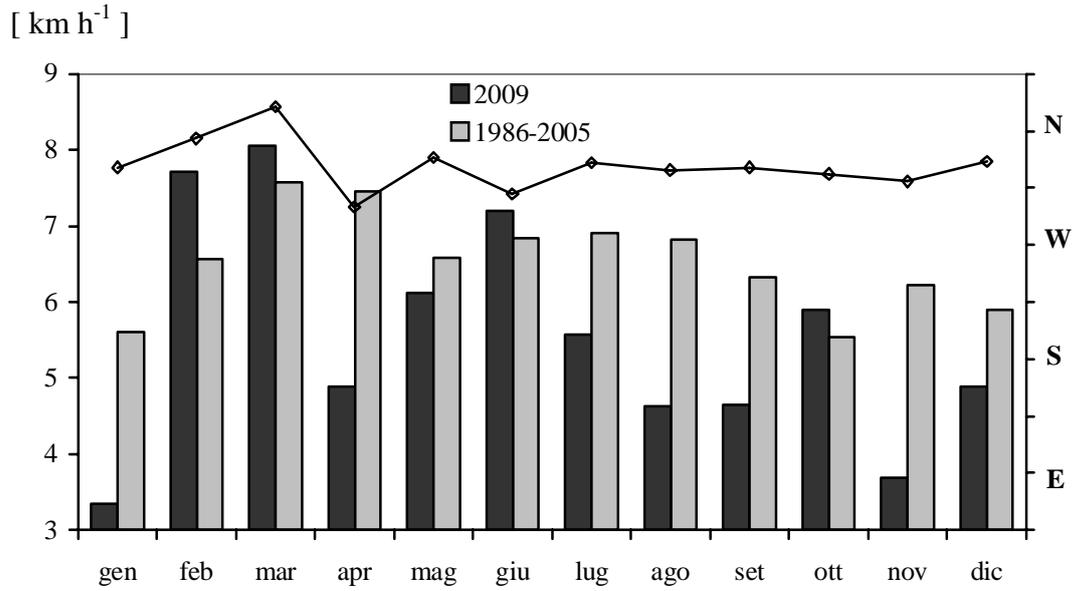


Fig. 2.4.1: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media (linea), rilevato presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

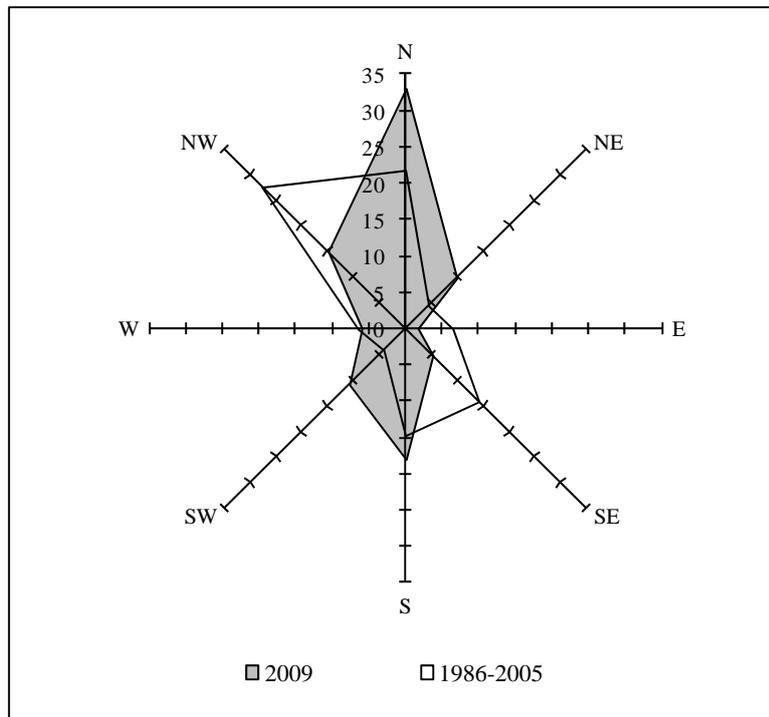


Fig. 2.4.2: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

3. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

3.1. Regime dei corsi d'acqua

La tabella 3.1. presenta i valori di deflusso (medie mensili e annue) degli otto corsi d'acqua controllati, relativi all'anno 2009 ed ai corrispondenti periodi di confronto.

Come riferito nel capitolo precedente, il 2009 è stato un anno con precipitazioni di poco oltre la media, per cui le portate degli immissari hanno segnato un aumento medio del 18% rispetto alle medie pluriennali di riferimento. La portata media della Tresa ha invece rispecchiato la media pluriennale. Il surplus più accentuato è stato rilevato sui corsi d'acqua meridionali (Bolletta, Laveggio e Scairolo), con una portata media annua superiore di circa il 30% rispetto alla norma. I mesi deficitari sono risultati quelli autunnali (da settembre a novembre), in particolare ottobre in cui la portata è risultata mediamente del 60% in meno rispetto alla norma. Nei quattro mesi di febbraio, marzo, aprile e maggio è per contro defluito il 50% del volume complessivo annuo. Inoltre, nei primi 4 mesi dell'anno, i deflussi medi sono stati superiori alla norma per tutti i tributari.

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	2009	0.63	2.22	0.84	2.37	0.89	0.45	1.01	0.36	0.46	0.32	0.71	1.37	0.96
	1986-2009	0.59	0.55	0.55	1.04	0.97	0.69	0.52	0.37	0.52	0.83	0.94	0.68	0.69
	%	108%	400%	152%	228%	91%	66%	194%	97%	88%	39%	75%	201%	139%
Cassarate	2009	1.83	3.29	2.60	6.61	3.94	1.69	2.71	3.13	1.19	0.77	1.28	3.17	2.59
	1963-2008	1.32	1.34	2.03	3.47	4.26	3.34	2.28	1.86	2.47	2.94	3.12	1.70	2.51
	%	139%	246%	128%	190%	92%	51%	119%	168%	48%	26%	41%	186%	103%
Cuccio	2009	1.25	1.42	1.62	3.78	3.27	1.95	2.54	2.51	1.36	1.14	1.27	1.98	2.01
	1986-2009	1.18	1.14	1.37	2.33	3.06	2.57	2.13	1.48	1.76	2.36	2.45	1.52	1.95
	%	106%	125%	118%	162%	107%	76%	119%	169%	77%	48%	52%	130%	103%
Laveggio	2009	1.56	2.49	1.54	2.75	1.60	1.10	1.12	0.92	0.97	0.71	1.00	1.62	1.44
	1978-2009	0.96	0.94	1.09	1.51	1.59	1.24	0.93	0.73	0.87	1.17	1.23	0.98	1.10
	%	162%	264%	141%	182%	101%	89%	121%	125%	112%	61%	81%	165%	130%
Magliasina	2009	0.88	2.01	1.68	3.40	1.46	0.77	1.01	0.57	0.51	0.33	0.83	1.85	1.27
	1980-2008	0.66	0.58	0.84	1.69	2.09	1.56	0.98	0.60	1.14	1.65	1.57	0.82	1.16
	%	133%	347%	200%	201%	70%	49%	103%	95%	45%	20%	53%	226%	109%
Scairolo	2009	0.27	0.70	0.30	0.67	0.39	0.22	0.58	0.28	0.24	0.19	0.28	0.44	0.38
	1982-2009	0.25	0.23	0.23	0.36	0.41	0.34	0.27	0.22	0.26	0.35	0.37	0.26	0.30
	%	109%	299%	131%	187%	95%	64%	214%	128%	91%	54%	76%	169%	127%
Vedeggio	2009	2.75	4.76	3.99	8.74	6.04	3.41	3.15	3.49	1.89	1.70	2.36	4.60	3.90
	1981-2008	1.72	1.44	2.05	4.62	6.31	4.67	3.17	1.93	3.38	4.45	4.26	2.32	3.36
	%	160%	331%	195%	189%	96%	73%	99%	181%	56%	38%	55%	198%	116%
Tresa	2009	18.30	35.40	25.50	46.40	38.90	18.00	24.30	20.40	13.60	9.27	9.98	27.00	23.90
	1923-2008	15.20	13.80	17.80	28.30	37.30	32.30	22.90	17.50	21.00	26.90	30.80	20.50	23.60
	%	120%	257%	143%	164%	104%	56%	106%	117%	65%	34%	32%	132%	101%

Vari immissari del lago sono stati interessati nel 2009 da 2 eventi alluvionali nel mese di luglio, nei giorni del 15 luglio e 17-18 luglio. In particolare per Scairolo e Cuccio si è registrato il massimo evento storico, mentre anche per il torrente Bolletta sarebbe stato il massimo evento storico se non fosse entrata in funzione una cassa di espansione, recentemente costruita, che ha laminato la portata di piena in arrivo.

3.2. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre, registrata a Melide Ferrera nel 2009 è stata di m 270.52 m s.l.m. risultando di 3 cm superiore a quella del periodo di riferimento (1965-2008: 270.49 m s.l.m.).

Il minimo assoluto è stato toccato il 12 ottobre con 270.19 m s.l.m., mentre la punta massima, pari a 271.17 m s.l.m., è stata raggiunta il 30 aprile al termine di un evento pluviometrico caratterizzato da un apporto tra i 150 ed i 200 mm di pioggia dal 26 al 29 aprile. L'escursione massima per il 2009 è stata di 98 cm (Fig. 3.3.).

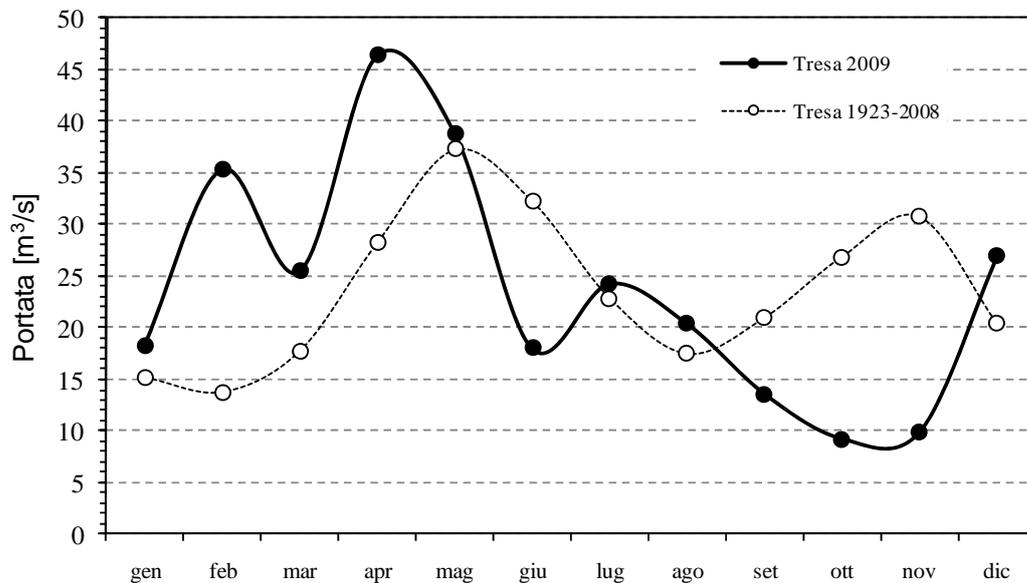


Fig. 3.1. Regime mensile dei deflussi del fiume Tresa (emissario) nel 2009 e nel periodo di riferimento (1923-2008). Si noti che, a partire dal 1963 la portata dell'emissario risulta modificata artificialmente dalla regolazione.

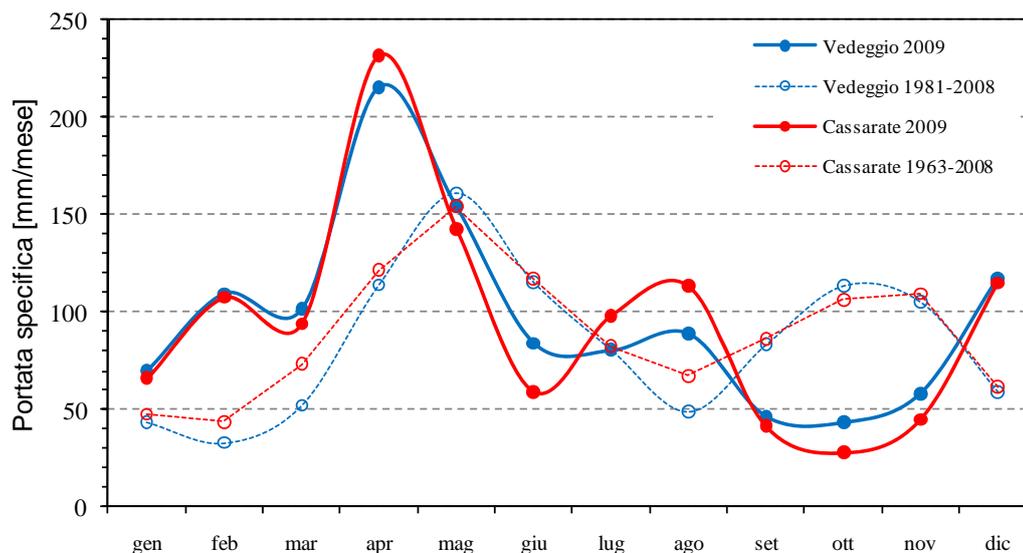


Fig. 3.2. Regime mensile dei deflussi specifici (portata per unità di superficie del bacino imbrifero) dei fiumi Veduggio (principale immissario del bacino sud) nel 2009 e nel periodo di riferimento (1981-2008) e Cassarate (principale immissario del bacino nord) nel 2009 e nel periodo di riferimento (1963-2008).

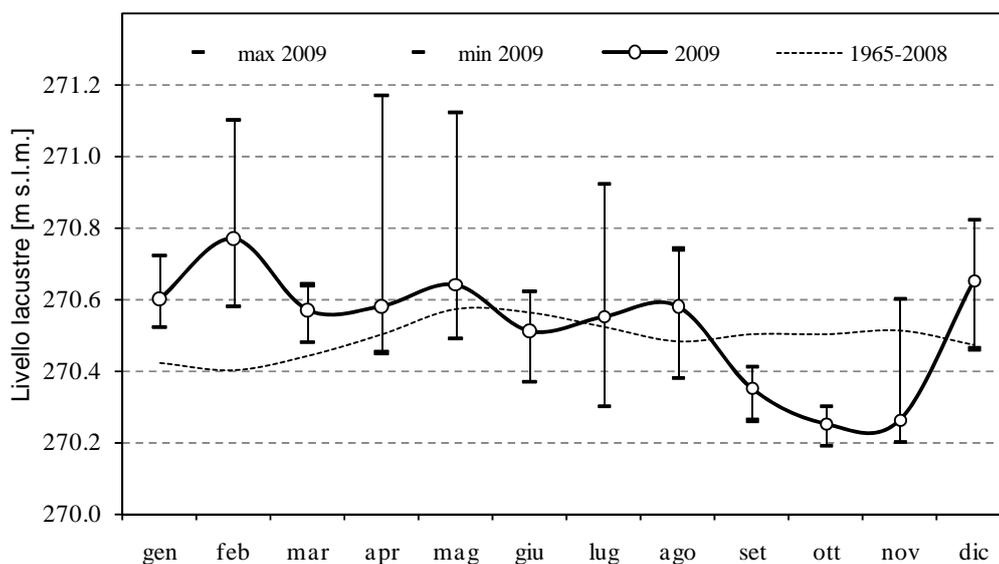


Fig. 3.3. Lago di Lugano, 2009: regime mensile (o) e valori estremi (-) del livello lacustre, e confronto con periodo di riferimento.

4. APPORTI CHIMICI DEI TRIBUTARI

4.1. Caratteristiche chimico-fisiche e chimiche dei tributari

Nelle figure 4.1.3a.-e. sono rappresentati graficamente i principali valori statistici (mediana, 25%ile, 75%ile, massimo e minimo) per tutti i parametri indagati sui nove tributari, nel corso del 2009.

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 Vedeggio, un'eccessiva rappresentatività delle situazioni di piena (dati UFAM: www.hydrodaten.admin.ch). Per contro sul Tresa le due curve di distribuzione coincidono bene, in ragione del regime idrologico dell'emissario, poco sensibile alle piene improvvise. Durante i campionamenti su questo fiume sono stati rilevati la mediana più alta ($19.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ed il massimo annuale, raggiunto a fine aprile ($55.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) in occasione di intense precipitazioni (cfr. paragrafo 2.3.). Il Vedeggio ha fatto segnare un valore mediano di $3.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mentre i deflussi minori tra i fiumi campionati sono stati registrati su Bolletta e Scairolo con mediane rispettivamente di 0.54 e $0.35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Per i rimanenti fiumi i valori sono risultati compresi tra 0.85 e $2.25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

I valori di temperatura nel 2009 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 stato di 20.1°C , mentre sugli altri tributari l'escursione termica è risultata compresa tra 10.2°C e 17.8°C . La temperatura mediana più elevata è stata misurata sullo Scairolo (14.3°C), mentre la punta massima, pari a 26.0°C , è stata rilevata nel Tresa a fine agosto. Il minimo assoluto è stato per contro misurato ad inizio febbraio sul Cassarate (2.6°C). Le misurazioni dell'UFAM effettuate sul Tresa a Ponte Tresa-Rocchetta riportano un massimo di 27.7°C il 20 agosto e minimi di 5.4°C nei primi di febbraio (Fig. 4.1.2.).

La conducibilità elettrica normata a 20°C (Fig. 4.1.3a.) indica la presenza di ioni disciolti ed è correlata in particolare con l'andamento dell'alcalinità (vedi paragrafo successivo). Il Laveggio presenta la mediana più elevata ($553 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguito dai tributari Bolletta, Livone e Scairolo con valori compresi tra 360 e $440 \mu\text{S cm}^{-1}$. Nei rimanenti cinque fiumi, le mediane sono oscillate tra 120 e $220 \mu\text{S cm}^{-1}$. Il massimo annuale è stato rilevato a fine agosto sul Laveggio ($863 \mu\text{S cm}^{-1}$), che ha pure mostrato la maggiore variazione di conducibilità: $599 \mu\text{S cm}^{-1}$ tra massimo e minimo annuale.

I valori d'alcalinità più elevati, con mediane comprese tra 2.2 e 4.3 eq m^{-3} , sono stati misurati su Laveggio, Livone, Bolletta e Scairolo (Fig. 4.1.3b.), fiumi che drenano bacini costituiti prevalentemente da rocce calcaree. Le alcalinità più basse ($<1.0 \text{ eq m}^{-3}$) sono state registrate per contro negli affluenti Cassarate, Vedeggio, Cuccio e Magliasina che raccolgono l'acqua da aree con roccia madre cristallina. L'emissario Tresa occupa una posizione intermedia con un valore mediano pari a 1.77 eq m^{-3} . Le oscillazioni più marcate sono state osservate su Laveggio, Bolletta e Scairolo con escursioni annue di 2.2 - 2.6 eq m^{-3} e possono essere ricondotte in particolare ai singoli eventi di pioggia intensa che hanno caratterizzato i prelievi di aprile e novembre.

Il valore pH (Fig. 4.1.3b.) mostra un andamento simile all'alcalinità, ad eccezione dell'emissario Tresa che ha fatto registrare la mediana più elevata, pari a 8.46 unità. Sul Vedeggio è stato per contro riscontrato il valore più basso: 7.54. Gli altri tributari presentano mediane pH comprese tra 7.79 e 8.44. I minimi ed i massimi annuali sono stati rilevati rispettivamente a metà aprile sul Vedeggio (7.30) e a fine agosto sul Tresa (8.81). Su quest'ultimo fiume, l'elevata variabilità annuale (escursione di 1.11 unità) è da ricondursi alla marcata attività fotosintetica nell'epilimnio lacustre.

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.3b.) ha mostrato concentrazioni regolarmente superiori a $8.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Livone, Laveggio e Tresa hanno presentato forti escursioni annuali, nell'ordine dei $5 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Nel loro insieme i fiumi risultano dunque ben ossigenati durante tutto l'anno.

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

Per quanto concerne l'azoto nitroso, composto dannoso per la fauna ittica già a partire da concentrazioni di 20 mg N m^{-3} , nel Bolletta sono stati misurati valori estremi per mediana (66 mg N m^{-3}) e massimo annuale (160 mg N m^{-3} il 2 novembre in occasione di forti precipitazioni). Negli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane si sono mantenute tra 3 mg N m^{-3} (Vedeggio) e 16 mg N m^{-3} (Scairolo). Sempre sul Bolletta è stata registrata la maggiore escursione dei valori annui, pari a 132 mg N m^{-3} .

Per l'azoto nitrico i fiumi Laveggio e Scairolo hanno mostrato mediane molto elevate rispetto agli altri tributari, rispettivamente di 6.1 N m^{-3} e di 5.1 N m^{-3} . Su questo secondo tributario è stato rilevato a fine novembre il valore massimo, pari a 12.15 g N m^{-3} in settembre. Gli altri fiumi hanno presentato valori mediani compresi tra 0.8 (Cuccio) e 3.3 g N m^{-3} (Vedeggio).

Nel caso dell'azoto ammoniacale il Bolletta è risultato il fiume più problematico con una mediana di 0.46 g N m^{-3} , mentre sugli altri corsi d'acqua i valori si sono mantenuti compresi tra 0.02 e 0.14 g N m^{-3} . Il massimo annuale è stato misurato ancora sul Bolletta con 2.73 g N m^{-3} ad inizio novembre.

I valori di azoto totale (Fig. 4.1.3d.) più elevati sono stati registrati nel Laveggio con una mediana di 7.55 g N m^{-3} . Segue lo Scairolo con 6.91 g N m^{-3} , mentre i rimanenti fiumi hanno evidenziato valori compresi tra 1.1 e 5.0 g N m^{-3} . Sullo Scairolo è stata inoltre registrata la concentrazione massima annuale: 15.80 g N m^{-3} a fine 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: 173 mg P m^{-3} ; massimo annuale ad inizio novembre: 455 mg P m^{-3}) e nel Livone (mediana di 74 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 [4] e dai valori di deflusso. Nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata, pari a 274 mg P m^{-3} , valore che supera di quasi 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 di riferimento in occasione di tutti i prelievi. Degli altri affluenti Laveggio, Vedeggio e

Magliasina hanno presentato mediane superiori ai rispettivi valori di riferimento. Il massimo assoluto dell'anno (942 mg P m^{-3}) è stato misurato ad inizio novembre nel Bolletta.

I valori mediani di carbonio organico disciolto (DOC; Fig. 4.1.3e.) si sono sempre mantenuti sotto i 2.0 g C m^{-3} . Il Bolletta ha presentato la mediana più elevata (1.87 g C m^{-3}) e le escursioni di valore più pronunciate: 6.1 g C m^{-3} tra massimo e minimo. Sempre sul Bolletta ad inizio novembre è stato riscontrato il massimo assoluto, pari a 6.1 g C m^{-3} .

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; Fig. 4.1.3e.), si evidenzia il Bolletta per la sua mediana elevata ($5.26 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$), mentre sugli altri corsi d'acqua i valori sono risultati compresi tra 0.7 e $1.8 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Sullo Scairolo è stato misurato il 2 novembre il massimo assoluto ($16.85 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ ad inizio aprile).

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.3e.), il parametro meno legato alla pressione antropica, sono state registrate nello Scairolo (mediana: 3.95 g Si m^{-3}) il cui bacino imbrifero è costituito prevalentemente da porfiriti. Su questo affluente è stato misurato a fine luglio anche il massimo annuale (4.77 g Si m^{-3}). Le concentrazioni più basse di silice sono state rilevate nell'emissario Tresa (mediana: 0.59 g Si m^{-3}), in seguito alla sua assimilazione da parte delle diatomee fitoplanctoniche nell'epilimnio lacustre; il minimo annuale nell'emissario (0.25 g Si m^{-3}) è stato infatti riscontrato in aprile in corrispondenza delle fioriture di diatomee. I valori mediani degli altri tributari sono risultati compresi tra 2.14 (Livone) e 3.94 g Si m^{-3} (Vedeggio).

Per una stima precisa dei carichi di nutrienti addotti da Cassarate, 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 Cassarate sono disponibili dati fino a fine novembre in quanto il campionatore è stato dismesso per consentire i lavori di rifacimento del vicino ponte. I valori 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 integrare 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 occasione delle piene.

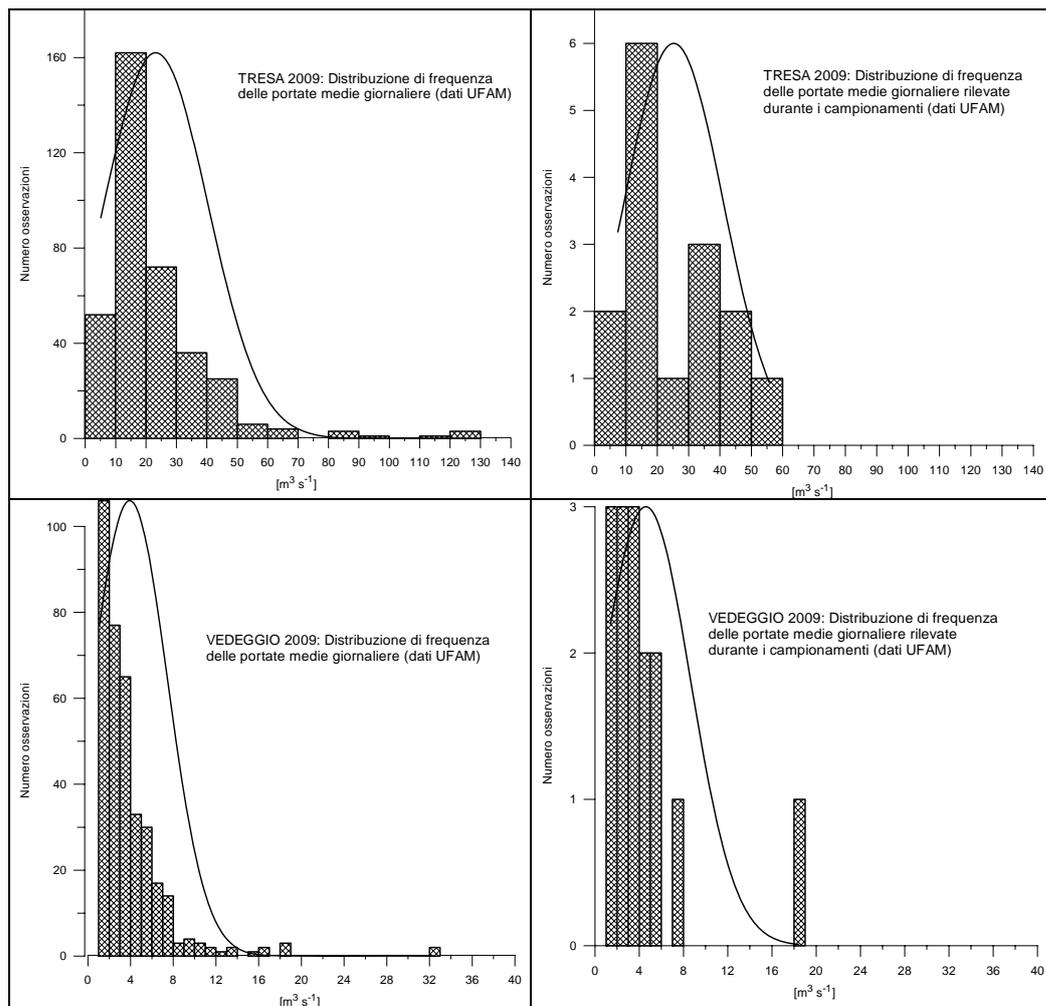


Fig. 4.1.1. Lago di Lugano, 2009: curve di frequenza delle portate medie giornaliere sui fiumi Tresa e Vedeggio; confronto tra l'intero set di dati annuale (a sinistra) e le 15 portate rilevate durante i campionamenti (dati UFAM).

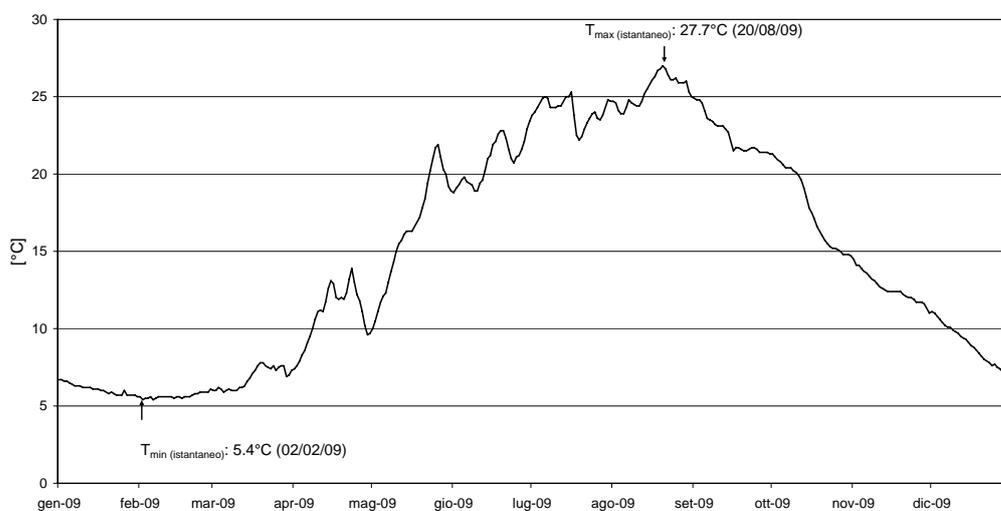


Fig. 4.1.2. Lago di Lugano, 2009: andamento della temperatura media giornaliera nel fiume Tresa a Ponte Tresa, località Rocchetta (dati UFAM).

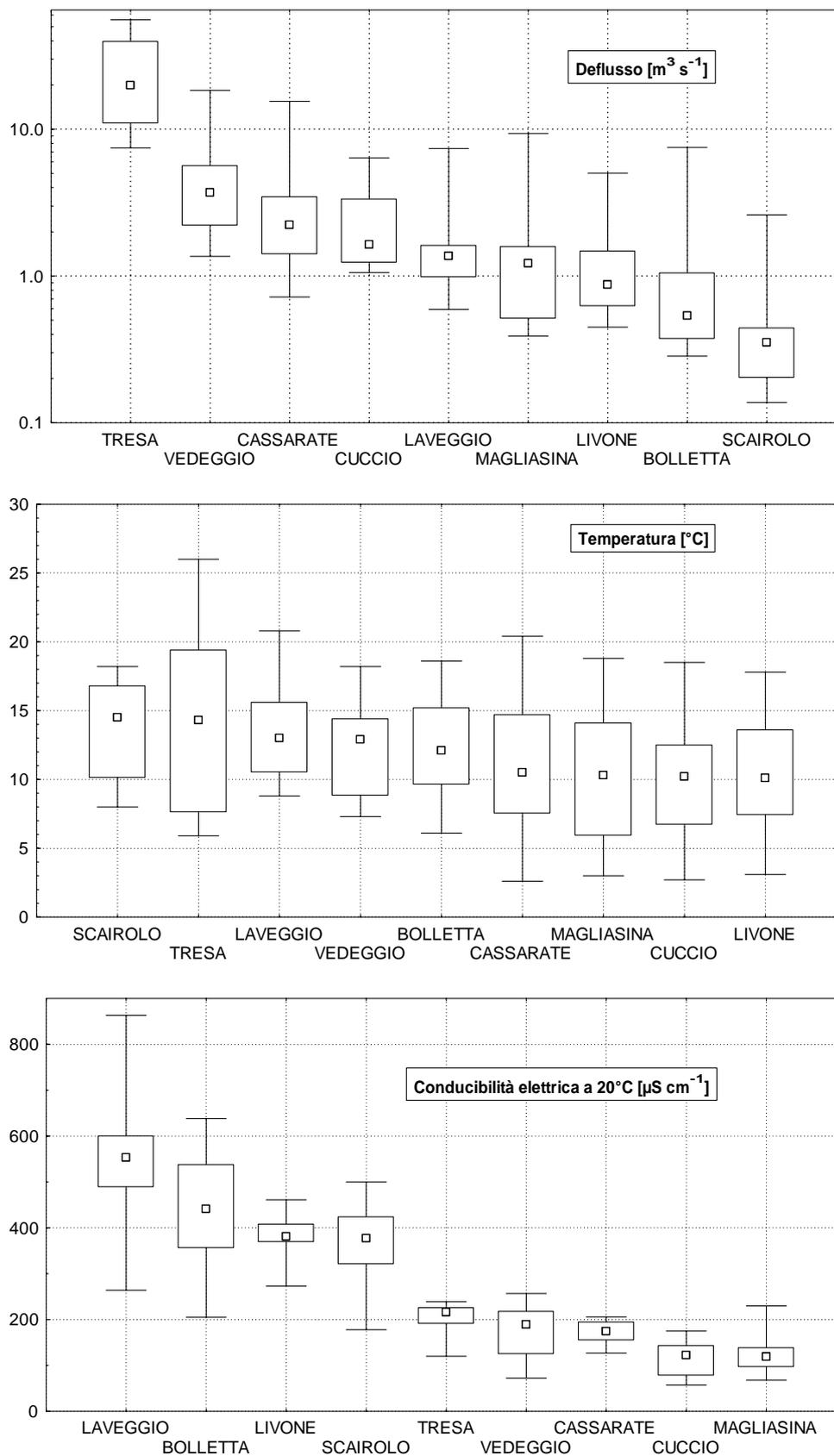


Fig. 4.1.3a. Lago di Lugano, 2009: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

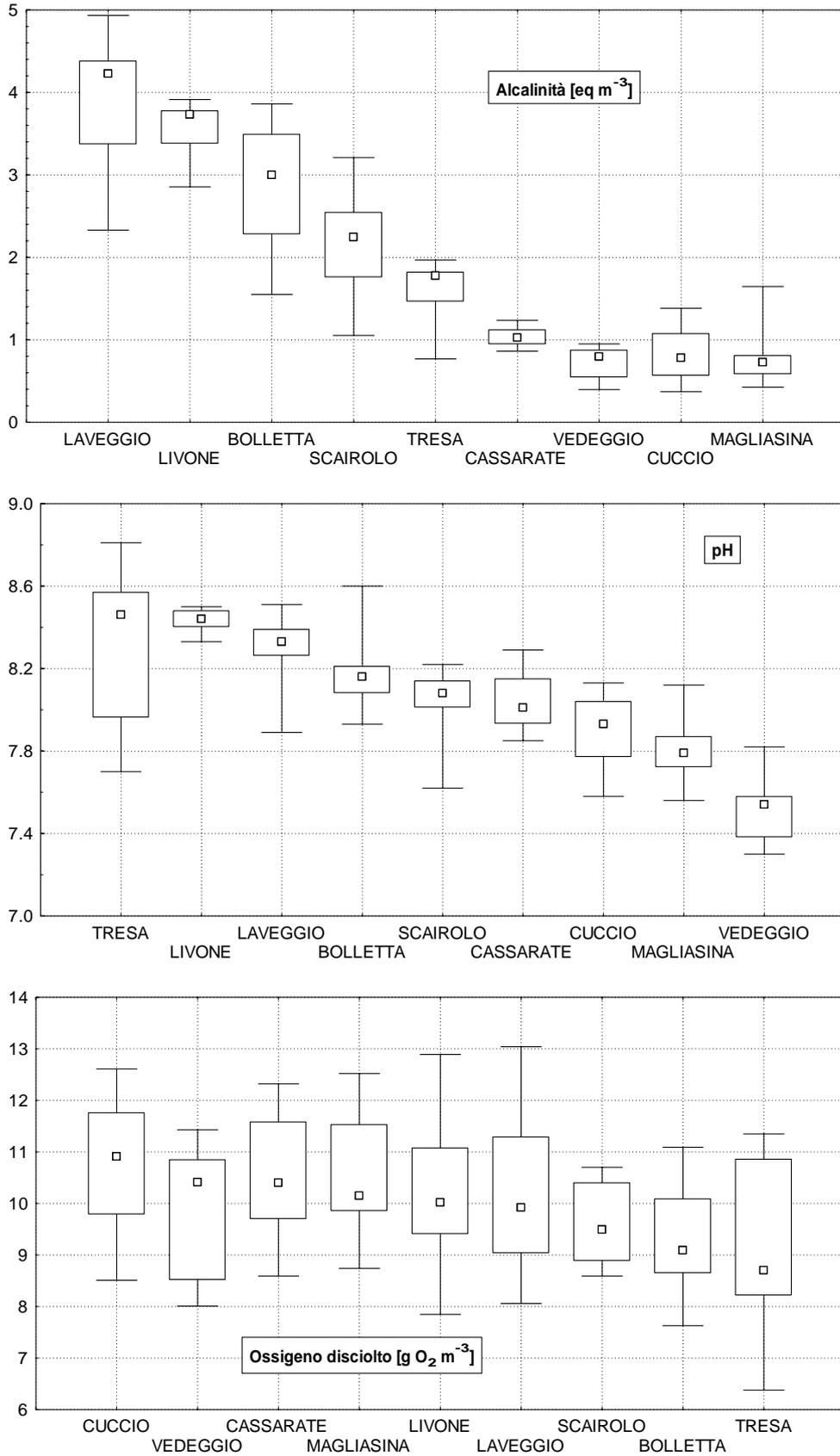


Fig. 4.1.3b. Lago di Lugano, 2009: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

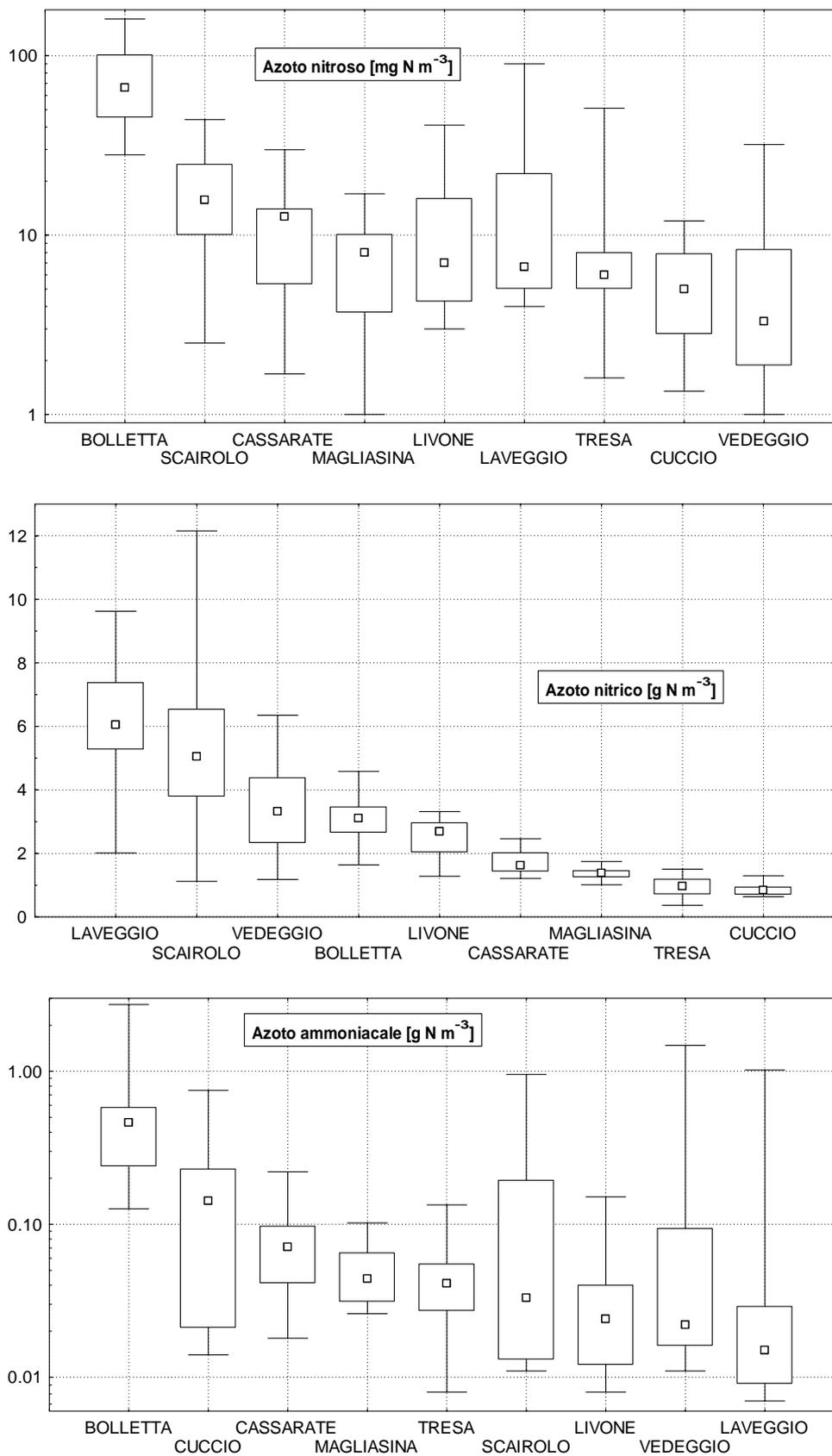


Fig. 4.1.3c. Lago di Lugano, 2009: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo.

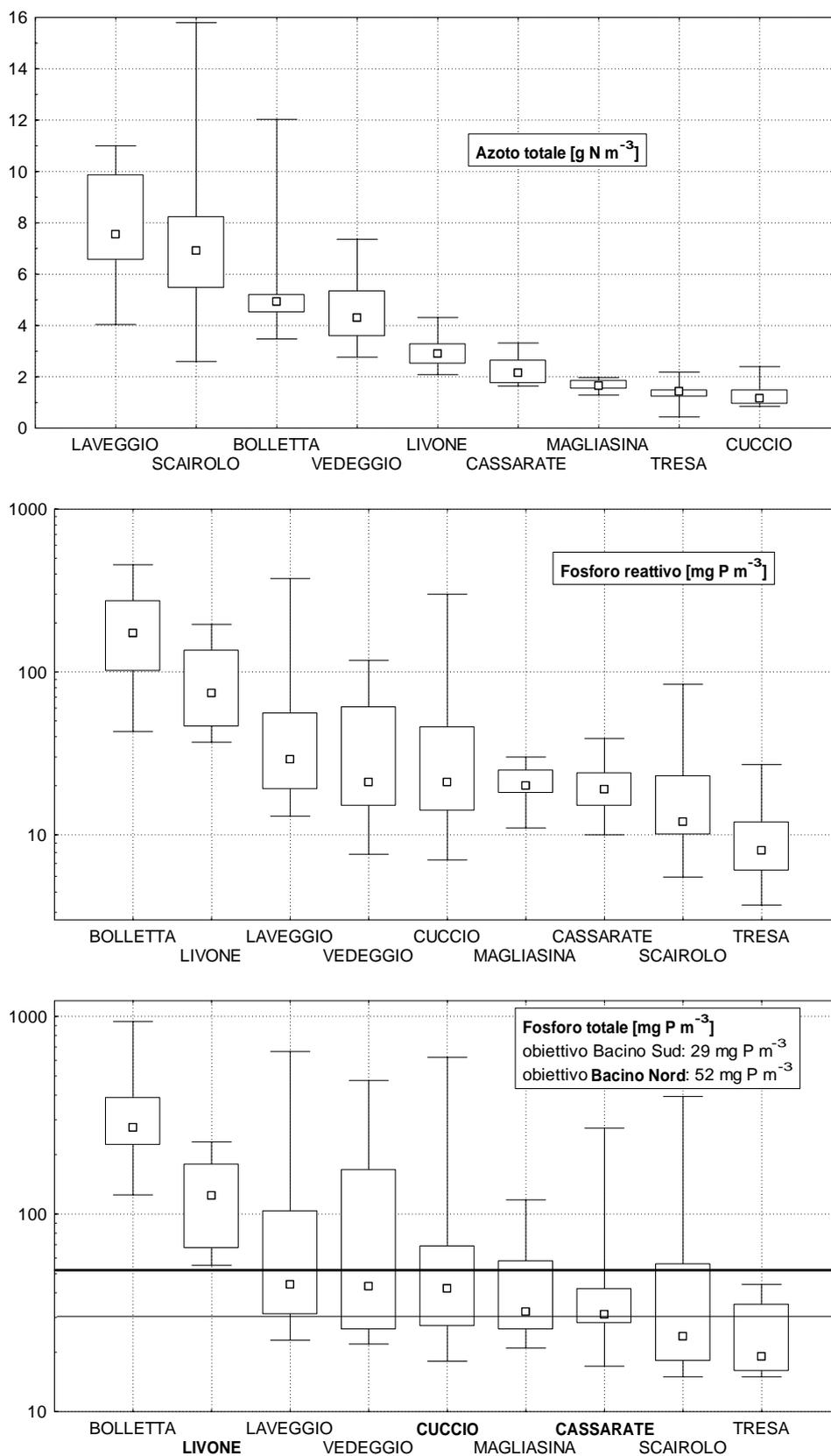


Fig. 4.1.3d. Lago di Lugano, 2009: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25°ile, 75°ile, valori minimo e massimo. Nel grafico relativo al fosforo totale i tributari del bacino nord sono indicati in grassetto.

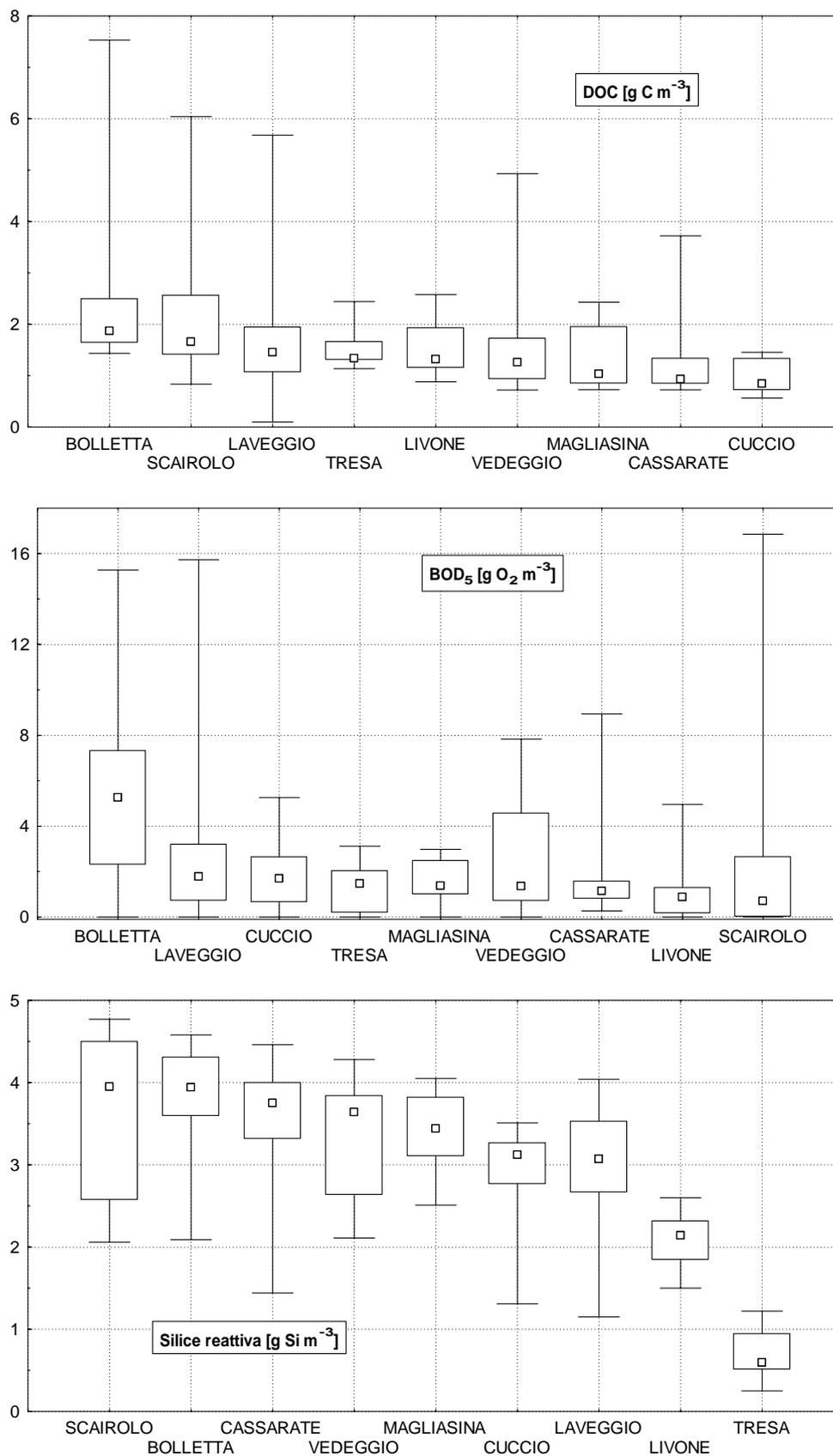


Fig. 4.1.3e. Lago di Lugano, 2009: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

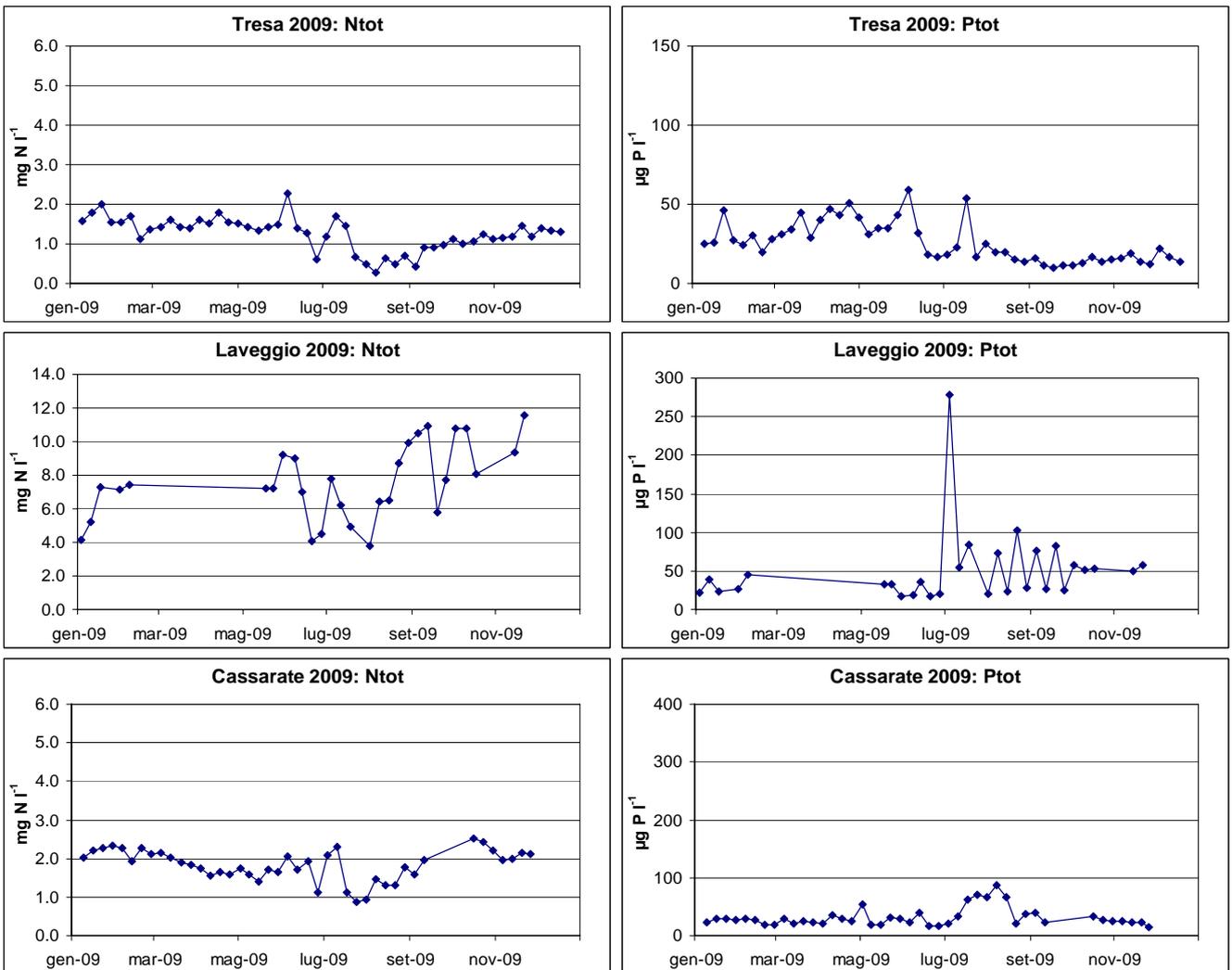


Fig. 4.1.4.: Lago di Lugano, 2009: andamento settimanale delle concentrazioni di azoto e fosforo totali nei fiumi Vedeggio, Tresa, Laveggio e Cassarate (campionamento in continuo).

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 per la maggior parte dei parametri: fosforo ortofosfato (4.8 t P a^{-1}) e totale (18.8 t P a^{-1}), azoto nitrico (306 t N a^{-1}), azoto ammoniacale (21 t N a^{-1}), azoto totale (508 t N a^{-1}), silicati reattivi (359 t Si a^{-1}), ossigeno disciolto ($1'225 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$), richiesta biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; $425 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$) e carbonio organico disciolto (DOC; 211 t C a^{-1}). Il Bolletta è stato responsabile del principale apporto di azoto nitroso (1.5 t N a^{-1}), mentre tramite il Laveggio è giunto a lago il carico più elevato di carbonio inorganico ($1'826 \text{ t C a}^{-1}$).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti consente una valutazione sull'effettivo stato qualitativo dei singoli corsi d'acqua (Tab. 4.2.2. e Fig. 4.2.2.). Rispetto alla tabella 4.2.1. sul Vedeggio non si registra più alcun massimo, a conferma della suo buono stato di salute. Per contro sul Bolletta si conferma l'apporto più elevato per l'azoto nitroso ($77 \text{ mg N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), a cui si sono aggiunti i massimi di numerosi altri parametri: fosforo reattivo e totale (151 e $408 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), azoto ammoniacale ($0.60 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), silice ($4.5 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), ossigeno disciolto ($15.2 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), BOD_5 ($10.7 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e DOC ($4.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Dal Laveggio provengono i carichi areali più elevati per quanto concerne il carbonio inorganico ($63.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), l'azoto nitrico ($7.4 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e l'azoto totale ($10.0 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Per il fosforo totale, i carichi areali ammissibili CIPAIS, stimati per il recupero del Lago di Lugano [4], 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. Il Vedeggio presenta un carico areale quintuplo rispetto al valore auspicato, per motivi simili al Bolletta, anche se sul Vedeggio il grado di allacciamento è prossimo al 100%.

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 10% ed il 30%. Trattandosi di IDA moderni e 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 Scairolo. Per quanto attiene l'azoto totale i contributi degli IDA sono più consistenti, nell'ordine del 40 - 75%. Si tratta di percentuali elevate, dovute al fatto che i quattro impianti non denitrificano, o solo parzialmente, le proprie acque. Un simile trattamento non è infatti richiesto dalla legislazione elvetica per il sud delle Alpi [5].

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2009: carichi per corso d'acqua [t a⁻¹]

	C _{in}	PO ₄ -P	PT	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NT	SiO ₂ -Si	O ₂	BOD ₅	DOC
Cassarate	1'046	1.8	3.5	1.0	136	11	216	268	902	388	183
Cuccio	530	2.3	5.0	0.3	50	6	75	179	684	115	63
Livone ¹	1'396	2.6	4.2	0.4	73	2	93	69	362	56	63
Diga Melide	8'358	3.9	9.0	1.2	65	2	200	140	3'544	-	-
Bolletta	763	2.9	7.9	1.5	68	12	143	88	296	209	85
Laveggio	1'826	2.9	2.1	1.0	215	9	289	118	438	192	98
Magliasina	285	0.8	3.1	0.2	50	2	75	132	446	89	73
Scairolo	262	0.5	1.3	0.2	40	2	60	36	114	46	28
Vedeggio	898	4.8	18.8	1.0	306	21	508	359	1'225	425	211
Tresa	15'192	7.6	19.6	10.8	708	28	1'003	494	7'081	1204	1032

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2009: carichi areali per corso d'acqua [g m⁻² a⁻¹; (*) mg m⁻² a⁻¹].

	C _{in}	PO ₄ -P	PT	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NT	SiO ₂ -Si	O ₂	BOD ₅	DOC
Cassarate	14.2	(*) 24	(*) 48	(*) 14	1.8	0.15	2.9	3.6	12.2	5.3	2.5
Cuccio	9.9	43	92	5	0.9	0.12	1.4	3.3	12.7	2.1	1.2
Livone ¹	45.6	85	138	12	2.4	0.06	3.1	2.3	11.8	1.8	2.0
Diga Melide	28.1	13	30	4	0.2	0.01	0.7	0.5	11.9	-	-
Bolletta	39.1	151	408	77	3.5	0.60	7.3	4.5	15.2	10.7	4.3
Laveggio	63.2	99	71	33	7.4	0.30	10.0	4.1	15.2	6.7	3.4
Magliasina	8.3	23	90	7	1.5	0.05	2.2	3.8	13.0	2.6	2.1
Scairolo	27.0	51	133	18	4.2	0.24	6.2	3.7	11.8	4.7	2.9
Vedeggio	9.7	51	203	11	3.3	0.22	5.5	3.9	13.2	4.6	2.3
Tresa	24.7	12	32	18	1.2	0.05	1.6	0.8	11.5	2.0	1.7

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.3. Lago di Lugano, 2009: carichi di nutrienti provenienti dai maggiori impianti di depurazione delle acque [t a⁻¹]. Tra parentesi è riportato percentualmente il contributo dell'impianto al carico complessivo del ricettore.

Impianto di depurazione acque	Fiume ricettore	PT	NT
Lugano (Bioggio)	Vedeggio	2.63 (14 %)	245 (48 %)
Medio Cassarate (Cadro)	Cassarate	0.44 (13 %)	26* (49 %)
Mendrisio (Rancarte)	Laveggio	0.64 (31 %)	118* (41 %)
Pian Scairolo (Barbengo)	Scairolo	0.15 (11 %)	46 (76 %)

* stimato come somma NH₄⁺ + NO₃⁻

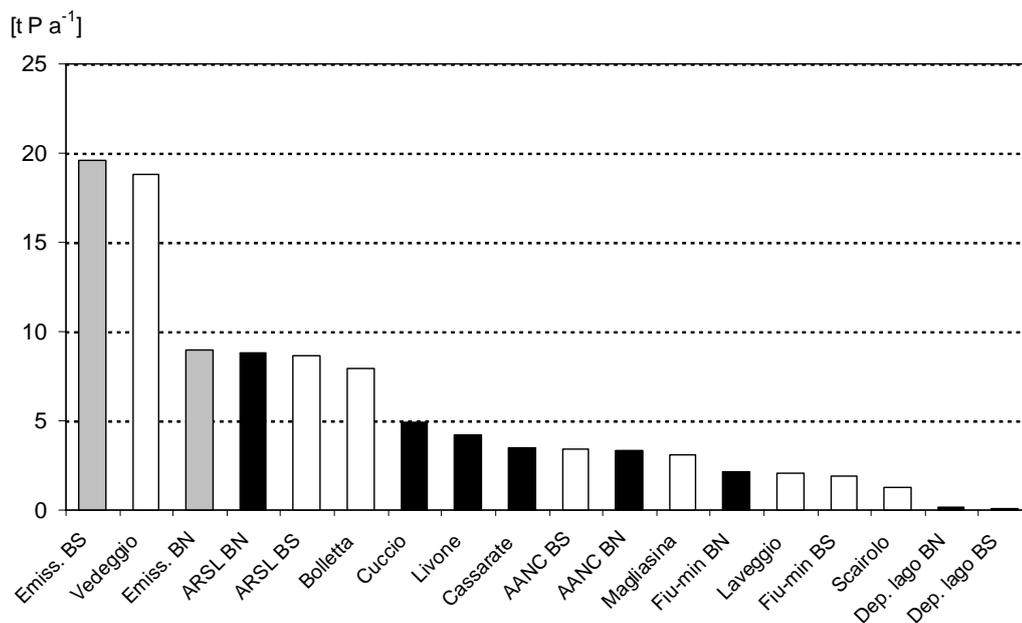


Fig. 4.2.1. Lago di Lugano, 2009: apporti al lago di fosforo totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

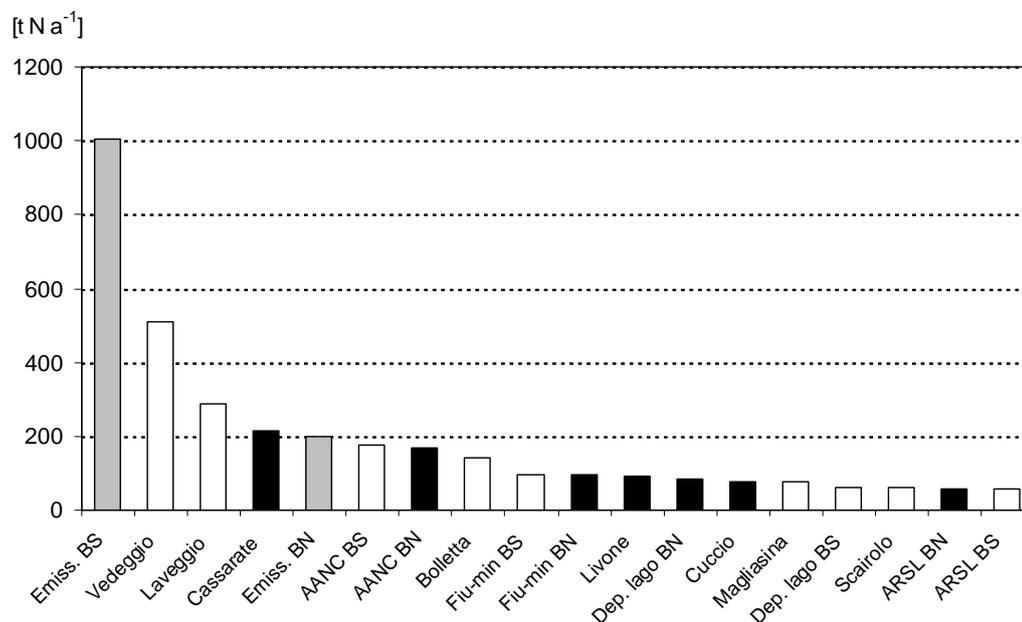


Fig. 4.2.2. Lago di Lugano, 2009: apporti al lago d'azoto totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

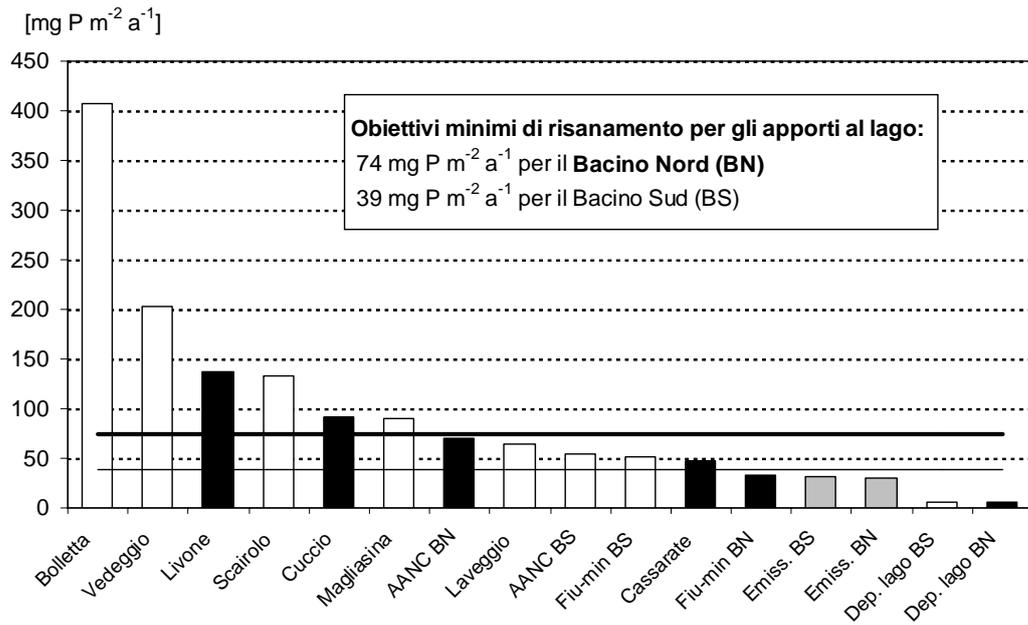


Fig. 4.2.3. Lago di Lugano, 2009: carichi areali di fosforo totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

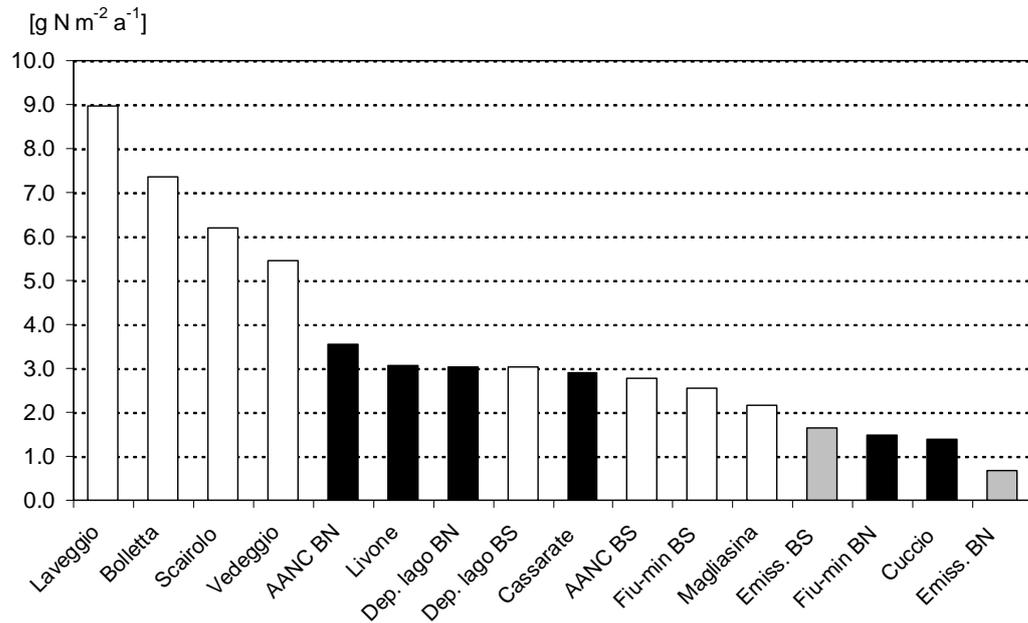


Fig. 4.2.4. Lago di Lugano, 2009: carichi areali d'azoto totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori, Dep.lago: deposizioni sul lago).

4.3. Carico complessivo di fosforo e azoto

I principali nutrienti algali (azoto e fosforo) sono stati oggetto di un bilancio di massa dettagliato; oltre alle fonti di carico riportate nel paragrafo 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 27.1 t P a⁻¹ per il bacino nord ed a 56.3 t P a⁻¹ per il bacino sud: si tratta di valori superiori rispettivamente di circa il 20% ed il 45% rispetto alla media dell'ultimo quinquennio (2003-2007). Nel 2009 il principale carico di fosforo è provenuto dalle aree campionate, nella misura di 14.8 t P a⁻¹ nel bacino nord e di 44 t P a⁻¹ in quello sud. Il carico esportato nel 2009 dall'emissario Tresa è risultato quasi doppio (+90%) rispetto alla media pluriennale (10.3 t P a⁻¹).

Gli apporti d'azoto sono stati superiori alla media quinquennale, con 752 t N a⁻¹ (+15%) nel bacino nord, e 1'641 t N a⁻¹ (+25%) nel bacino sud. I carichi più rilevanti sono provenuti dal Cassarate (216 t N a⁻¹) per il bacino nord, e dal Veduggio (508 t N a⁻¹) per il bacino sud.

Le aree campionate del bacino nord rappresentano il 37% dell'intero bacino imbrifero: da esse è stato veicolato il 55% degli apporti di fosforo ed il 64% 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: 33%), e per l'azoto dalle aree non campionabili (22%).

Nel bacino sud viene controllato direttamente l'86% dell'area del bacino imbrifero, dalla quale viene convogliato al lago il 78% del fosforo e ed l'84% dell'azoto. Le quote rimanenti provengono prevalentemente dagli ARSL per il fosforo (15 %), e dalle aree non campionabili per l'azoto (11%).

Nella tabella 4.3. sono riportati inoltre, per i fiumi Cassarate, 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 paragrafo 4.1.). Questi campioni settimanali fungono da riferimento e da confronto del dato fornito dal campionamento istantaneo.

Come anticipato nel paragrafo 4.1 per evitare un'eccessiva sovrastima del carico di fosforo in occasioni di importanti piene può rendersi necessario sostituire la concentrazione istantanea con quella cumulata della settimana corrispondente al prelievo manuale. Infatti nel 2009 sul Cassarate durante il prelievo istantaneo di aprile, quando erano in corso precipitazioni estremamente intense, sono stati misurati 272 mg P m⁻³ di fosforo totale ed una portata giornaliera di 15.5 m³ s⁻¹. I quattro campioni settimanali di quel mese hanno per contro prodotto concentrazioni comprese tra 20 ed 35 mg P m⁻³ con portate medie settimanali tra 4.2 e 4.8 m³ s⁻¹. La stessa operazione si è resa necessaria per il medesimo motivo sul Laveggio per i campionamenti di aprile e di inizio novembre. Tale correzione sarebbe stata probabilmente necessaria anche sul Veduggio, ma il campionatore ha dovuto essere smantellato per consentire il rifacimento degli argini.

Le concentrazioni istantanee sono state comunque utilizzate senza alcuna modifica per tutte le valutazioni di tipo qualitativo (vedi Fig. 4.1.3d.).

Dal confronto tra i valori dei carichi calcolati sulla base dei dati relativi ai due tipi di campionamento emergono alcune differenze di rilievo.

Sul Tresa il carico "CAut" coincide con quello stimato con "CIst" sia per l'azoto che per il fosforo ($\pm 5\%$). Su Cassarate i carichi misurati con i campionatori automatici sono inferiori del 30 e del 20% rispettivamente per fosforo e azoto. Per il Laveggio le differenze non sono sistematiche con variazioni di $\pm 10\%$.

Tab. 4.3. Lago di Lugano, 2009: 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	216 (148) ⁴	-	3.5 (2.9) ⁴	-
Cuccio	75	-	5.0	-
Livone ¹	93	-	4.2	-
Vedeggio	-	508	-	18.8
Magliasina	-	75	-	3.1
Laveggio	-	289 (328) ⁴	-	2.1 (1.8) ⁴
Bolletta	-	143	-	7.9
Scairolo	-	60	-	1.3
Apporto da BN	-	200	-	9.0
Fiumi minori	95	96	2.2	1.9
Aree campionate	479	1371	14.8	44.1
Area non campionata ²	168	178	3.3	3.4
Totale areale emerso	646	1549	18.1	47.5
ARSL ³	59	58	8.8	8.7
Deposizioni sul lago	47	34	0.1	0.1
Totale bacino imbrifero	752	1641	27.1	56.3
Carichi in uscita	200	1003 (959) ⁴	9.0	19.6 (20.9) 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, CHIMICO-FISICHE E 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 è stato riproposto il bilancio termico (cap. 5.4), presentato l'ultima volta nel rapporto 1995. Inoltre la presentazione dei principali riducenti, ovvero manganese e ferro disciolti, solfuri e metano, è stata rivista tenendo conto della sequenza termodinamica delle reazioni ossido-riduttive [6].

5.1. Trasparenza

A Gandria la trasparenza delle acque (Fig. 5.1.) a metà gennaio è risultata massima (16.8 m). I valori sono poi rapidamente diminuiti a partire da febbraio in concomitanza con l'inizio del periodo vegetativo, raggiungendo un minimo di 4.0 m in aprile. Ad inizio maggio ed a metà giugno si sono verificate due fasi di chiarificazione delle acque favorite dall'attività dello zooplancton erbivoro che ha temporaneamente innalzato la trasparenza rispettivamente a 11.5 e a 9.7 m. Dopo un costante calo culminato nel minimo annuale a metà luglio (2.1 m) i valori sono gradualmente aumentati per toccare a metà novembre 12.1 m. A dicembre i valori hanno subito un crollo (6.9 m), insolito per la stagione, riconducibile presumibilmente alla presenza di idr/ossidi di ferro e manganese formati durante una fase precoce del rimescolamento (parziale) invernale; a fine novembre non si sono infatti registrate fioriture algali di rilievo e neppure precipitazioni in grado di originare torbidità.

Per quanto riguarda il bacino sud, l'andamento della trasparenza è stato simile nelle due stazioni. In gennaio nella stazione di Melide è stato rilevato il massimo annuale di 14.1 m mentre il minimo (2.5 m) è stato misurato a Figino a metà luglio. Durante il periodo di chiarificazione delle acque (maggio/giugno) la trasparenza ha raggiunto 8.6 m a Melide e 8.4 m a Figino.

Il valore medio annuo del 2009, calcolato su 24 osservazioni, è stato di 8.2 m a Gandria, 7.1 m a Melide, e 6.2 m a Figino, per cui si riconferma il gradiente trofico lungo in aumento nel senso di deflusso del lago. L'escursione annua della trasparenza ha raggiunto 14.7 m nel bacino nord e 11.4 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), rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica.

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. 6.2.1.). Il picco di aprile, mette in evidenza la presenza di diatomee nei primi 10 metri della colonna d'acqua. Nei mesi successivi sono soprattutto clorofee a

determinare forti torbidità, anche più in profondità (cfr. Fig. 6.2.1.). Nelle tre stazioni nei mesi estivi è stata riscontrata la presenza di torbidità, presumibilmente di origine alloctona e legata correnti di torbida generate dalle piene dei tributari.

A Gandria al di sotto di 220-250 m è confermata la definitiva scomparsa della torbidità generata dalla presenza di materiale fine in sospensione di origine alloctona, riscontrata a partire dal novembre 2006.

Gradienti significativi sono stati rilevati 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. 5.5.) e all'intensificarsi di fenomeni di ossidoriduttivi all'altezza dell'ossiclinio.

5.3. Temperatura dell'acqua

Nella figura 5.3. sono rappresentate le isoterme ottenute in base alle misurazioni quindicinali effettuate ogni 50 cm con la sonda multiparametrica.

In seguito ad un inverno 2008-2009 abbastanza freddo e con discreta attività eolica (cfr. paragrafi 2.2. e 2.4.) il rimescolamento delle acque è stato significativo, toccando i 100 m di profondità nel bacino nord e risultando completo in quello sud.

Nel bacino nord il progressivo sprofondamento dell'isoterma di 5.7 °C dai 130 m di gennaio ai 170 m di dicembre conferma il costante riscaldamento degli strati profondi.

I minimi dell'anno in superficie sono stati misurati in febbraio (5.64 °C a Gandria, 5.70 °C a Melide e a Figino), risultando fino a 0.36 °C inferiori rispetto al 2008. La fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio è iniziata in aprile ed è proseguita fino ad agosto, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno: 26.89 °C a Gandria, 27.35 °C a Melide e 26.84 °C a Figino. La successiva fase di raffreddamento si è svolta in modo regolare fino a dicembre, con gradienti di temperatura più marcati rispetto al periodo di riscaldamento.

5.4. Bilancio termico

Il bilancio termico del lago è stato calcolato per il 2009 seguendo la medesima metodologia descritta nel rapporto del 1990. I dati della temperatura dell'acqua provengono dai profili quindicinali misurati nelle tre stazioni di misura, mentre i dati meteorologici sono quelli misurati dalla stazione di Lugano dell'Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera, servizio IDAWEB).

Questo modello di bilancio termico considera unicamente gli scambi di calore tra l'atmosfera e la superficie lacustre senza tenere conto degli scambi termici dovuti alle diverse componenti del bilancio idrico (tributari, emissario, piogge, evaporazione).

La quantità di calore totale Q_t^* scambiata da ogni bacino con l'atmosfera è la somma di diverse componenti, secondo l'equazione:

$$Q_t^* = Q_s - Q_r - Q_b - Q_h - Q_e$$

dove:

- Q_s = radiazione solare globale (onda corta)
- Q_r = radiazione solare riflessa (onda corta)
- Q_b = scambio radiazione ad onda lunga
- $Q_n = Q_s - Q_r - Q_b$ = radiazione netta
- Q_h = scambio termico per conduzione
- Q_e = scambio termico per evaporazione (o condensazione)
- R = rapporto di Bowen
- Q_t^* = calore scambiato ogni mese dal bacino.

Nel calcolo del calore di evaporazione Q_e è stato seguito il metodo descritto da Livingstone e Imboden [7].

Le tabelle 5.4.1., 5.4.2. e 5.4.3. riportano i valori medi mensili delle componenti del bilancio termico (misurati in $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) rispettivamente per il bacino nord (Gandria) ed i sottobacini di Melide e Figino. Il valore Q_t dell'ultima colonna delle tabelle è il flusso termico del lago.

Le figure 5.4.a rappresentano graficamente l'andamento delle principali componenti per i tre bacini. Le linee continue rappresentano la radiazione netta Q_n .

Quando il valore Q_h è negativo il lago cede calore per conduzione, cioè l'acqua ha una temperatura maggiore dell'aria; al contrario quando Q_h è positivo il lago acquista calore dall'aria. Nel lago si osserva un periodo di raffreddamento tardo invernale-primaverile (marzo-maggio) mentre per la parte rimanente dell'anno si registra un riscaldamento per conduzione dall'aria all'acqua.

Quando Q_n è maggiore di (Q_e+Q_h) si ha un accumulo di calore nel lago, mentre dove è minore si ha una perdita: l'acqua si è riscaldata da marzo ad agosto, mentre durante gli altri mesi si è raffreddata.

Nel bacino nord lo scambio di energia con l'atmosfera ha comportato nel corso del 2009 un guadagno di $1'689.5 \text{ MJ m}^{-2}$ ed una perdita di $-1'078.2 \text{ MJ m}^{-2}$ che corrisponde ad un saldo annuale di 611 MJ m^{-2} . Per il sottobacino di Melide il guadagno risulta di $1'325.7 \text{ MJ m}^{-2}$ e la perdita di $-1'194.6 \text{ MJ m}^{-2}$, per un saldo positivo di 131.2 MJ m^{-2} . Nel sottobacino di Figino l'accumulo netto di calore è stato di circa 180.8 MJ m^{-2} (guadagno: $1'412.4 \text{ MJ m}^{-2}$; perdita: $1'231.6 \text{ MJ m}^{-2}$).

Questi bilanci negativi vanno interpretati come una perdita netta di calore da parte della superficie lacustre verso l'atmosfera e non come una variazione del contenuto calorico della massa lacustre. Per valutare il bilancio termico del lago è necessario considerare anche gli apporti di calore dei tributari e delle precipitazioni, le perdite dovute all'emissario ed all'evaporazione. Si può comunque ipotizzare che il bilancio netto tra gli apporti di calore dal bacino imbrifero, compresi quelli veicolati da un bacino lacustre all'altro, e le perdite dall'emissario sia dello stesso ordine di grandezza, ma di segno opposto, delle perdite di calore verso l'atmosfera calcolate separatamente per i tre bacini. Infatti i profili di temperatura alla circolazione annuale non differiscono tra loro in modo significativo.

Le figure 5.4.b rappresentano le isolinee dei flussi di calore all'interno dei tre (sotto-)bacini durante l'anno 2009, calcolate dai profili di temperatura. Le aree a fondo blu rappresentano una perdita di calore, mentre le aree a fondo rosso rappresentano un guadagno di calore.

Nel bacino nord il flusso di calore entrante negli strati superficiali è iniziato a marzo e si è protratto fino ad agosto. Anche gli strati profondi (sotto i 70 m) hanno manifestato una lieve tendenza a riscaldarsi durante l'anno; in aprile tra i 60 ed i 120 m di profondità si è verificato lo sprofondamento di acqua più fredda probabilmente come conseguenza degli eventi ventosi di marzo. I flussi in profondità sono in ogni caso minimi, a conferma della stabilità termica profonda.

Nel bacino sud si osserva un raffreddamento dell'intera colonna d'acqua che continua fino ad inizio di marzo. Il riscaldamento degli strati superficiali si protrae fino ad agosto, mentre l'ipolimnio prosegue il suo aumento di calore fino alla seconda metà di dicembre fino a quando si verifica la destratificazione della colonna d'acqua.

5.5. Ossigeno disciolto

La figura 5.5. 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 $2 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$.

Nel bacino nord il massimo assoluto dell'anno è stato misurato a fine maggio a 5 m di profondità (12.56 g m^{-3}). L'isolinea corrispondente al valore di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$, sotto la quale le condizioni d'ossigenazione sono considerate critiche (area in grigio), è calata in inverno da 50 a 80m, profondità attorno a cui è oscillata durante il resto dell'anno.

Il completo rimescolamento invernale delle acque del bacino sud ha fatto sì che a metà febbraio l'intera colonna d'acqua risultasse ben ossigenata. A partire da maggio ha fatto la sua comparsa l'isolinea di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ che si è progressivamente innalzata. Essa a raggiunto i 60 m di profondità a Melide e 40 m a Figino, dove un minimo metalimnico particolarmente marcato a partire da settembre ha contribuito ad incrementare l'ipossia ipolimnica. Durante il periodo vegetativo, le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, facendo segnare un massimo a maggio a 5 m di profondità ($13.84 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a Melide e $14.60 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a Figino).

5.6. Valore pH ed alcalinità

In tutto il lago le maggiori variazioni del valore pH (Fig. 5.6.1.) e dell'alcalinità (Fig. 5.6.2.) sono state rilevate all'interno dello strato trofogeno, e sono legate all'andamento dall'attività foto sintetica algale. 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 pH superficiale più elevato dell'anno è stato riscontrato in agosto con un valore di 8.93, mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.6 e

7.9. L'alcalinità ha raggiunto in settembre un minimo annuo di 1.50 eq m^{-3} in superficie. Sotto i 30 m di profondità l'alcalinità ha mostrato un leggero gradiente con valori in crescita da 2.3 e 2.5 eq m^{-3} .

Per quanto concerne l'epilimnio del bacino sud i valori massimi di pH e minimi d'alcalinità sono stati misurati in agosto nella stazione di Melide, con rispettivamente 8.95 e 1.29 eq m^{-3} . A partire da maggio, nell'ipolimnio del bacino sud si sono instaurati deboli gradienti verticali d'alcalinità, con valori compresi tra 2.1 e 2.5 eq m^{-3} .

5.7. Conducibilità elettrica specifica

L'andamento della conducibilità (Fig. 5.7.) presenta analogie con quello dell'alcalinità e del pH (Figg. 5.6.1. e 5.6.2). In febbraio sono stati osservati gradienti di ca. $10 \mu\text{S cm}^{-1}$ per i primi 80-90 m, a riprova di una discreta circolazione invernale 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 $166 \mu\text{S cm}^{-1}$ di settembre. 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 agosto a 5 m di profondità un minimo di $165 \mu\text{S cm}^{-1}$. Da luglio i valori ipolimnici del bacino sud hanno mostrato un leggero aumento che ha portato, sul fondo, a valori massimi in ottobre di $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ a Melide e di $266 \mu\text{S cm}^{-1}$ a Figino.

5.8. 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 il rimescolamento invernale ha portato in febbraio a concentrazioni omogenee di fosforo totale (Fig. 5.8.2) intorno a 55 mg P m^{-3} all'interno dei primi 50 m. Al di sotto di questa profondità si è mantenuto un gradiente in crescendo verso il basso con concentrazioni in prossimità del fondo in aumento nel corso dell'anno dai 120 mg P m^{-3} di marzo ai 193 mg P m^{-3} di novembre (massimo annuale). Nell'epilimnio l'attività algale ha progressivamente ridotto le concentrazioni di questo nutriente dai 50 mg P m^{-3} di marzo al minimo annuo di settembre (7 mg P m^{-3}). Sotto i 40 m il fosforo ortofosfato (Fig. 5.8.1.) costituisce il 70-90% del fosforo totale, mentre negli strati superiori il suo contributo percentuale si riduce fino al 15%, in seguito alla produzione di biomassa algale (fosforo particellato).

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto, in marzo, valori quasi omogenei sull'intera colonna: 60 mg P m^{-3} a Melide e 40 mg P m^{-3} a Figino. Il consumo della frazione disciolta da parte del fitoplancton è stato accompagnato, anche nell'epilimnio di questo bacino, da una progressiva riduzione dei valori di fosforo totale, il cui minimo annuale è stato registrato in settembre (6 mg P m^{-3} a

Melide e 7 mg P m^{-3} a Figino). Negli strati profondi, il rilascio del fosforo dai sedimenti anossici durante la fase di stagnazione è stato interrotto nel bimestre febbraio-marzo dalla circolazione invernale, 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 (485 mg P m^{-3}) e in ottobre a Figino (165 mg P m^{-3}). Nell'epilimnio del bacino sud la percentuale di fosforo reattivo sul totale durante è passata dal 60 % di febbraio a meno del 10 % durante il periodo vegetativo (luglio-agosto). Sotto i 30 m la quota di ortofosfato è risultata compresa tra 80 e 90 %. Tuttavia a Figino durante il secondo semestre al di sotto dei 70 m il fosforo particellato è aumentato fino a costituire il 40-55 % del totale, probabilmente in seguito all'adsorbimento del fosforo disciolto agli idr/ossidi di ferro e manganese precipitati all'altezza dell'ossiclino.

5.9. Composti dell'azoto

Tra le forme d'azoto presenti nelle acque lacustri, quelle inorganiche disciolte (nitrico: Fig. 5.9.1.; nitroso: Fig. 5.9.2.; ammoniacale: Fig. 5.9.3.) costituiscono una frazione importante, in particolare nel bacino sud, dove la percentuale varia dal 60 al 90 %. 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 $0.5 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$, mentre quello ammoniacale era presente solo nell'ipolimnio anossico, sotto i 200 m. In estate nei primi 5 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 $0.4 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$). Concentrazioni significative di azoto nitroso sono state rilevate sporadicamente in tutta la colonna d'acqua, con valori inferiori a $10 \text{ mg NO}_2\text{-N m}^{-3}$.

Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale nel bacino nord (Fig. 5.9.4.) riflettono la dinamica delle sue due componenti principali: nell'epilimnio le concentrazioni estive scendono in settembre a 0.12 g N m^{-3} in seguito all'organizzazione 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 a 0.87 g N m^{-3} in novembre sopra il sedimento. Il massimo annuale è tuttavia stato misurato in novembre a 10 m di profondità con 1.29 g N m^{-3} . La fascia compresa tra 130 e 150 m di profondità costituisce durante tutto l'anno un pozzo per l'azoto totale riconducibile presumibilmente a processi di denitrificazione che avvengono in condizioni ipossiche [8].

Il bacino sud presenta in marzo, al termine della circolazione, tenori d'azoto nitrico quasi uniformi sull'intera colonna ($1.4\text{-}1.5 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$). Da aprile a settembre si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici, con un minimo in agosto di $0.17 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ a Melide e $0.33 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ a Figino. 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. In novembre, a Melide, l'azoto nitrico ha fatto segnare la concentrazione più bassa ($0.04 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$) 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 dicembre a Melide ($2.50 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$) e in novembre a Figino ($1.17 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$). L'azoto nitroso, prodotto intermedio della de/nitrificazione, è stato riscontrato in quantitativi di un certo rilievo a partire da maggio-giugno sotto i 70 m; in agosto sopra il sedimento di Melide è stata rilevata la concentrazione massima: $196 \text{ mg NO}_2\text{-N m}^{-3}$.

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, a circolazione conclusa sulla colonna d'acqua si osservavano valori omogenei di $1.4\text{-}1.5 \text{ g N m}^{-3}$. In seguito si osservano gradienti pronunciati, determinati 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 (0.41 g N m^{-3}) ed il massimo in dicembre sopra il sedimento (2.65 g N m^{-3}).

5.10. Silice

Le concentrazioni dei silicati reattivi del bacino nord (Fig. 5.10.) hanno raggiunto in febbraio una concentrazione di $0.7\text{-}0.8 \text{ g Si m}^{-3}$ nei primi 40 m. I valori epilimnici sono poi calati nel corso dei mesi successivi in seguito al rapido sviluppo del popolamento di diatomee (cfr. Fig. 6.2.1.) per toccare a fine estate, in superficie, il livello minimo: 0.14 g Si m^{-3} . Negli strati profondi le concentrazioni sono rimaste sostanzialmente stabili, con valori in leggera crescita durante il secondo semestre sotto i 150 m. La concentrazione massima dell'anno (2.22 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 sull'intera colonna (0.8 g Si m^{-3} a Melide e 1.0 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 (0.06 g Si m^{-3} a Melide in settembre e 0.08 g Si m^{-3} a Figino in aprile). Parimenti da marzo, nell'ipolimnio profondo, il graduale rilascio di silice dal sedimento ha lentamente incrementato le concentrazioni, fino a giungere in autunno ai massimi annui (4.87 g Si m^{-3} a Melide in dicembre; 2.24 g Si m^{-3} a Figino in ottobre).

5.11. Manganese disciolto

Nel bacino nord il manganese disciolto (Fig. 5.11.) è stato riscontrato all'interno dello strato anossico in concentrazioni consistenti sotto i 150 m di profondità ed ha mostrato un gradiente di concentrazione verticale, che si è rafforzato durante l'anno. Il massimo annuale (179 mg Mn m^{-3}) è stato misurato in novembre a due metri dal fondo.

Nel bacino sud il manganese è stato misurato in concentrazioni rilevanti a partire da maggio, sotto i 60 m, con un andamento stagionale ed un'intensità simile in entrambe le stazioni campionate. Inoltre le concentrazioni sono più elevate rispetto al bacino nord, mediamente da 10 a 20 volte maggiori. A Melide il valore massimo è stato toccato in dicembre ($4'690 \text{ g Mn m}^{-3}$), mentre a Figino è stato raggiunto in ottobre ($1'930 \text{ g Mn m}^{-3}$), entrambi nei campioni di fondo.

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 160 m di profondità, in situazioni di marcata anossia, con un gradiente verso il fondo da 50 a 350 mg Fe m^{-3} (Fig. 5.12.). La concentrazione più elevata è stata rilevata in novembre sul fondo: 532 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 maggio e al di sotto di 70 m di profondità. Il rilascio di questo metallo dai sedimenti ha portato le concentrazioni a toccare il massimo annuale in dicembre sul fondo (194 mg Fe m^{-3}).

5.13. Solfuri

Nel corso del 2009 i solfuri sono stati rilevati solo occasionalmente nello strato costantemente anossico (Fig. 5.13.).

Nel bacino nord si sono misurate concentrazioni significative al di sotto dei 170-200 m, con valori in crescita verso il fondo e in aumento nel secondo semestre. In dicembre è stato registrato a due metri dal fondo un massimo di $329 \text{ mg S}^{2-} \text{ m}^{-3}$. Nel bacino sud i solfuri sono stati riscontrati solamente a Melide nell'ultimo trimestre, con un massimo in novembre di $331 \text{ mg S}^{2-} \text{ m}^{-3}$ sopra il sedimento. A Figino l'assenza di solfuri potrebbe essere ricondotta alla formazione di solfuro ferrico, in ragione delle elevate concentrazioni di ferro disciolto in questa stazione.

5.14. Metano

Il metano si riscontra nelle acque lacustri solamente in condizioni di marcata anossia (Fig. 5.14.).

A Gandria, nel corso del 2009, il metano è stato riscontrato a profondità superiori a 200 m con valori in progressiva crescita verso il fondo (da 0.1 a $1.0 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$). La concentrazione più elevata ($1.71 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$) 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 le concentrazioni dei campioni di fondo ad un massimo di $5.04 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$ a Melide in dicembre e di $1.73 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-3}$ a Figino in novembre.

5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale

La figura 5.15. mostra l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale nei due bacini principali del lago durante gli ultimi 27 anni (1983-2009).

Nel bacino nord i valori medi, ponderati sull'intero volume, sono oscillati in maniera irregolare tra 135 e 170 mg P m⁻³ tra il 1983 ed il 2004. In seguito alla destratificazione dell'inverno 2004-2005 [9] la concentrazione media è crollata a 115 mg P m⁻³, per poi diminuire costantemente fino agli attuali 77 mg P m⁻³. All'interno dello strato 0-100 m le concentrazioni 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 dell'ipolimnio profondo, lo strato 0-100 m ha progressivamente ridotto le sue concentrazioni per arrivare ai 52 mg P m⁻³ del 2009; ciò significa che la concentrazione di fosforo totale nello strato superiore del bacino nord si è dimezzata nell'arco di 3 anni, tornando ai valori della seconda metà degli anni novanta.

Nel bacino sud il trend è differente: 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 toccare 48 mg P m⁻³ nel 2008. Nel corso del 2009 la concentrazione di fosforo totale è risultata in lieve diminuzione a 45 mg P m⁻³. Considerato il marcato calo delle concentrazioni nello strato 0-100 m del bacino nord è ipotizzabile che la riduzione osservata nel sottostante bacino sud, non sia imputabile a oscillazioni naturali interannuali, ma possa proseguire.

Tab. 5.4.1. Lago di Lugano, 2009: valori medi mensili delle componenti del bilancio termico nel bacino nord [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$].

	Qs	Qr	Qb	Qn	Qe	Qh	R	Qt
Gen	4.56	0.64	6.90	-2.98	2.35	1.68	0.72	-6.15
Feb	9.15	1.01	6.16	1.98	2.93	0.49	0.17	-2.19
Mar	13.43	1.21	5.02	7.20	2.37	-0.96	-0.41	4.69
Apr	15.08	1.21	3.92	9.95	1.20	-0.76	-0.63	8.38
Mag	22.48	1.57	4.48	16.43	3.03	-1.04	-0.35	7.25
Giu	23.70	1.66	5.61	16.43	6.75	0.26	0.04	7.56
Lug	24.08	1.69	5.85	16.54	6.99	0.47	0.07	4.11
Ago	20.81	1.46	5.77	13.58	5.95	0.34	0.06	1.76
Set	15.22	1.37	7.05	6.80	7.27	1.74	0.24	-2.13
Ott	10.20	1.02	7.81	1.37	7.00	2.24	0.32	-10.03
Nov	4.76	0.62	6.12	-1.97	3.38	1.73	0.51	-4.85
Dic	4.08	0.61	7.02	-3.55	3.88	2.39	0.62	-17.06

Tab. 5.4.2. Lago di Lugano, 2009: valori medi mensili delle componenti del bilancio termico nel sottobacino di Melide [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$].

	Qs	Qr	Qb	Qn	Qe	Qh	R	Qt
Gen	4.56	0.64	6.93	-3.01	2.49	1.80	0.72	-5.24
Feb	9.15	1.01	6.19	1.95	3.09	0.54	0.18	-2.09
Mar	13.43	1.21	5.43	6.80	3.05	-0.53	-0.17	5.77
Apr	15.08	1.21	4.47	9.40	1.98	-0.30	-0.15	7.02
Mag	22.48	1.57	4.58	16.32	3.34	-1.00	-0.30	7.25
Giu	23.70	1.66	5.93	16.11	7.96	0.63	0.08	7.17
Lug	24.08	1.69	6.55	15.84	9.38	1.21	0.13	4.10
Ago	20.81	1.46	6.23	13.12	7.51	0.79	0.11	0.89
Set	15.22	1.37	7.17	6.68	7.94	1.95	0.25	-3.71
Ott	10.20	1.02	7.79	1.39	7.25	2.31	0.32	-8.61
Nov	4.76	0.62	6.07	-1.93	3.45	1.76	0.51	-4.46
Dic	4.08	0.61	7.43	-3.96	4.73	3.07	0.65	-8.39

Tab. 5.4.3. Lago di Lugano, 2009: valori medi mensili delle componenti del bilancio termico nel sottobacino di Figino [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$].

	Qs	Qr	Qb	Qn	Qe	Qh	R	Qt
Gen	4.56	0.64	6.87	-2.95	2.46	1.75	0.71	-4.11
Feb	9.15	1.01	6.31	1.83	3.33	0.72	0.22	-1.87
Mar	13.43	1.21	5.46	6.76	3.16	-0.50	-0.16	4.84
Apr	15.08	1.21	4.38	9.49	1.90	-0.39	-0.20	5.99
Mag	22.48	1.57	4.56	16.35	3.36	-1.04	-0.31	8.92
Giu	23.70	1.66	5.79	16.25	7.71	0.49	0.06	4.87
Lug	24.08	1.69	6.29	16.10	8.74	0.95	0.11	5.45
Ago	20.81	1.46	5.99	13.36	6.94	0.57	0.08	-0.54
Set	15.22	1.37	7.20	6.65	8.18	2.03	0.25	-1.36
Ott	10.20	1.02	7.93	1.25	7.76	2.54	0.33	-8.76
Nov	4.76	0.62	6.02	-1.88	3.44	1.73	0.50	-4.01
Dic	4.08	0.61	7.32	-3.85	4.63	2.97	0.64	-9.47

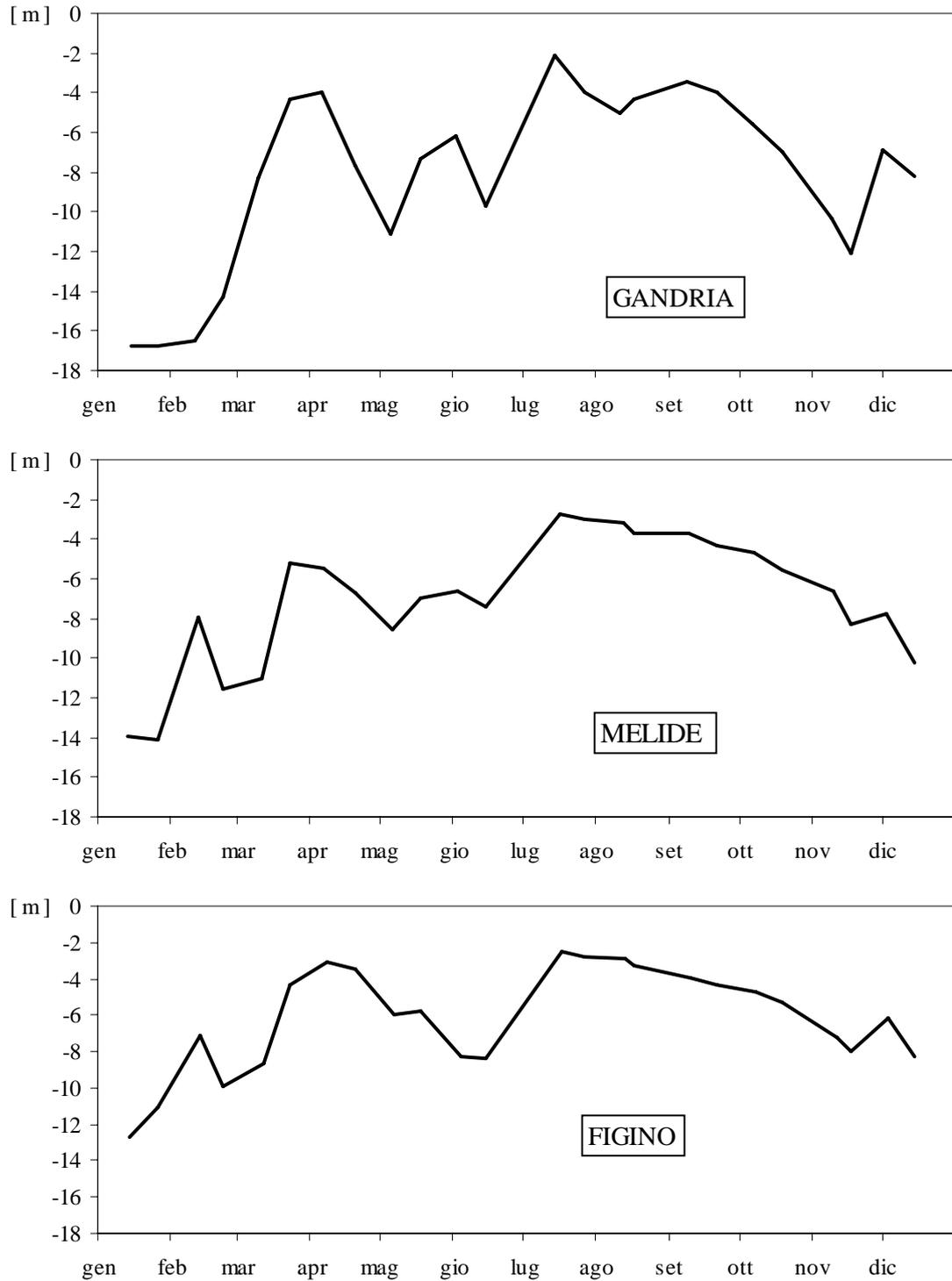


Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2009: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.

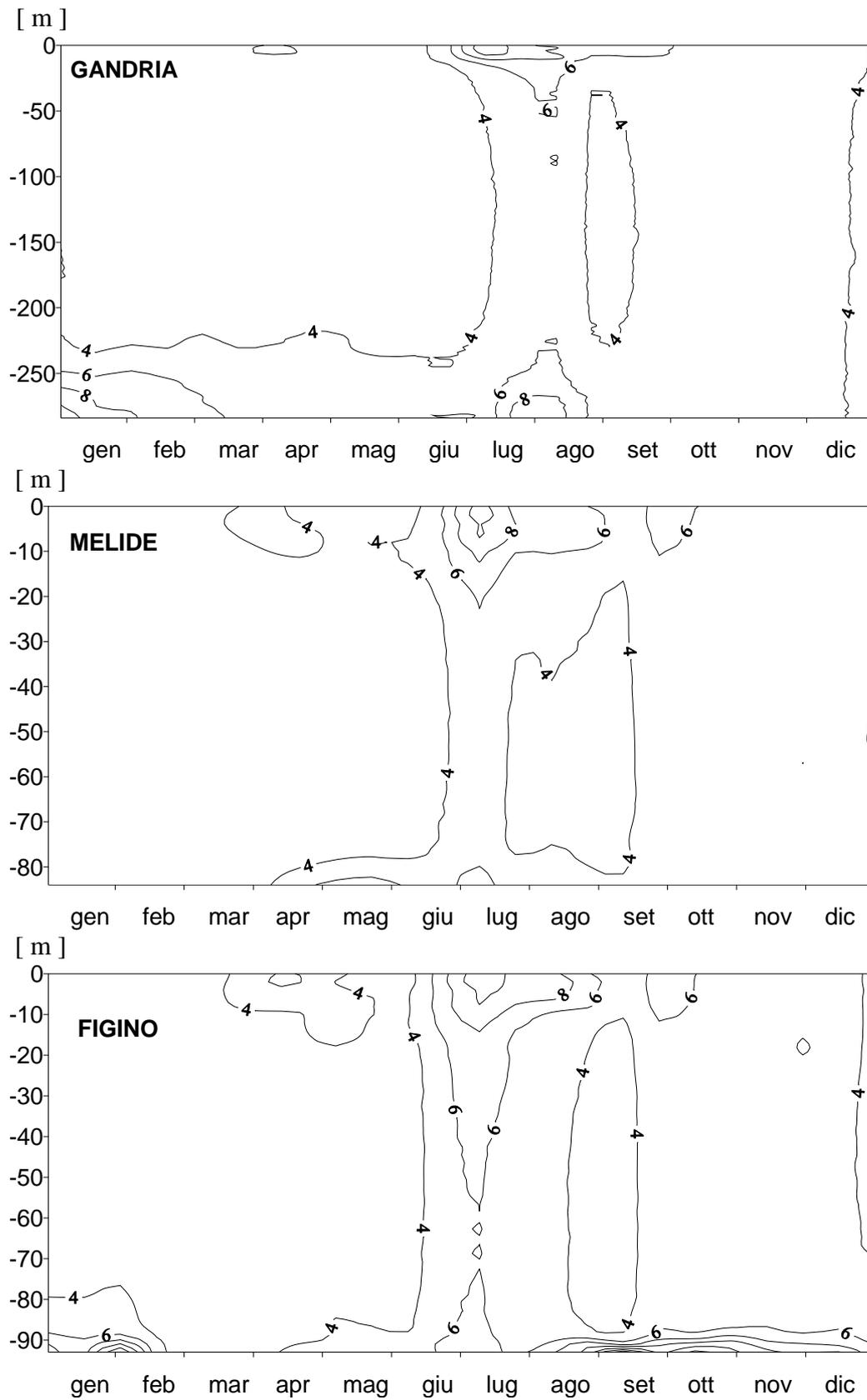


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2009: andamento della torbidità rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica.

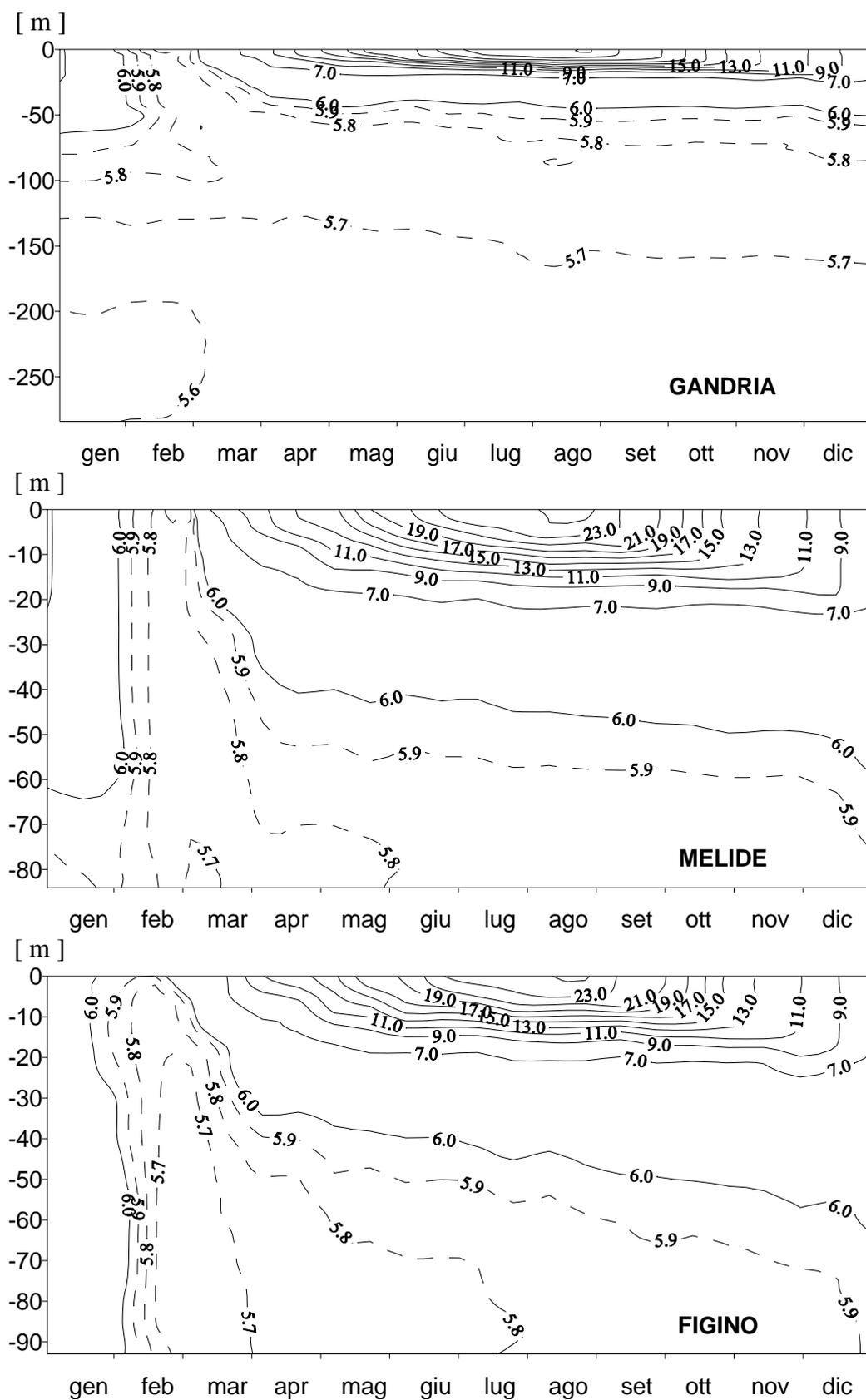


Fig. 5.3. Lago di Lugano, 2009: andamento della temperatura rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [°C].

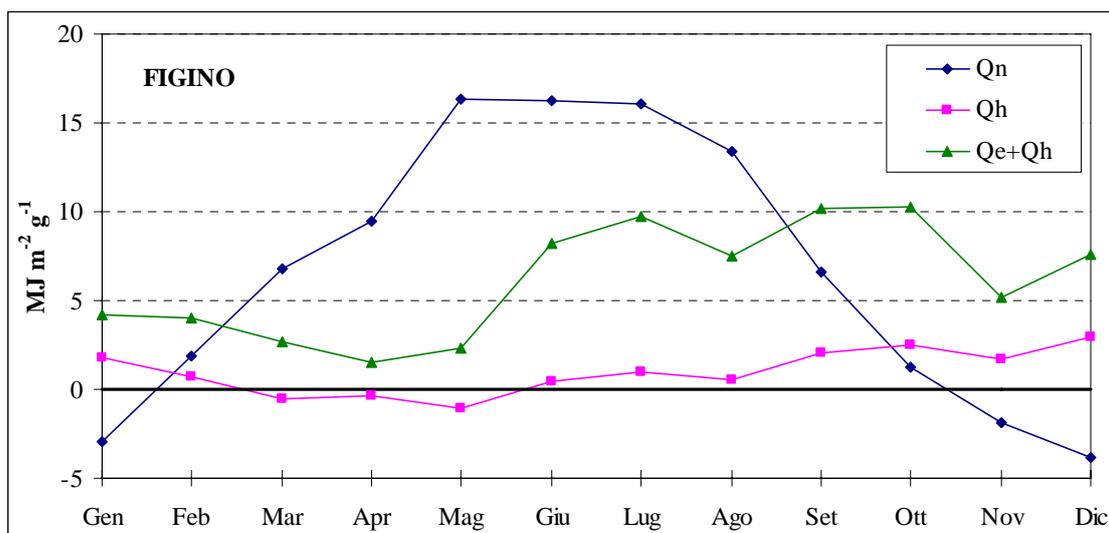
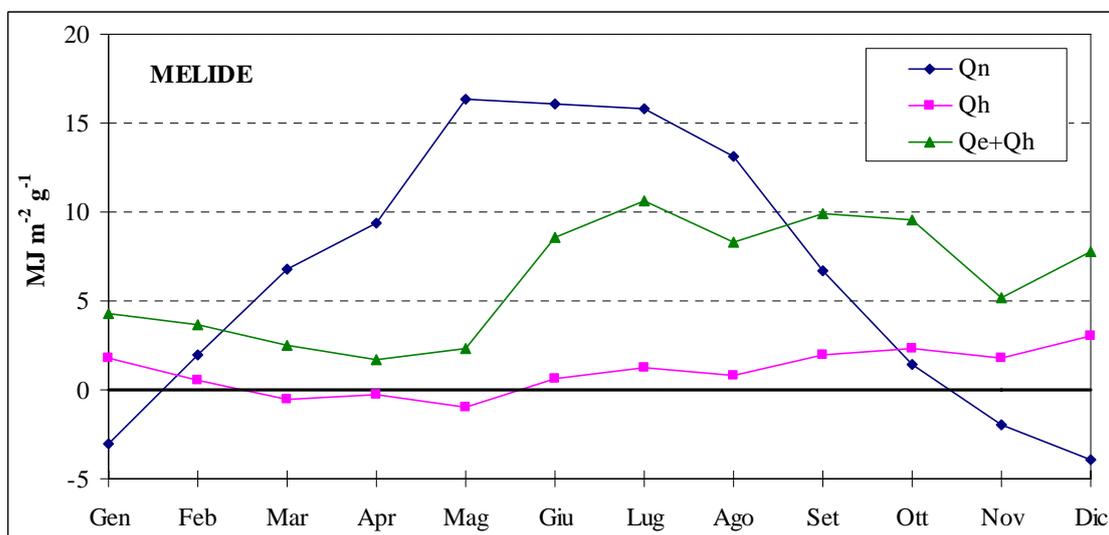
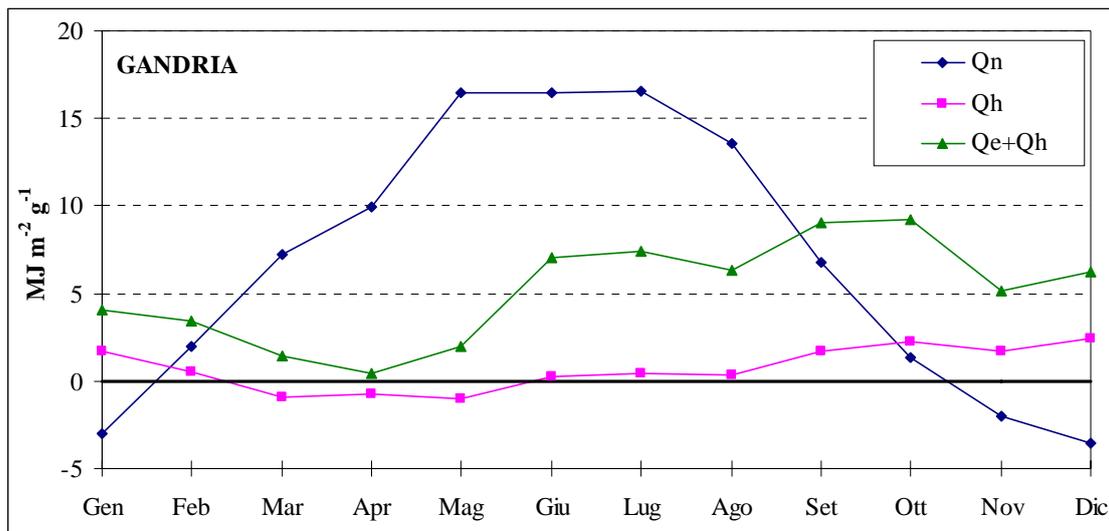


Fig. 5.4.a Lago di Lugano, 2009: andamento bilancio termico [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$].

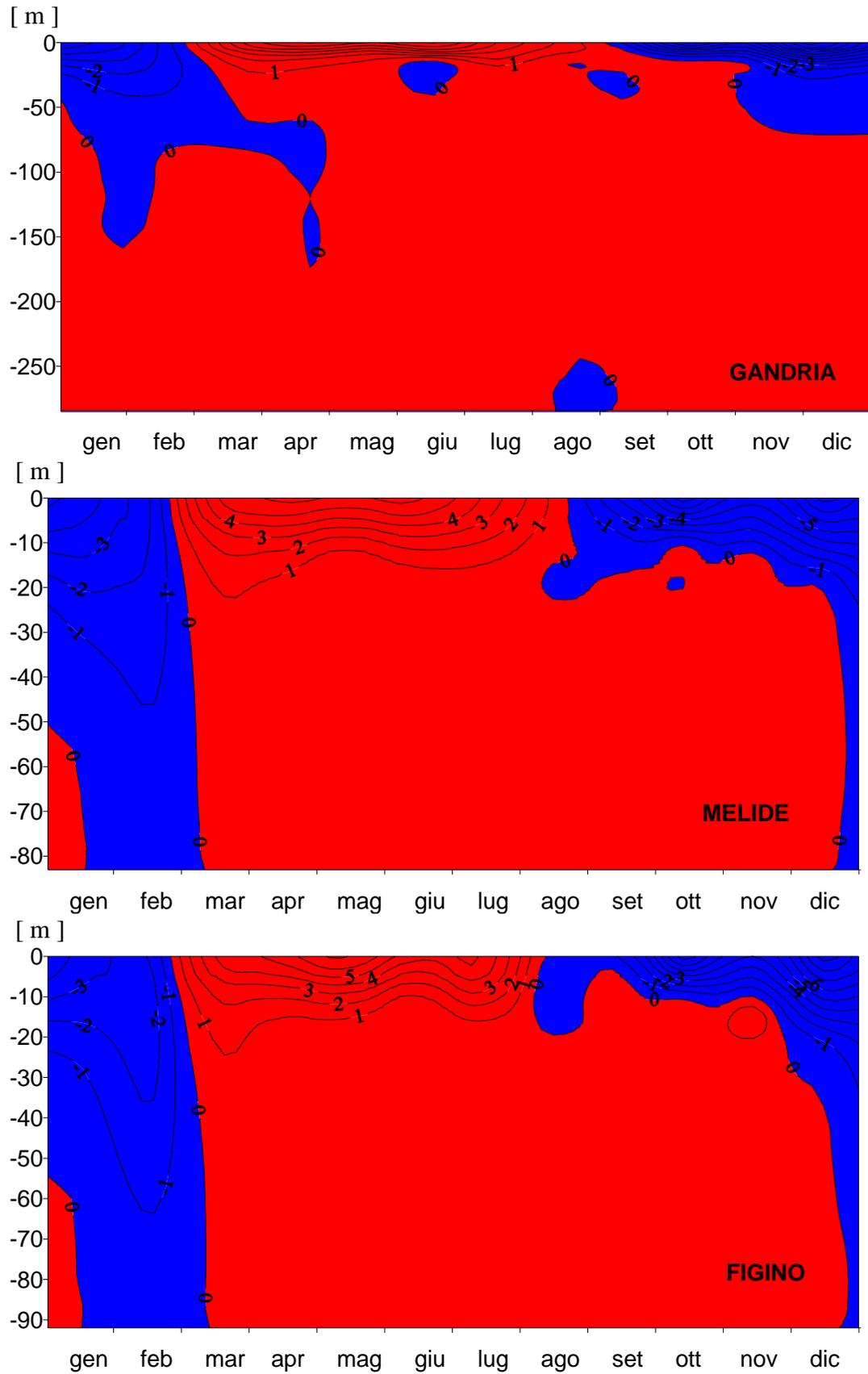


Fig. 5.4.b Lago di Lugano, 2009: andamento del flussi di calore [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$].

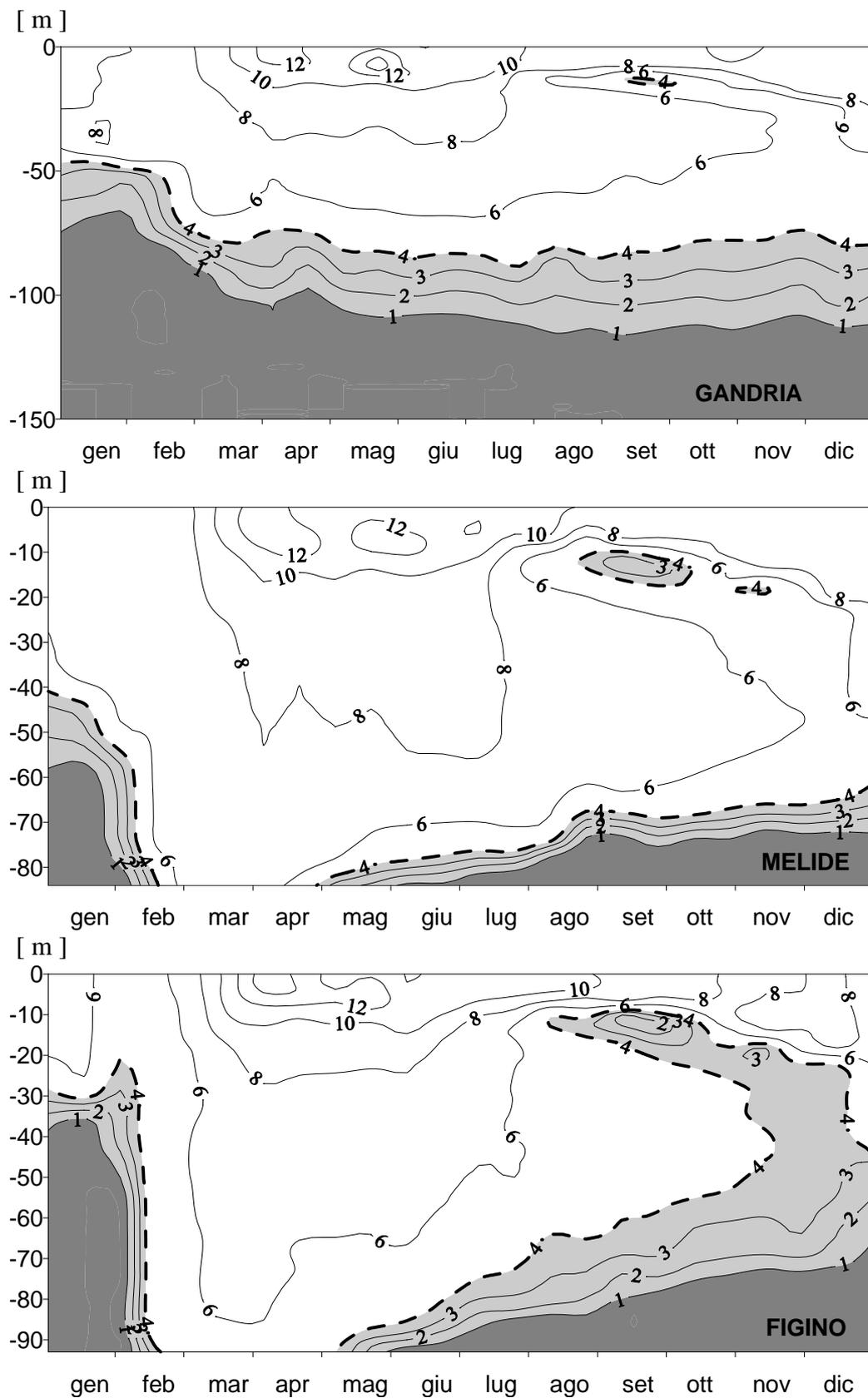


Fig. 5.5. Lago di Lugano, 2009: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [g m^{-3}].

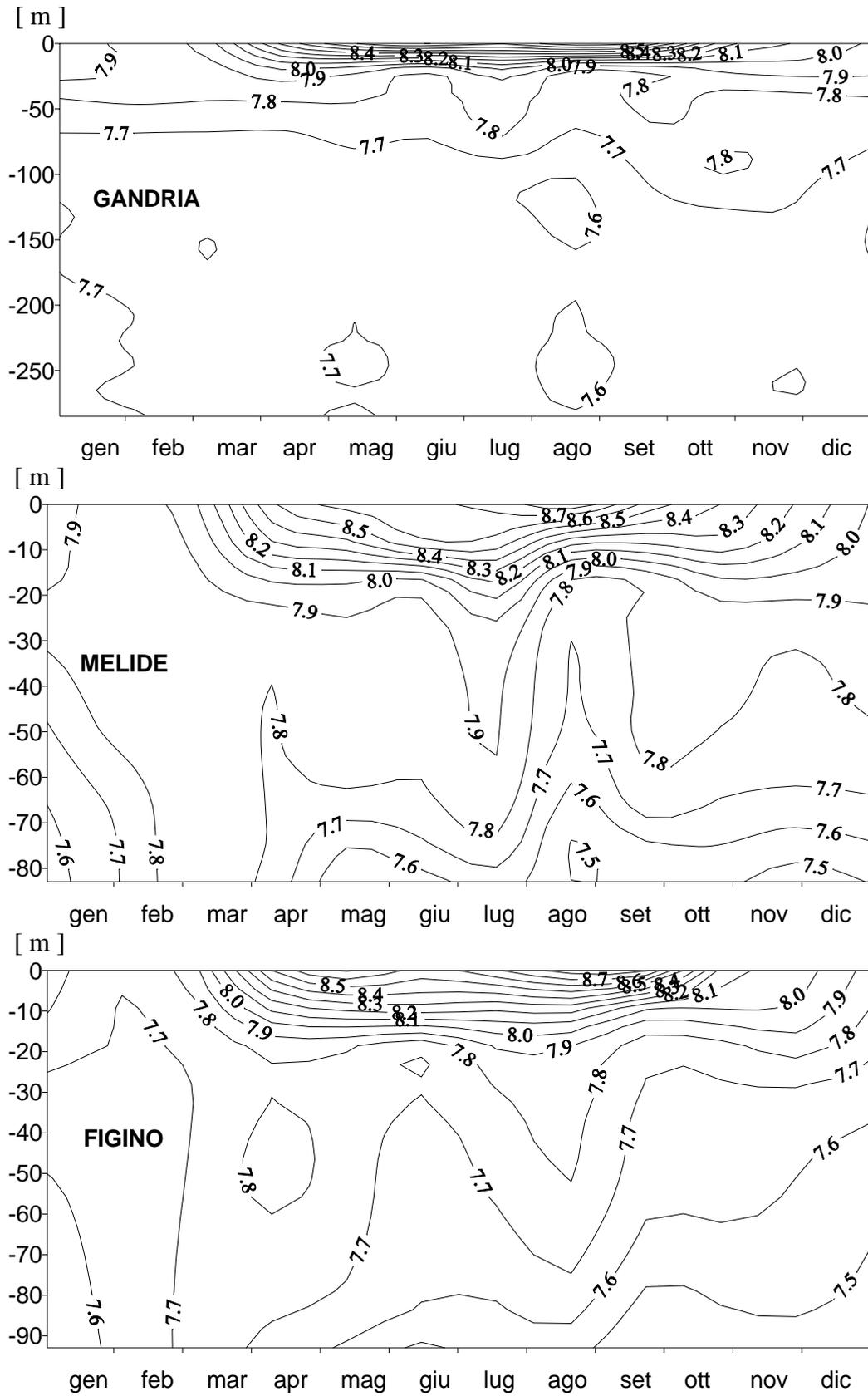


Fig. 5.6.1. Lago di Lugano, 2009: andamento del valore pH.

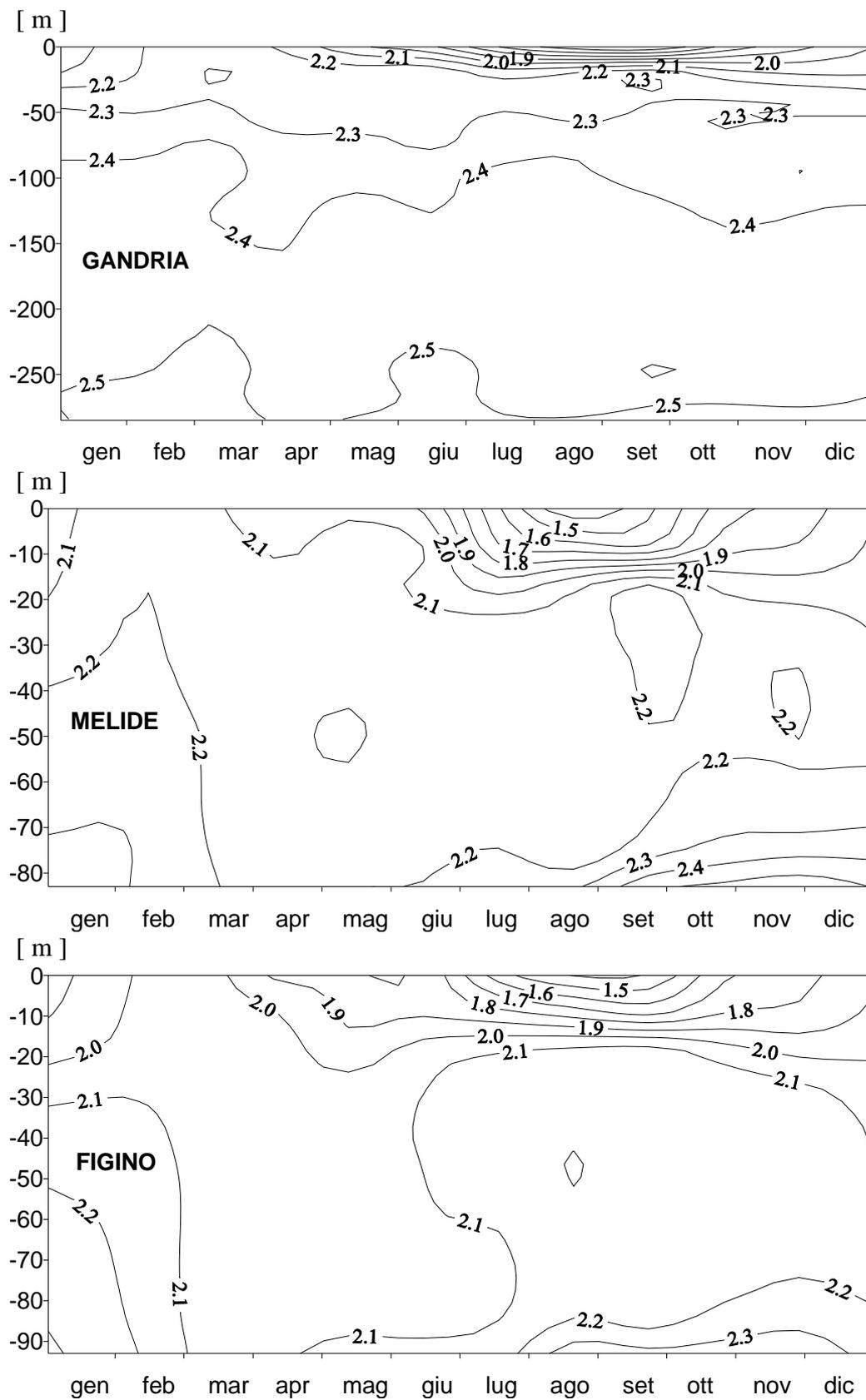


Fig. 5.6.2. Lago di Lugano, 2009: andamento dell'alcalinità [eq m^{-3}].

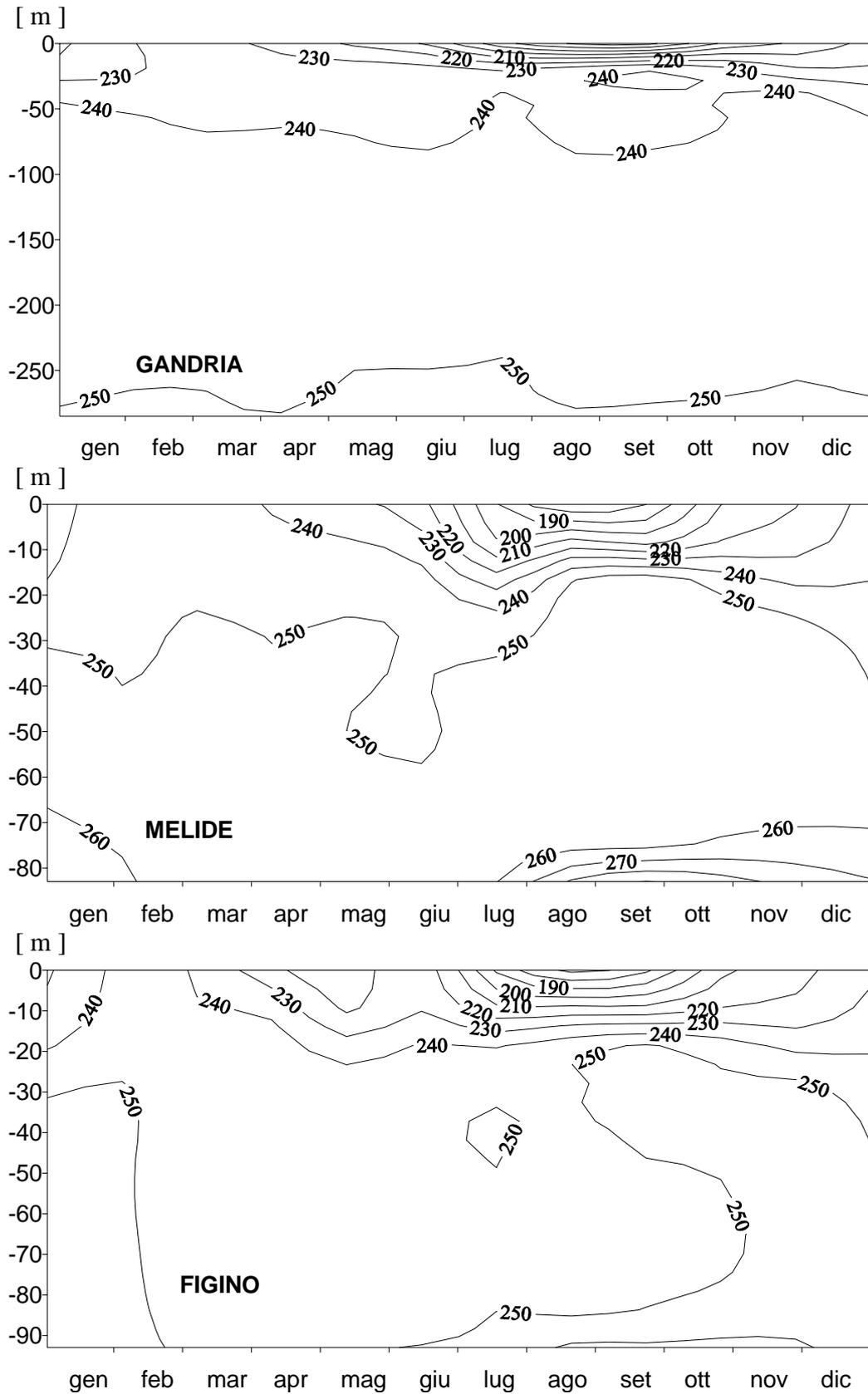


Fig. 5.7. Lago di Lugano, 2009: andamento della conducibilità elettrica [$\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C].

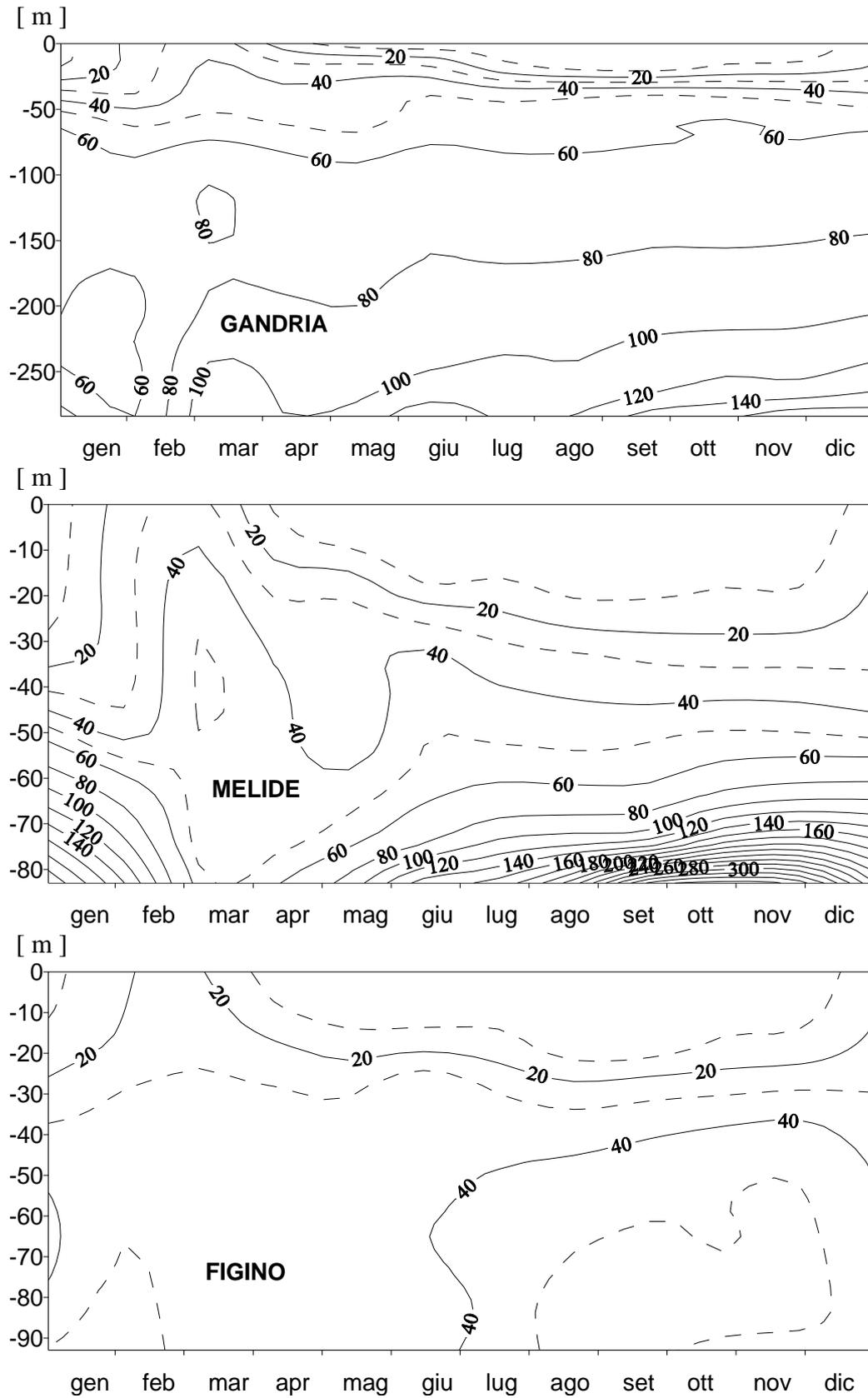


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2009: andamento del fosforo ortofosfato [mg P m^{-3}].

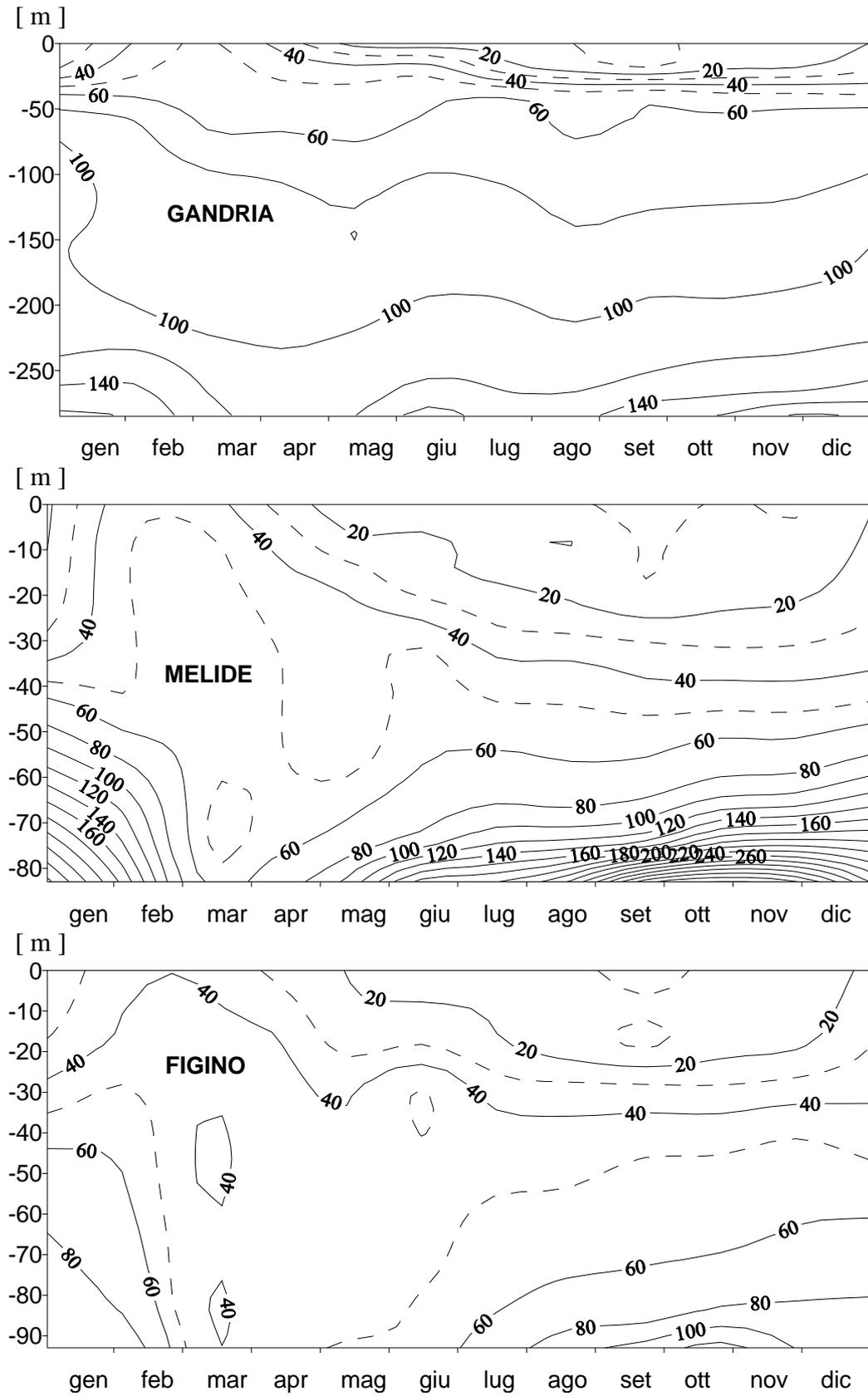


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2009: andamento del fosforo totale [mg P m^{-3}].

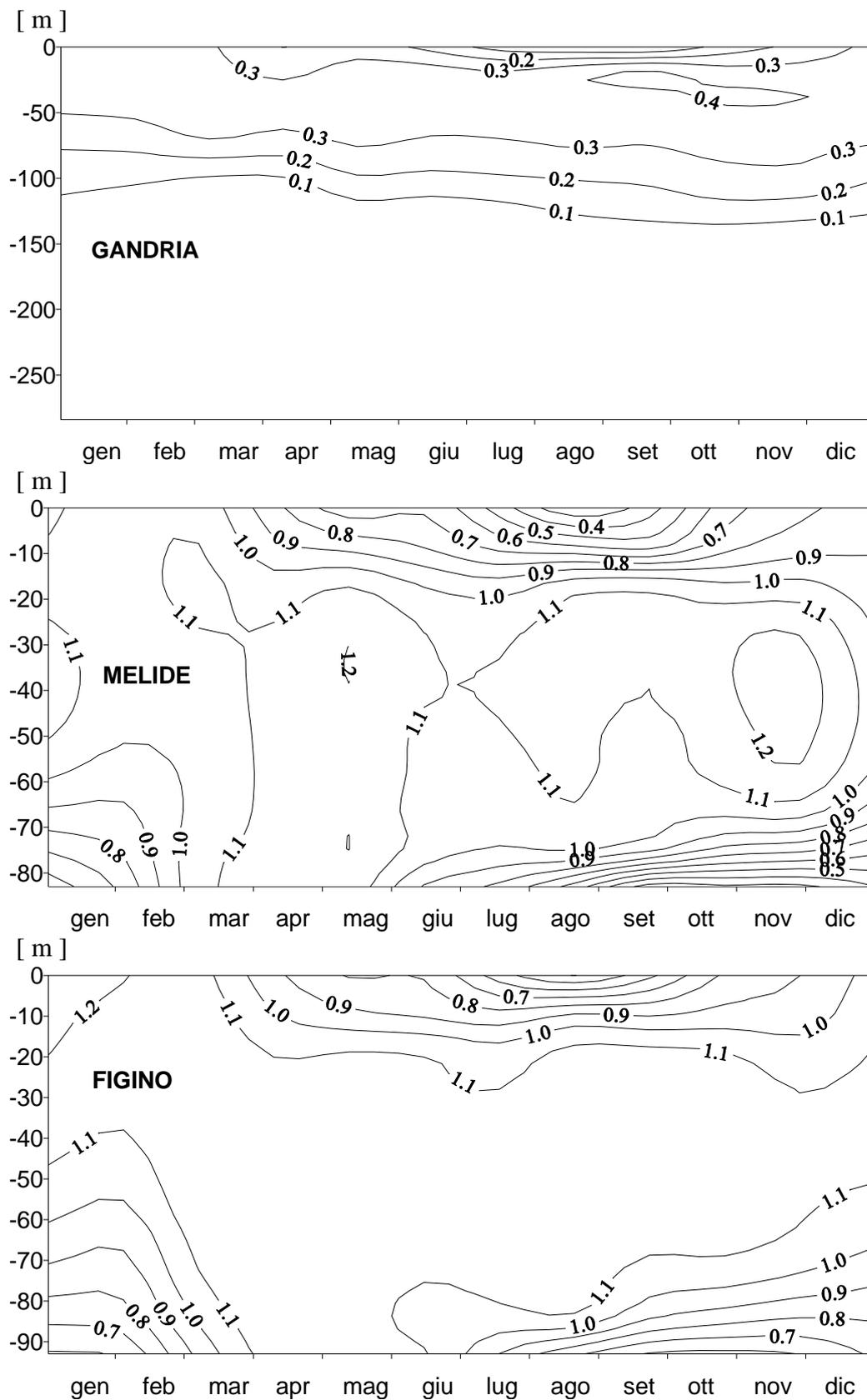


Fig. 5.9.1. Lago di Lugano, 2009: andamento dell'azoto nitrico [g N m^{-3}].

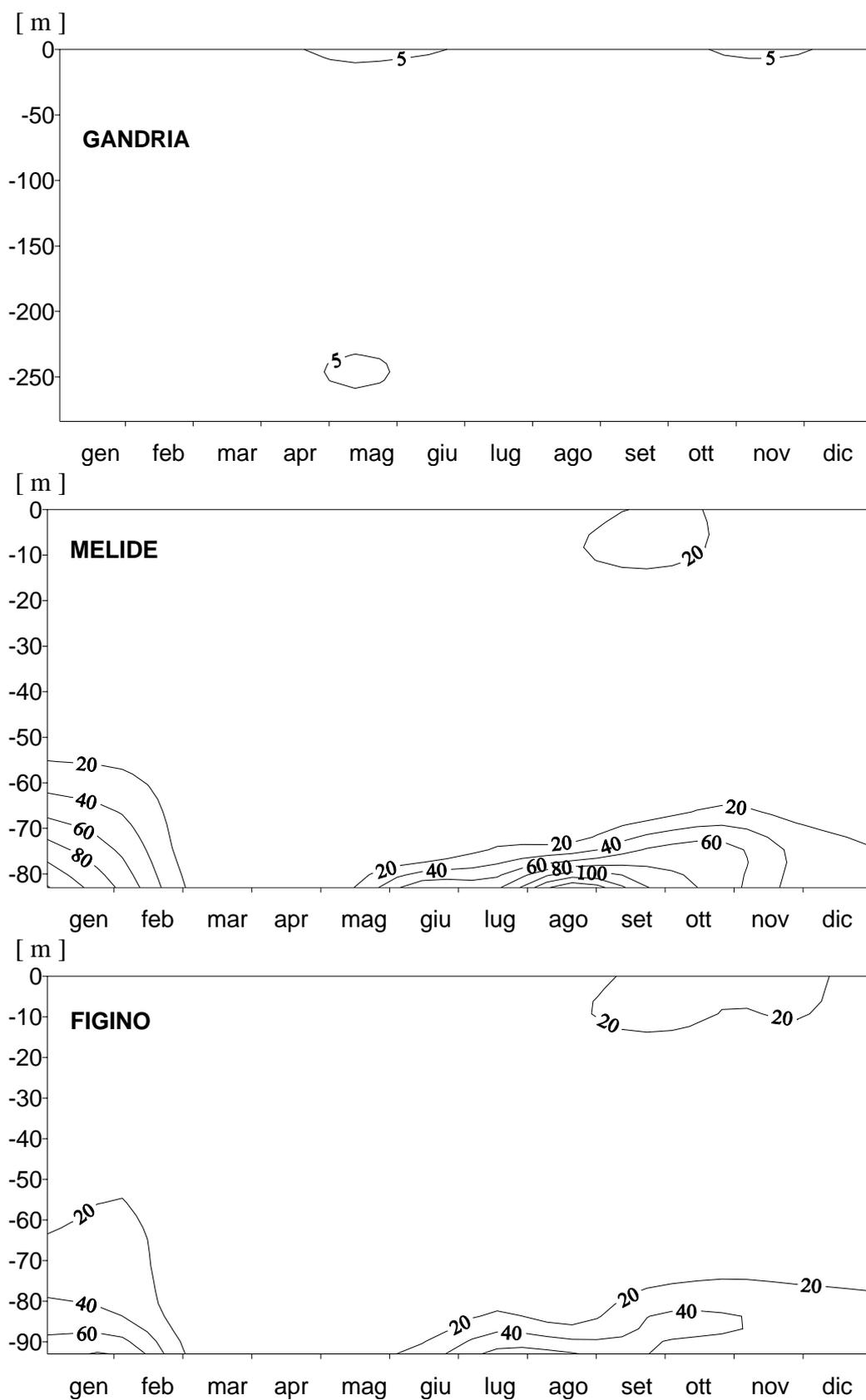


Fig. 5.9.2. Lago di Lugano, 2009: andamento dell'azoto nitroso [mg N m⁻³].

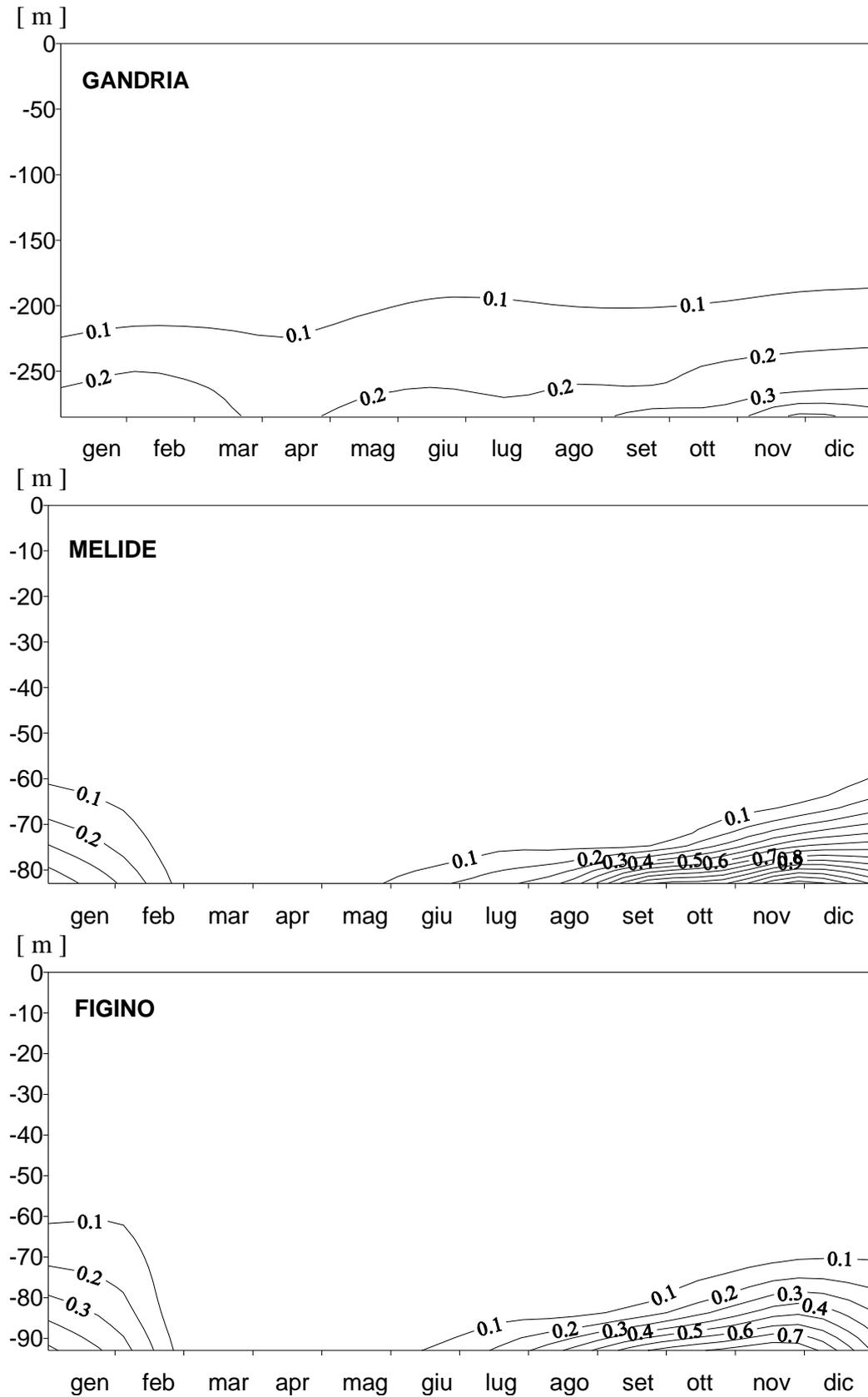


Fig. 5.9.3. Lago di Lugano, 2009: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m^{-3}].

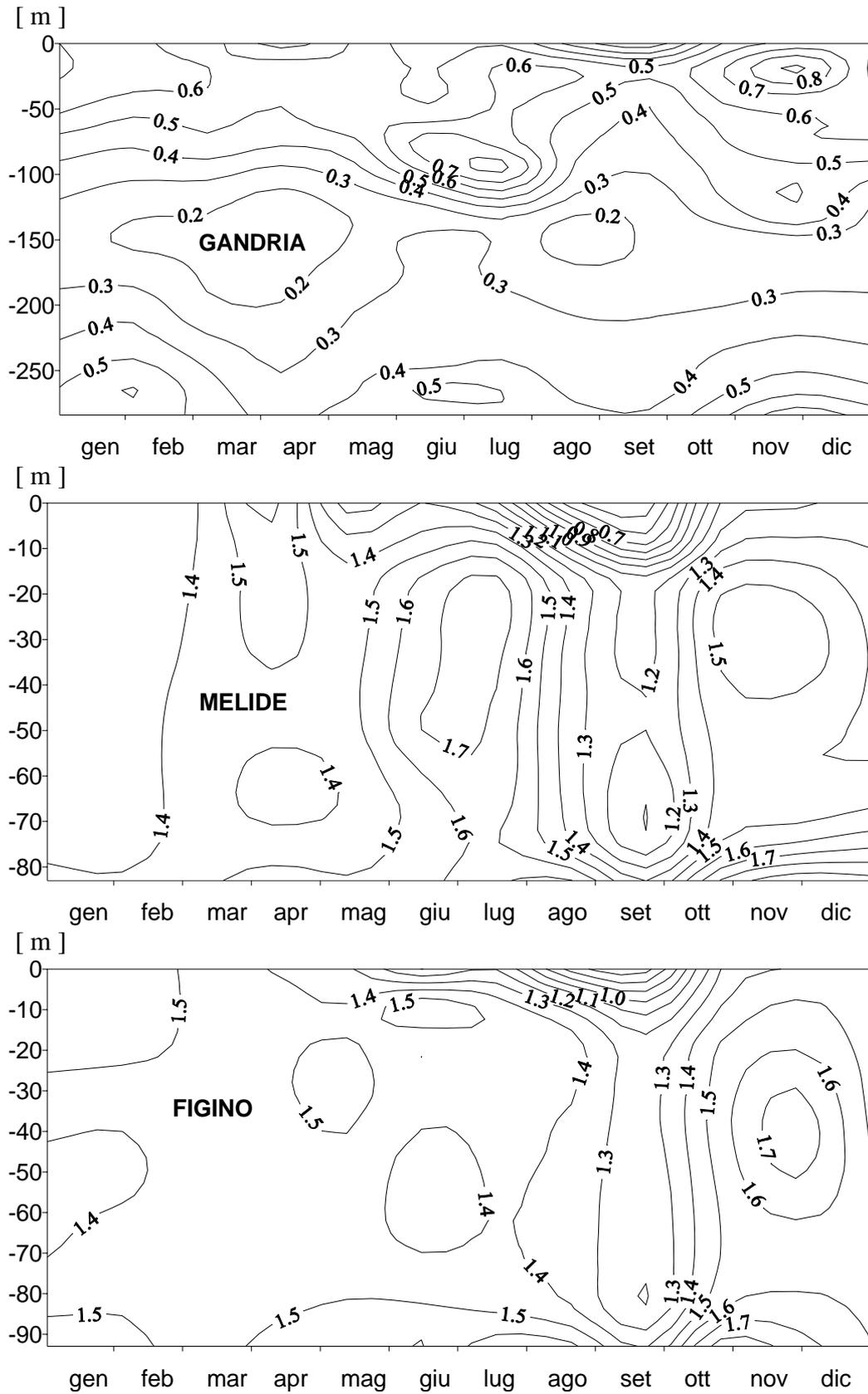


Fig. 5.9.4. Lago di Lugano, 2009: andamento dell'azoto totale [g N m^{-3}].

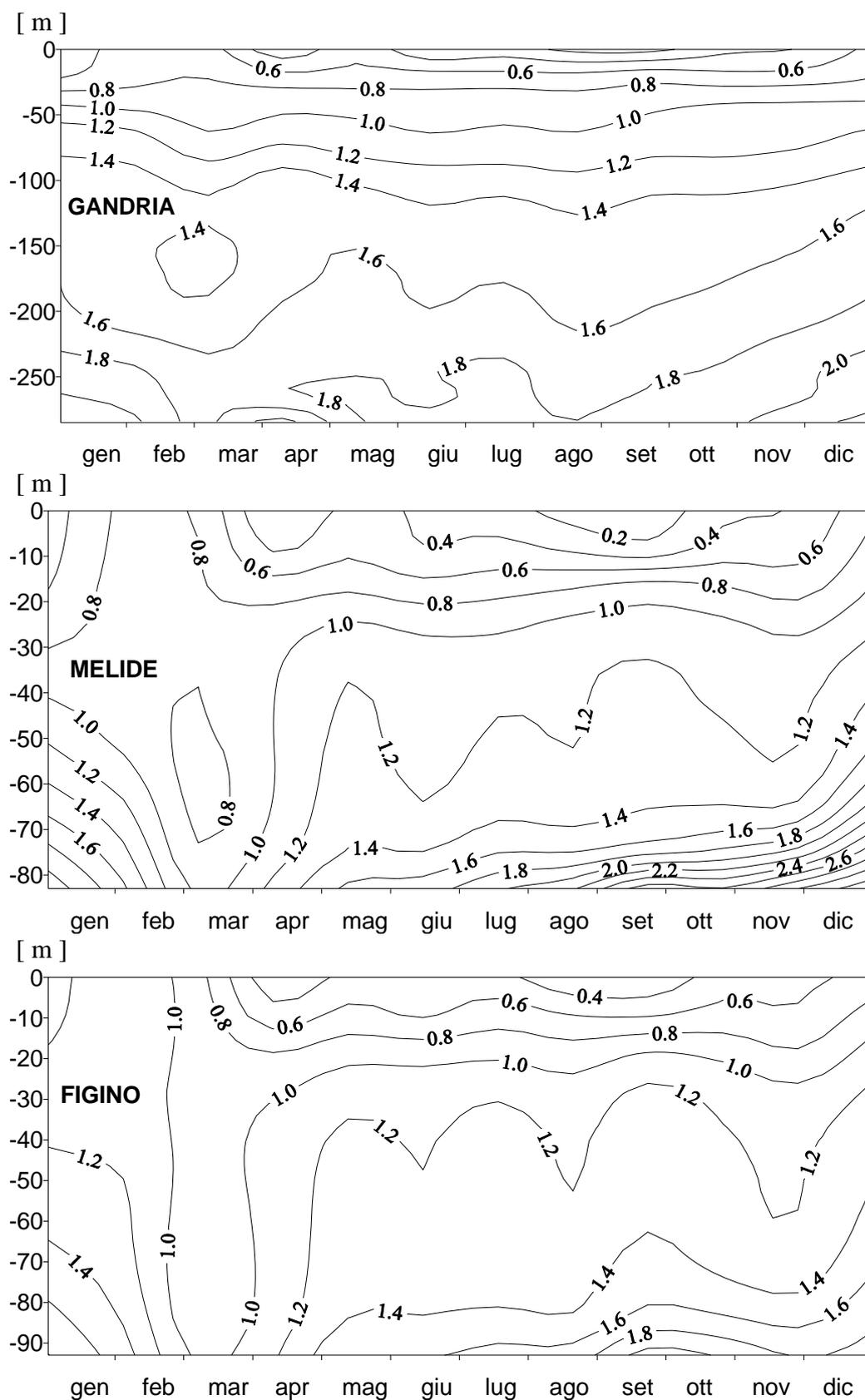


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2009: andamento dei silicati reattivi [g Si m^{-3}].

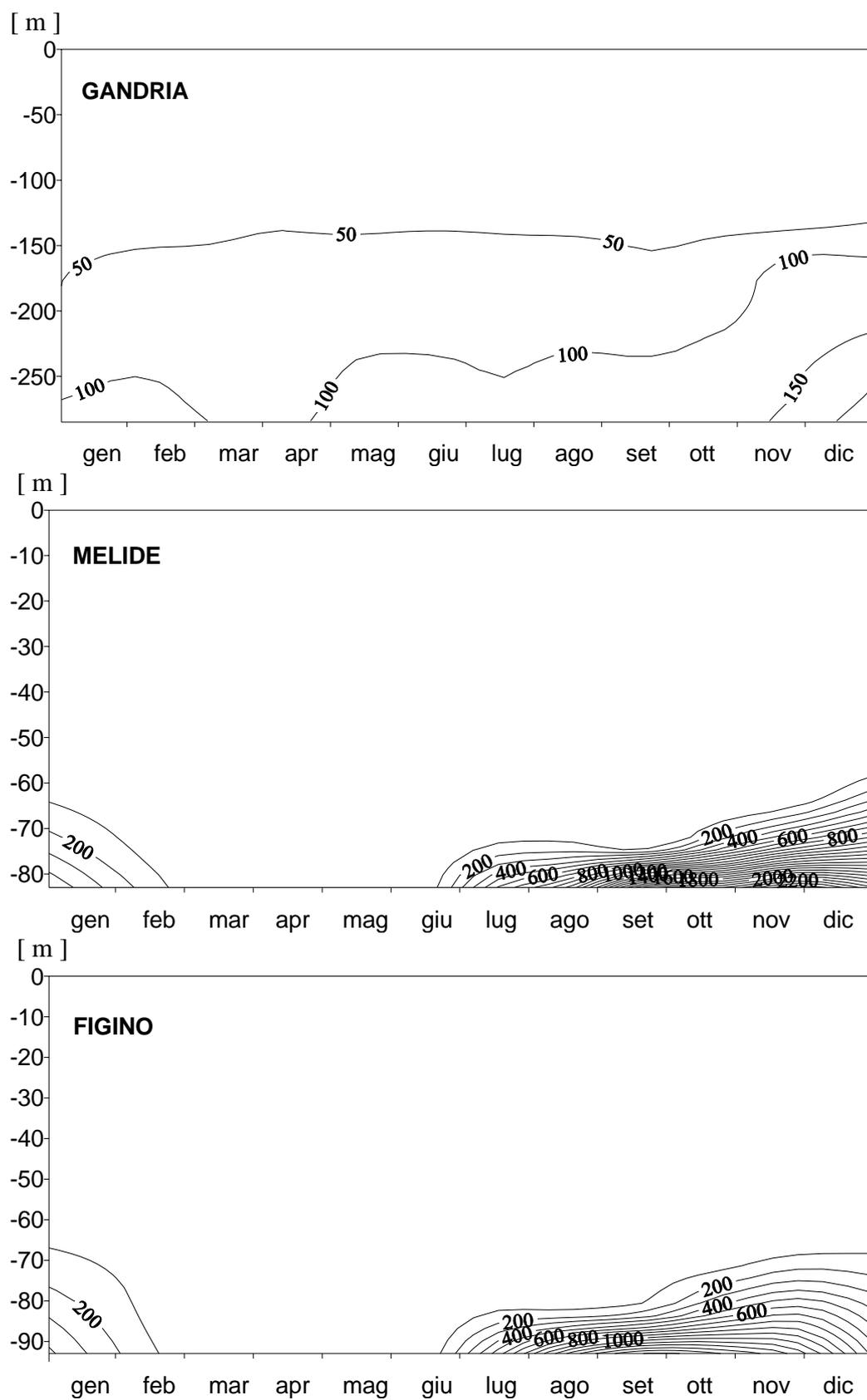


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2009: andamento del manganese disciolto [mg m^{-3}].

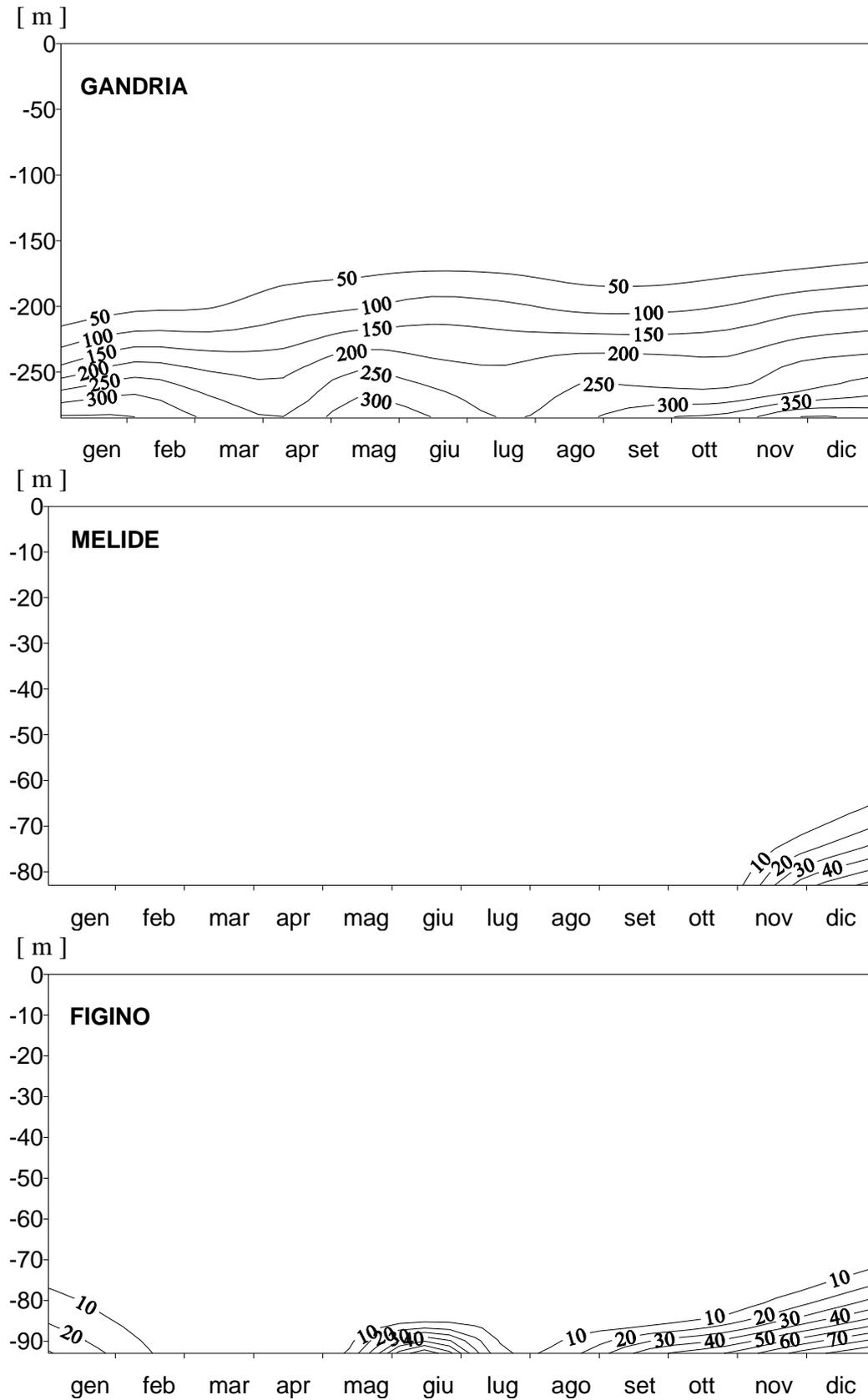


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2009: andamento del ferro disciolto [mg m^{-3}].

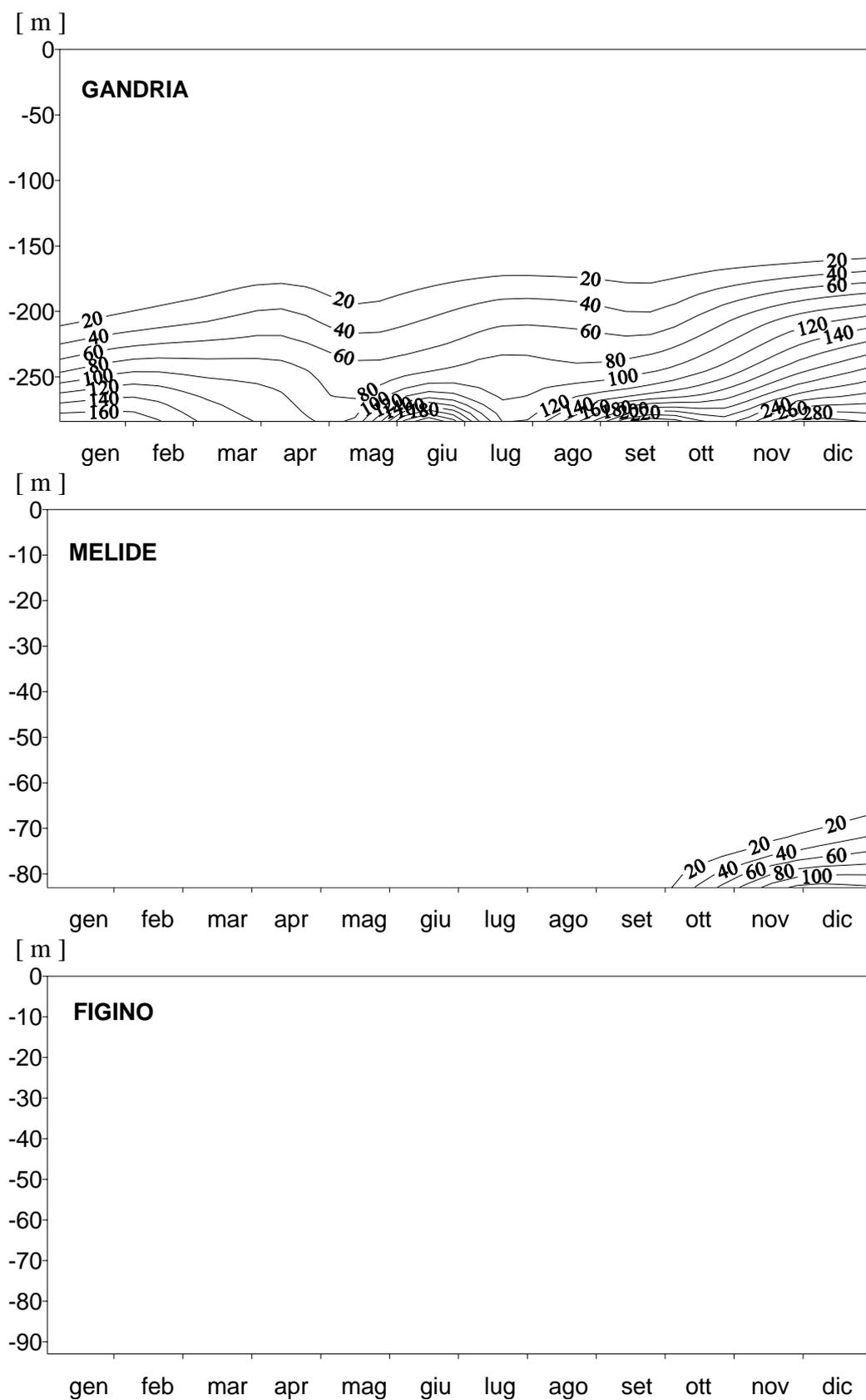


Fig. 5.13. Lago di Lugano, 2009: andamento del solfuro [mg m^{-3}].

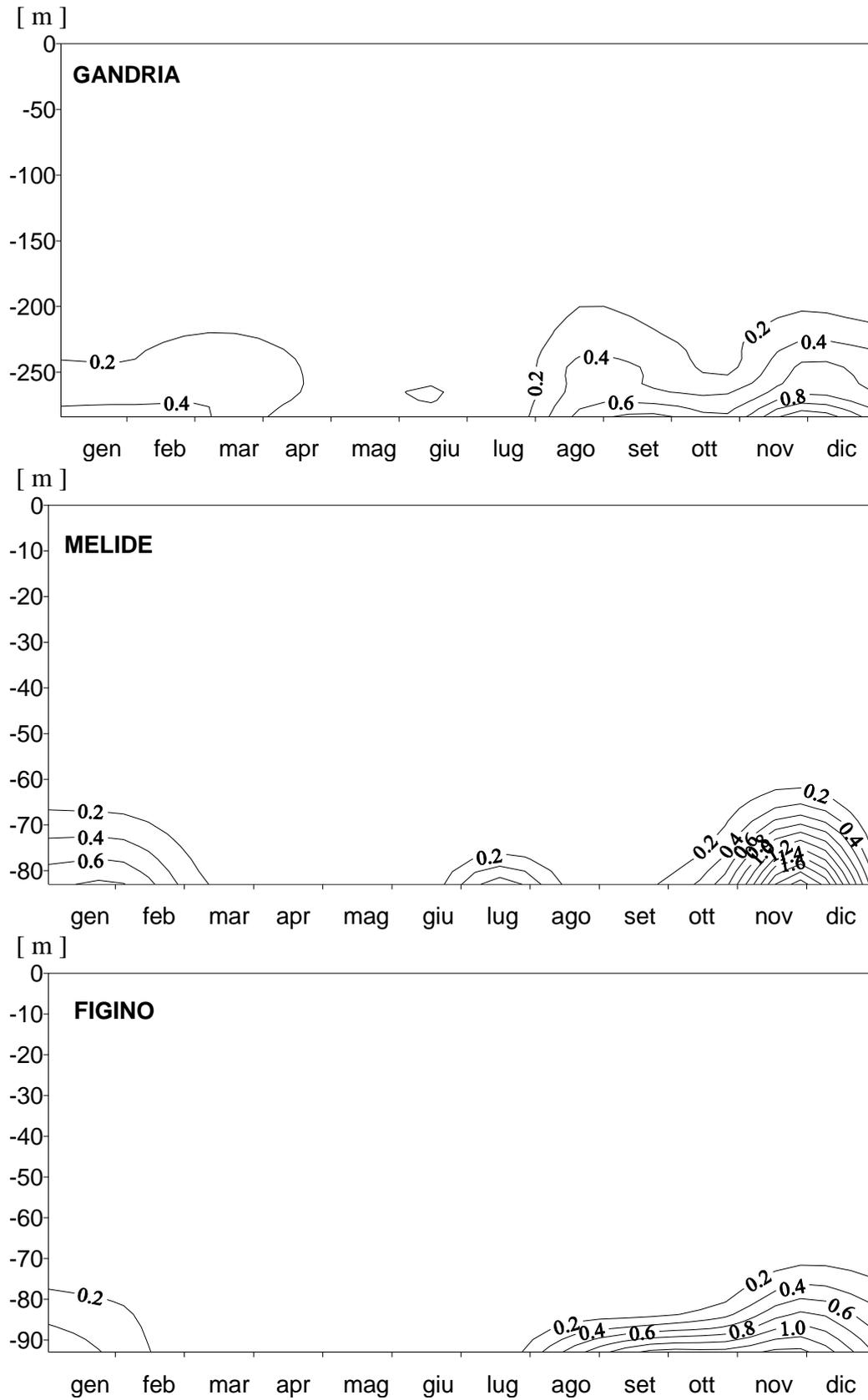


Fig. 5.14. Lago di Lugano, 2009: andamento del metano [g m^{-3}].

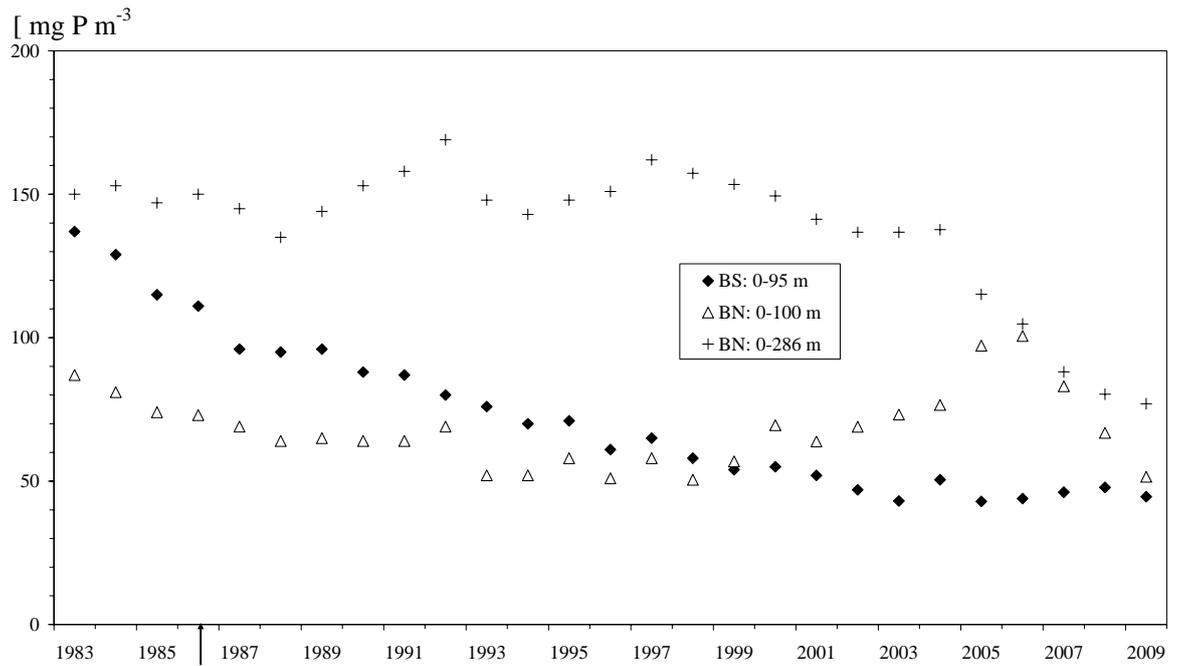


Fig. 5.15. Lago di Lugano, 1983-2009: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud (BS) ed in differenti strati del bacino nord (BN).
La freccia indica l'anno d'entrata in vigore del bando dei fosfati dai detersivi in Svizzera.

6. INDAGINI SUL FITOPLANCTON

6.1. Struttura dei popolamenti

Nel corso del 2009 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 di densità dei popolamenti. Come conseguenza del discreto rimescolamento invernale della colonna d'acqua, il periodo vegetativo del 2009 ha preso avvio con un rapido sviluppo di specie piccole dimensioni appartenenti ai gruppi tassonomici tipicamente primaverili (diatomee, criptoficee), particolarmente adatte a sfruttare al meglio l'apporto di nutrienti algali dagli strati profondi verso la zona trofogenica. Il progressivo esaurimento dei nutrienti algali negli strati superficiali ha dapprima favorito lo sviluppo in profondità di specie filamentose con basse esigenze luminose, appartenenti alle xantoficee ed alle cianoficee, ed in seguito ha contribuito a mantenere i popolamenti estivi delle cloroficee su livelli di densità contenuti, soprattutto nel bacino nord. Con l'avvento dell'autunno quest'ultimo gruppo tassonomico ha fatto registrare ancora una forte ripresa nel bacino sud.

L'analisi dei principali gruppi tassonomici evidenzia il perdurare della scarsità di **cianoficee** in tutto il lago, che hanno raggiunto densità di un certo rilievo unicamente con le specie filamentose *Aphanizomenon flos-aquae* (giugno) e *Planktothrix rubescens* (luglio-agosto).

Come di consueto, le **diatomee** hanno rappresentato la componente predominante nel corso del primo semestre, dapprima con specie centriche (marzo-aprile) e quindi con specie pennate (aprile-giugno). Durante il secondo semestre questo gruppo si è assestato su valori di densità generalmente modesti, fatta eccezione per una breve fase di sviluppo di pennate in agosto, ma limitatamente al bacino nord. Fra le centriche sono risultate particolarmente abbondanti *Stephanodiscus parvus/minutulus*, di piccole dimensioni, e *Aulacoseitia islandica ssp. helvetica*, specie coloniale filamentosa di grandi dimensioni, mentre fra le pennate ha raggiunto valori di densità rilevanti unicamente la specie coloniale *Fragilaria crotonensis*.

Rispetto all'anno precedente sono risultate in netto calo le **cloroficee**, la cui fase principale di sviluppo si è estesa dal periodo estivo fino all'autunno: fra di esse hanno fatto registrare punte di densità elevate unicamente le due specie clorococcali *Sphaerocystis schraeteri* (luglio-ottobre) e *Celastrum polychordum*, e quest'ultima solo nelle stazioni del bacino sud (ottobre-novembre).

Le **criptoficee** hanno avuto nel genere *Rhodomonas* il loro principale rappresentante: la prima punta di forte sviluppo, che generalmente coincide con l'inizio del periodo vegetativo, è stata rilevata durante il mese di marzo solo nel

bacino nord; per contro se n'è osservata una successiva in giugno, che ha riguardato anche nelle stazioni del bacino sud.

Per quanto concerne i restanti gruppi, si sono mantenute su modesti livelli le **coniugatoficee**, le **crisoficee**, le **peridinee** mentre le **xantoficee**, con *Tribonema sp.*, hanno fatto registrare una forte ripresa in tutto il lago, anche se temporalmente concentrata in un unico momento di massiccio sviluppo, nel corso del mese di maggio.

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del 2009, 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, 2009: sviluppo delle principali specie di fitoplancton nello strato 0-20 m (densità in 10^6 cellule l^{-1}).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
marzo	Stephanodiscus parvus/min. (17.7) Rhodomonas (1.2)	Stephanodiscus parvus/min. (3.6) Asterionella formosa (0.2)	Stephanodiscus parvus/min. (16.8) Asterionella formosa (0.2)
aprile	Stephanodiscus parvus/min. (8.7) Aulacoseria islandica helv. (0.4) Fragilaria crotonensis (1.0)	Aulacoseria islandica helv. (1.0) Fragilaria crotonensis (0.7)	Aulacoseria islandica helv. (1.6) Fragilaria crotonensis (1.3)
maggio	Tribonema (2.5)	Tribonema (1.6)	Tribonema (1.2) Aphanizomenon flos-aquae (4.1)
giugno	Aphanizomenon flos-aquae (2.5) Rhodomonas (1.1) Fragilaria crotonensis (1.1) Asterionella formosa (0.1)	Aphanizomenon flos-aquae (2.0) Rhodomonas (1.1) Uroglena skujae (2.0) Asterionella formosa (0.1)	Aphanizomenon flos-aquae (2.1) Rhodomonas (0.6) Uroglena skujae (0.9)
luglio	Sphaerocystis schroeteri (2.9) Willea (0.3)	Sphaerocystis schroeteri (3.0) Willea (0.6) Planktothrix rubescens (6.7)	Sphaerocystis schroeteri (3.0) Willea (0.6) Planktothrix rubescens (5.4)
agosto	Planktothrix rubescens (3.0) Fragilaria crotonensis (0.5)	Sphaerocystis schroeteri (2.0)	Sphaerocystis schroeteri (2.2)
settembre	Sphaerocystis schroeteri (3.0)	Cœlastrum polychordum (0.8) Planktothrix rubescens (6.1)	Rhodomonas (0.7)
ottobre	Sphaerocystis schroeteri (0.9)	Cœlastrum polychordum (3.2) Sphaerocystis schroeteri (1.3)	Cœlastrum polychordum (2.5) Sphaerocystis schroeteri (0.8)
novembre		Cœlastrum polychordum (1.5)	Cœlastrum polychordum (2.0)

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: 0.67 g m⁻³; Melide: 0.85; Figino: 1.00**) sono risultati fra i più bassi dell'intero periodo d'indagine, in particolare a Gandria, dove è stato toccato il minimo assoluto e non si sono registrate punte di rilievo. I massimi annui sono risultati nettamente più elevati nel bacino sud che in quello nord (Gandria: 1.37; Melide: 2.15; Figino: 3.74 g m⁻³).

Lo sviluppo della biomassa algale ha presentato un andamento differenziato nelle tre stazioni di campionamento, soprattutto per quanto riguarda la fase iniziale del periodo vegetativo, durante il quale lo sviluppo delle diatomee ha determinato i massimi annui. Durante l'estate, e nel bacino sud fino in autunno

avanzato, le cloroficee si sono mantenute su discreti livelli, senza però mai raggiungere punte di rilievo.

A Gandria si possono individuare tre momenti di crescita algale (marzo-aprile, giugno, agosto; tutti attorno a 1.3 g m^{-3}), in corrispondenza di altrettante fasi di sviluppo del popolamento di diatomee, anche se con un loro contributo decrescente. In questo bacino lacustre vanno inoltre segnalate dapprima l'importante punta di sviluppo delle xantoficee (con *Tribonema sp.*), nella seconda metà di maggio (0.5 g m^{-3}), ed in seguito una discreta abbondanza di peridinee (con *Ceratium hirundinella*) in luglio ed agosto ($0.2-0.4 \text{ g m}^{-3}$): entrambi questi gruppi sono riportati graficamente nella categoria "altre".

Nelle due stazioni del bacino sud i valori di biomassa presentano un andamento simile, contraddistinto da un forte sviluppo primaverile delle diatomee (massimi a Melide: 1.8 g m^{-3} ; a Figino: 3.0 g m^{-3}), da una costante presenza di cloroficee da luglio ad ottobre (massimi a Melide: 0.7 g m^{-3} ; a Figino: 0.6 g m^{-3}), e da una fase di moderata crescita di cianoficee filamentose nei mesi centrali dell'anno ($0.3-0.4 \text{ g m}^{-3}$). Anche in questo bacino si è osservata la breve ma intensa fase di sviluppo di *Tribonema sp.* nella seconda metà di maggio ($0.2-0.3 \text{ g m}^{-3}$).

Sotto l'aspetto della composizione percentuale della biomassa algale (valore medio annuo, Fig. 6.2.2.), le diatomee confermano la loro predominanza in tutto il lago, attestandosi attorno al 30% nelle stazioni di Gandria e Melide, e ad oltre 40% a Figino; un contributo percentuale importante è venuto dalle peridinee e criptoficee a Gandria (entrambi attorno al 17%), e dalle cloroficee e criptoficee nel bacino sud (per entrambi i gruppi a Melide 18-19%, a Figino 14-15%). Nonostante una leggera ripresa rispetto all'anno precedente, le cianoficee hanno raggiunto livelli percentuali di un certo rilievo (12-14%) unicamente nel bacino sud.

6.3. Clorofilla

Quale fondamentale complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, nel corso del 2009 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 spatio-temporale dei valori di clorofilla, che 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 già dalla fine di marzo, che ha riguardato quasi tutta la colonna d'acqua campionata: le concentrazioni hanno raggiunto il massimo attorno a 5-8 m di profondità, con massimi in leggero aumento passando dalla stazione del bacino nord (Gandria: 16 mg m^{-3}) a Melide (19 mg m^{-3}), ma soprattutto in forte crescita a Figino (41 mg m^{-3}). Nel seguito del periodo vegetativo i due bacini presentano un andamento differenziato: nel bacino nord si osserva una moderata ripresa dei valori attorno ad 8 m in maggio, ed una successiva, più consistente, tra 0 e 6 m, in settembre; nel bacino sud si distinguono due momenti di sviluppo algale durante i mesi estivi (luglio, agosto) in profondità (5-10 m), ed uno in ottobre, fino in superficie (0-8 m).

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 primo semestre del 2009 i valori di torbidità presentano una buona correlazione con l'andamento dei popolamenti algali, mentre nella seconda parte dell'anno in tutto il lago il segnale della componente biotica risulta spesso "coperto" da quello di origine minerale, affluito al lago soprattutto in seguito al violento evento alluvionale del mese di luglio.

- 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.

I valori misurati presentano un'elevata correlazione con la biomassa algale (Fig. 6.2.1.), a conferma della validità di questo parametro quale indicatore complementare nello studio dei popolamenti fitoplanctonici.

Le punte primaverili, che rappresentano in tutte le stazioni il massimo annuo (**Gandria: 11, Melide: 12, Figino: 17 mg m^{-3}**), coincidono con la fase iniziale di sviluppo primaverile delle diatomee, nella seconda metà di marzo. Nel corso del secondo semestre i valori si sono mantenuti abbastanza stabili e contenuti, toccando solo occasionalmente livelli di un certo rilievo: ciò è avvenuto un'unica volta a Gandria (settembre: 9.3 mg m^{-3}), due volte a Melide (luglio: 11.7 ; ottobre: 8.2 mg m^{-3}), e tre volte a Figino (luglio: 8.8 ; agosto: 9.2 ; ottobre: 8.7 mg m^{-3}).

Sia i **valori medi annui** di clorofilla del 2009 (**Gandria: 4.9 mg m^{-3} , Melide: 6.0 mg m^{-3} , Figino: 6.8 mg m^{-3}**) che i **massimi** sopra indicati si situano nell'ambito di variazione degli ultimi anni, per tutte le stazioni campionate, e confermano il crescente gradiente trofico lungo l'asse di deflusso del lago.

6.4. Produzione primaria

- Radiazione fotosintetica e strato trofogeno

La misura della radiazione fotosintetica viene utilizzata ai fini della stima della produzione primaria giornaliera, calcolata secondo la relazione di Gächter [10]. 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 luglio a Figino, ed in ottobre 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 dell'irraggiamento solare, il valore di produzione primaria del 2009 in queste due stazioni potrebbe risultare sovrastimato all'incirca del 10-15%.

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

A Gandria l'andamento della trasmissione luminosa registra una rapida riduzione dei valori $Z_{1\%}$ dall'inizio di marzo, fino a sfiorare la profondità di 10 m all'inizio d'aprile. In questa stazione l'effetto del grazing del fitoplancton da parte dello zooplancton erbivoro è risultato evidente all'inizio di maggio, quando i valori sono risaliti oltre 15 m, dopo di che lo spessore della fascia eufotica è andato progressivamente calando fin sotto la soglia dei 10 m (settembre: 9.6 m). Nel corso dell'autunno il processo di chiarificazione delle acque ha subito una momentanea interruzione, che non risulta però riconducibile ad alcuna fase di sviluppo dei popolamenti algali.

Nelle stazioni del bacino sud la riduzione primaverile dello strato eufotico legata allo sviluppo del fitoplancton è stata preceduta, in febbraio, da una momentanea fase d'intorbidamento delle acque provocata dai processi d'ossidazione e flocculazione delle sostanze ridotte riportate in superficie nel corso del rimescolamento invernale. Il minimo stagionale del valore $Z_{1\%}$ è stato raggiunto a Figino (6.5 m), dove lo sviluppo delle diatomee è risultato particolarmente marcato. Nel corso dell'estate lo strato eufotico ha raggiunto in luglio il suo spessore minimo (Melide: 8.6 m; Figino: 6.6 m), per poi crescere progressivamente fino alla fine dell'autunno.

La penetrazione massima della luce, che generalmente corrisponde al periodo invernale, ha raggiunto in gennaio la profondità di 24.2 m a Gandria, di 17.8 m a Melide, e 17.7 m a Figino.

Come negli anni precedenti si è mantenuta 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: 14.7 m, Melide: 12.2 m, Figino: 10.9 m). Tale tendenza è confermata anche dal dato medio annuo di trasparenza delle acque rilevata con il disco di Secchi (Gandria: 8.2 m, Melide: 7.1 m, Figino: 6.2 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 2009. Sulla base delle misure effettuate in situ è stato calcolato sia il valore giornaliero di produzione primaria, corrispondente alla rata d'assimilazione del carbonio per unità di superficie lacustre (linea continua, $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$), sia quello della produttività all'interno dello strato trofogeno, corrispondente alla rata d'assimilazione del carbonio per unità di volume (linea tratteggiata, $\text{g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$). Quest'ultimo dato permette di confrontare ambienti trofici differenti in quanto indipendente dallo spessore dello strato produttivo.

Anche se l'attività produttiva è ripartita con un certo anticipo nel bacino nord rispetto a quello sud, in tutto il lago il massimo primaverile è stato misurato nel mese d'aprile: a Gandria ($1.5 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e Melide ($1.3 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) i valori sono risultati piuttosto contenuti, mentre a Figino il dato d'aprile rappresenta il massimo annuo ($1.9 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$). L'effetto dell'attività di grazing da parte dello zooplancton erbivoro sulla produzione algale nel corso del mese di maggio risulta evidente nelle due prime stazioni, ma non a Figino. A partire dal mese di giugno fino al termine del periodo vegetativo i valori di produzione si sono mantenuti su livelli elevati, con punte massime annue in settembre a Gandria ($1.9 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$) ed in luglio a Melide ($2.0 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$); per la stazione di Figino va tenuto conto del fatto che proprio nel mese di luglio, in piena fase di sviluppo dei popolamenti algali, la misura dell'attività fotosintetica è stata effettuata in condizioni d'irraggiamento particolarmente sfavorevoli, e non può quindi essere considerata rappresentativa ai fini dell'analisi dell'andamento mensile. Sono infine da sottolineare gli elevati valori di produzione del mese d'ottobre misurati nelle stazioni di Melide e Figino, da ricondurre all'importante fase di sviluppo tardivo delle cloroficee coccali nel bacino sud (cfr. Tab. 6.1.)

La **produzione areale annua**, stimata come di consueto sulla base delle 12 misure giornaliere effettuate a scadenza mensile, presenta nel 2009 valori molto simili nelle tre stazioni campionate (**Gandria: 337; Melide: 345; Figino 346 $\text{gC m}^{-2} \text{a}^{-1}$**), e sostanzialmente vicini alla media dell'ultimo quinquennio.

In seguito all'incremento dello spessore dello strato eufotico nel bacino nord, il dato di **produttività annua** del 2009 (**Gandria: 30; Melide: 33; Figino: 38 $\text{gC m}^{-3} \text{a}^{-1}$**) ha invece fatto registrare a Gandria un calo sia rispetto alle due stazioni del bacino sud, sia rispetto alla media dell'ultimo quinquennio.

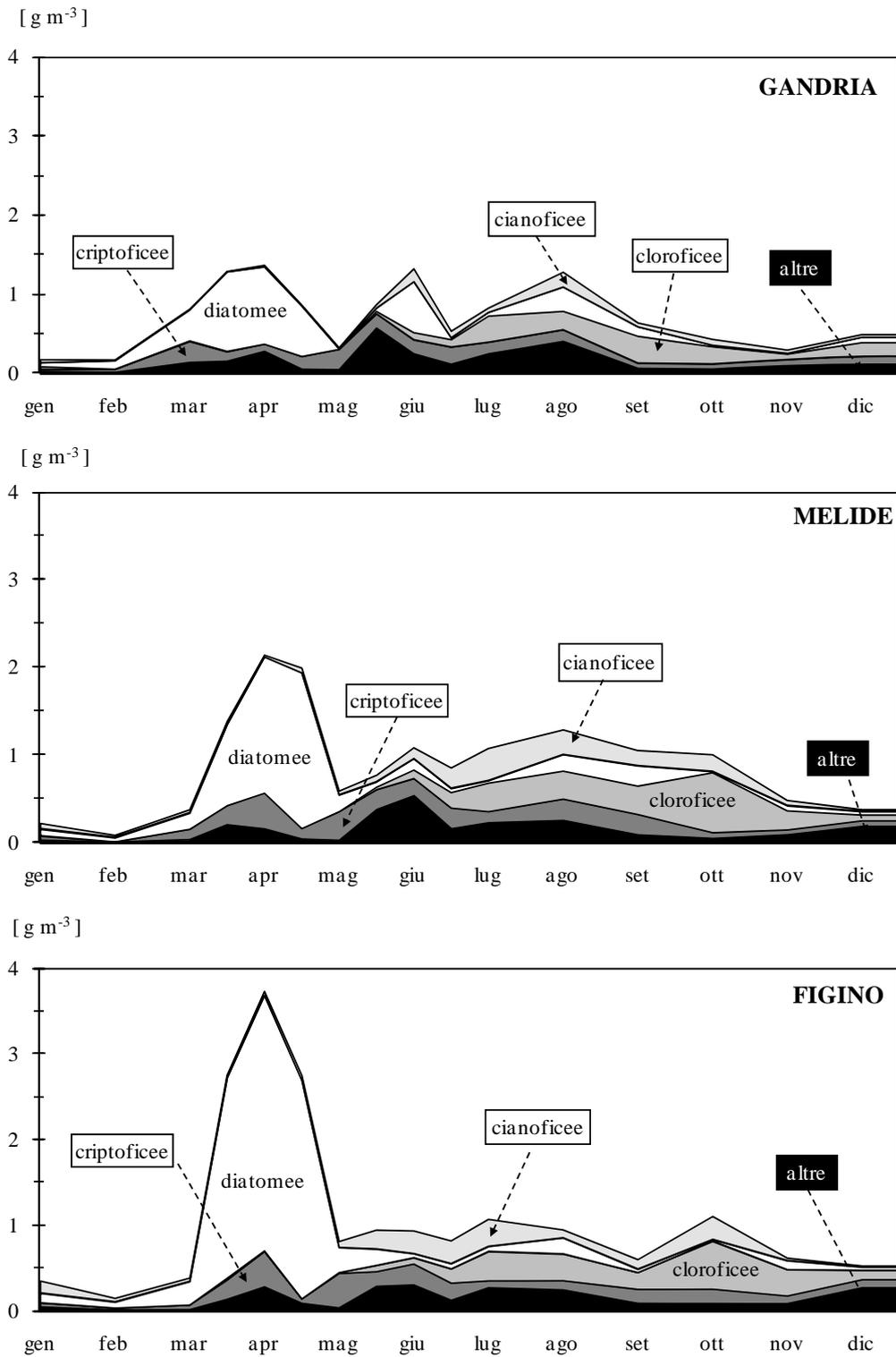


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2009: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

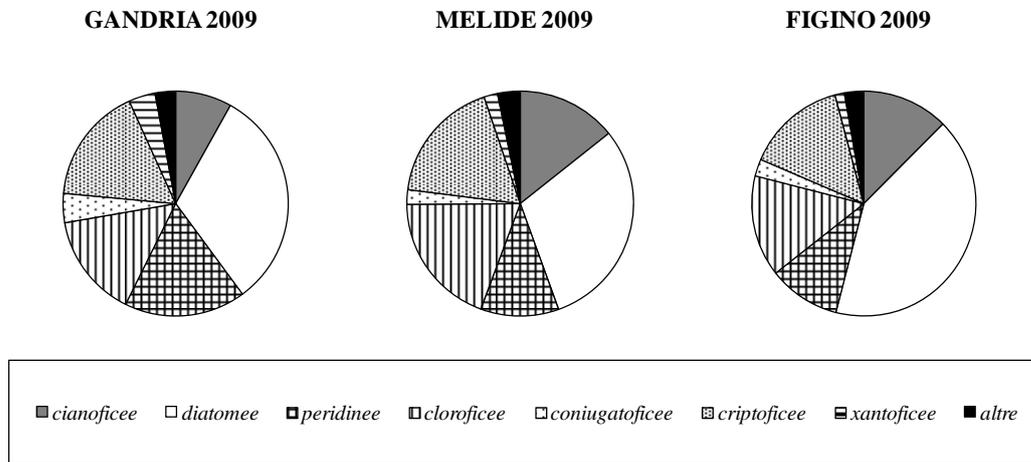


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2009: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.

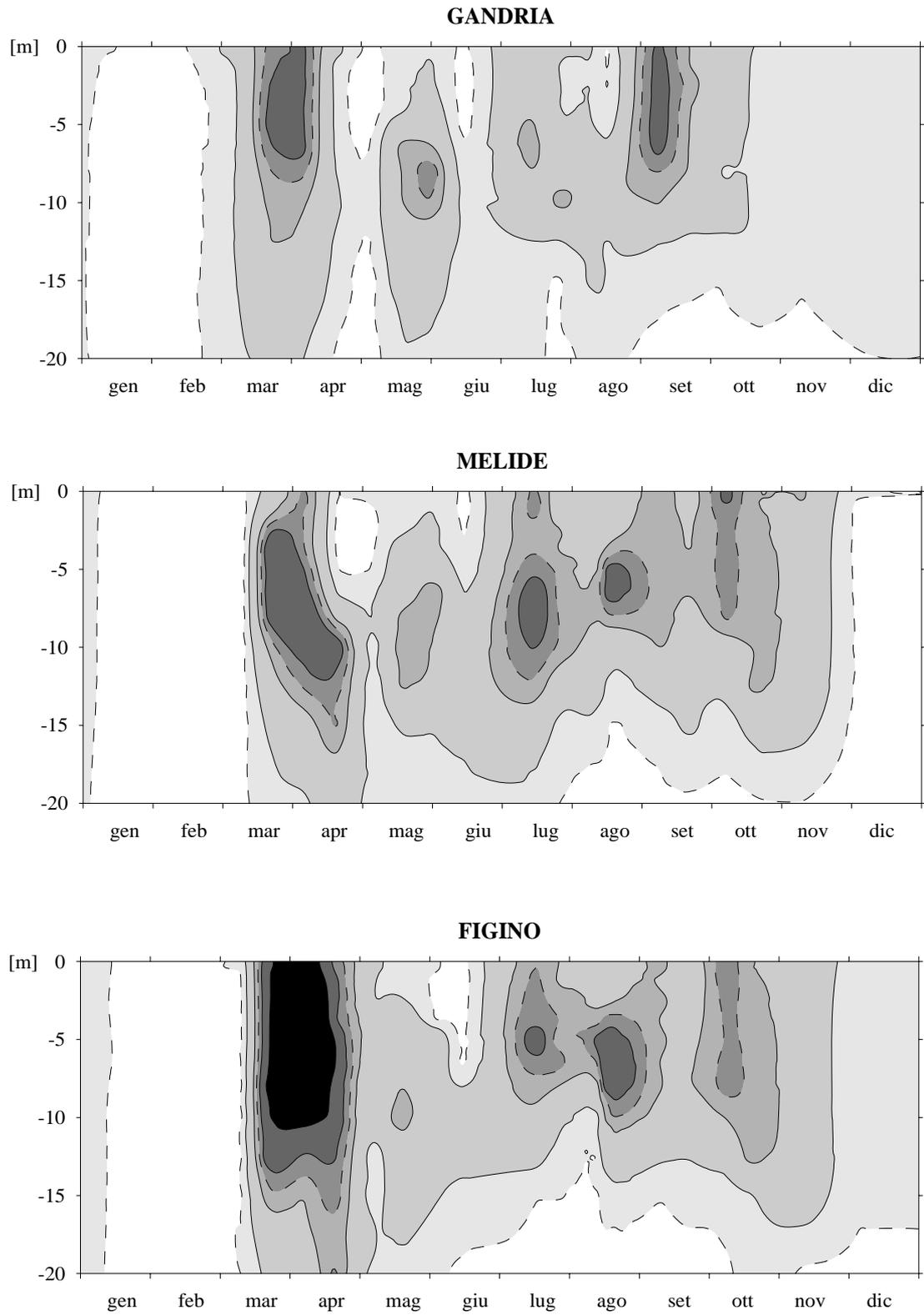


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2009: isolinee della clorofilla a [mg m^{-3}]

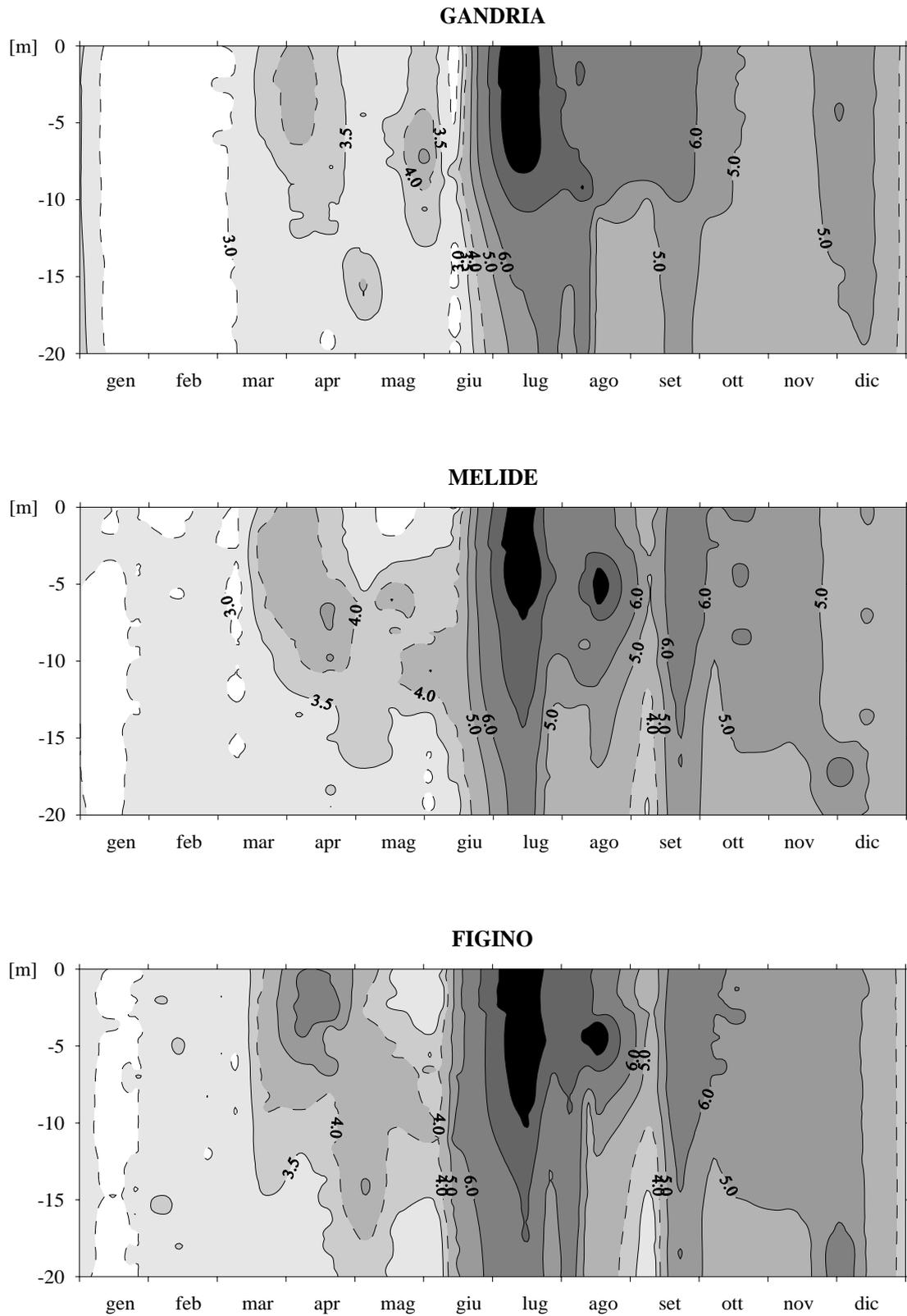


Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2009: isolinee dei valori di torbidità dell'acqua [FTU]

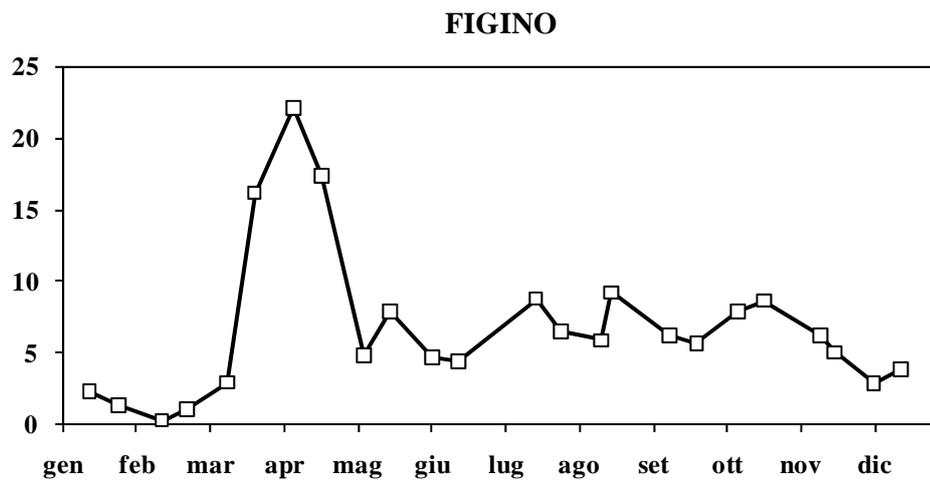
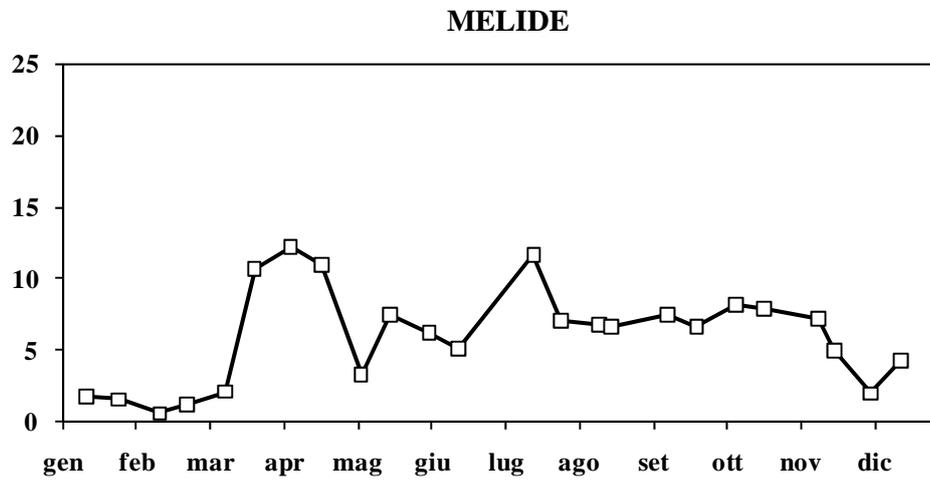
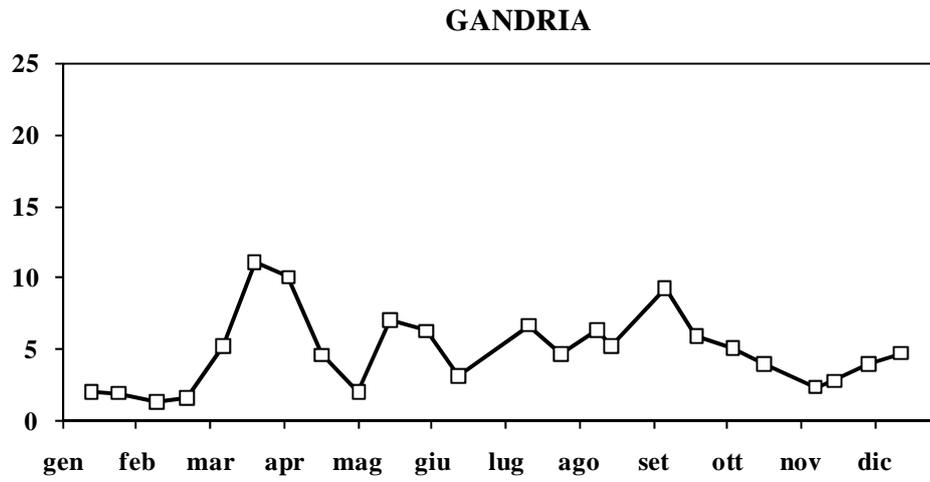


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2009: andamento della clorofilla *a* nello strato 0-20 m [mg m⁻³].

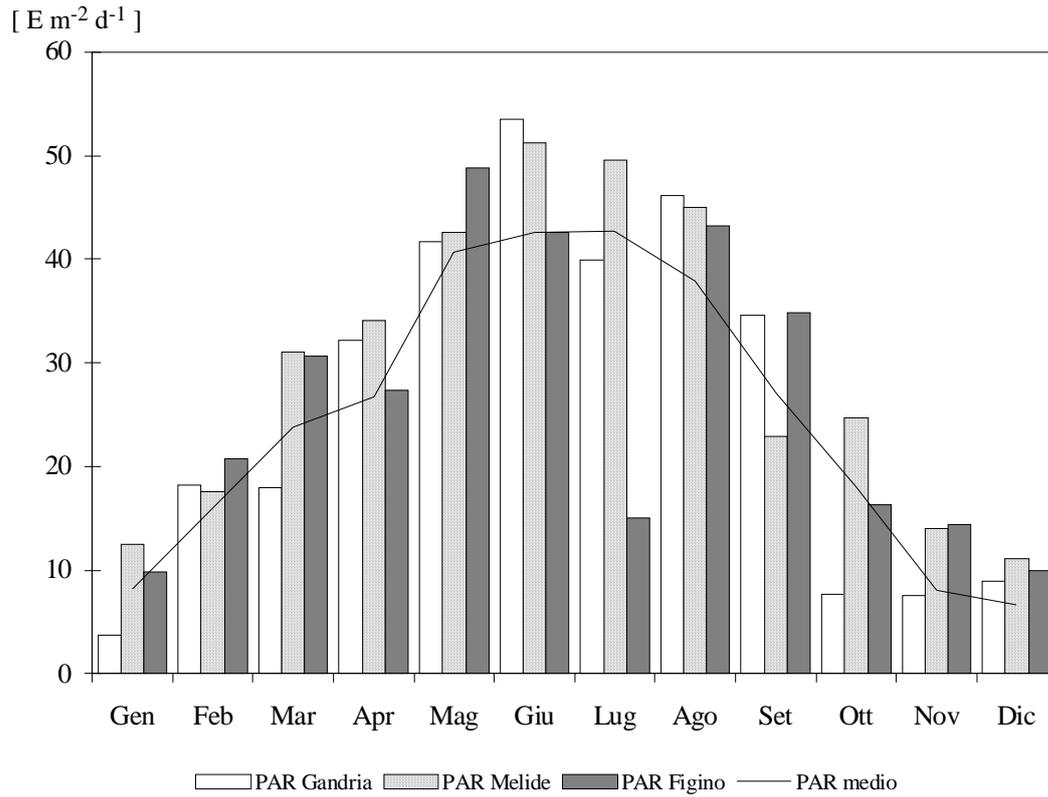


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2009: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

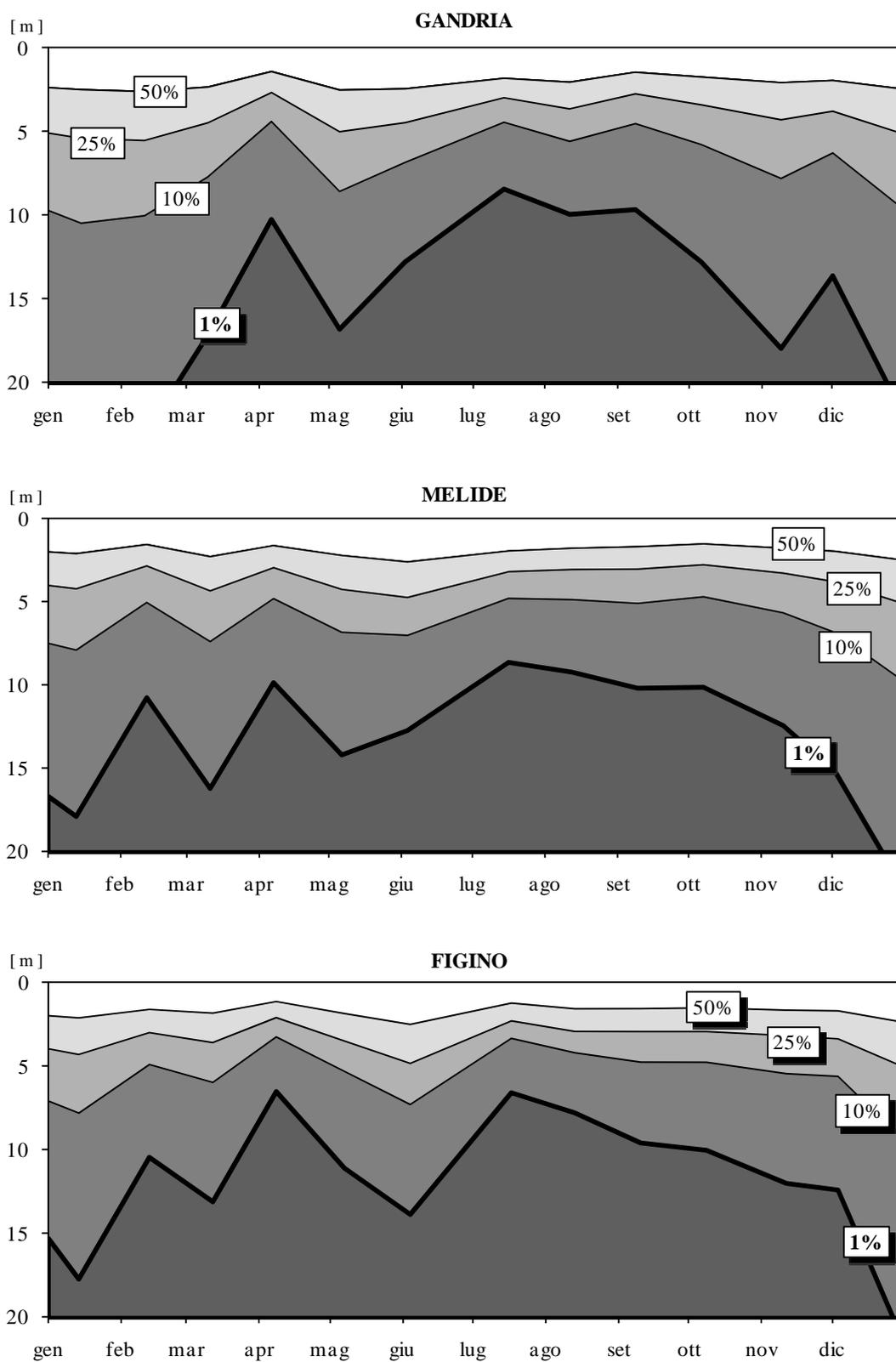


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2009: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

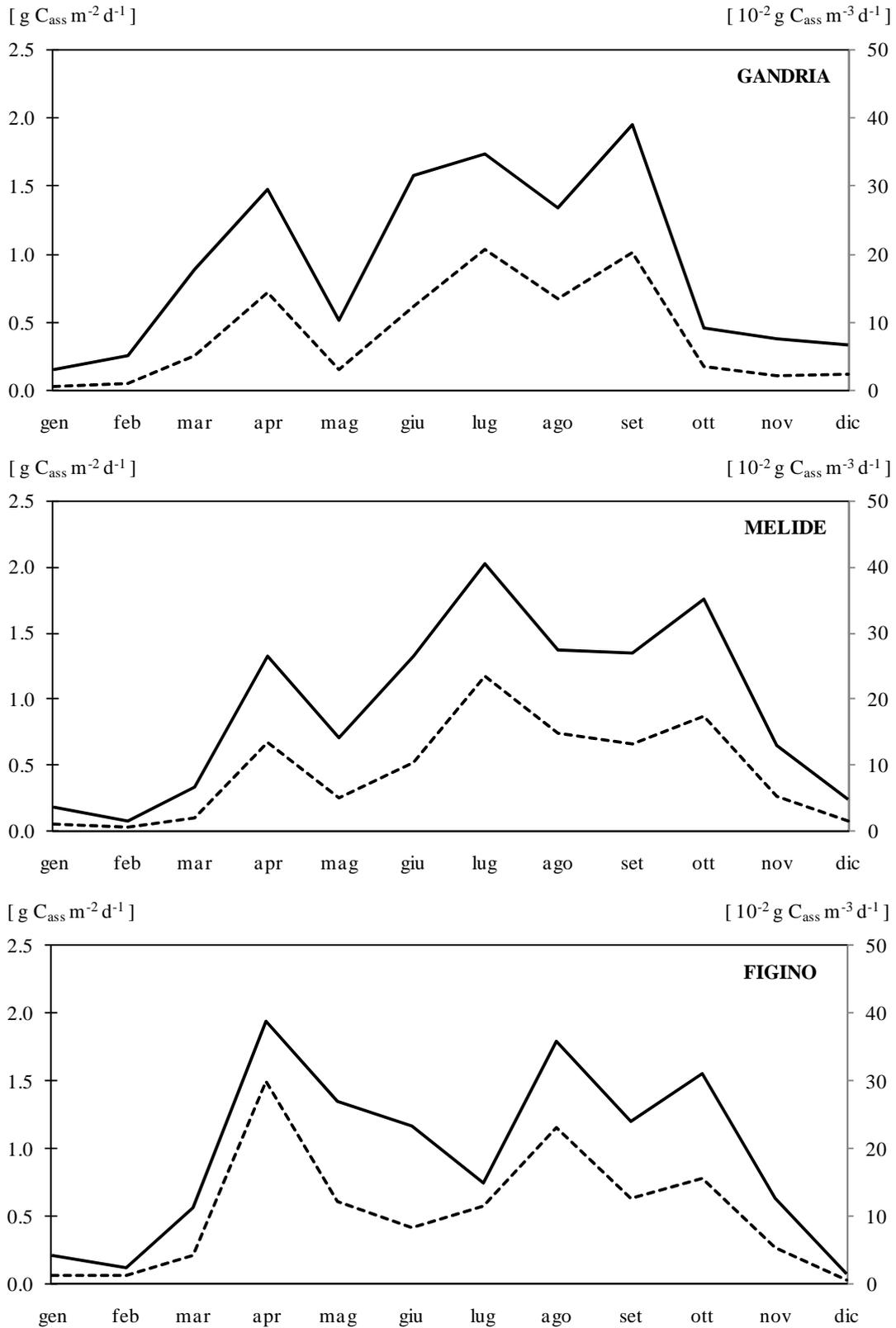


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2009: andamento della produzione primaria areale (linea continua; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$).

7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici sono proseguite nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano nel corso del 2009. I campionamenti sono stati effettuati con frequenza mensile durante tutto l'anno, ed intensificati nel periodo tra marzo e giugno, inserendo quattro prelievi supplementari per meglio seguire la rapida dinamica della biocenosi pelagica all'inizio del periodo vegetativo. L'analisi dei campioni, raccolti secondo le metodologie già utilizzate negli anni precedenti, prevede, per i principali gruppi tassonomici, il conteggio delle singole specie e la misura del loro biovolume unitario medio, sulla cui base viene calcolato il dato di biomassa (peso secco; cfr. [11]).

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, determinato principalmente dal popolamento dei copepodi ciclopidi, è rimasto simile all'anno precedente, con valori in leggera crescita lungo l'asse del lago (Gandria: 0.82; Melide: 0.87; Figino 0.91×10^6 ind m^{-2}).

L'andamento stagionale presenta a Gandria valori di densità contenuti in primavera, dapprima con una predominanza di copepodi ciclopidi, cui si sono aggiunti in seguito i cladoceri, e successivamente i copepodi calanoidi. I cladoceri sono risultati abbondanti solamente a partire dalla fine di luglio sino alla fine d'ottobre, 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 maggior contributo dei cladoceri in primavera ed uno minore in estate. A Figino i valori di densità dei copepodi ciclopidi evidenziano uno sviluppo nettamente più marcato e discontinuo rispetto alle due altre stazioni, in particolare nei mesi di aprile, maggio ed agosto; i cladoceri, risultati molto meno abbondanti nel corso dei primi quattro mesi, hanno iniziato a svilupparsi a partire dalla seconda metà di maggio, fino a raggiungere in agosto la loro punta massima di densità nell'intero lago (10^6 ind m^{-2}).

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: al momento di massimo sviluppo (aprile) questa specie ha fatto registrare quest'anno valori di densità contenuti, fatta eccezione per la frazione dei naupli, a Figino (0.5×10^6 ind m^{-2}). Per quanto riguarda *Thermocyclops crassus*, i valori di densità più elevati sono stati misurati tra agosto e settembre a Gandria, tra luglio e settembre a Melide, e tra luglio e

agosto a Figino , mentre *Mesocyclops leuckarti* si è confermato su livelli molto modesti.

L'unico rappresentante dei calanoidi, *Eudiaptomus gracilis*, è risultato presente in tutto il lago a livelli di densità piuttosto costanti a partire dal mese di maggio. Le punte di sviluppo più marcate si sono manifestate in momenti differenti nelle tre stazioni lacustri (a Gandria in giugno e novembre, a Melide in maggio, a Figino in giugno), con valori compresi tra 03 e 0.4×10^6 ind m^{-2} .

Anche se il periodo di maggior sviluppo dei **cladoceri** si è avuto a partire dal mese di luglio, in concomitanza con l'avvento delle cloroficee coccali che rappresentano un'importante frazione edibile del fitoplancton, va comunque segnalato che a Gandria e Melide questo gruppo ha fatto registrare elevati valori già in aprile, grazie all'importante contributo della specie *Daphnia hyalina*, il cui popolamento ha raggiunto la massima densità proprio in questo mese. Nel corso dell'estate e fino ad ottobre in tutto il lago i cladoceri sono stati presenti con le specie *Diaphanosoma brachiurum* (massimi in agosto, compresi tra 0.4 e 0.6×10^6 ind m^{-2}) ed *Eubosmina coregoni*, il cui popolamento è andato consolidandosi negli ultimi anni (massimi tra agosto ed ottobre, compresi tra 0.3 e 0.4×10^6 ind m^{-2}).

Il popolamento di *Leptodora kindtii*, l'unico cladocero carnivoro del lago, si è confermato su livelli piuttosto modesti, con massimi in agosto nel bacino nord e in giugno-luglio nel bacino sud.

7.2. Biomassa zooplanctonica

Nonostante il livello numerico dei popolamenti sia rimasto costante, il 2009 ha presentato valori **medi annui** di biomassa in netto calo rispetto agli anni precedenti, assestandosi su valori simili in tutto il lago (**Gandria: 3.2 g m^{-2} ; Melide: 3.6 g m^{-2} ; Figino 3.4 g m^{-2}**).

Come illustrato dall'andamento stagionale dei valori (Fig. 7.2.), i massimi annuali sono stati misurati in momenti diversi nelle tre stazioni, ed hanno raggiunto livelli di rilievo sono in quelle del bacino sud. A Gandria si osservano punte piuttosto contenute (sempre inferiori a $5 \text{ g } m^{-2}$ durante l'intero periodo vegetativo, ogni due mesi a partire da aprile; a Melide esse sono più ravvicinate, ed in costante calo da aprile ($8.3 \text{ g } m^{-2}$) ad ottobre ($3.5 \text{ g } m^{-2}$); a Figino aumentano drasticamente da aprile ($4.1 \text{ g } m^{-2}$) a giugno ($8.1 \text{ g } m^{-2}$), per poi calare gradatamente fino ad ottobre ($3.5 \text{ g } m^{-2}$).

Nelle stazioni di Gandria e Melide il contributo di *Daphnia hyalina* alla biomassa zooplanctonica è determinante all'inizio del periodo vegetativo, per poi diminuire progressivamente col trascorrere dei mesi; a Figino esso raggiunge il suo massimo nel mese di giugno. Al suo posto, nella seconda parte dell'anno subentra la specie *Diaphanosoma brachiurum* (massimi in agosto: $0.8-1.0 \text{ g } m^{-2}$), affiancata da *Eubosmina coregoni* (massimi in ottobre ed agosto: $0.7-0.9 \text{ g } m^{-2}$).

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 2009 la componente erbivora è stata simile nelle tre stazioni (Gandria: 2.5; Melide 2.7; Figino 2.6 g m⁻²), mentre i carnivori risultano generalmente in calo, con valori leggermente inferiori nel bacino nord (0.7 g m⁻²) rispetto a quello sud (0.8 g m⁻²).

La curva della successione temporale delle due componenti (valori percentuali; Fig. 7.3.) permette di evidenziare le differenze nella dinamica stagionale nelle tre stazioni di campionamento. Anche in questo caso le stazioni di Gandria e Melide presentano maggiori analogie tra di loro, con una costante predominanza della componente erbivora durante il periodo vegetativo (in media attorno all'80%) già a partire da aprile, costituita prevalentemente da cladoceri (>40%) tranne durante i mesi centrali dell'anno (25-35%). A Figino i carnivori predominano fino alla fine d'aprile (50-60%), per poi rimanere mediamente sotto il 20%; la componente erbivora di questa stazione risulta mediamente suddivisa equamente tra copepodi (38%) e cladoceri (42%).

Complessivamente i dati raccolti nel corso del 2009 confermano quindi le differenze nella struttura trofica delle tre stazioni campionate, evidenziando da una parte una maggiore analogia tra le stazioni di Gandria e Melide, e confermando dall'altra il gradiente trofico lungo l'asse di deflusso delle acque lacustri, caratterizzato da una quota di produttori primari (fitoplancton) crescente da Gandria (51%) a Melide (54%) ed a Figino (60%), ed una quota di consumatori primari (erbivori) in corrispondente diminuzione (Gandria: 38%; Melide: 35%; Figino 31%).

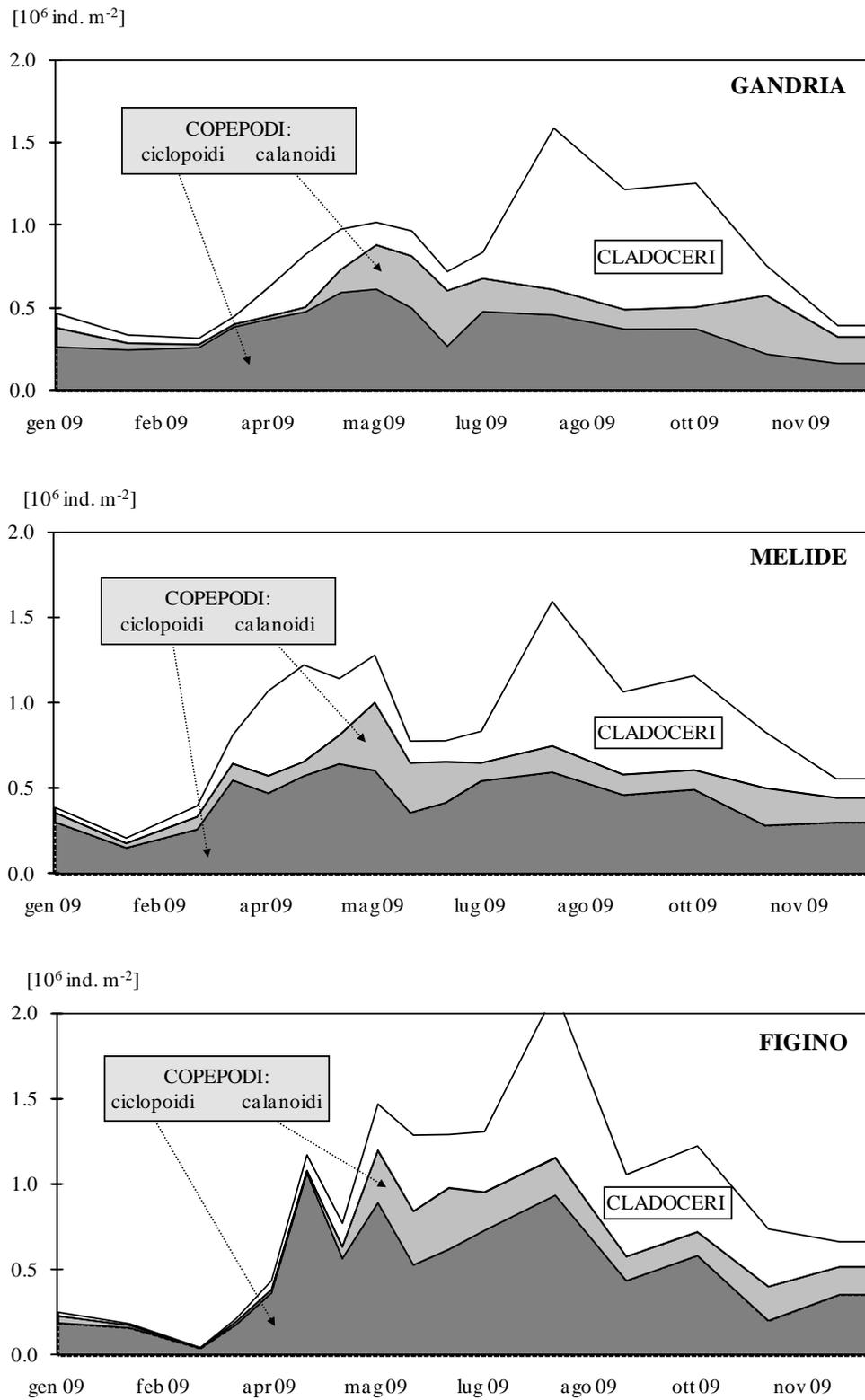


Fig. 7.1. Lago di Lugano, 2009: andamento della densità cumulata dello zooplankton da crostacei.

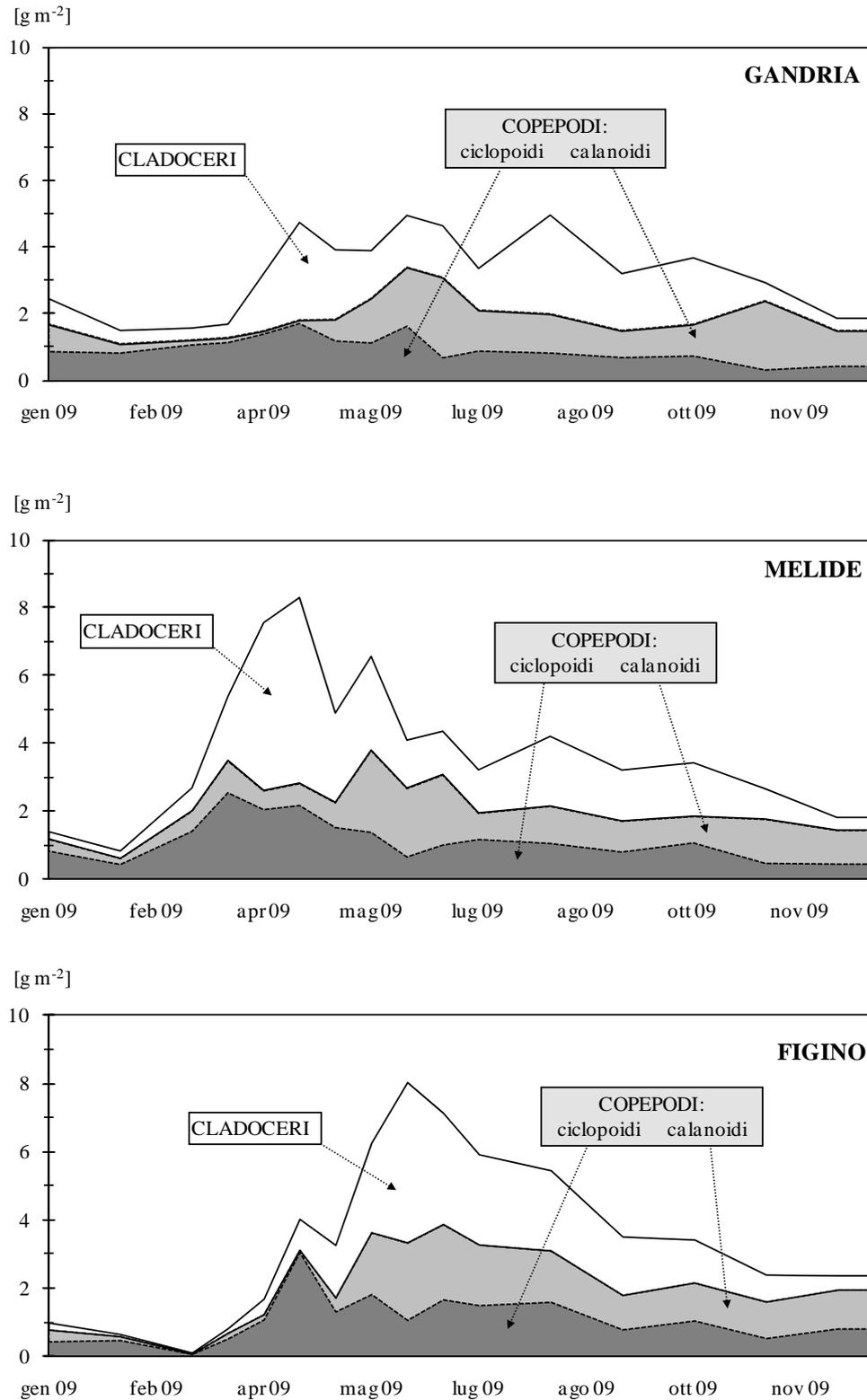


Fig. 7.2. Lago di Lugano, 2009: andamento della biomassa cumulata dello zooplankton da crostacei (peso secco).

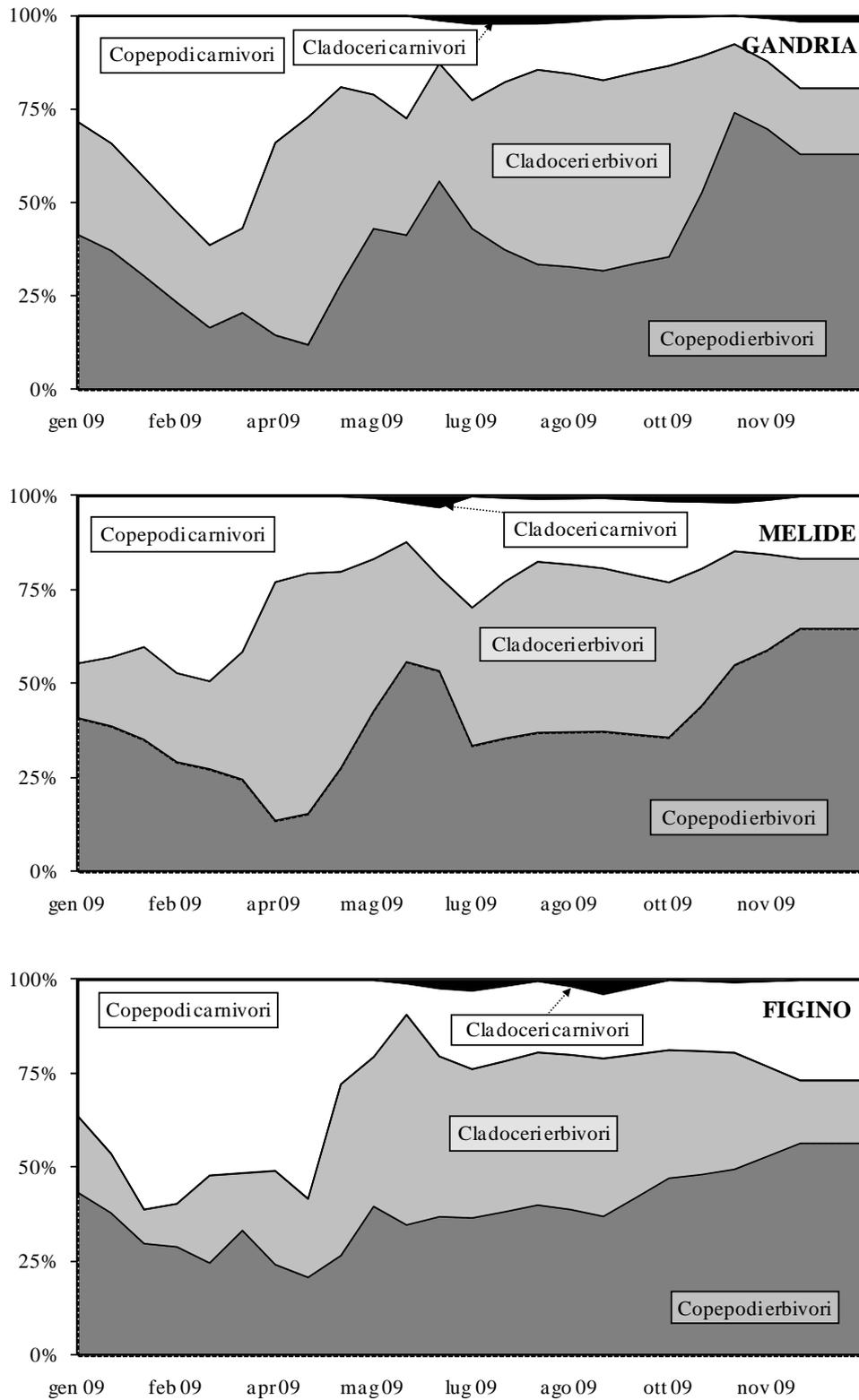


Fig. 7.3. Lago di Lugano, 2009: andamento percentuale della biomassa dello zooplankton erbivoro e carnivoro (peso secco).

8. CONCLUSIONI

In seguito al completo rimescolamento della colonna d'acqua verificatosi nell'inverno 2005-2006, si è temporaneamente interrotto il progressivo aumento della temperatura nel Lago di Lugano. Parimenti il contenuto di ossigeno è aumentato così come è rapidamente aumentata la concentrazione di fosforo nel bacino nord e, a cascata, nelle stazioni di Melide e Figino del bacino sud. Dopo questo eccezionale evento nel bacino sud i valori di fosforo sono leggermente aumentati, mentre in quello nord la concentrazione è risultata in continuo e marcato calo. In quest'ultimo bacino la barriera meromittica si è nuovamente instaurata, con un ossiclino stabilizzatosi intorno ai 110-120 m.

Le precipitazioni leggermente superiori alla media (+ 10 %) si sono manifestate in un sensibile aumento dei valori di portata dei tributari (+ 18 %). Gli apporti esterni di nutrienti hanno risentito di quest'aumento di deflusso, facendo segnare rispetto al quinquennio precedente (2003-2007) un aumento del 15-20% nel bacino nord e del 25-45 % in quello sud. La discrepanza tra i dati annui di deflusso e di carico di nutrienti (in primis fosforo) convogliati a lago è riconducibile al regime torrentizio di alcuni tributari che trasportano durante gli eventi di piena importanti quantitativi di nutrienti. Emblematico in questo senso è il fiume Vedeggio che durante le piene monitorate in aprile e giugno ha convogliato oltre la metà delle 18.8 t P a⁻¹ complessive (dati da campionamento istantaneo). Questo valore risulta del 390 % superiore rispetto al quinquennio precedente. L'apporto totale annuo di fosforo, comprensivo della quota relativa ai tributari campionati e della quota stimata, risulta ancora di molto superiore al valore critico ammissibile stabilito dalla CIP AIS [4], sia per il bacino nord (+ 50%), ma soprattutto per il bacino sud (+ 250 %).

Alcuni corsi d'acqua tributari del lago hanno presentato condizioni qualitative critiche, tra questi si distingue 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 bacino imbrifero sia limitato (19.5 km²), a tutt'oggi, il Bolletta presenta il secondo carico di fosforo più elevato fra i tributari campionati (7.9 t P a⁻¹) dopo il Vedeggio.

Nonostante l'impegno profuso dai vari Enti nel ridurre gli apporti di nutrienti a lago, sovente si rilevano 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. In particolare è necessario chiarire l'impatto cagionato sui ricettori dagli scaricatori di piena e dai bacini di chiarificazione, soprattutto in nei bacini a regime misto con presenza significativa di acque chiare.

Nel bacino sud il buon rimescolamento invernale ha contenuto lo sviluppo dell'anossia ipolimnica, con concentrazioni critiche (< 4.0 g O₂ m³) autunnali limitate a 40 m di profondità a Figino e a 60 m a Melide. Nel bacino nord la

soglia ipossica è scesa dai 50 m del 2008 agli attuali 80 m, a riprova di un miglioramento dell'ossigenazione complessiva, ma nel contempo a conferma dell'avvenuta reinstaurazione della meromissi. All'interno degli strati anossici è stata riscontrata la presenza di sostanze ridotte problematiche dal profilo ambientale quali metano, solfuri nitrito ed ammonio.

Per quanto concerne le concentrazioni di fosforo totale (media annua ponderata sul volume) nel 2009 è proseguito il rapido declino all'interno del bacino nord, iniziatosi nel 2006; con un tasso di $-16 \text{ mg P m}^{-3} \text{ a}^{-1}$ la concentrazione all'interno dello strato 0-100 m è scesa a 52 mg P m^{-3} , valore simile a quelli riscontrati a metà degli anni novanta. Più stabile per contro la situazione nel bacino sud con valori medi in diminuzione lungo l'asse di deflusso delle acque del lago: 48 mg P m^{-3} a Melide e 40 mg P m^{-3} a Figino. La differente disponibilità di fosforo ha condizionato la fase di sviluppo algale: anche se in primavera la prima fioritura ha ridotto di oltre un quarto il fosforo disponibile, durante il successivo periodo vegetativo le concentrazioni sono risultate consistenti grazie ai regolari 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 [12]. Malgrado il carico attuale si stia lentamente avvicinando al valore critico nel bacino nord, la particolare conformazione e l'elevato contenuto ipolimnico di fosforo di questo bacino fanno sì che il raggiungimento della soglia prevista di 30 mg P m^{-3} sul tutta la colonna, 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. Tuttavia il conseguimento degli obiettivi di carico per il bacino sud dovrebbe consentire di abbattere rapidamente la concentrazione di fosforo a lago a ragione della scarsa capacità di accumulo e del basso tempo di ricambio del bacino.

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

Il quadro della biocenosi planctonica del 2009 è caratterizzato da un marcato calo dei valori di biomassa, sia vegetale che animale, in particolare nel bacino nord. Si è probabilmente esaurito l'effetto positivo degli eccezionali eventi di rimescolamento della colonna d'acqua nel bacino nord (inverni 2005 e 2006), grazie ai quali importanti quantitativi di nutrienti algali erano stati trasportati nello strato trofogeno dell'intero lago.

Il discreto rimescolamento invernale delle acque ha comportato l'afflusso in superficie di nutrienti algali dagli strati profondi, provocando un rapido avvio 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 (*Stephanodiscus parvus/minutulus*, *Aulacoseria islandica ssp. Helvetica*). In generale si è confermato il perdurare della scarsità di cianoficee in tutto il lago.

Nel bacino sud, malgrado le concentrazioni di fosforo fossero inferiori rispetto a quello nord, si è confermato il gradiente trofico con valori di biomassa algale in crescendo in direzione dell'emissario. Nella stazione di Figino la fase di sviluppo primaverile delle diatomee è stata molto marcata e più in generale la biomassa media annua è stata la più elevata; questa peculiarità può essere messa in relazione con il fatto che in questo bacino confluiscono i carichi residui di importanti impianti di depurazione contribuendo a sostenere durante tutto l'anno la crescita algale.

Le specie zooplanctoniche erbivore hanno risentito di questa ridotta disponibilità alimentare, con biomasse in calo del 15-30 % rispetto al 2008. Le due principali specie di cladoceri filtratori (*Daphnia hyalina*, *Diaphanosoma brachiurum*) hanno raggiunto la fase di massimo sviluppo, la prima in aprile, la seconda in agosto.

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 alla completa circolazione dell'inverno 2005-2006, il lago è entrato in una nuova tappa del suo lungo cammino verso il completo risanamento. L'andamento altalenante del contenuto di fosforo totale nel lago (costante diminuzione nel bacino nord e una sostanziale stabilizzazione in quello sud), nonché un'ossigenazione costantemente critica delle acque ipolimniche (con formazione di composti ridotti problematici), rendono più che mai opportuno continuare a mantenere sotto stretto controllo, nei prossimi anni, l'evoluzione di questo 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] Istituto scienze della Terra, 2010. Annuario idrologico del Cantone Ticino 2009.
- [2] SPINEDI F., 1991. Il clima del Ticino e della Mesolcina con accenni di climatologia generale. Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia, No. 167; Zurigo.
- [3] Ufficio federale di meteorologia e climatologia, 2010. Rapporto annuale 2009. Fosco Spinedi, 25 gennaio 2009.
- [4] 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.
- [5] CONSIGLIO FEDERALE SVIZZERO, 1998. Ordinanza sulla protezione delle acque (814.201), 62 pp.
- [6] STUMM W. & J. MORGAN, 1981. Aquatic chemistry, 2nd ed., Wiley Interscience, New York, 800 pp.
- [7] LIVINGSTONE, D., & D.M. IMBODEN; 1989: Annual heat balance and equilibrium temperature of Lake Aegeri, Switzerland. Aquatic Sciences 51/4: 351-369.
- [8] LEHMANN, M.F., S.M. BERNASCONI, J.A. MCKENZIE, A. BARBIERI, M. SIMONA & M. VERONESI, 2004. Seasonal variation of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of particulate and dissolved carbon and nitrogen in Lake Lugano: Constraints on biogeochemical cycling in a eutrophic lake. Limnol. Oceanogr., 49 (2):415-429.
- [9] 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.
- [10] GÄCHTER, R., 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion: Modelle und in-situ-Messungen. Schweiz. Z. Hydrol. 34:211-244.
- [11] 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.
- [12] 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.

COORDINATORE DEL PROGETTO

Dipl. sc.nat. Marco Simona idrobiologo

AUTORI

Dr. sc. nat. Mauro Veronesi idrobiologo
Dipl. sc.nat. Marco Simona idrobiologo
Ing. Maurizio Pozzoni idrologo
Dipl. phys. Giorgio Salvadé fisico

COLLABORATORI

Sig. Stefano Beatrizotti tecnico natante
Sig.^{ra} Paola Da Rold-Lanfranchi laboratorista
Sig. David Fontana laboratorista
Sig. Attilio Pirolini laboratorista
Sig.^{ra} Marina Surace-Ecoffey laboratorista

COLLABORATORI ESTERNI

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

PRELIEVO CAMPIONATORI AUTOMATICI

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

INDIRIZZO DEGLI AUTORI

ISTITUTO SCIENZE DELLA TERRA
SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE
DELLA SVIZZERA ITALIANA
Via Trevano / C.P. 72
CH - 6952 Canobbio
Tel. +41 58 666 62 00 Fax +41 58 666 62 09
ist@supsi.ch

**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