

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

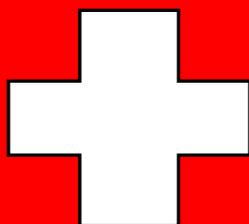
Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2008 - 2012
Campagna 2011

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 2011

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), 2012: *“Ricerche sull’evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2011.”*

Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (Ed.); 106 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 2011, nell'ambito delle attività di ricerca promosse dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS). Le informazioni ottenute nel corso del 2011 permettono di aggiornare la serie storica trentennale dei principali parametri limnologici e di descrivere le tendenze evolutive del Lago in relazione agli interventi di risanamento sinora realizzati.

I prelievi effettuati nel 2011 sui corsi d'acqua hanno evidenziato criticità qualitative in particolare sul fiume Bolletta per quanto concerne le forme azotate più problematiche (nitrito e ammonio) ed i composti di fosforo.

È proseguita l'analisi dettagliata dei carichi esterni di nutrienti convogliati ai due bacini principali con l'obiettivo di verificare se ed in quale misura le opere esterne di collettamento e depurazione hanno contribuito al recupero del corpo lacustre, e di valutare lo scostamento dagli obiettivi di qualità prefissati dalla CIPAIS (carichi critici). Il 2011 è stato caratterizzato da precipitazioni inferiori di circa il 25 % rispetto alla media, che hanno provocato un'analogia riduzione delle portate. Tuttavia, il carico di fosforo è risultato stabile, in ragione del fatto che tali apporti sono legati più alle dinamiche di portata che non ai quantitativi assoluti defluiti. Anche dal profilo quantitativo il Bolletta ha convogliato a lago il carico maggiore di fosforo totale, pari a 5.0 t P a^{-1} ; parimenti il Bolletta ha mostrato il carico areale più elevato con $259 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Nel 2011 gli apporti di fosforo rilevati sono risultati leggermente superiori ai carichi critici auspicati per quanto concerne il bacino sud (+12%), mentre per il bacino nord coincidevano (-4%).

Per quanto concerne il chimismo lacustre, nel 2011 nel bacino sud è stata rilevata una concentrazione media sulla colonna di fosforo pari a 38 mg P m^{-3} , il valore più basso registrato dall'inizio del monitoraggio regolare del lago (1980). Nel bacino nord è proseguito il calo dei valori di fosforo, avviatosi con la destratificazione avvenuta nell'inverno 2004-2005, anche se ad un ritmo minore rispetto al quinquennio precedente. La concentrazione media annua sull'intera colonna si quasi dimezzata, passando dai 138 mg P m^{-3} del 2004 agli attuali 72 mg P m^{-3} . Nel 2011 in questo bacino la buona circolazione invernale ha mantenuto l'isolinea di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ (limite ipossia, soglia critica) sui 75 m di profondità. L'isolinea di $1.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ (limite anossia) non ha per contro superato i 120 m. Al di sotto di questa profondità sono state misurate concentrazioni

elevate di sostanze problematiche quali nitrito, ammonio, solfuri e metano. Nel bacino sud l'ipossia stagionale ha raggiunto in autunno i 20 m di profondità.

A livello del popolamento planctonico, il quadro del 2011 è stato caratterizzato in tutto il lago da una stabilizzazione dei valori di biomassa algale attorno ai bassi livelli degli ultimi 5 anni. Fra i gruppi tassonomici algali rimangono predominanti, anche se in netto calo, le diatomee (29%-40%), mentre risultano in forte ripresa le cianofitiche (19%-27%), ed in ulteriore, leggero calo le clorofitiche, tranne a Figino (4%-10%). In linea con l'evoluzione recente della componente biotica dell'ecosistema lacustre, il 2011 ha confermato i bassi livelli dell'attività produttiva dell'ultimo quinquennio, pur evidenziando una netta crescita dei valori rispetto al 2010, anno caratterizzato da un'estrema scarsità di biomassa fitoplanctonica. In generale i parametri trofici considerati confermano la presenza di un gradiente in crescita lungo l'asse di deflusso lacustre, fatta eccezione per il dato di produzione a Figino.

Il miglioramento qualitativo delle acque tributarie e lacustri, iniziatosi negli anni '80 grazie al progressivo completamento delle misure esterne di risanamento, si è parzialmente stabilizzato nel corso del decennio successivo. I due eccezionali eventi di destratificazione e di rimescolamento delle acque del bacino nord, occorsi rispettivamente durante gli inverni 2004-2005 e 2005-2006, hanno impresso un nuovo slancio verso il completo del recupero del lago ed il conseguimento degli obiettivi di qualità, soprattutto in considerazione degli effetti sullo stato d'ossigenazione delle acque profonde e sul tenore di fosforo in entrambi i bacini. Nonostante il quasi dimezzamento della concentrazione media sulla colonna di fosforo totale nel bacino nord tra il 2004 ed il 2011, ed i conseguenti effetti positivi sul sottostante bacino sud, il Lago di Lugano si trova tuttora in uno stato di marcata eutrofia, la più elevata tra i grandi laghi sudalpini e svizzeri.

L'attuale quadro limnologico del Lago di Lugano, caratteristico di un corpo d'acqua eutrofo, è contraddistinto da una certa instabilità a livello di tenori di sostanze nutrienti e di composizione della biocenosi planctonica. Alla luce dei risultati presentati e discussi nel presente rapporto ed in considerazione delle incertezze legate all'evoluzione futura del corpo lacustre, si confermano le modalità del monitoraggio svolto sinora, in grado di cogliere queste variabilità ecologiche e di evidenziare criticità qualitative contingenti.

SUMMARY

This volume reports the limnological data collected on Lake Lugano during 2011 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” (CIPAIS). Information obtained in 2011 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 external recovery measures realised until now.

Instantaneous samplings performed during 2011 on tributaries have highlighted several critical situations, in particular on river Bolletta as far as ammonium, nitrite and phosphorous are concerned.

Emphasis was given to the detailed analysis of phosphorus loads to 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. 2011 was characterised by precipitations which were 25 % lower than the average and this decrease was reflected also in discharge. On the contrary total phosphorus load remained stable, because of its peculiar sources, more related to the dynamic of discharge. River Bolletta has conveyed to the lake the largest phosphorus load (5.0 t P a⁻¹) among the tributaries. Similarly, river Bolletta has shown the highest areal load: 259 mg P m⁻² a⁻¹. In 2011 the phosphorous load has exceeded the pursued critical loads in the northern basin (+12 %), while in the southern they nearly coincided (-4 %).

As far as lake chemistry is concerned, in 2011 in the southern basin a total phosphorous concentration (weighted mean over the entire volume) of 38 mg P m⁻³ has been measured. This is the lowest valued ever measured since the beginning of the regular monitoring in 1980. In the northern basin the phosphorous reduction, started after the 2004-2005 destratification, continued also in 2011, though with a slower rate than the previous five-year period. Mean concentration over the column has almost halved, from 138 mg P m⁻³ in 2004 to the present 72 mg P m⁻³. In 2011 the good winter circulation maintained in the northern basin the 4.0 mg P m⁻³ isoline (hypoxia, critical threshold) at 75 m depth.

The 1.0 mg P m⁻³ isoline (anoxia) remained stable at about 120 m. Below this depth problematic reduced compounds have been detected, such as nitrite,

ammonium, sulphide and methane. In the southern basin seasonal hypoxia has reached 20 m depth in autumn.

The 2011 planktonic community was characterised by the general stabilization of the algal biomass at the low levels of the past five years. Among the main taxonomic groups of phytoplankton, diatoms was predominant (29%-40%), while blue-green algae showed a strong recovery (19%-27%). Green algae dropped slightly down (4%-10%), except for Figino station. According to the recent evolution of the biotic component of the lake ecosystem, during 2011 primary production confirmed the low levels observed during the former five-year period, but significantly higher than 2010. All the considered parameters confirmed the occurrence of an increasing trophic gradient along the lake flow axis.

The qualitative improvement of tributary and lacustrine waters, due to the progressive completion of the external recovery measures started in the Eighties, has partially stabilised during the following decade. The exceptional mixing events occurred during winters 2004-2005 and 2005-2006 have impressed a new boost toward the complete recovery of the lake and the attendance of the quality target. Particularly positive have been the consequences on the oxygenation state of deep waters and on phosphorous content in both basins. Despite the nearly halving of total phosphorus concentration between 2004 and 2011 in the northern basin, Lake Lugano is still in a state of high eutrophy, the highest among Swiss and subalpine lakes.

The current limnological picture of Lake Lugano, typical for an eutrophic lake, is characterised by a certain instability as for nutrient concentrations and composition of plankton biocenosis. Considering the results presented and discussed in the present report as well as the uncertainties related to the future evolution of the lake, the monitoring programme has to be maintained with the same form, in order to highlight this ecological variability and to point out contingent criticalities.

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 dei venti	17
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	38
4.3. Bilancio complessivo di fosforo e azoto	44
5. <u>CARATTERISTICHE FISICHE, CHIMICO-FISICHE E CHIMICHE DELLE ACQUE LACUSTRI</u>	47
5.1. Trasparenza	47
5.2. Torbidità	47
5.3. Temperatura dell'acqua	48
5.4. Bilancio termico	48
5.5. Ossigeno disciolto	50
5.6. Valore pH ed alcalinità	50
5.7. Conducibilità elettrica specifica	51
5.8. Composti del fosforo	51
5.9. Composti dell'azoto	52
5.10. Silice	53
5.11. Manganese disciolto	53
5.12. Ferro disciolto	54
5.13. Solfuri	54
5.14. Metano	54
5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale	55

6.	<u>INDAGINI SUL FITOPLANCTON</u>	79
6.1.	Struttura dei popolamenti	79
6.2.	Variazioni della biomassa	81
6.3.	Clorofilla	84
6.4.	Produzione primaria	90
7.	<u>INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON</u>	97
8.	<u>CONCLUSIONI</u>	99
	<u>RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA</u>	103
	<u>ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI</u>	105

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il presente rapporto riassume i principali risultati scientifici conseguiti durante la campagna d'indagine del 2011. Si tratta del quarto 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.): nord, sud e Ponte Tresa. Ogni bacino presenta 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 (nord e sud), nei quali vengono mantenuti, da oltre trent'anni, tre punti 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 bacini, e per valutarne l'effetto sulla biocenosi lacustre, che attualmente presenta ancora situazioni di elevata instabilità.

Tutti i risultati analitici relativi alla campagna di prelievo e di misure del 2011 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	[μ S 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]
Mn ²⁺ :	manganese disciolto	[g m ⁻³]
S ²⁻ :	solfo disciolto	[mg m ⁻³]
CH ₄ :	metano	[g m ⁻³]
DOC :	carbonio organico disciolto	[g m ⁻³]
Cl ⁻ :	cloruro	[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)	[μ E m ⁻² s ⁻¹] *)
	radiazione fotosintetica giornaliera	[E m ⁻² d ⁻¹] *)
ε :	coefficiente d'estinzione della luce	[m ⁻¹]
	nello strato trofogeno	
	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) \equiv 1mole di fotoni PAR s⁻¹ m⁻²; 4.6 μ mol 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
Indice sinuosità	-	3.75 (intero lago)		

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.

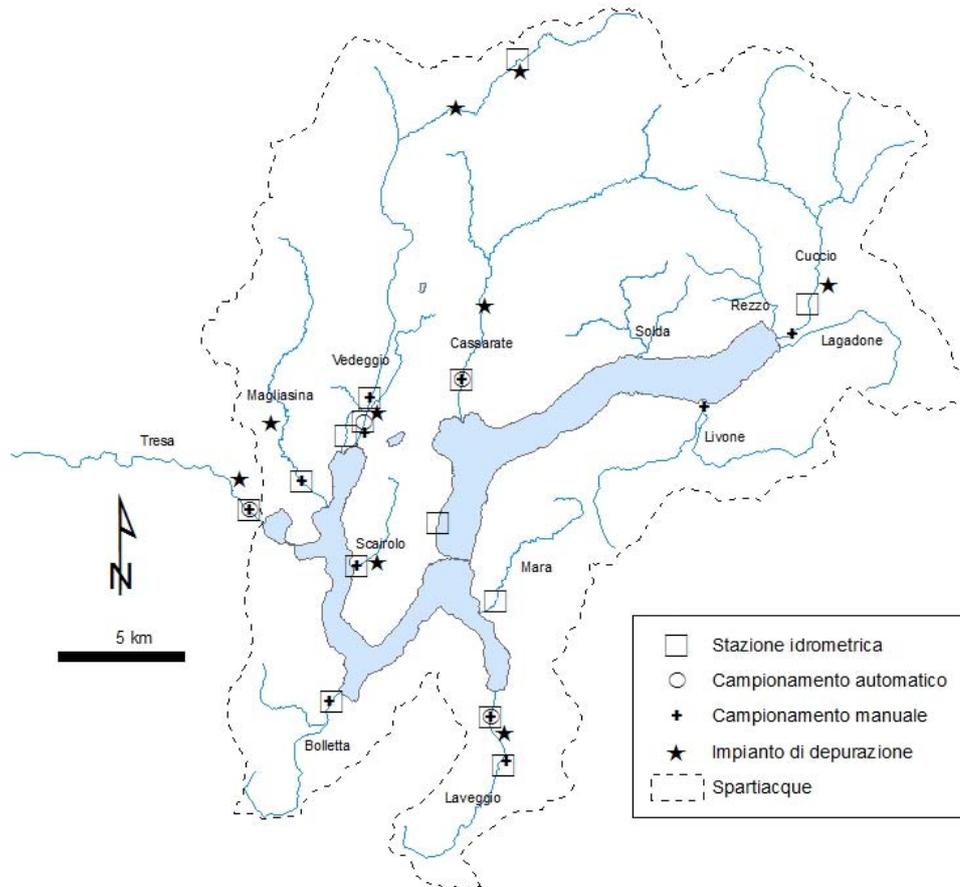


Fig. 1.1. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni idrometrografiche per la misura della portata e punti di campionamento manuale ed automatico nel bacino imbrifero.

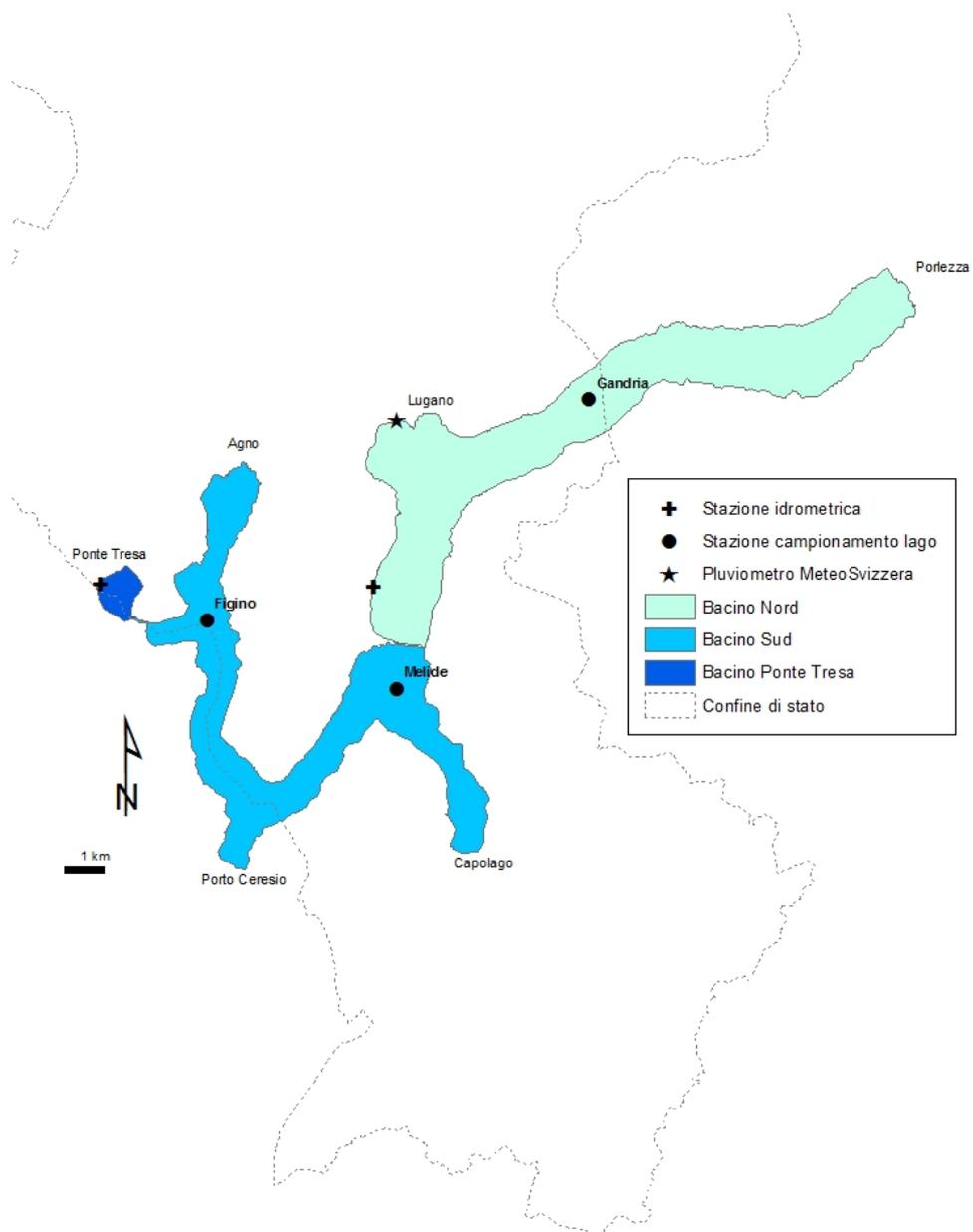


Fig. 1.2. Lago di Lugano: ubicazione delle stazioni di prelievo e di misura.

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-SUPSI, 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 2011 sono stati confrontati con quelli dei periodi climatologici di riferimento, aggiornati all'1.1.2009, che per i parametri della temperatura atmosferica e delle precipitazioni fanno riferimento al trentennio 1961-90, mentre per la radiazione solare e per l'intensità e direzione dei venti al ventennio 1981-2000.

[www.meteosvizzera.ch/web/it/clima/clima_della_svizzera/norma_1961_90.html].

A livello generale, in tutta la Svizzera il 2011 ha portato un massiccio scarto positivo della temperatura, con valori di soleggiamento molto elevati, ed una scarsità di precipitazioni. Il versante sudalpino è stato caratterizzato da temperature da primato in primavera ed in ottobre, come pure da condizioni di maltempo, accompagnato da forti eventi di precipitazione, in luglio e da fine ottobre ad inizio novembre.

2.1. Radiazione solare globale

Radiazione globale totale 2011	5019 MJ m ⁻²
Radiazione - media periodo 1981-2000	4387 MJ m ⁻²

La radiazione solare a Lugano nel 2011 è risultata fra le più elevate dell'intero periodo d'osservazione, inferiore solamente al 2009 (5108 MJ m⁻²) ed al 2007 (5073 MJ m⁻²), facendo registrare un incremento del 14% rispetto al valore annuo del periodo di riferimento.

Come illustrato in Fig. 2.1, tutti i valori mensili hanno superato la norma, tranne quelli di giugno e luglio: i maggiori incrementi sono stati registrati in aprile, maggio ed ottobre, tutti attorno a +40%. hanno fatto registrare valori di

radiazione globale costantemente superiori alla media, in particolare aprile (+25%) e luglio (+21%), mentre i rimanenti mesi hanno presentato valori inferiori, soprattutto in ottobre (-24%). Anche quest'anno pertanto, come nei sei precedenti, la quantità di energia solare disponibile durante il periodo d'attività vegetativa (marzo-ottobre) ha raggiunto livelli elevati ($>4000 \text{ MJ m}^{-2}$) consentendo l'instaurarsi condizioni favorevoli per la crescita vegetale. E' interessante notare come i valori annui di questo parametro risultino tendenzialmente in costante crescita a partire dal 1999 (3615 MJ m^{-2}), pur con alcune momentanee oscillazioni interannuali.

2.2. Temperatura atmosferica

Temperatura - media 2011	13.6 °C
Temperatura - media periodo 1961-1990	11.6 °C

La temperatura media annua del 2011 a Lugano è risultata nettamente superiore alla media del periodo di riferimento, facendo registrare il secondo valore più elevato dell'ultimo trentennio, dopo il 2003 (13.8 °C) ed assieme al 2007.

Come evidenziato dalla Fig. 2.2., tutte le temperature medie mensili, tranne quella di luglio (-0.3°C) hanno superato la norma: l'incremento più marcato corrisponde ai mesi di aprile e maggio (tra +4 e +5°C), seguiti da agosto, settembre e dicembre (tra +2 e +3°C). Tenuto conto del dato di dicembre 2010, risultato ben al di sotto della norma (-1.2°C), il periodo invernale d'inizio 2011 ha comunque potuto usufruire di condizioni termiche abbastanza favorevoli per quanto concerne il rimescolamento delle acque. Al contrario, il dato di dicembre del 2011, che si situa al secondo posto fra i più caldi dell'ultimo trentennio (5.9°C; +2.1°C di scarto), ha ipotecato pesantemente la fase di raffreddamento invernale delle acque lacustri, determinante ai fini della circolazione del 2012.

In assoluto il valore di temperatura atmosferica più elevato è stato misurato il 23 agosto (32.7 °C), mentre quello più basso il 23 gennaio (-2.6 °C).

2.3. Precipitazioni

Precipitazioni Lugano - totale 2011	1179 mm
Precipitazioni Lugano- media periodo 1961-1990	1545 mm

Dopo un triennio caratterizzato da una pluviometria superiore alla media (2008-2010), il dato del 2011 a Lugano è risultato nuovamente molto vicino alla media dell'ultimo quinquennio siccitoso 2003-2007 (1192 mm).

La scarsità di precipitazioni ha riguardato 9 mesi, ma in modo particolare aprile e dicembre, in cui i quantitativi misurati si situano attorno al 20% della norma. Dei tre mesi restanti, quello di luglio è stato nettamente il più piovoso (259 mm; 195% della norma), seguito a pari merito da novembre (205 mm; 171%) e giugno (203 mm; 119%): complessivamente essi hanno fornito più della metà del quantitativo di precipitazioni dell'anno.

Sull'arco dell'anno sono stati registrati 103 giorni di pioggia, con totali giornalieri al di sotto di 60 mm tranne in due eventi, in cui è stata superata la soglia di 100 mm (7 luglio: 110 mm; 5 novembre: 101 mm).

Il quadro delle precipitazioni che interessano l'andamento idrologico del lago e dei suoi tributari emerge dai rilevamenti dell'intera rete pluviometrica installata sul bacino imbrifero (Tab. 2.3; Fig. 2.3.2).

I dati dell'insieme delle stazioni confermano per il 2011 una pluviometria inferiore alla media (circa il 20%). Per quanto concerne i valori assoluti, la precipitazione annua massima (attorno a 1500-1600 mm) si è registrata nella parte settentrionale, nella parte alta dei bacini del Vedeggio e del Cassarate. A livello percentuale lo scarto negativo minore rispetto alla norma si è avuto a Mendrisio (93%), mentre quello più marcato corrisponde al pluviometro di Grancia.

I primi 3 mesi dell'anno sono stati caratterizzati da una pluviometria leggermente inferiore alla media, con l'eccezione della zona del Mendrisiotto nel mese di marzo. I due mesi successivi, che solitamente risultano tra quelli con piogge più abbondanti, sono stati invece molto caldi (temperature di 3-4°C superiori alla media) e secchi. In particolare nei primi 22 giorni di aprile non si sono registrate precipitazioni in nessun pluviometro del bacino del lago di Lugano. Dalla metà di maggio fino ai primi di agosto vi è stata una netta inversione di tendenza, con piogge superiori alla media ed alcuni eventi temporaleschi significativi, come quelli del 7 e 13 luglio 2011.

L'autunno è stato avaro di precipitazioni, con l'eccezione dell'evento dei primi giorni del mese di novembre. Successivamente le uniche precipitazioni sono avvenute nell'alto Ticino e nel bacino del lago di Lugano non sono più avvenute piogge di rilievo fino al termine dell'anno.

2.4. Intensità e direzione dei venti

Intensità dei venti - media 2011	5.15 km h ⁻¹
Intensità dei venti - media periodo 1981-2000	6.66 km h ⁻¹

Per il sesto anno consecutivo l'intensità dei venti è risultata ampiamente al di sotto della norma (media annua <6 km h⁻¹): il dato del 2011 a Lugano costituisce addirittura il valore annuo più basso misurato nell'ultimo trentennio.

L'andamento dei valori mensili (Fig. 2.4.1) mette in evidenza un'attività eolica estremamente ridotta (<4 km h⁻¹) nei primi due mesi dell'anno, proprio durante la fase conclusiva del periodo di raffreddamento della colonna d'acqua, ed in novembre, e scarti negativi di rilievo rispetto alla norma (circa 2 km h⁻¹ in meno) anche per marzo, giugno ed agosto. Unicamente il mese d'ottobre ha fatto registrare un leggero superamento del valore di riferimento (circa 0.1 km h⁻¹ in più). Complessivamente il valore medio del primo trimestre dell'anno, durante il quale l'azione del vento è fondamentale per stimolare i processi di rimescolamento della colonna d'acqua lacustre, è risultato nel 2011 quello meno ventoso degli ultimi 30 anni.

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	2011	44.0	44.6	88.7	23.9	90	202.3	259.4	72.1	82.6	52.5	205.2	13.6	1177.7
	1961-1990	76	71	106	152	194	171	133	166	153	140	120	63	1545
	%	58%	63%	84%	16%	46%	119%	195%	43%	54%	38%	171%	22%	76%
Stabio	2011	44.8	65.5	133.4	40.9	91	203.5	197.4	29.5	99.4	58.6	266.5	7.1	1237.6
	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
	%	56%	82%	116%	27%	49%	144%	176%	19%	76%	40%	215%	11%	83%
Isona	2011	39.8	47.6	81.2	29.6	111.4	236.4	312.4	149.6	128.8	79.8	275.4	22	1514.0
	1979-2011	70.9	53.9	101.7	171.2	229	205.5	181.3	184.3	195.1	175.2	149.2	83.4	1800.7
	%	56%	88%	80%	17%	49%	115%	172%	81%	66%	46%	185%	26%	84%
Mendrisio	2011	43.3	57.3	107.1	9.2	81.3	214	214.2	31.3	163.1	83.6	362.5	17.2	1384.1
	1983-2011	77	61.9	80.9	154	185.9	142.1	123.7	134.4	160.3	134.5	149.6	80	1484.3
	%	56%	93%	132%	6%	44%	151%	173%	23%	102%	62%	242%	22%	93%
Chiasso	2011	49.9	71.4	126.9	9	39.1	207.9	175.2	25.5	200.1	73.6	258.8	8.7	1246.1
	1988-2011	78.7	63.5	68.4	144.2	154.1	135	116.9	124.8	174.3	145.4	171.7	83.2	1460.2
	%	63%	112%	186%	6%	25%	154%	150%	20%	115%	51%	151%	10%	85%
Arosio	2011	47.9	54.2	95.9	36.9	119	269.3	271.2	159.7	96.9	109.8	205.4	14.9	1481.1
	1987-2011	70.8	64.0	79.8	169.7	199.2	201.8	167.7	162.8	192.6	183.9	169.5	83.4	1745.2
	%	68%	85%	120%	22%	60%	133%	162%	98%	50%	60%	121%	18%	85%
Somazzo	2011	45.3	57	117.1	9.8	94.5	204.2	182.2	25.8	168.9	70.6	242.1	10.5	1228.0
	1996-2011	73.8	64.8	78.4	144.2	171	138.1	140.8	147.3	146.1	144.3	216.5	98.6	1563.9
	%	61%	88%	149%	7%	55%	148%	129%	18%	116%	49%	112%	11%	79%
Ponte Tresa	2011	60	65.1	111.4	21.1	122.9	263.2	243	83	55.3	57.4	259.6	12.3	1354.3
	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
	%	73%	79%	92%	12%	54%	138%	154%	45%	31%	32%	173%	18%	75%
Novaggio ¹⁾	2011	39	50.6	98.2	21.2	114.6	243.2	237	106.6	81.2	58.8	245.2	11.8	1307.4
	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
	%	47%	61%	81%	12%	51%	127%	150%	58%	45%	33%	163%	17%	72%
Colla ²⁾	2011	39.0	41.6	94.8	30.0	75.6	253.6	277.2	188.6	160.2	172.4	234.8	20.6	1588.4
	1979-2011	70.9	53.9	101.7	171.2	229	205.5	181.3	184.3	195.1	175.2	149.2	83.4	1800.7
	%	55%	77%	93%	18%	33%	123%	153%	102%	82%	98%	157%	25%	88%
Grancia ³⁾	2011	31.8	43.2	62.8	21.2	58.6	201.8	238.2	50.2	64	47.6	208.6	12.8	1040.8
	1961-1990	76	71	106	152	194	171	133	166	153	140	120	63	1545
	%	42%	61%	59%	14%	30%	118%	179%	30%	42%	34%	174%	20%	67%
Trevano ³⁾	2011	42.6	42	89.4	27	98.4	218.2	254.4	90.4	102.6	57	211.6	11.8	1245.4
	1961-1990	76	71	106	152	194	171	133	166	153	140	120	63	1545
	%	56%	59%	84%	18%	51%	128%	191%	54%	67%	41%	176%	19%	81%

- 1) periodo di riferimento della stazione di PonteTresa
- 2) periodo di riferimento della stazione di Isona
- 3) periodo di riferimento della stazione di Lugano

Le giornate più ventose si sono avute il 15 maggio ed il 13 aprile, con correnti provenienti dal settore N spiranti a circa 20 km/h in media, con punte fino a 66 rispettivamente 76 km h⁻¹. Raffiche ancora più violente sono state misurate in presenza di forti correnti favoniche provenienti da nord (12 aprile: 88 km/h), come pure in occasione di temporali estivi (7 e 13 luglio: 86 e 106 km/h).

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 giornaliere. 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 2011 la **direzione media mensile** del vento si è situata prevalentemente nei settori N e NW, spostandosi al settore W durante marzo ed aprile, in seguito all'elevata percentuale di frequenze dal settore S (ca. 70%) legata agli eventi di perturbazione atmosferica.

Per meglio illustrare il **quadro annuo** della direzione dei venti, a partire da quest'anno la distribuzione dei valori orari è stata riportata su di una rosa dei venti suddivisa in sedici settori di provenienza, escludendo le situazioni di calma (velocità media oraria <0.5 m sec⁻¹; Fig. 2.4.2.). Dal confronto con i valori percentuali del periodo di riferimento si osserva per il 2011 un netto deficit dei venti da N a vantaggio di quelli provenienti dal settore S, ed in misura minore SW e W. Questo dato, unito al raddoppio del valore percentuale delle calme (9.1% rispetto a 4.6% nel periodo di riferimento) riflette in maniera evidente la scarsità di attività eolica del 2011, soprattutto per quanto riguarda le correnti settentrionali tipiche del periodo invernale.

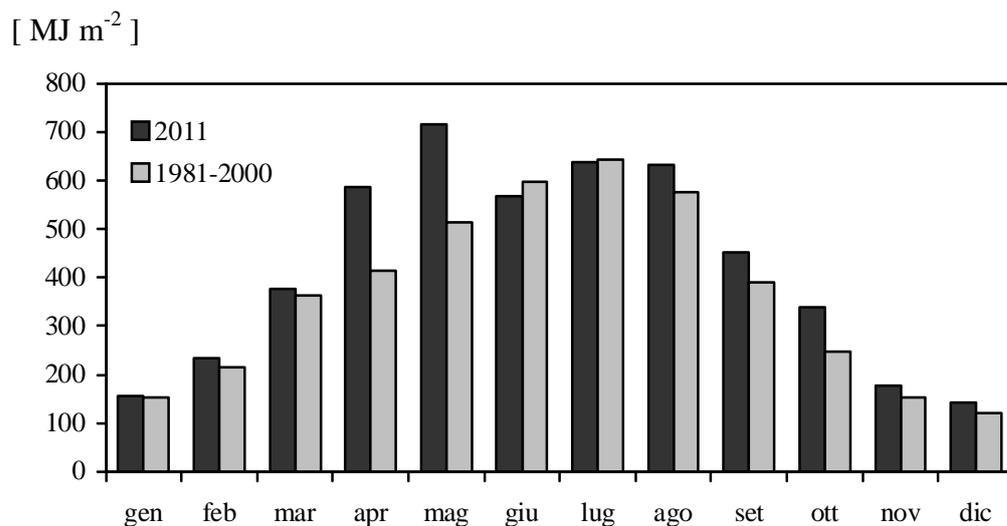


Fig. 2.1 Regime mensile della radiazione globale rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

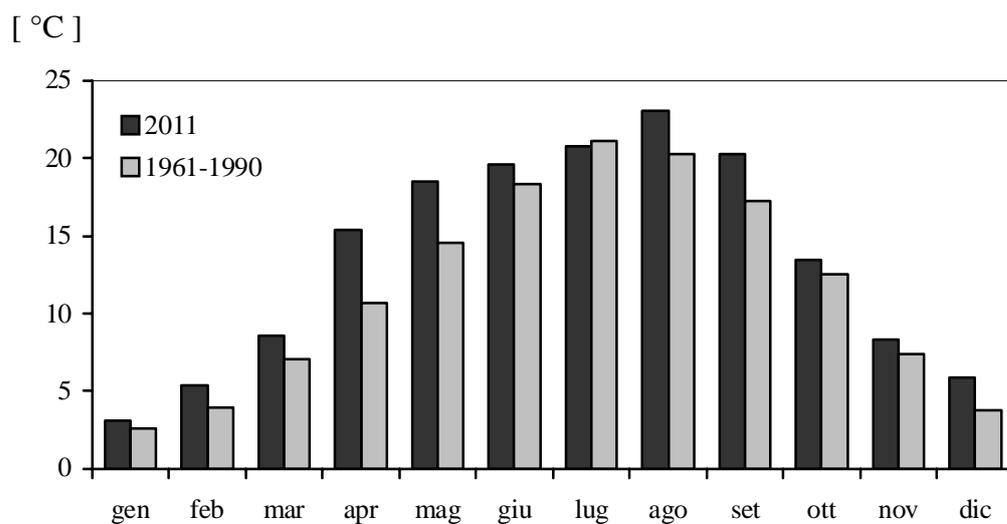


Fig. 2.2 Regime mensile della temperatura atmosferica rilevata presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

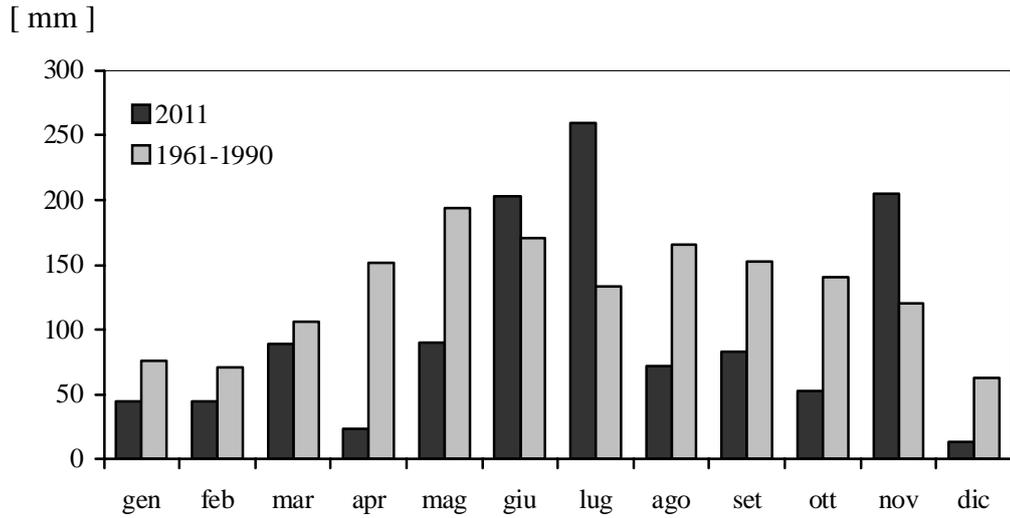


Fig. 2.3.1 Regime mensile delle precipitazioni raccolte presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

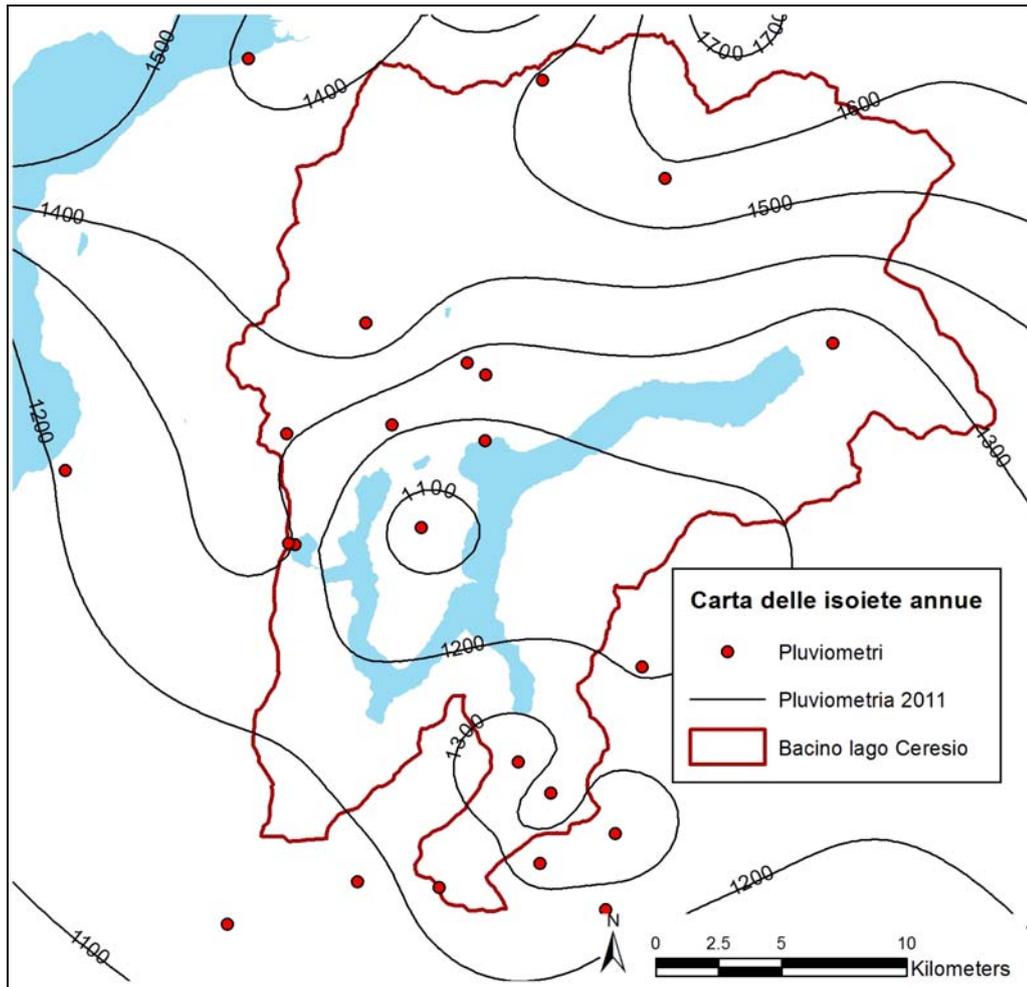


Fig. 2.3.2 Carta delle isoiete dell'anno 2011 per il bacino imbrifero del lago di Lugano.

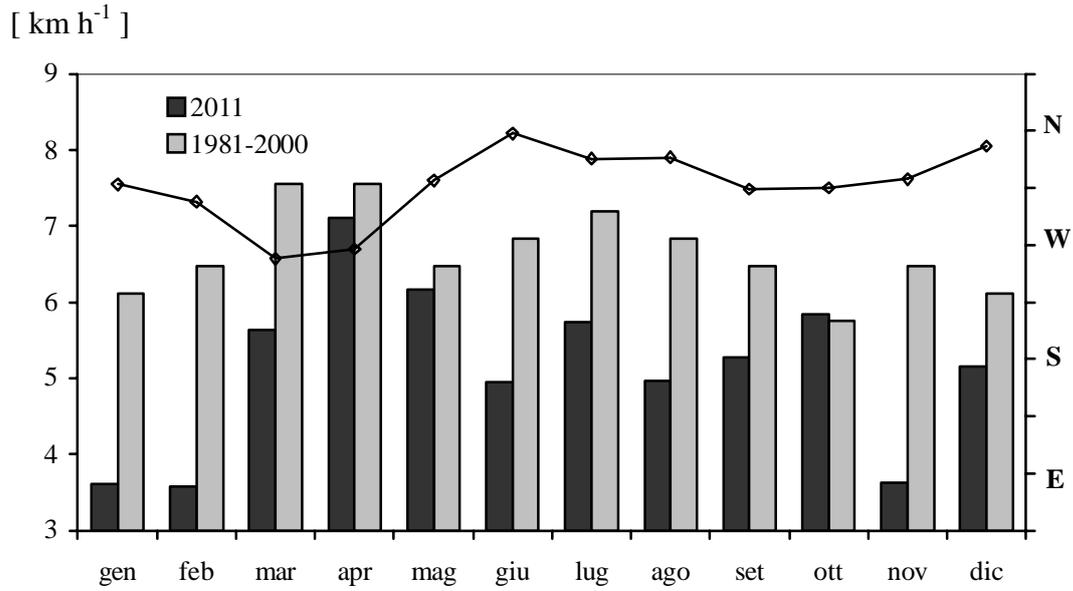


Fig. 2.4.1: Regime mensile dell'intensità dei venti (barre) e della loro direzione media (linea), rilevato presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

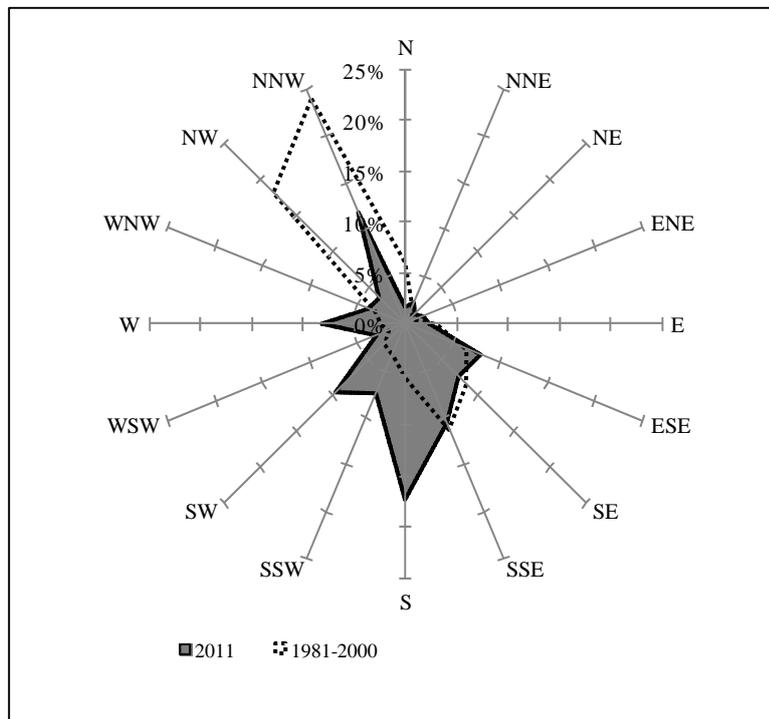


Fig. 2.4.2: Distribuzione delle percentuali di frequenza della direzione dei venti rilevate presso la stazione di Lugano-Biblioteca Cantonale.

3. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

3.1. Regime dei corsi d'acqua

La tabella 3.1. presenta i valori di deflusso (medie mensili e annuali) dei nove corsi d'acqua controllati, relativi all'anno 2011 ed ai corrispondenti periodi di riferimento.

Come riferito nel capitolo precedente, il 2011 è stato un anno con precipitazioni inferiori alla media, per cui le portate degli immissari hanno segnato un deficit medio del 12% rispetto alle medie pluriennali di riferimento. La portata media del Tresa è stata invece del 26% al di sotto della media. Il deficit più significativo è stato rilevato su Bolletta, Magliasina e Cassarate, con una portata media annua inferiore di circa il 25% rispetto alla norma.

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	2011	0.68	0.50	0.78	0.43	0.35	0.54	0.73	0.33	0.24	0.21	1.17	0.28	0.52
	1986-2011	0.59	0.56	0.57	1.02	1.02	0.70	0.53	0.38	0.52	0.80	1.02	0.69	0.70
	%	114%	89%	137%	43%	34%	77%	139%	87%	47%	26%	115%	41%	74%
Cassarate	2011	3.42	1.79	1.88	1.49	1.01	1.62	3.04	2.18	1.07	1.24	4.18	0.98	1.99
	1963-2010	1.34	1.39	2.06	3.55	4.36	3.29	2.24	1.89	2.42	2.88	3.17	1.79	2.53
	%	255%	129%	91%	42%	23%	49%	136%	115%	44%	43%	132%	55%	79%
Cuccio	2011	1.95	1.36	1.51	1.68	1.16	2.23	3.15	2.21	1.44	1.86	3.53	1.62	1.98
	1986-2011	1.21	1.14	1.39	2.32	3.11	2.54	2.13	1.52	1.74	2.31	2.56	1.56	1.96
	%	161%	119%	109%	72%	37%	88%	148%	145%	83%	80%	138%	104%	101%
Laveggio	2011	1.41	1.05	1.37	0.97	0.93	1.47	1.26	0.68	0.66	0.41	1.80	0.56	1.04
	1978-2011	0.98	0.96	1.11	1.49	1.62	1.25	0.94	0.75	0.88	1.15	1.30	0.99	1.12
	%	144%	110%	123%	65%	58%	118%	134%	90%	75%	35%	138%	56%	93%
Mara	2011	0.79	0.47	0.82	0.43	0.36	0.95	1.29	0.38	0.26	0.19	1.09	0.27	0.61
	1994-2011	0.52	0.45	0.62	0.92	0.96	0.69	0.66	0.45	0.48	0.57	0.98	0.61	0.66
	%	150%	106%	133%	47%	37%	138%	195%	86%	55%	33%	111%	44%	92%
Magliasina	2011	1.11	0.63	0.91	0.54	0.51	1.26	1.74	0.85	0.29	0.22	1.88	0.34	0.86
	1980-2010	0.68	0.63	0.88	1.75	2.15	1.53	0.97	0.60	1.11	1.58	1.61	0.88	1.20
	%	163%	101%	104%	31%	24%	82%	179%	142%	26%	14%	117%	39%	72%
Scairolo	2011	0.35	0.25	0.28	0.21	0.19	0.30	0.38	0.21	0.18	0.16	0.39	0.15	0.25
	1982-2011	0.25	0.24	0.23	0.36	0.42	0.35	0.28	0.22	0.26	0.34	0.39	0.27	0.30
	%	137%	106%	121%	58%	46%	87%	139%	94%	71%	46%	101%	57%	85%
Veduggio	2011	4.23	2.36	2.95	2.47	1.66	3.97	5.91	3.68	1.73	1.49	6.37	1.79	3.22
	1981-2010	1.79	1.57	2.17	4.78	6.49	4.55	3.11	2.01	3.30	4.31	4.36	2.50	3.42
	%	236%	150%	136%	52%	26%	87%	190%	183%	52%	35%	146%	72%	94%
Tresa	2011	25.45	14.98	14.75	16.71	15.93	20.22	29.81	17.46	12.73	8.18	27.45	8.01	17.64
	1923-2010	15.40	14.00	17.90	28.50	37.70	32.00	22.80	17.60	20.90	26.60	30.90	20.60	23.80
	%	165%	107%	82%	59%	42%	63%	131%	99%	61%	31%	89%	39%	74%

I primi tre mesi dell'anno sono risultati con deflussi medi superiori alla media per quasi tutti i tributari, conseguenza dell'inverno mite e delle abbondanti precipitazioni avvenute negli ultimi due mesi del 2010.

I mesi che normalmente registrano un deflusso tra i più elevati (aprile, maggio, settembre ed ottobre) sono stati invece deficitari su tutti i corsi d'acqua. In particolare sulla Magliasina (maggio, settembre ed ottobre), ci sono stati 3 mesi con deflusso inferiore al 30% rispetto a quello medio.

Nei quattro mesi di gennaio, giugno, luglio e novembre è defluito più del 50% del volume complessivo annuo.

Per quanto riguarda gli eventi estremi, gli unici significativi sono avvenuti durante il mese di luglio. Hanno avuto conseguenze sul territorio, in particolare sui piccoli riali, ma in nessun tributario si sono verificati eventi di piena significativi.

3.2. Regime del livello lacustre

L'altezza media del livello lacustre, registrata a Melide Ferrera nel 2011 è stata di 270.45 m s.l.m. risultando di 4 cm inferiore a quella del periodo di riferimento (1965-2010: 270.49 m s.l.m.).

Il minimo assoluto è stato toccato il 20 ottobre con 270.02 m s.l.m., mentre la punta massima, pari a 270.88 m s.l.m., è stata raggiunta il 20 luglio al termine di numerosi eventi temporaleschi consecutivi, caratterizzati da un apporto tra i 150 ed i 300 mm di pioggia nell'arco di 13 giorni. L'escursione massima per il 2011 è stata di 86 cm (Fig. 3.3.).

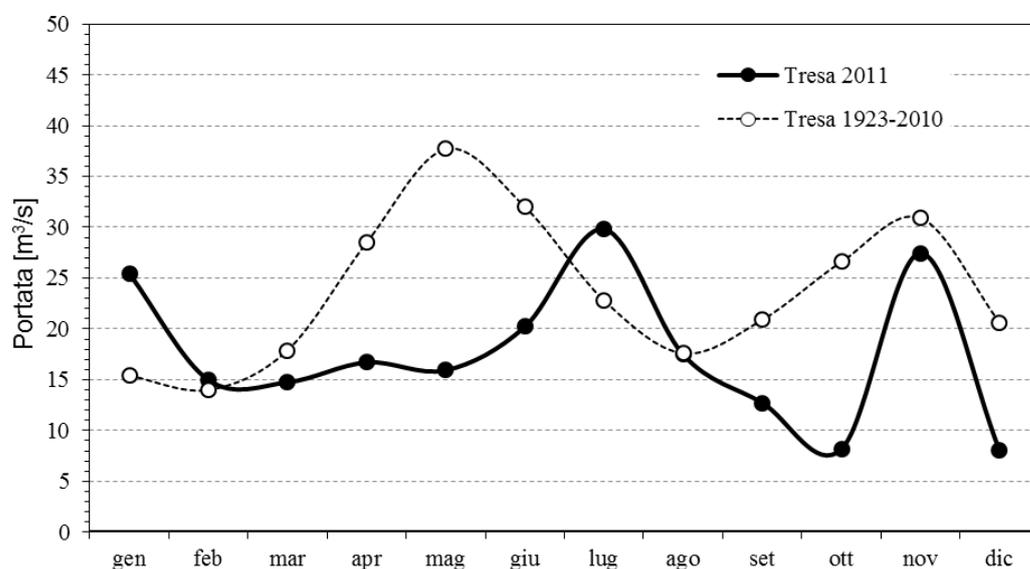


Fig. 3.1. Regime mensile dei deflussi del fiume Tresa (emissario) nel 2011 e nel periodo di riferimento (1923-2010). Si noti che, a partire dal 1963 la portata dell'emissario risulta modificata artificialmente dalla regolazione.

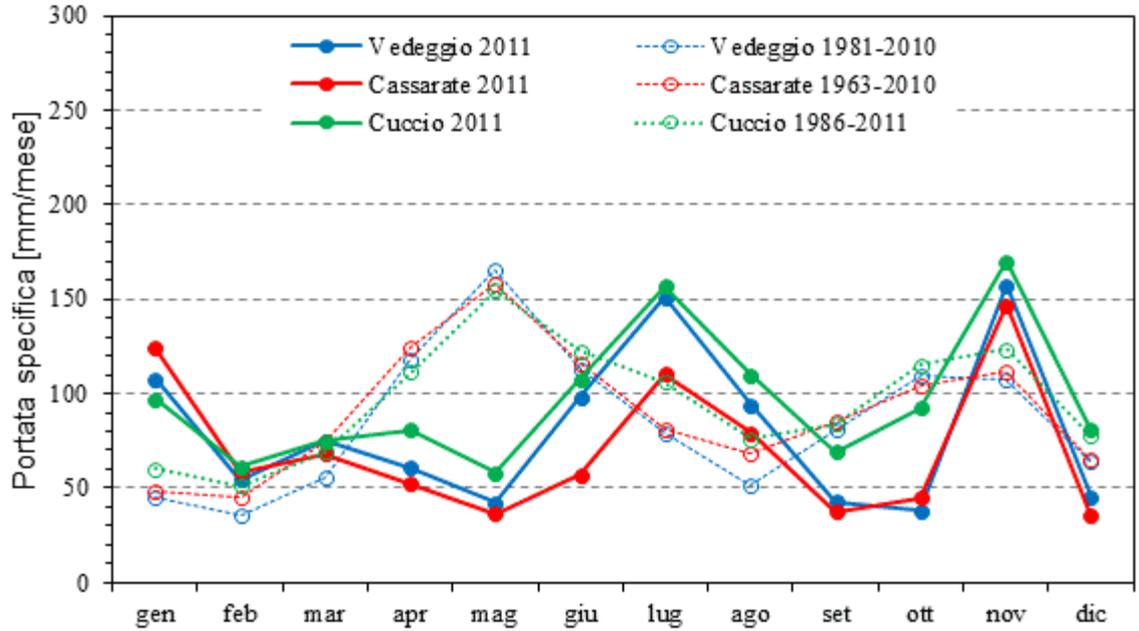


Fig. 3.2. Regime mensile dei deflussi specifici (portata per unità di superficie del bacino imbrifero) dei fiumi Veduggio (principale immissario del bacino sud) nel 2011 e nel periodo di riferimento (1981-2010), Cassarate e Cuccio (principali immissari del bacino nord) nel 2011 e nei rispettivi periodi di riferimento.

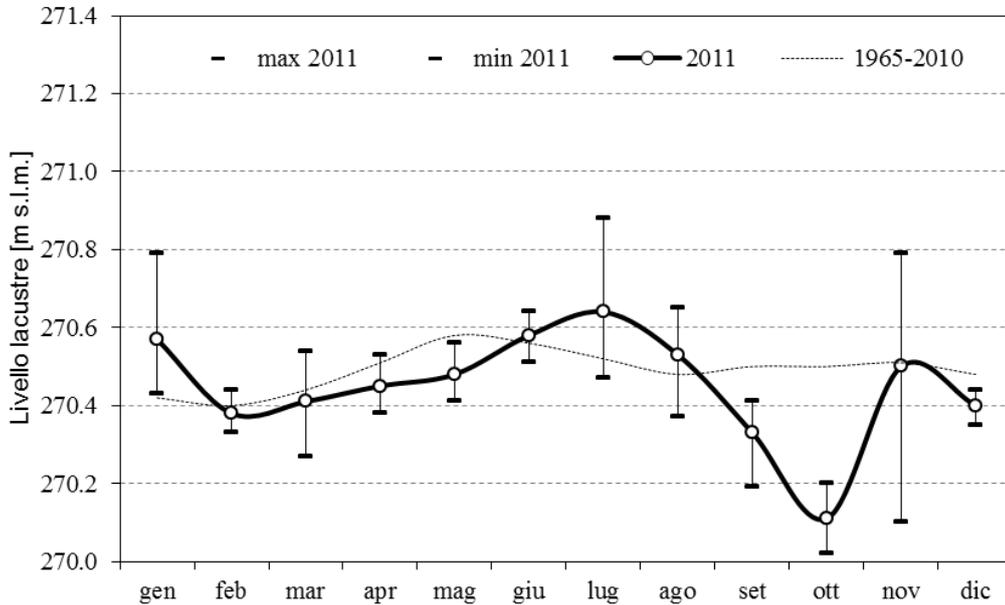


Fig. 3.3. Lago di Lugano, 2011: regime mensile (o) e valori estremi (-) del livello lacustre, e confronto con periodo di riferimento.

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 2011.

Per valutare la rappresentatività dei prelievi rispetto al regime idrologico annuale sono state confrontate su Tresa e Veduggio le curve di frequenza delle portate medie giornaliere annue (365 dati) con quelle rilevate al momento dei campionamenti istantanei (Fig. 4.1.1.). Dal confronto si evince che i 14 prelievi effettuati riflettono in maniera soddisfacente il regime idrologico annuale (dati UFAM: www.hydrodaten.admin.ch), con una lieve sottostima delle situazioni di piena. Durante i campionamenti (Fig. 4.1.3a.) sul Tresa sono stati rilevati la mediana più alta ($16.10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ed il massimo annuale, raggiunto a metà novembre ($41.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) in occasione di intense precipitazioni (cfr. paragrafo 2.3.). Segue il Veduggio con una mediana di $2.26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mentre il deflusso minore tra i fiumi campionati è stato misurato sullo Scairolo ($0.22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Per i rimanenti fiumi i valori sono risultati compresi tra 0.4 e $1.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

I valori di temperatura nel 2011 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 $18.0 \text{ }^\circ\text{C}$, mentre sugli altri tributari l'escursione termica è risultata compresa tra $10.1 \text{ }^\circ\text{C}$ (Veduggio) e $14.7 \text{ }^\circ\text{C}$ (Cassarate). La temperatura mediana più elevata è stata rilevata sul Laveggio ($14.1 \text{ }^\circ\text{C}$), mentre la punta massima annua, pari a $23.6 \text{ }^\circ\text{C}$, è stata misurata nel Tresa durante il prelievo di luglio. Il minimo assoluto è stato per contro misurato in febbraio sul Magliasina ($1.2 \text{ }^\circ\text{C}$). Le misurazioni dell'UFAM effettuate in continuo sul Tresa a Ponte Tresa-Rocchetta riportano un massimo di 27.3°C il 25 agosto e un minimo di $5.1 \text{ }^\circ\text{C}$ il 26 gennaio ed il 3 febbraio (Fig. 4.1.2.).

La conducibilità elettrica normata a 20°C (Fig. 4.1.3a.) indica la presenza di ioni disciolti ed in generale coincide con l'andamento dell'alcalinità (vedi paragrafo successivo). Il Laveggio presenta la mediana più elevata ($523 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$), seguito dai tributari Bolletta, Scairolo e Livone con valori compresi tra 390 e $430 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$. Nei rimanenti cinque fiumi le mediane variavano tra 100 e $210 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$. Il massimo annuale è stato rilevato a fine ottobre sul Laveggio ($925.8 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$), che ha pure mostrato la maggiore variazione di conducibilità: $524 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$ tra massimo e minimo annuale.

I valori d'alcalinità più elevati sono stati misurati Laveggio, Livone, Bolletta e Scairolo (Fig. 4.1.3b.), con mediane comprese tra 2.5 e 4.1 eq m^{-3} . Si tratta di fiumi che drenano bacini costituiti prevalentemente da rocce calcaree. Le alcalinità più basse (mediane $< 1.0 \text{ eq m}^{-3}$) sono state registrate per contro negli affluenti Cassarate, Veduggio, Cuccio e Magliasina che scorrono su bacini imbriferi con roccia madre cristallina. L'emissario Tresa occupa una posizione intermedia con un valore mediano pari a 1.68 eq m^{-3} . Le oscillazioni più marcate sono state osservate su Bolletta, Laveggio e Scairolo con escursioni annue comprese tra 1.4 e 1.8 eq m^{-3} e possono essere ricondotte in particolare ai singoli eventi di pioggia intensa che hanno avuto un effetto diluente abbassando i valori di alcalinità.

Il valore pH (Fig. 4.1.3b.) mostra un andamento simile all'alcalinità, ad eccezione dell'emissario Tresa che, a motivo del suo ruolo di emissario lacustre, ha fatto registrare la mediana più elevata, pari a 8.50 unità. Gli altri tributari presentano mediane pH comprese tra 7.6 e 8.4. I minimi ed i massimi annuali sono stati rilevati rispettivamente in gennaio sul Veduggio (7.45) e in ottobre sul Tresa (8.85). Su quest'ultimo fiume, l'elevata variabilità annuale (escursione di 1.0 unità) è da ricondursi all'attività fotosintetica nell'epilimnio lacustre.

L'ossigeno disciolto (Fig. 4.1.3b.) ha mostrato concentrazioni sempre superiori a $8.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Bolletta, Scairolo e Livone hanno presentato forti escursioni annuali, nell'ordine dei $5\text{-}7 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Nel loro insieme i fiumi risultano dunque ben ossigenati durante tutto l'anno, con una evidente correlazione negativa ($R^2=0.56$) tra temperatura e concentrazione di ossigeno.

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

Per quanto concerne l'azoto nitroso nel Bolletta sono stati misurati valori estremi per mediana (40 mg N m^{-3}) e massimo annuale (333 mg N m^{-3} ad inizio ottobre). Negli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane si sono mantenute tra 3 mg N m^{-3} (Veduggio) e 15 mg N m^{-3} (Cassarate). Su Bolletta e Cassarate sono state registrate le maggiori escursioni dei valori annui, pari rispettivamente a 329 e 221 mg N m^{-3} , riconducibili a difficoltà gestionali riscontrate presso gli impianti di depurazione situati a monte.

Per l'azoto nitrico i fiumi Laveggio e Scairolo hanno mostrato mediane molto elevate rispetto agli altri tributari, rispettivamente di 8.94 g N m^{-3} e di 5.50 g N m^{-3} . Sul Laveggio è stato rilevato a metà dicembre il valore massimo, pari a 16.33 g N m^{-3} . Gli altri fiumi hanno presentato valori mediani più contenuti, compresi tra 0.68 (Cuccio) e 2.87 g N m^{-3} (Veduggio).

Nel caso dell'azoto ammoniacale il Bolletta si è riconfermato come il fiume più problematico con una mediana di 0.39 g N m^{-3} , mentre sugli altri corsi d'acqua le concentrazioni mediane sono risultate più contenute e comprese tra 0.04 (Laveggio) e 0.25 g N m^{-3} (Cuccio). Il massimo annuale di 2.38 g N m^{-3} è stato misurato a metà aprile sul Bolletta, fiume che ha pure mostrato l'escursione più marcata dei valori (2.4 g N m^{-3}). Considerando che concentrazioni croniche di 0.02 g N m^{-3} di ammoniaca possono rivelarsi tossiche per uova e avannotti di pesci nobili, in determinate condizioni (pH e temperature elevati) anche nei corsi d'acqua meno carichi l'esposizione all'azoto ammoniacale può risultare critica.

La situazione dell'azoto totale (Fig. 4.1.3d.) ricalca quella dell'azoto nitrico, che ne costituisce la componente principale (ca. il 75 %); i valori più elevati sono stati infatti registrati nel Laveggio con una mediana di 9.81 g N m^{-3} . Segue lo Scairolo con 7.00 g N m^{-3} , mentre i rimanenti fiumi presentano valori compresi tra 1.12 (Cuccio) e 4.30 g N m^{-3} (Veduggio). Sul Laveggio è stata registrata in dicembre la concentrazione massima annuale: 17.50 g N m^{-3} .

Particolare attenzione va prestata ai composti del fosforo, parametro determinante per lo stato di eutrofizzazione del Ceresio e degli stessi tributari.

I tenori più elevati di fosforo reattivo (Fig. 4.1.3d.) sono stati misurati nel Bolletta (mediana: 195 mg P m^{-3} ; massimo annuale a inizio ottobre: 581 mg P m^{-3}) e nel Livone (mediana di 112 mg P m^{-3}). I valori mediani degli altri sei tributari sono risultati inferiori a 25 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, assumendo una situazione di mesotrofia nel bacino nord (conseguimento degli obiettivi di qualità). Nel Bolletta è stata registrata la mediana più elevata, pari a 368 mg P m^{-3} , valore che supera di dieci volte quello auspicato per il bacino sud (35 mg P m^{-3}); sia in questo tributario che nel Livone le concentrazioni di fosforo totale hanno superato i rispettivi limiti di riferimento in occasione di tutti i prelievi. Degli altri affluenti solo il Vedeggio ha presentato una mediana superiore al valore di riferimento. Il massimo assoluto dell'anno (602 mg P m^{-3}) è stato misurato a inizio ottobre nel Bolletta.

I valori medi di carbonio organico disciolto (DOC; Fig. 4.1.3e.) sono risultati inferiori a 2.0 g C m^{-3} . Il Bolletta abbia mostrato la mediana più elevata, pari a 1.92 g C m^{-3} , mentre le escursioni di valore più pronunciate sono state registrate su Tresa (3.2 g C m^{-3}) e Livone (3.5 g C m^{-3}). Su quest'ultimo tributario ad inizio agosto, durante forti precipitazioni, è stato riscontrato il massimo assoluto, pari a 4.72 g C m^{-3} .

Per quanto concerne la domanda biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; Fig. 4.1.3e.), si evidenzia nuovamente il Bolletta per i suoi valori elevati: mediana di $2.80 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$, ma soprattutto massimo assoluto di $15.21 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a metà gennaio. Si tratta di un parametro complessivo che riflette le elevate concentrazioni di azoto ammoniacale e nitroso, carbonio organico e altre sostanze ridotte. Sugli altri corsi d'acqua i valori sono risultati compresi tra 1.0 e $2.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$.

Le concentrazioni più elevate dei silicati reattivi (Fig. 4.1.3e.), parametro terrigeno non legato alla pressione antropica, sono state registrate sul Bolletta (mediana: 4.97 g Si m^{-3}), mentre sullo Scairolo a metà marzo è stato toccato il massimo assoluto: 6.26 g Si m^{-3} . Le concentrazioni più basse di silice sono state rilevate nell'emissario Tresa (mediana: 0.70 g Si m^{-3}) e sono dovute alla sua assimilazione da parte delle diatomee fitoplanctoniche nell'epilimnio lacustre; il minimo annuale nell'emissario (0.21 g Si m^{-3}) è stato infatti riscontrato in maggio al termine delle fioriture di diatomee. I valori medi degli altri tributari sono risultati compresi tra 2.54 (Livone) e 4.33 g Si m^{-3} (Scairolo).

Il cloruro è un indicatore importante di pressioni antropiche sui corpi idrici; la sua presenza ad elevate concentrazioni è riconducibile principalmente all'impiego di sale sulle strade per garantire la viabilità invernale, allo spandimento di concimi e all'utilizzo di flocculanti contenenti cloro negli impianti di depurazione delle acque (IDA) per l'abbattimento del fosforo. Un esempio classico di tali prodotti aggreganti è il policloruro d'alluminio, utilizzato di routine negli IDA situati sul bacino imbrifero del Ceresio. I tributari esaminati (Fig. 4.1.3f.) presentano concentrazioni assai inferiori alla soglia di 200 g Cl m^{-3} , considerata tossica per i vegetali in particolare per le alghe. Il valore massimo assoluto, pari a 92.3 g Cl m^{-3} , è stato rilevato sul Laveggio in ottobre. Lo stesso fiume ha presentato la maggiore concentrazione mediana (39.0 g Cl m^{-3}), seguito da Bolletta e Scairolo con rispettivamente 29.5 e 29.4 g Cl m^{-3} . Gli altri corsi d'acqua hanno presentato mediane inferiori, comprese tra 2.50 (Cuccio) e $13.78 \text{ g Cl m}^{-3}$ (Vedeggio).

Per una stima precisa dei carichi di nutrienti (*in primis* azoto e fosforo totali) trasportati da Tresa e Laveggio sono stati monitorati con dei campionatori automatici gli andamenti settimanali cumulati di azoto e fosforo totali. I campioni vengono raccolti in continuo tramite prelievo automatico proporzionale alla portata e sono conservati a 5°C. I valori settimanali hanno evidenziato forti escursioni di valore (Figg. 4.1.4.), in particolare le concentrazioni di fosforo, 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, evitando che questi ultimi siano rappresentativi di tutto il mese.

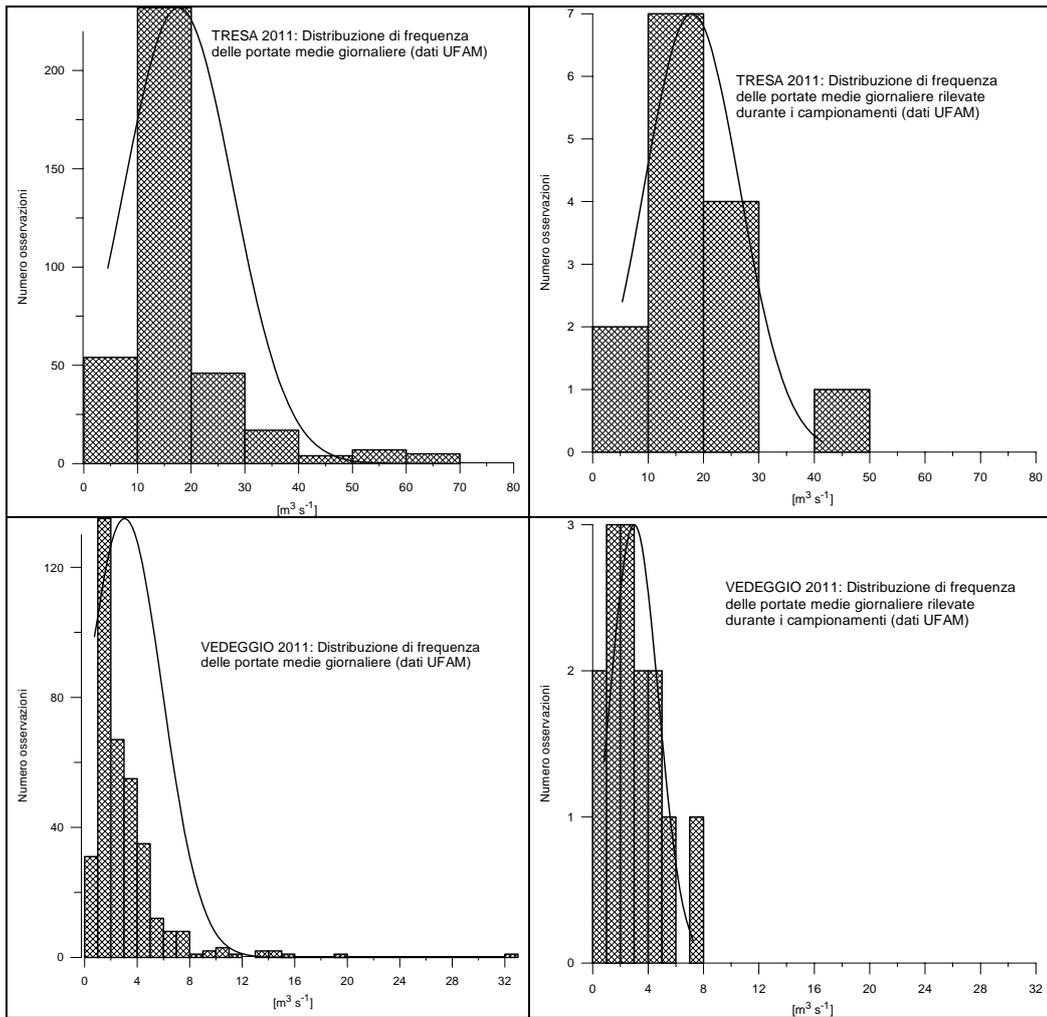


Fig. 4.1.1. Lago di Lugano, 2011: curve di frequenza delle portate medie giornaliere sui fiumi Tresa e Vedeggio; confronto tra l'intero set di dati e le portate rilevate durante i campionamenti (dati UFAM).

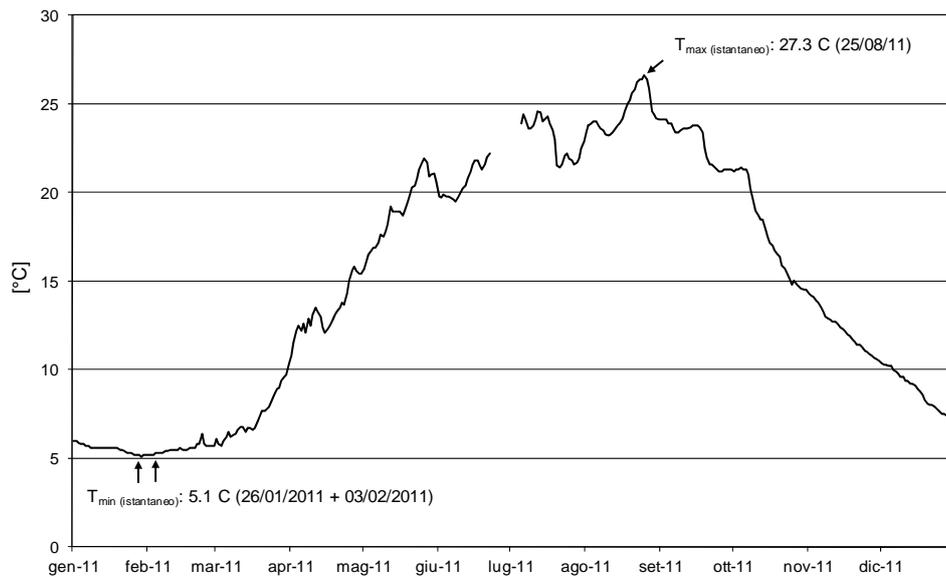


Fig. 4.1.2. Lago di Lugano, 2011: andamento della temperatura media giornaliera nel fiume Tresa a Ponte Tresa, località Rocchetta (dati UFAM).

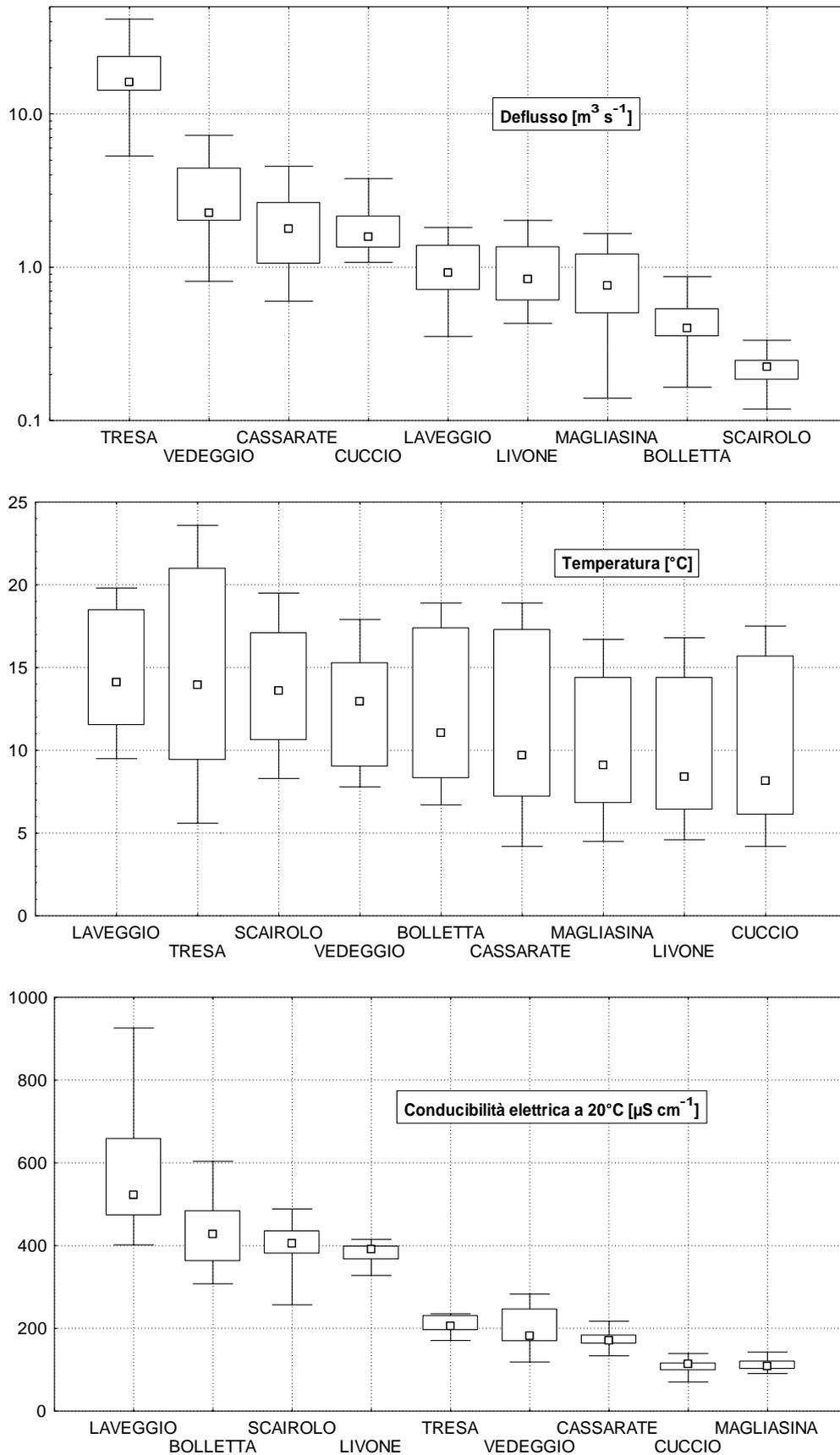


Fig. 4.1.3a. Lago di Lugano, 2011: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

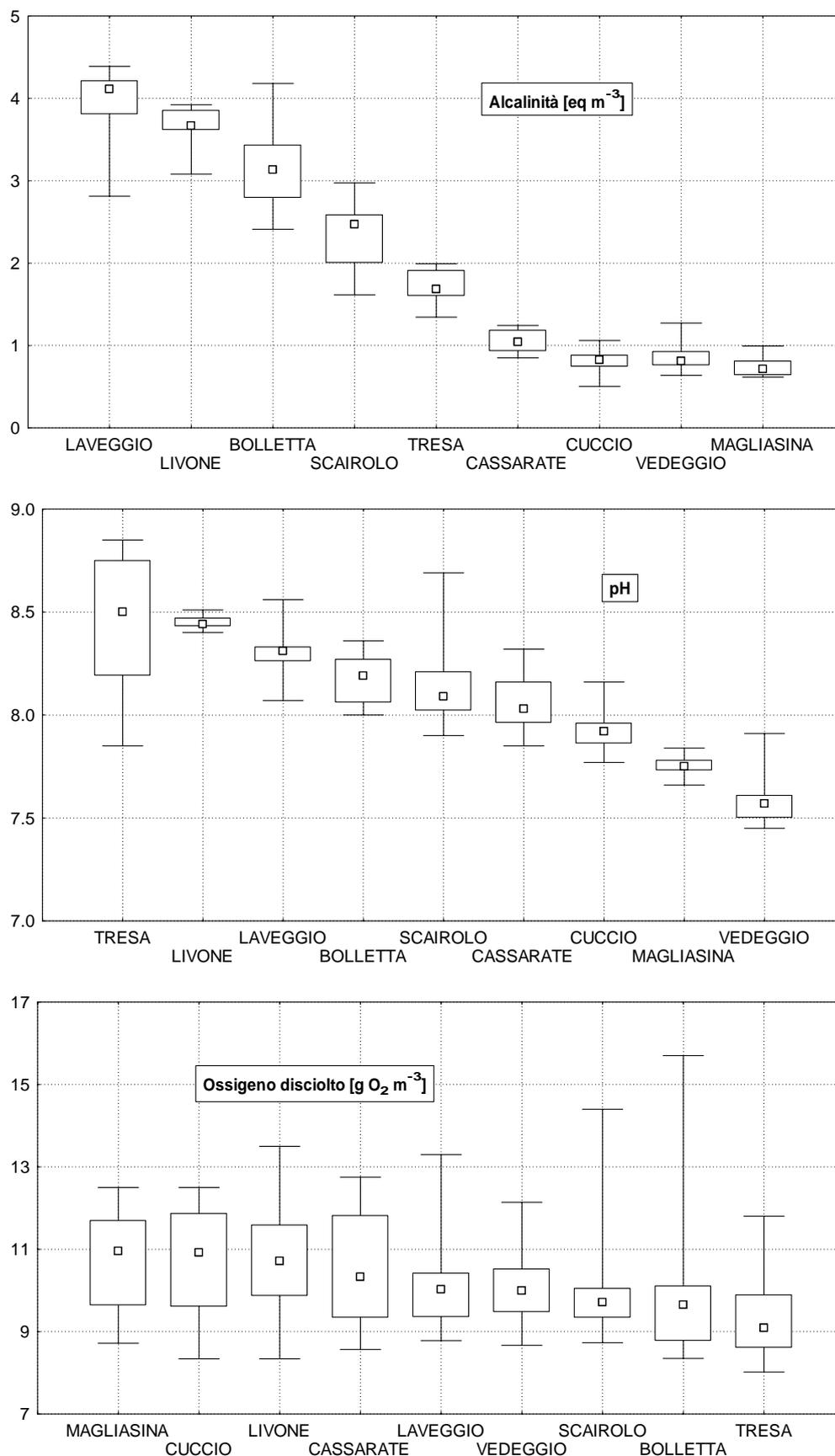


Fig. 4.1.3b. Lago di Lugano, 2011: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25% ile, 75% ile, valori minimo e massimo.

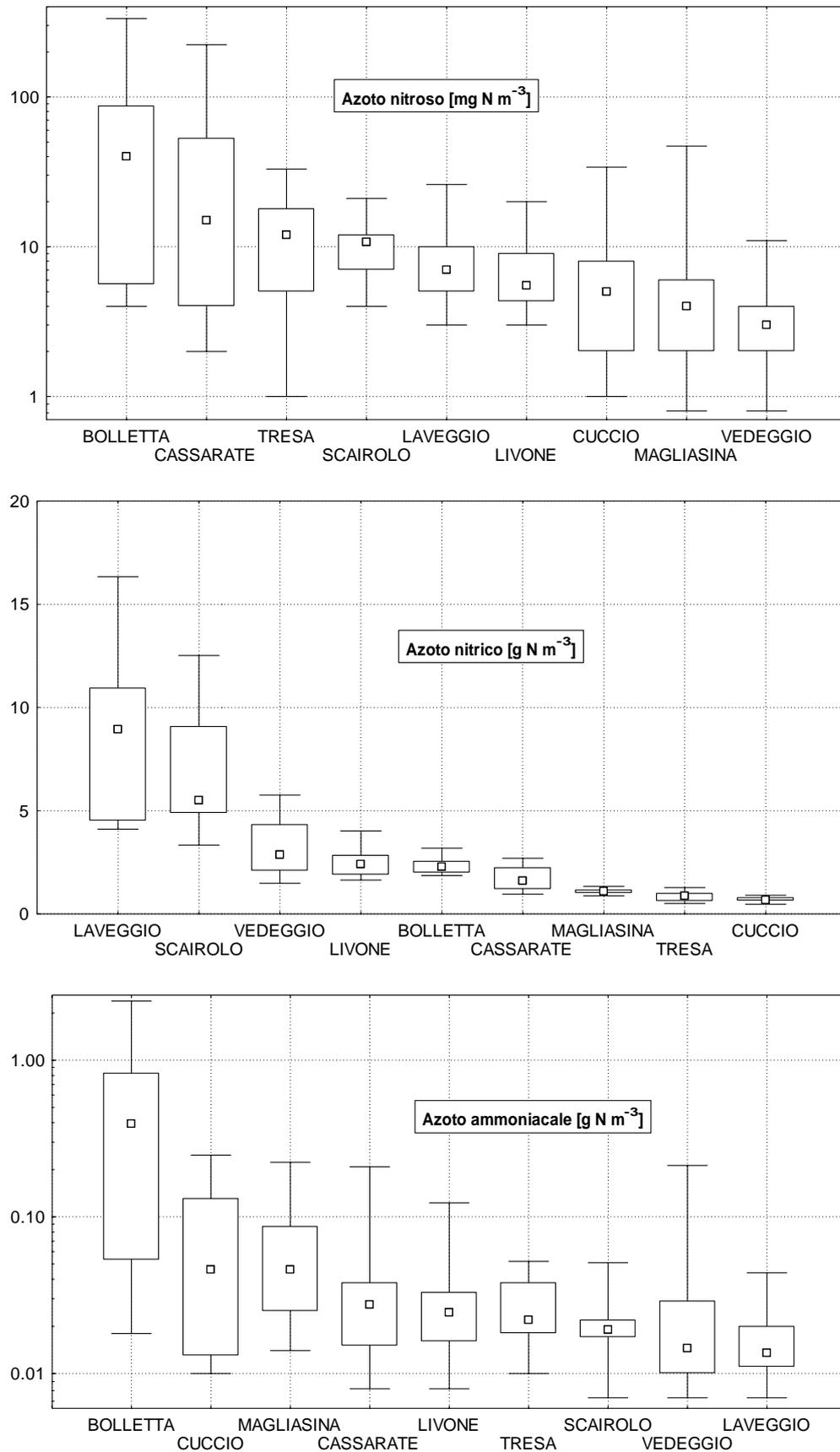


Fig. 4.1.3c. Lago di Lugano, 2011: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

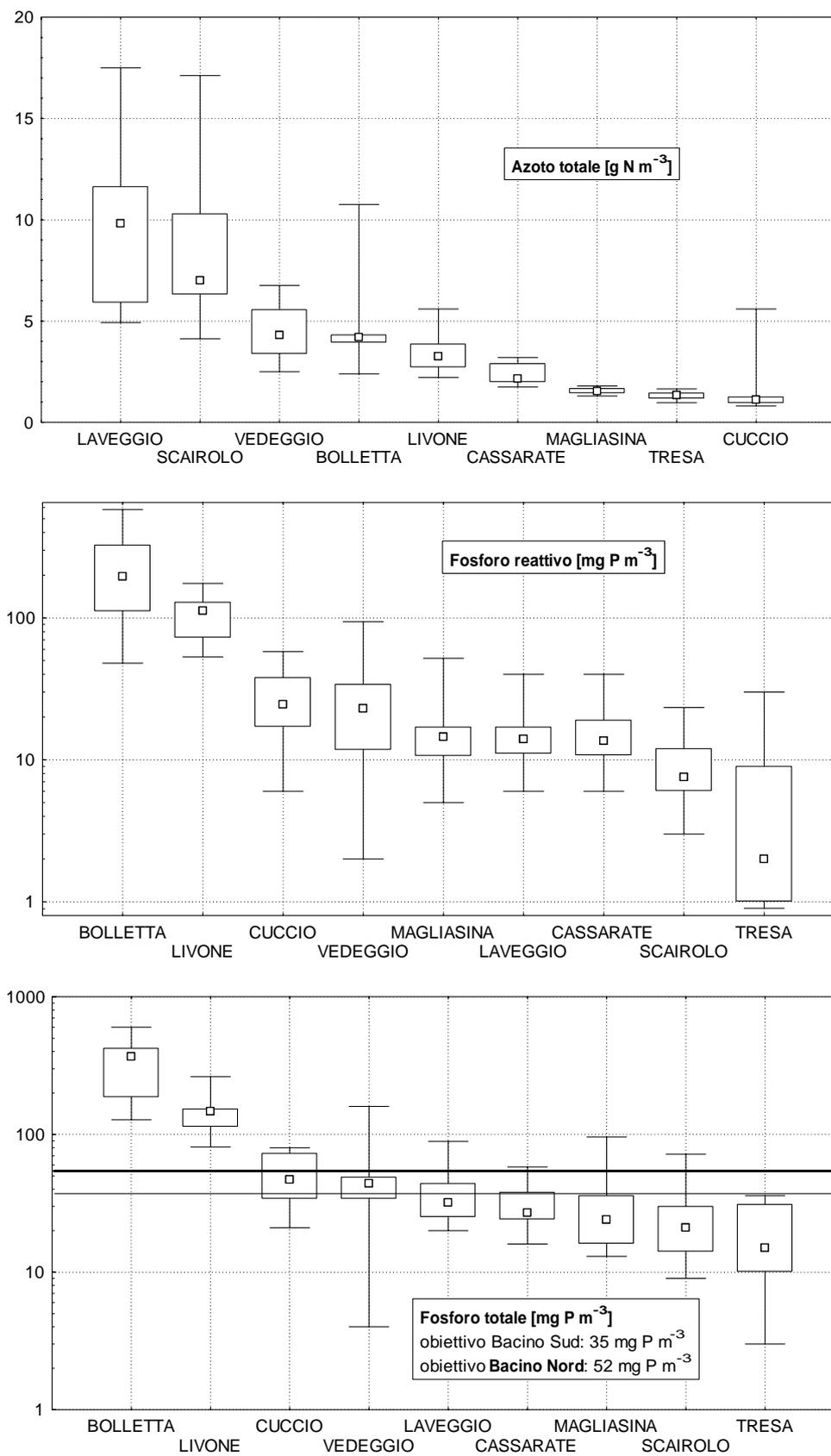


Fig. 4.1.3d. Lago di Lugano, 2011: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo. Nel grafico relativo al fosforo totale i tributari del bacino nord sono indicati in grassetto.

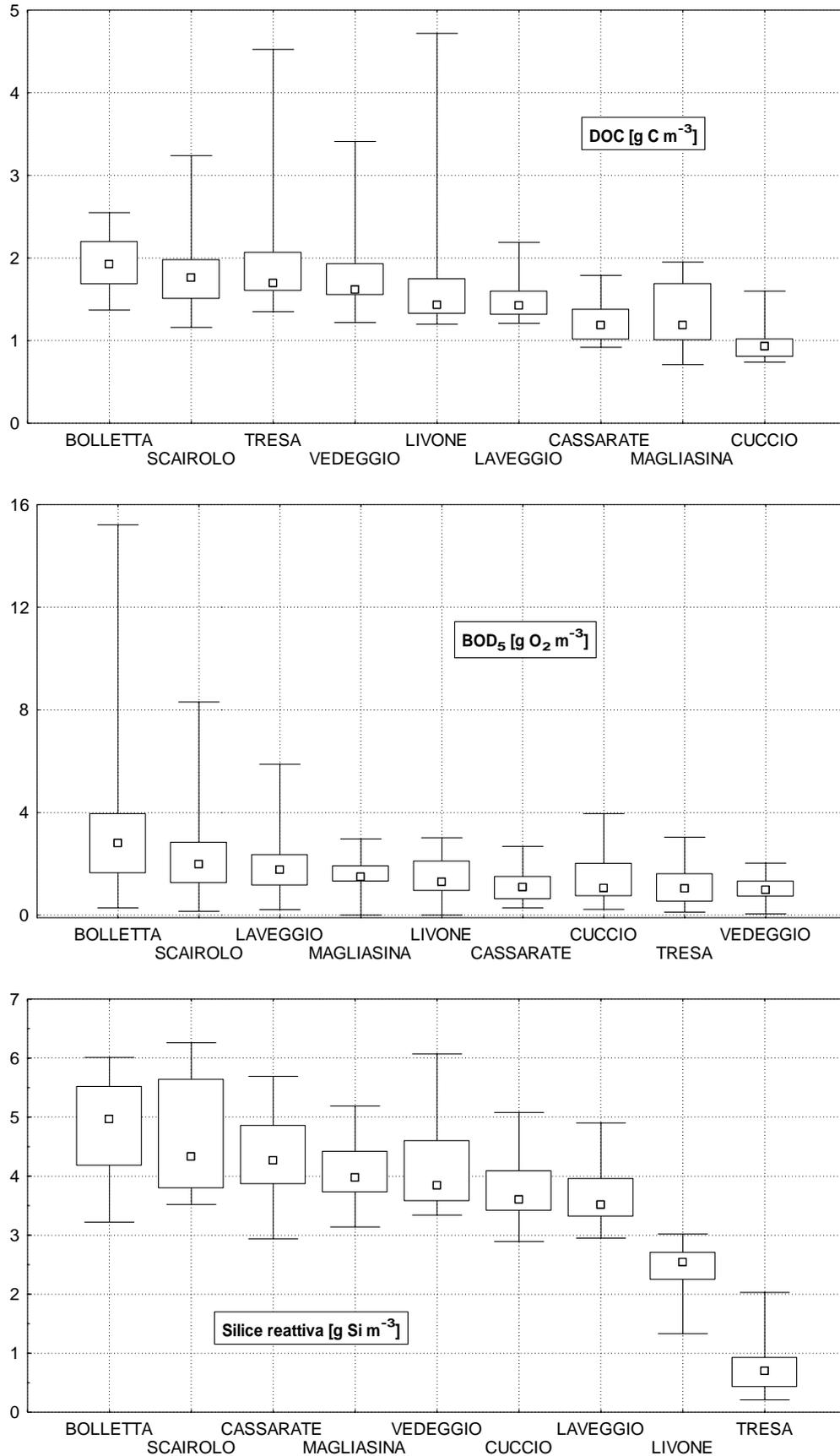


Fig. 4.1.3e. Lago di Lugano, 2011: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

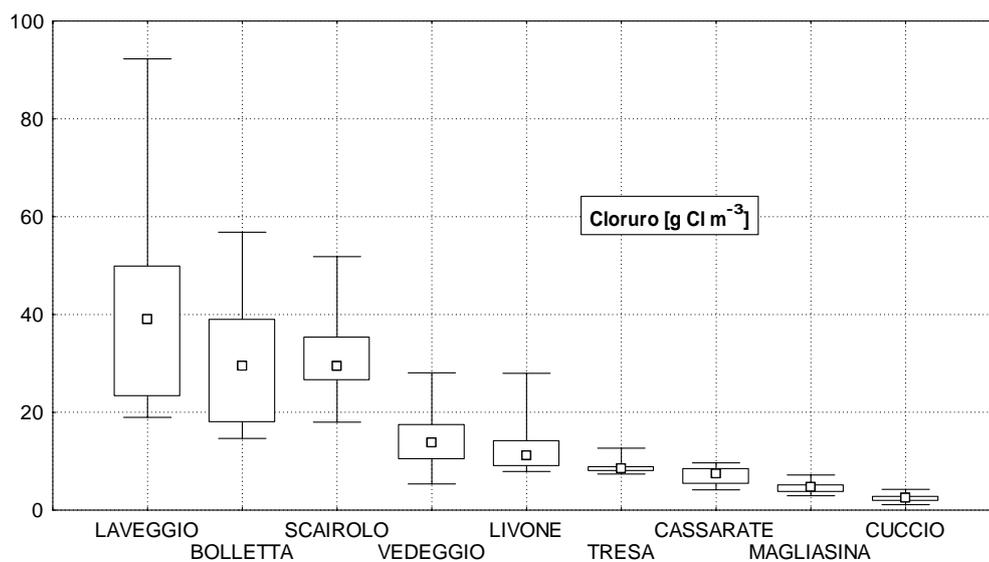


Fig. 4.1.3f. Lago di Lugano, 2011: valori statistici notevoli per i tributari campionati: mediana, 25%ile, 75%ile, valori minimo e massimo.

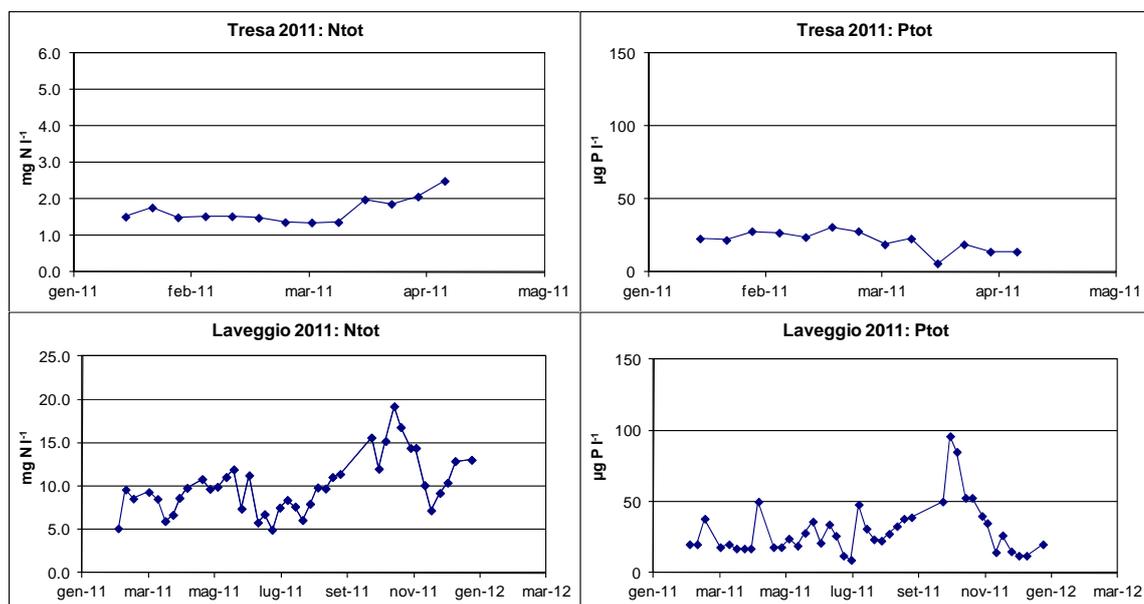


Fig. 4.1.4.: Lago di Lugano, 2011: andamento settimanale delle concentrazioni di azoto e fosforo totali nei fiumi Tresa e Laveggio. (campionamento in continuo).

4.2. Carichi chimici

Per gli affluenti principali, nonché per gli emissari del bacino nord (ponte-diga di Melide) e sud (fiume Tresa), gli apporti annuali dei singoli parametri (Tab. 4.2.1., Figg. 4.2.1. e 4.2.2) sono stati stimati utilizzando i valori istantanei di concentrazione e di deflusso giornaliero (**media ponderata**).

Tra gli immissari si evidenzia che Vedeggio e Bolletta hanno convogliato a lago i carichi più elevati per la maggior parte dei parametri. Il Bolletta ha apportato i carichi più elevati di azoto ammoniacale (10.0 t N a^{-1}), fosforo ortofosfato (3.4 t P a^{-1}) e totale (5.0 t P a^{-1}); il Vedeggio i maggiori carichi di azoto nitrico (271 t N a^{-1}) e totale (406 t N a^{-1}), silicati reattivi (388 t Si a^{-1}), ossigeno disciolto ($974 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$), richiesta biochimica d'ossigeno (BOD_5 ; $98 \text{ t O}_2 \text{ a}^{-1}$) e carbonio organico disciolto (DOC; 165 t C a^{-1}). Tramite il Laveggio è giunto al Lago il maggiore quantitativo di carbonio inorganico ($1'516 \text{ t a}^{-1}$). L'apporto di azoto nitroso è stato massimo sul Cassarate (3.6 t N a^{-1}); si tratta di un valore estremamente alto, riconducibile a concentrazioni invernali elevate legate allo scarico dell'impianto di depurazione del Consorzio Medio Cassarate (nitrificazione parziale in seguito a basse temperature).

L'apporto areale dai singoli bacini drenanti consente una valutazione sull'effettivo stato qualitativo dei singoli corsi d'acqua (Tab. 4.2.2 e Figg. 4.2.3 e 4.2.4). Rispetto alla tabella 4.2.1. su Bolletta e Vedeggio si confermano i valori più elevati. Il Bolletta presenta i maggiori carichi areali di fosforo ortofosfato e totale (rispettivamente 175 e $259 \text{ mg P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), azoto nitroso e ammoniacale (rispettivamente $50 \text{ mg N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ e $0.51 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), e BOD_5 ($3.4 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Dal bacino del Laveggio provengono invece i maggiori carichi areali di azoto nitrico e totale (rispettivamente 8.1 e $9.4 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), silice ($4.2 \text{ g Si m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e di ossigeno ($11.6 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). L'apporto areale più elevato di DOC ($2.0 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) è stato rilevato sul Livone.

Nel 2011 per il fosforo totale, i carichi areali ammissibili CIPAIS, stimati per il recupero del Lago di Lugano [4], sono stati superati di sei volte sul Bolletta e di quasi due volte sul Livone. Degli altri corsi d'acqua direttamente monitorati, anche Vedeggio e Laveggio presentano carichi areali leggermente superiori ai limiti auspicati per il risanamento trofico del Lago. Per quanto concerne gli apporti dalle aree non campionate, ricavati a partire dalle concentrazioni dei fiumi minori, i valori superano le soglie di riferimento. Trattandosi di aree considerate a basso carico antropico o "naturali" i carichi dovrebbero situarsi sotto i valori di soglia. Per questo motivo sarà opportuno, nel corso delle prossime campagne, riprendere il monitoraggio dei fiumi minori, anche per aggiornare dati che risalgono al 1997. I carichi sono da ricondursi agli apporti residui in uscita dagli impianti di depurazione (vedi tab. 4.2.3), agli sversamenti degli scaricatori di piena e agli abitanti non allacciati agli impianti di depurazione.

Confrontando l'apporto complessivo annuo di nutrienti algali con i carichi generati dai quattro maggiori IDA in territorio svizzero sui rispettivi ricettori (dati forniti dai gestori degli impianti; tab. 4.2.3) emerge che per il fosforo totale il contributo dagli IDA oscilla tra il 20 % ed il 60%. Si tratta di percentuali

elevate in quanto il 2011 ha mostrato carichi a lago inferiori rispetto agli anni precedenti, mentre gli apporti dagli IDA sono risultati costanti.

Per quanto attiene l'azoto totale i contributi degli IDA sono simili ed in linea con quanto riscontrato negli scorsi anni. Si tratta di percentuali sempre 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].

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.) fungono da riferimento e da confronto del dato fornito dal campionamento istantaneo.

Come avvenuto nel 2010, i carichi sono stati stimati anche mediante **regressioni non lineari** eseguite su dati di concentrazione e portata istantanei e applicate ai valori giornalieri di portata. L'utilizzo di regressioni non lineari dovrebbe garantire infatti una maggiore accuratezza nella stima dei carichi rispetto all'utilizzo della media ponderata [6].

In tab. 4.2.4 è presentato il confronto tra i valori dei carichi calcolati sulla base dei dati relativi ai tre metodi di stima dei carichi: media ponderata (MP), regressione non lineare (R) e campionatore automatico (CA; solo su Tresa e Laveggio).

Per quanto riguarda i carichi di fosforo totale, le regressioni biennali sono mediamente superiori del 14 % rispetto alla MP, con una forchetta che va da 0.2 % (Bolletta) a 35.2 % (Tresa). Per quanto concerne l'azoto totale le discrepanze sono minori con una differenza media del 3.9 % (minimo di 2.0 % sul Magliasina e massimo di 8.9 % sul Cassarate). Anche per l'azoto le regressioni stimano generalmente carichi più elevati.

Tab. 4.2.1. Lago di Lugano, 2011: 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	765	0.9	1.9	3.6	91	3.2	134	273	673	80	82
Cuccio	536	1.6	3.3	0.4	38	5.1	81	218	617	74	62
Livone ¹	1'315	2.9	4.1	0.4	68	0.8	94	70	320	50	61
Diga Melide	6192	1.0	4.7	1.3	46	2.6	136	86	2706	-	-
Bolletta	583	3.4	5.0	1.0	37	10.0	73	80	166	66	30
Laveggio	1516	0.6	1.4	0.3	235	0.7	272	121	334	75	50
Magliasina	219	0.4	0.6	0.1	29	1.3	40	109	291	35	34
Scairolo	230	0.1	0.2	0.1	50	0.2	62	38	81	23	14
Vedeggio	897	2.3	4.3	0.3	271	4.0	406	388	974	98	165
Tresa	11510	3.0	9.1	5.9	476	15.4	739	446	5158	616	990

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.2. Lago di Lugano, 2011: 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	10.4	12	25	48	1.2	0.04	1.8	3.7	9.1	1.1	1.1
Cuccio	10.0	31	61	8	0.7	0.09	1.5	4.0	11.5	1.4	1.2
Livone ¹	43.0	96	135	13	2.2	0.03	3.1	2.3	10.5	1.6	2.0
Diga Melide	20.8	3	16	4	0.2	0.01	0.5	0.3	9.1	-	-
Bolletta	29.9	175	259	50	1.9	0.51	3.8	4.1	8.5	3.4	1.6
Laveggio	52.4	20	48	11	8.1	0.02	9.4	4.2	11.6	2.6	1.7
Magliasina	6.4	10	18	3	0.9	0.04	1.2	3.2	8.5	1.0	1.0
Scairolo	23.7	8	23	5	5.2	0.02	6.4	3.9	8.3	2.4	1.5
Vedeggio	9.6	25	46	4	2.9	0.04	4.4	4.2	10.5	1.1	1.8
Tresa	18.7	5	15	10	0.8	0.02	1.2	0.7	8.4	1.0	1.6

¹ valore di deflusso estrapolato dal Cassarate

Tab. 4.2.3. Lago di Lugano, 2011: carichi di nutrienti provenienti dai maggiori impianti di depurazione delle acque [t a⁻¹]. Tra parentesi è riportato il contributo percentuale dell'impianto al carico complessivo del ricettore.

Impianto di depurazione acque	Fiume ricettore	PT	NT
Lugano (Bioggio)	Veduggio	2.52 (59 %)	216 (53 %)
Medio Cassarate (Cadro)	Cassarate	0.37 (20 %)	25 ¹ (19 %)
Mendrisio (Rancate)	Laveggio	0.56 (41 %)	137 ¹ (50 %)
Pian Scairolo (Barbengo)	Scairolo	0.09 (39 %)	41 (66 %)

¹ stimato come somma NH₄⁺ + NO₂⁻ + NO₃⁻

Tab. 4.2.4. Lago di Lugano, 2011: carichi di azoto totale [t N a⁻¹] e fosforo totale [t P a⁻¹] nei bacini nord (BN) e sud (BS), stimati con 3 diversi metodi: MP = Media Ponderata, R = regressione non lineare, CA = Campionatore Automatico. Tra parentesi è indicato lo scostamento percentuale rispetto alla stima a partire dai dati di concentrazione rilevati mediante CA.

	CARICO AZOTO			CARICO FOSFORO		
	MP	R	CA	MP	R	CA
Cassarate	134.3	146.3	-	1.9	2.0	-
Cuccio	81.1	83.2	-	3.3	3.9	-
Livone	93.9	90.5	-	4.1	3.6	-
Veduggio	405.5	389.0	-	4.3	5.2	-
Magliasina	39.6	40.4	-	0.6	0.8	-
Laveggio	272.3 (-11 %)	280.2 (-8 %)	305.9	1.4 (+49 %)	1.6 (+70 %)	0.9
Bolletta	73.2	76.9	-	5.0	5.0	-
Scairolo	62.0	60.1	-	0.2	0.3	-
Tresa	738.9 (-21 %)	762.8 (-18 %)	934.0	9.1 (-24 %)	12.3 (+2.5%)	12.0

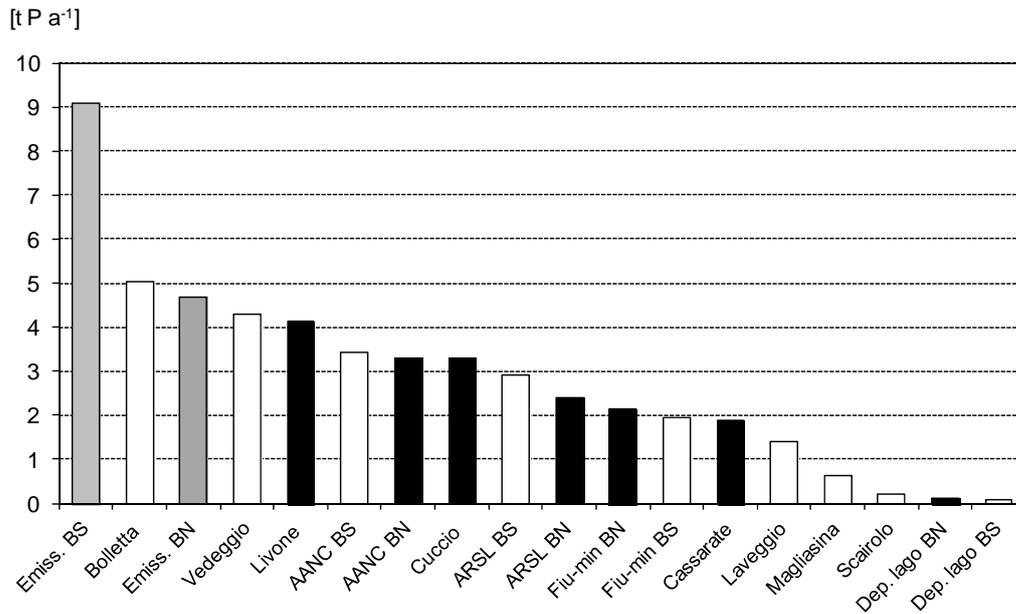


Fig. 4.2.1. Lago di Lugano, 2011: apporti al lago di fosforo totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

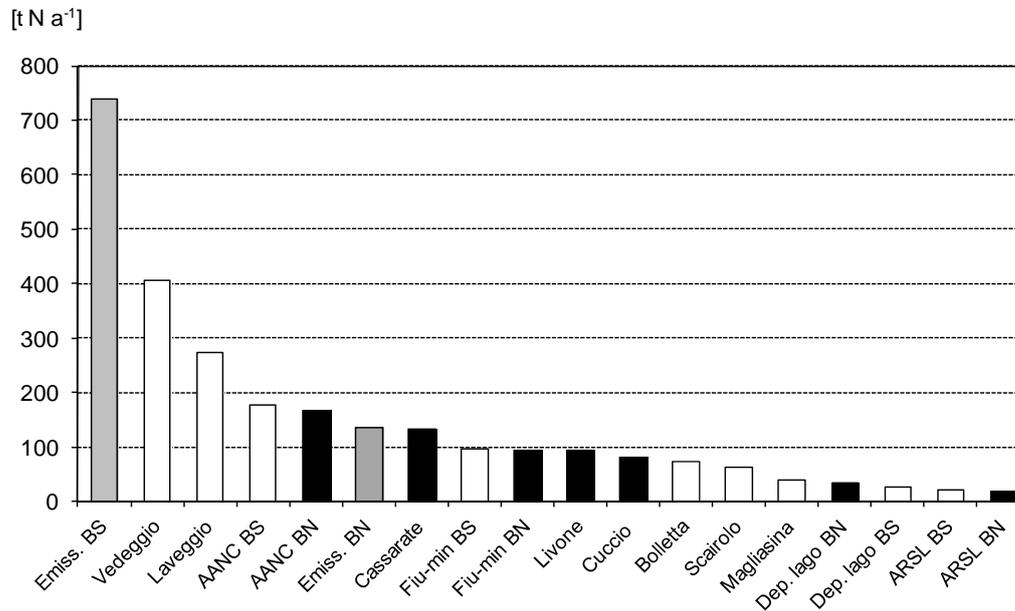


Fig. 4.2.2. Lago di Lugano, 2011: apporti al lago d'azoto totale. Gli istogrammi in nero si riferiscono alle fonti di carico del bacino nord, quelli in bianco al bacino sud, mentre in grigio sono indicati gli emissari. (AANC: apporto areale non campionato; ARSL: abitanti rivieraschi e scaricatori a lago; Fiu-min: fiumi minori; Dep. lago: deposizioni sul lago).

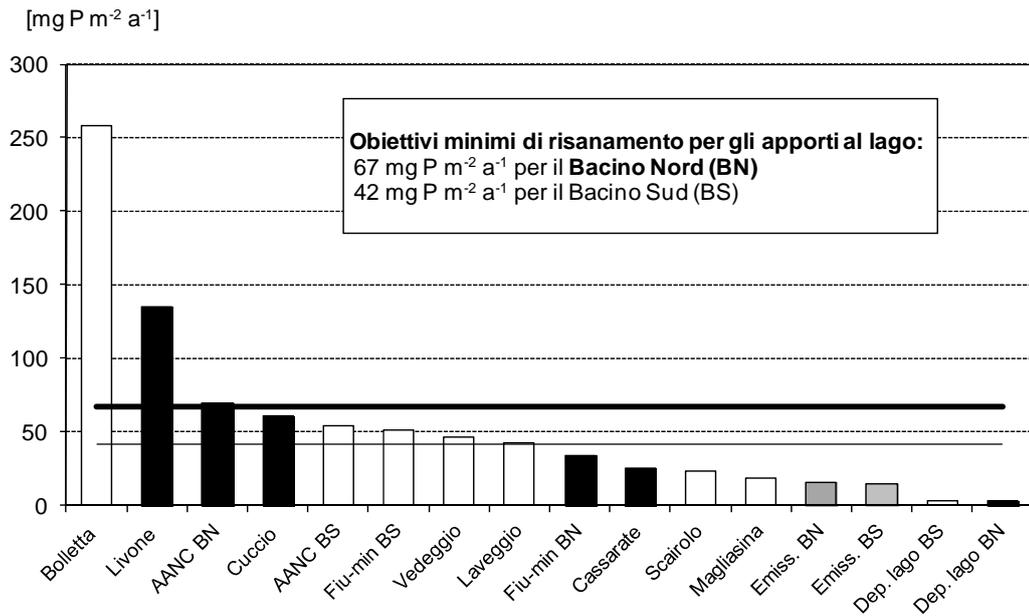


Fig. 4.2.3. Lago di Lugano, 2011: carichi areali di fosforo totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori; Dep.lago: deposizioni sul lago).

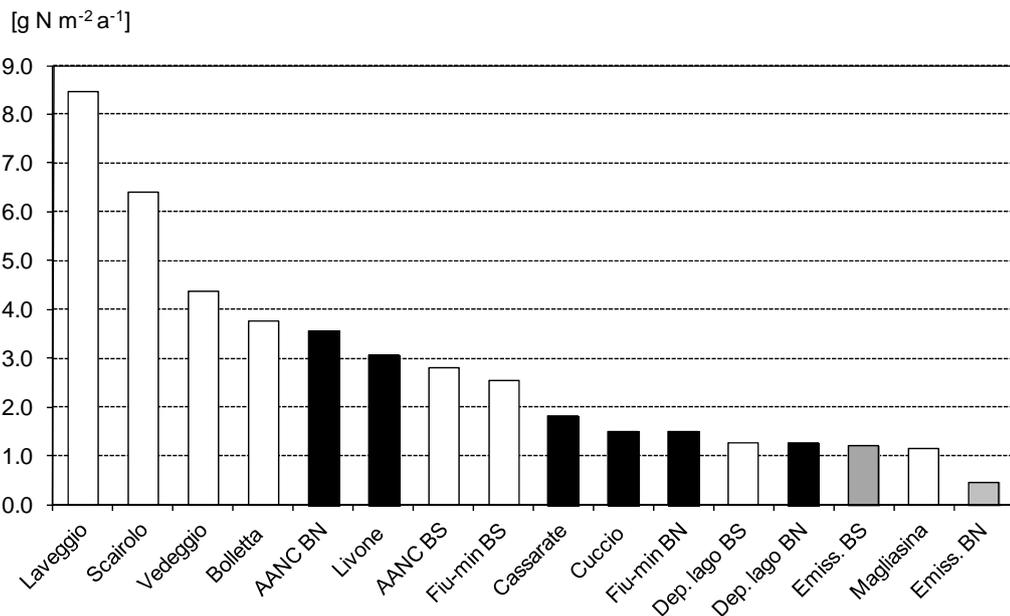


Fig. 4.2.4. Lago di Lugano, 2011: carichi areali d'azoto totale.
 (AANC: apporto areale non campionato; Fiu-min: fiumi minori, Dep.lago: deposizioni sul lago).

4.3. Bilancio complessivo di fosforo e azoto

I principali nutrienti algali (azoto e fosforo) sono stati oggetto di un bilancio di massa dettagliato e aggiornato. Oltre alle fonti di carico riportate nel paragrafo 4.2. sono stati considerati gli apporti dovuti alle deposizioni atmosferiche e quelli originati dall'area non campionata, dagli apporti rivieraschi e dagli scaricatori di piena a lago (ARSL) (Tab. 4.3; Figg. 4.2.1 e 4.2.2).

Al pari dello scorso anno nel 2011 l'apporto derivante dagli ARSL è stato ridefinito in base a dati di allacciamento alla rete fognaria recenti [6]. La nuova stima ha indicato che annualmente, in media, circa 4.3 t di fosforo totale e 32.5 t di azoto totale vengono riversate dagli scaricatori di piena delle fasce rivierasche. Gli abitanti non allacciati alla rete fognaria nella fascia rivierasca apportano invece al lago di Lugano circa 1 t di fosforo totale e 7.4 t di azoto totale all'anno.

Nel 2011 l'apporto complessivo di fosforo totale equivale a 17.2 t P a^{-1} per il bacino nord ed a 24.6 t P a^{-1} per il bacino sud. Rispetto al quinquennio 2003-2007, nel 2011 il carico è risultato in leggero aumento nel bacino nord (+4 %) ed in diminuzione in quello sud (-24 %).

Il Livone è il tributario che ha veicolato il maggior carico di fosforo al bacino nord, mentre al bacino sud gli apporti maggiori è giunto dal Bolletta. Il carico esportato nel 2011 dall'emissario Tresa è risultato essere pari a 9.1 t P a^{-1} (-12 % rispetto al periodo di riferimento), mentre i carichi esportati dal bacino nord verso il bacino sud sono stimati essere pari a 4.7 t P a^{-1} (-44 %).

Gli apporti d'azoto sono stati simili alla media quinquennale 2003-2007 (+2 % in entrambi i bacini). I carichi più rilevanti sono provenuti dalle aree non campionate (168 t N a^{-1}) per il bacino nord e dal Vedeggio (406 t N a^{-1}) per il bacino sud.

Le aree campionate del bacino nord rappresentano il 37% dell'intero bacino imbrifero: da esse sono giunti i due terzi degli apporti di entrambi i nutrienti. Della quota rimanente, un contributo rilevante è fornito, per il fosforo, anche dalle aree non campionate (19%) e dagli apporti rivieraschi e dagli scaricatori a lago della rete fognaria (ARSL) che veicolano al bacino nord il 14 % del carico. Nel bacino sud viene controllato direttamente l'86% dell'area del bacino imbrifero, dal quale viene convogliato al lago il 74 % ed l'83 % del carico rispettivamente di fosforo e di azoto. Le quote rimanenti provengono prevalentemente dalle aree non campionate (14 % per entrambi i parametri) e, per il fosforo, anche dagli ARSL (12%).

Tab. 4.3. Lago di Lugano, 2011: 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	134.3	-	1.9	-
Cuccio	81.1	-	3.3	-
Livone ¹	93.9	-	4.1	-
Vedeggio	-	405.5	-	4.3
Magliasina	-	39.6	-	0.6
Laveggio	-	272.3	-	1.4
Bolletta	-	73.2	-	5.0
Scairolo	-	62.0	-	0.2
Apporto da BN	-	135.7	-	4.7
Fiumi minori	95.1	96.1	2.2	1.9
Aree campionate	404.4	1'084.4	11.4	18.2
Area non campionata ²	167.6	178.1	3.3	3.4
Totale areale emerso	572.0	1262.5	14.7	21.6
ARSL ³	17.8	22.1	2.4	2.9
Deposizioni sul lago	34.7	25.6	0.1	0.1
Totale bacino imbrifero	624.5	1'310.2	17.2	24.6
Carichi in uscita	135.7	738.9	4.7	9.1
Variazione contenuto ⁴	47.8	-118.6	-3.8	-4.2

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 rispetto all'anno precedente

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 scelta di monitorare tre stazioni è stata effettuata in considerazione delle marcate diversità geomorfologiche ed idrochimiche esistenti nel lago e sul suo bacino imbrifero.

5.1. Trasparenza

A Gandria la trasparenza delle acque (Fig. 5.1.) ad inizio gennaio è risultata massima (12.8 m). I valori sono poi rapidamente diminuiti in concomitanza con l'inizio del periodo vegetativo, raggiungendo un minimo di 3.4 m a fine marzo; durante questa fase di diminuzione è stato registrato un aumento estemporaneo a fine febbraio con valori in aumento a 12.7 m. Tra fine aprile e inizio maggio è stata osservata una pronunciata fase di chiarificazione delle acque, indotta dall'attività dello zooplancton erbivoro, che ha temporaneamente innalzato la trasparenza a 9.8 m. Dopo un costante calo, culminato con il minimo annuale ad inizio settembre (4.0 m), i valori sono oscillati fino alla fine dell'anno tra 4.1 e 6.0 m.

Per quanto riguarda il bacino sud, l'andamento della trasparenza è stato simile nelle due stazioni, con trasparenze mediamente maggiori di circa 0.5 m a Melide. In questa stazione sono stati rilevati un massimo annuale di 12.2 m (gennaio) ed un minimo di 2.5 m (inizio settembre). Durante la fase di chiarificazione delle acque (maggio) la trasparenza nel bacino sud è aumentata di ca. 4 m, incremento inferiore a quello osservato a Gandria.

Il valore medio annuo del 2011, calcolato su 24 osservazioni, è stato di 6.6 m a Gandria, 5.8 m a Melide, e 5.5 m a Figino, per cui si riconferma il gradiente trofico, in aumento nel senso di deflusso del lago. Tale gradiente si manifesta anche a livello di escursione annua della trasparenza, che ha raggiunto 9.8 m a Gandria, 9.7 m a Melide e 8.0 m a Figino.

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. Si distinguono le punte legate allo sviluppo stagionale del fitoplancton (in particolare nel secondo semestre) e alle correnti di torbida originate da eventi di piena (ad esempio a novembre a Gandria). Stagionalmente a determinare forti torbidità sono in particolare le diatomee in primavera e le cianofitiche in estate-autunno (cfr. Fig. 6.2.1.). Diversamente dal biennio precedente nel 2011 non si è verificata in estate la fase di colorazione turchese delle acque superficiali legata alla precipitazione biogenica della calcite indotta dalle forti fioriture algali.

Gradienti significativi di torbidità sono stati rilevati nel bacino sud negli strati sovrastanti il sedimento (fino a circa 10-15 m dal fondo), dove i valori sono in aumento nel corso del secondo semestre, parallelamente allo sviluppo dell'anossia (cfr. Fig. 5.5.) e all'intensificarsi di fenomeni ossidoriduttivi all'altezza dell'ossiclino.

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 2010-2011 caratterizzato da temperature leggermente superiori al periodo di riferimento e con scarsa attività eolica (cfr. paragrafi 2.2. e 2.4.) il rimescolamento delle acque è stato discreto, toccando i 110 m di profondità nel bacino nord (120 m nel 2010) e risultando completo in quello sud, al pari del 2010.

Nel bacino nord l'isoterma di riferimento di 5.7 °C si è mantenuta tutto l'anno intorno ai 100 m di profondità.

I minimi dell'anno in superficie sono stati misurati a fine febbraio nel bacino nord (5.46 °C) e a fine gennaio in quello sud (5.69 °C a Melide e 5.49 °C a Figino), risultando molto simili ai minimi misurati nel 2010. La fase di rapido riscaldamento dell'epilimnio dovuta al crescente irraggiamento solare è iniziata già in marzo ed è proseguita fino a metà agosto, quando in superficie sono stati raggiunti i valori massimi dell'anno: 25.30 °C a Gandria, 27.00 °C a Melide e 27.69 °C a Figino. La successiva fase di raffreddamento si è svolta in modo regolare fino a dicembre, con gradienti di temperatura più stretti rispetto al periodo di riscaldamento.

5.4. Bilancio termico

Il 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). La quantità di calore totale Q_t scambiata da ogni bacino con l'atmosfera è la somma di diverse componenti, secondo l'equazione [8]:

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

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 (necessario per stima Q_h)

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 [9].

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, calcolato a partire dalle variazioni di temperatura rilevate nel lago (dati sonda multiparametrica), e non come risultante dell'equazione riportata sopra.

Le figure 5.4.a rappresentano graficamente l'andamento delle principali componenti per i tre bacini, Q_n , Q_h e Q_e . Quando il valore Q_h è negativo il lago acquista calore per conduzione, cioè l'aria ha mediamente una temperatura maggiore dell'acqua. In primavera (da marzo a maggio) nel lago si osserva un limitato apporto di calore per conduzione, mentre per la parte rimanente dell'anno si registra una perdita dall'acqua all'aria. L'andamento mensile di Q_e indica che la perdita per evaporazione è intensa (oltre $4 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) in particolare durante il secondo semestre.

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 febbraio a settembre, mentre durante gli altri mesi si è raffreddata.

Nel bacino nord lo scambio di energia con l'atmosfera ha comportato nel corso del 2011 un guadagno di $2'665 \text{ MJ m}^{-2}$ ed una perdita di 680 MJ m^{-2} che corrisponde ad un saldo annuale positivo di $1'985 \text{ MJ m}^{-2}$. Per il sottobacino di Melide il guadagno risulta di $2'429 \text{ MJ m}^{-2}$ e la perdita di 671 MJ m^{-2} , per un accumulo netto di $1'758 \text{ MJ m}^{-2}$. Nel sottobacino di Figino il saldo di calore è stato positivo e pari a $1'621 \text{ MJ m}^{-2}$ (guadagno: $2'262 \text{ MJ m}^{-2}$; perdita: 641 MJ m^{-2}).

Questi saldi fortemente positivi vanno interpretati come un guadagno netto di calore da parte della superficie lacustre verso l'atmosfera e non come una variazione del contenuto calorico della massa lacustre. Per allestire l'effettivo bilancio termico del lago è necessario considerare anche gli apporti di calore dei tributari e delle precipitazioni e le perdite dovute all'emissario. Si può comunque ipotizzare che il saldo 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 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 2011, calcolate a partire dai profili quindicinali 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 a settembre. Negli strati profondi il raffreddamento è proseguito fino a marzo raggiungendo i 180 m; nei mesi successivi anche questi strati hanno manifestato una lieve tendenza all'accumulo di calore durante l'anno.

Nel bacino sud si osserva una perdita di calore dell'intera colonna d'acqua che si conclude a fine febbraio - inizio marzo. Il riscaldamento degli strati superficiali

si protrae fino a settembre, 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 vengono 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 $2 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. Nelle tre stazioni sono ben visibili i picchi di ossigeno epilimnico ascrivibili alle diverse fioriture algali che si sono susseguite durante l'anno.

Nel bacino nord il massimo assoluto dell'anno è stato misurato a fine marzo in superficie (13.1 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 80 a 90 m. Questa isolinea è poi oscillata nel corso dei mesi successivi tra 75 e 90 m per risalire durante l'ultimo bimestre a quota 60 m. La profondità minima della barriera anossica (concentrazioni di ossigeno inferiori a 1.0 g m^{-3}) di 120 m è stata raggiunta in marzo, al termine della circolazione invernale.

Il completo rimescolamento invernale delle acque del bacino sud ha fatto sì che a fine febbraio l'intera colonna d'acqua risultasse ben ossigenata, con valori omogenei di $7-8 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$. A partire da maggio l'anossia sviluppatasi a partire dal fondo ha progressivamente innalzato l'isolinea di $4.0 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$, spingendola a toccare, a fine anno, 55 m a Melide e 20 m a Figino. In quest'ultima stazione la forte crescita dell'isolinea è stata favorita da un minimo metalimnico particolarmente pronunciato. Durante il periodo vegetativo le acque superficiali si sono arricchite d'ossigeno, con valori massimi a 5 m di profondità: $13.6 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a 5 m a Melide (aprile) e $14.7 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3}$ a Figino (agosto).

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 annuale dall'attività fotosintetica algale. Un gradiente verticale dei valori pH sulla colonna d'acqua si è instaurato già a partire da fine febbraio, 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 maggio con un valore di 8.86, mentre nell'ipolimnio esso si è mantenuto tra 7.6 e 8.0. L'alcalinità ha raggiunto in settembre un minimo annuo di 1.59 eq m^{-3} in superficie. Sotto i 20 m di profondità l'alcalinità ha mostrato un debole gradiente con valori in crescita da 2.2 e 2.6 eq m^{-3} .

Per quanto concerne l'epilimnio del bacino sud i valori massimi di pH e minimi d'alcalinità sono stati misurati nella stazione di Figino, con rispettivamente 8.98 (in agosto) e 1.27 eq m^{-3} (in agosto). A partire da aprile-maggio, nell'ipolimnio del bacino sud si sono instaurati deboli gradienti verticali d'alcalinità e pH legati a fenomeni di mineralizzazione della materia organica nel sedimento.

5.7. Conducibilità elettrica specifica

L'andamento della conducibilità (Fig. 5.7.) presenta analogie con quello del pH e dell'alcalinità (Figg. 5.6.1. e 5.6.2). In febbraio sono stati osservati nei primi 100 m valori quasi omogenei, a riprova di una discreta circolazione invernale delle acque.

Nell'epilimnio di Gandria, a partire da maggio, l'assimilazione dei nutrienti e del carbonio inorganico (bicarbonato) da parte del fitoplancton ha progressivamente ridotto i valori superficiali della conducibilità, che sono passati da ca. 230 a 173 $\mu\text{S cm}^{-1}$ in settembre (minimo annuale). 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 230 $\mu\text{S cm}^{-1}$ di maggio per toccare in agosto in superficie un minimo di 167 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Da luglio i valori ipolimnici del bacino sud sono cresciuti costantemente a partire dal fondo, portando la conducibilità al toccare ad ottobre il suo apice annuale di 392 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

5.8. Composti del fosforo

L'andamento stagionale del fosforo nei tre siti campionati è caratterizzato da concentrazioni epilimniche massime in febbraio e da un progressivo calo nei mesi successivi 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 35 mg P m^{-3} all'interno dei primi 50 m (48 mg P m^{-3} nello strato 0-100m, media ponderata sul volume). Sotto i 50 m si è mantenuto un gradiente in crescendo verso il basso con concentrazioni in prossimità del fondo in aumento nel corso dell'anno dai 165 mg P m^{-3} di marzo ai 237 mg P m^{-3} di dicembre (massimo annuale). Nell'epilimnio l'attività algale ha progressivamente ridotto le concentrazioni di questo nutriente dai 35 mg P m^{-3} di febbraio al minimo annuo di settembre e ottobre (8 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 20%, in seguito alla produzione di biomassa algale e all'organizzazione di fosforo disciolto.

Nel bacino sud il tenore di fosforo totale ha raggiunto, in febbraio, valori omogenei sull'intera colonna: 50 mg P m^{-3} a Melide e 39 mg P m^{-3} a Figino (media ponderata sul volume). 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 agosto: 2 mg P m^{-3} . Negli strati profondi, il rilascio del fosforo dai sedimenti anossici durante la fase di stagnazione si è interrotto a marzo durante la circolazione invernale ed è risultato molto più marcato a Melide rispetto a Figino. Le concentrazioni massime di fosforo totale sono state misurate a due metri dal fondo, in dicembre a Melide (543 mg P m^{-3}) e in novembre a Figino (112 mg P m^{-3}). Nell'epilimnio del bacino sud la percentuale di fosforo reattivo

sul totale è passata dal 70-80 % di febbraio a meno del 10 % durante il periodo vegetativo (luglio-agosto). Sotto i 30 m la quota di ortofosfato è risultata compresa tra 60 e 90 %. Tuttavia a Figino durante il secondo semestre al di sotto dei 70 m il fosforo particellato è aumentato fino a costituire il 50 % del totale, probabilmente in seguito all'adsorbimento del fosforo disciolto sugli 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.) hanno costituito una frazione importante, in particolare nel bacino sud, dove la percentuale è variata dal 50 al 90 %. Nel bacino nord i composti azotati disciolti rappresentavano una frazione minore, oscillante tra il 20 ed il 70 %, ad indicare la predominanza della forma particellata organica. Le maggiori fluttuazioni quantitative dell'azoto totale sono dipese in particolare dall'andamento delle concentrazioni delle componenti nitrica ed ammoniacale, presenti con una dinamica complementare l'una all'altra.

Nel bacino nord l'azoto nitrico è stato rilevato fino a 150 m di profondità a concentrazioni che non hanno mai superato i $0.5 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$, mentre quello ammoniacale era presente solo nell'ipolimnio anossico, sotto i 150 m. In estate nei primi 5 m il primo si è ridotto al di sotto dei limiti di deteazione in seguito alla sua assimilazione da parte del fitoplancton, mentre il secondo ha mantenuto gradienti verticali crescenti verso il fondo (da 0.1 a $0.6 \text{ g NH}_4\text{-N m}^{-3}$). Concentrazioni significative di azoto nitroso sono state rilevate nell'epilimnio da marzo a luglio con valori mai superiori a $15 \text{ mg NO}_2\text{-N m}^{-3}$, riconducibili al metabolismo planctonico.

Le isolinee relative all'andamento dell'azoto totale nel bacino nord (Fig. 5.9.4.) hanno rispecchiato la dinamica delle sue due componenti principali: nell'epilimnio le concentrazioni estive sono scese in seguito all'organizzazione dell'azoto nitrico nel fitoplancton e alla successiva perdita di biomassa per sedimentazione, toccando in settembre 0.29 g N m^{-3} . Nello strato di fondo il rilascio dell'azoto ammoniacale dal sedimento ha contribuito ad aumentare i valori di azoto totale portandoli a 1.04 g N m^{-3} in dicembre sopra il sedimento, concentrazione che coincide con il massimo annuale. La fascia compresa tra 140 e 160 m di profondità ha costituito durante tutto l'anno un pozzo per l'azoto totale riconducibile presumibilmente a processi di denitrificazione o anammox che avvengono in condizioni ipossiche [10].

Il bacino sud presenta in febbraio, al termine della circolazione, tenori d'azoto nitrico quasi uniformi sull'intera colonna (ca. $1.0 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$). Da marzo a settembre si assiste ad una costante riduzione dei valori epilimnici, con un minimo in agosto di $0.29 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ a Melide e $0.42 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$ a Figino. Con il consolidamento della stratificazione termica e l'instaurarsi di condizioni d'anossia nell'ipolimnio, a partire da maggio, anche negli strati in prossimità del sedimento si osserva una progressiva diminuzione dei valori di questo ione. In dicembre, a Melide, l'azoto nitrico ha fatto segnare la concentrazione più bassa ($0.01 \text{ g NO}_3\text{-N m}^{-3}$) a due metri dal fondo. All'interno dello strato anossico, le

isolinee dell'azoto ammoniacale presentano un andamento assolutamente complementare a quello della frazione nitrica. Le punte di ammonio sono state misurate nei punti di massima profondità, in dicembre a Melide (1.88 g $\text{NH}_4\text{-N m}^{-3}$) e in novembre a Figino (1.20 g $\text{NH}_4\text{-N m}^{-3}$). L'azoto nitroso, prodotto intermedio della de/nitrificazione, è stato riscontrato in quantitativi di un certo rilievo sotto i 70 m, in gennaio prima del rimescolamento invernale e a partire da maggio all'instaurarsi del regime anossico di fondo; in agosto sopra il sedimento di Melide è stata rilevata la concentrazione massima: 456 mg $\text{NO}_2\text{-N m}^{-3}$.

Per quanto riguarda l'andamento dell'azoto totale nel bacino sud, a circolazione conclusa sulla colonna d'acqua si osservavano valori omogenei di 1.4-1.5 g N m^{-3} . In seguito si sono sviluppati 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 più estremi sono stati misurati a Melide: il minimo nel campione superficiale di agosto (0.75 g N m^{-3}) ed il massimo in dicembre in prossimità del sedimento (2.00 g N m^{-3}).

5.10. Silice

Dopo la circolazione invernale, le concentrazioni dei silicati reattivi del bacino nord (Fig. 5.10.) hanno raggiunto in febbraio una concentrazione di 0.8-0.9 g Si m^{-3} nei primi 50 m. I valori epilimnici sono poi calati nel corso dei due mesi successivi in seguito al rapido sviluppo del popolamento di diatomee (cfr. Fig. 6.2.1.) per toccare in luglio, in superficie, il livello minimo: 0.05 g Si m^{-3} . Fino a ottobre le concentrazioni superficiali di silice sono oscillate tra 0.1 e 0.3 g Si m^{-3} , come risultanza del bilancio tra assimilazione algale e apporti via tributari. Negli strati profondi le concentrazioni hanno mostrato una certa dinamica sotto i 100 m, con gradienti da 1.6 a 2.8 g Si m^{-3} . La concentrazione massima dell'anno (3.68 g Si m^{-3}) è stata misurata in maggio a 2 m dal sedimento.

Nel bacino sud, a febbraio la distribuzione delle concentrazioni è risultata moderatamente uniforme sull'intera colonna (1.2-1.6 g Si m^{-3} a Melide e 1.4 g Si m^{-3} a Figino). A partire da marzo il forte consumo epilimnico da parte delle diatomee ha rapidamente ridotto le concentrazioni toccando in maggio i minimi annui: 0.13 g Si m^{-3} a Melide e 0.12 g Si m^{-3} a Figino. Parimenti da maggio, nell'ipolimnio profondo, il graduale rilascio di silice dal sedimento ha lentamente incrementato le concentrazioni, per toccare in autunno i massimi annui (4.21 g Si m^{-3} a Melide in dicembre; 3.00 g Si m^{-3} a Figino in settembre).

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 100 m di profondità ed ha mostrato un marcato gradiente di concentrazione verticale tra 100 e 160m, che si è mantenuto stabile durante l'anno (da 10 a 100 mg Mn m^{-3}). Il massimo annuale (146 mg Mn m^{-3}) è stato misurato in maggio sopra il sedimento.

Nel bacino sud il manganese è stato misurato in concentrazioni che sono risultate di un ordine di grandezza superiori rispetto a quello nord. Il metallo è

stato misurato in concentrazioni rilevanti a partire da maggio, sotto i 65 m, con un andamento stagionale ed un'intensità simile in entrambe le stazioni campionate. Il rilascio di manganese dal sedimento in condizione anossiche ha incrementato le concentrazioni all'interno dell'ipolimnio profondo. I valori massimi sono stati toccati a due metri dal fondo: 3'180 g Mn m⁻³ in settembre a Melide e 1'905 g Mn m⁻³ in novembre a Figino.

5.12. Ferro disciolto

Nel bacino nord il ferro disciolto è risultato presente in quantità significative durante tutto l'anno sotto i 150 m di profondità, in situazioni di marcata anossia, con un gradiente verso il fondo da 10 a 300 mg Fe m⁻³ (Fig. 5.12.). La concentrazione più elevata è stata rilevata in novembre sul fondo: 362 mg Fe m⁻³.

Nel bacino sud la presenza di ferro disciolto è stata riscontrata solo nell'ipolimnio profondo durante il terzo quadrimestre. Il rilascio di questo metallo dai sedimenti ha portato le concentrazioni a toccare il massimo annuale in ottobre a Melide sul fondo (128 mg Fe m⁻³).

5.13. Solfuri

Nel corso del 2011 i solfuri sono stati rilevati nello strato costantemente anossico del bacino nord (Fig. 5.13.), sotto i 150 m di profondità. Gradienti particolarmente marcati e regolari sono stati osservati nel primo semestre. La concentrazione massima è stata registrata in gennaio a due metri dal fondo: 326 mg S²⁻ m⁻³.

Nel bacino sud si sono avuti solo due campioni contenenti solfuri: a Melide in settembre (120 mg S²⁻ m⁻³) e dicembre (110 mg S²⁻ m⁻³).

5.14. Metano

Il metano è un importante gas serra e si riscontra nelle acque lacustri solamente in condizioni di marcata anossia (Fig. 5.14.).

A Gandria, nel corso del 2011, concentrazioni di metano superiori a 0.1 g CH₄ m⁻³ sono state riscontrate a profondità superiori a 160 m con valori in progressiva crescita verso il fondo, in particolare nel secondo semestre quando i gradienti sono risultati particolarmente marcati in prossimità del sedimento. La concentrazione più elevata (3.33 g CH₄ m⁻³) è stata infatti misurata nel corso del mese di dicembre, in prossimità del sedimento.

Nel bacino sud la presenza di questo gas è stata rilevata all'interno dello strato anossico, in particolare nel corso del secondo semestre dell'anno. La diffusione di metano dai sedimenti lacustri ha portato in dicembre le concentrazioni dei campioni di fondo ad un massimo di 5.28 g CH₄ m⁻³ a Melide e di 2.88 g CH₄ m⁻³ a Figino.

5.15. Andamento pluriennale del fosforo totale

La figura 5.15. mostra l'andamento delle concentrazioni medie annue di fosforo totale nei due bacini principali del lago durante gli ultimi 50 anni (1960-2011).

Tra il 1983 ed il 2004 nel bacino nord i valori medi, ponderati sull'intero volume, sono oscillati in maniera irregolare tra 135 e 170 mg P m⁻³. In seguito alla destratificazione dell'inverno 2004-2005 [11] la concentrazione media è crollata a 115 mg P m⁻³, per poi diminuire costantemente fino agli attuali 73 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 rapidamente ridotto le sue concentrazioni per arrivare ai 39 mg P m⁻³ del 2011; ciò significa che la concentrazione di fosforo totale nello strato superiore del bacino nord si è ridotta del 60% nell'arco di 5 anni, tornando a valori simili a quelli registrati nella seconda metà degli anni sessanta.

Nel bacino sud il trend è differente: nel corso degli ultimi 30 anni si è osservato un progressivo calo del tenore di fosforo totale, da 138 mg P m⁻³ (nel 1982) a 43 mg P m⁻³ (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. In seguito le concentrazioni hanno ripreso ascendere per assestarsi nel 2011 a 38 mg P m⁻³. Considerato il progressivo calo di fosforo totale nello strato 0-100 m del bacino nord, la riduzione osservata nel sottostante bacino sud sembra destinata a proseguire, anche se ad un ritmo più modesto.

Tab. 5.4.1. Lago di Lugano, 2011: 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	5.10	0.71	6.30	-1.91	1.06	1.26	1.19	-4.40
Feb	8.38	0.92	5.38	2.08	0.10	0.11	1.13	-0.30
Mar	12.18	1.10	3.98	7.11	-0.50	-0.49	0.97	7.28
Apr	19.53	1.56	3.43	14.53	-1.95	-1.34	0.69	10.35
Mag	23.07	1.61	3.85	17.60	-0.80	-0.44	0.55	6.77
Giu	18.92	1.32	4.55	13.04	1.40	0.67	0.48	5.63
Lug	20.56	1.44	4.79	14.33	1.73	0.78	0.45	0.98
Ago	20.39	1.43	4.18	14.78	0.38	0.16	0.41	2.89
Set	15.03	1.35	5.65	8.03	2.82	1.27	0.45	-1.86
Ott	10.97	1.10	7.54	2.33	4.23	2.60	0.61	-8.50
Nov	5.88	0.76	7.49	-2.38	2.66	2.21	0.83	-6.83
Dic	4.58	0.69	7.01	-3.12	1.63	1.62	1.00	-8.47

Tab. 5.4.2. Lago di Lugano, 2011: 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	5.10	0.71	6.24	-1.85	1.04	1.24	1.20	-4.23
Feb	8.38	0.92	5.44	2.02	0.15	0.17	1.12	0.14
Mar	12.18	1.10	4.24	6.85	-0.25	-0.24	0.96	5.62
Apr	19.53	1.56	4.13	13.84	-1.09	-0.72	0.66	8.74
Mag	23.07	1.61	4.44	17.02	0.24	0.13	0.53	6.17
Giu	18.92	1.32	4.81	12.78	2.04	0.97	0.47	4.52
Lug	20.56	1.44	4.90	14.23	2.06	0.92	0.45	0.65
Ago	20.39	1.43	4.23	14.74	0.50	0.21	0.41	4.70
Set	15.03	1.35	5.71	7.97	3.11	1.39	0.45	-2.48
Ott	10.97	1.10	7.45	2.43	4.17	2.58	0.62	-6.55
Nov	5.88	0.76	7.45	-2.34	2.71	2.26	0.83	-6.96
Dic	4.58	0.69	6.95	-3.06	1.61	1.61	1.00	-7.62

Tab. 5.4.3. Lago di Lugano, 2011: 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	5.10	0.71	6.16	-1.77	0.97	1.17	1.20	-4.07
Feb	8.38	0.92	5.41	2.04	0.13	0.15	1.13	0.39
Mar	12.18	1.10	4.42	6.67	-0.06	-0.05	0.94	6.33
Apr	19.53	1.56	4.14	13.83	-1.10	-0.72	0.66	8.07
Mag	23.07	1.61	4.58	16.87	0.54	0.28	0.53	6.99
Giu	18.92	1.32	5.06	12.54	2.68	1.25	0.47	3.87
Lug	20.56	1.44	5.12	14.00	2.68	1.18	0.44	0.84
Ago	20.39	1.43	4.57	14.40	1.32	0.54	0.41	2.31
Set	15.03	1.35	5.83	7.85	3.48	1.55	0.45	-1.40
Ott	10.97	1.10	7.43	2.45	4.20	2.60	0.62	-6.50
Nov	5.88	0.76	7.30	-2.19	2.51	2.11	0.84	-7.20
Dic	4.58	0.69	6.86	-2.97	1.51	1.52	1.01	-7.28

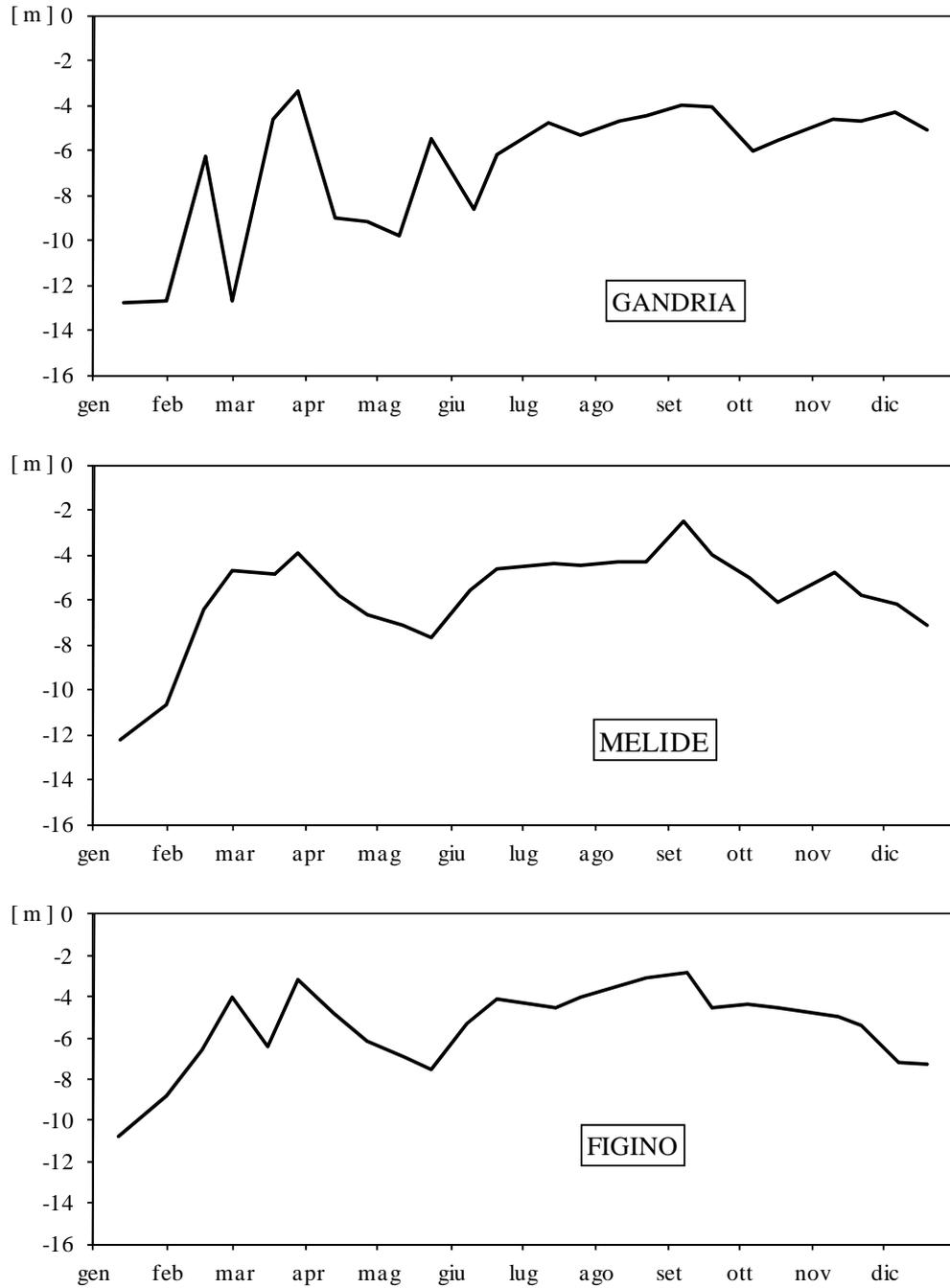


Fig. 5.1. Lago di Lugano, 2011: valori di trasparenza delle acque misurati con il disco di Secchi.

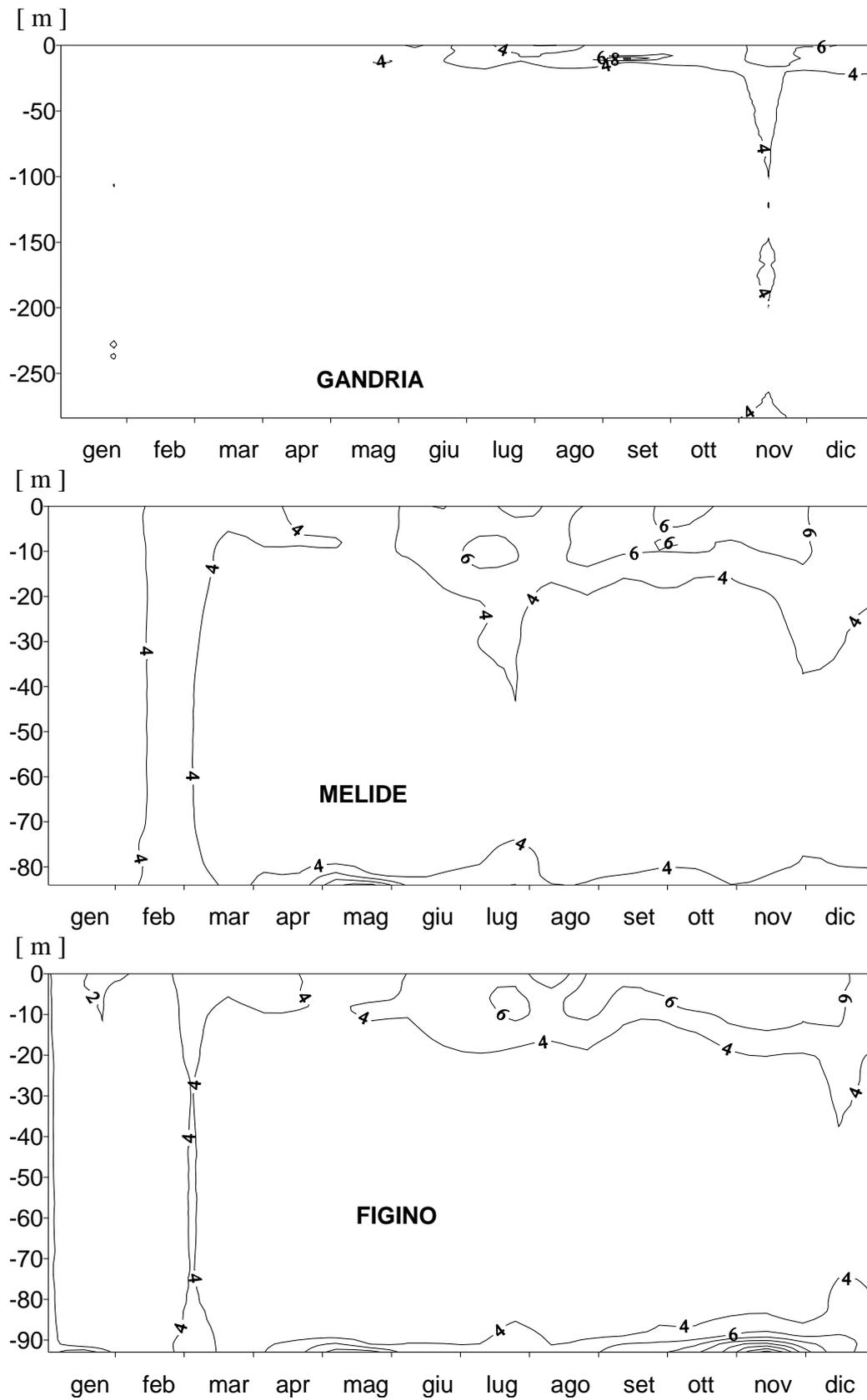


Fig. 5.2. Lago di Lugano, 2011: andamento della torbidità rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica.

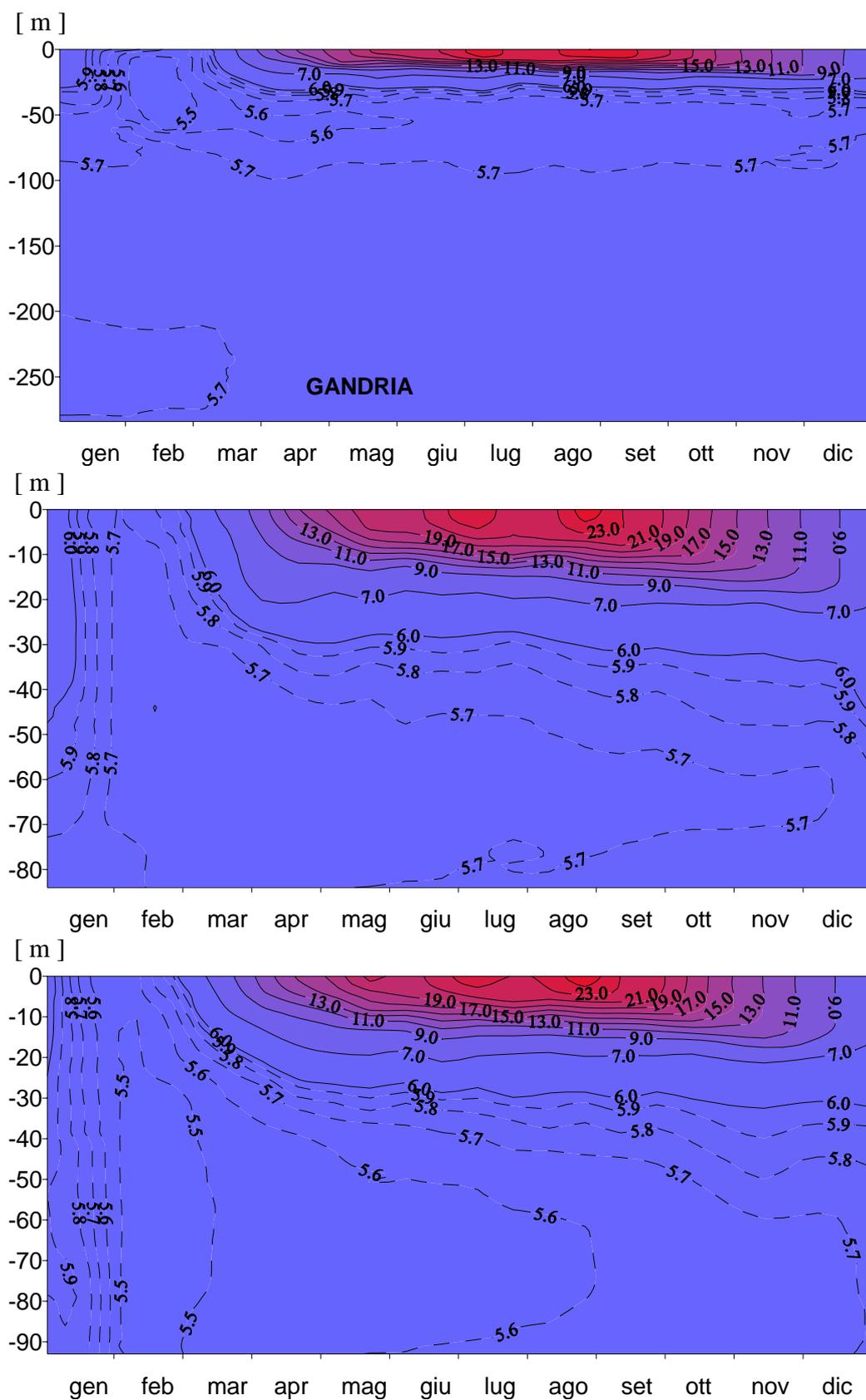


Fig. 5.3. Lago di Lugano, 2011: andamento della temperatura rilevata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [°C].

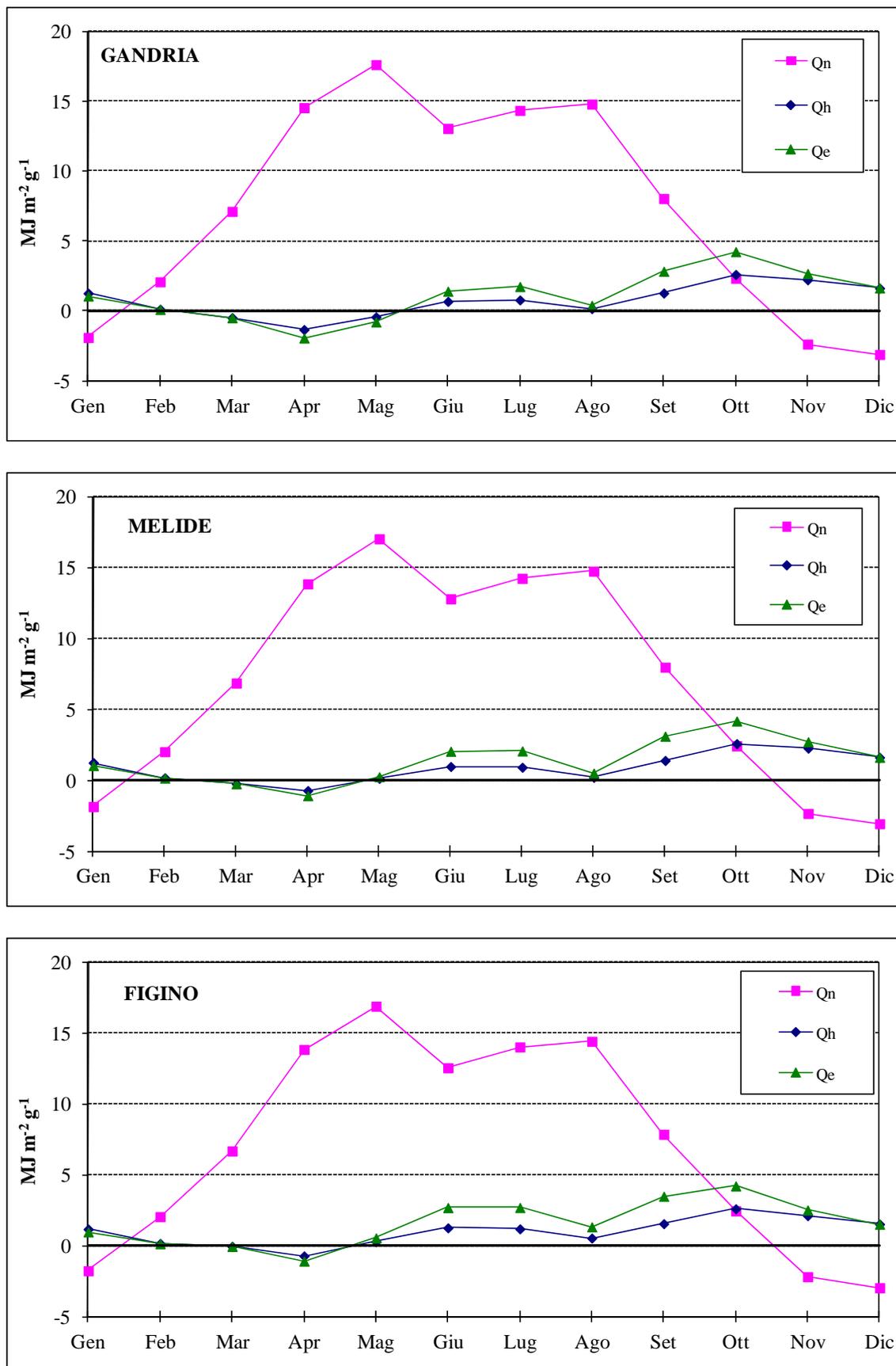


Fig. 5.4.a Lago di Lugano, 2011: andamento bilancio termico [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$].

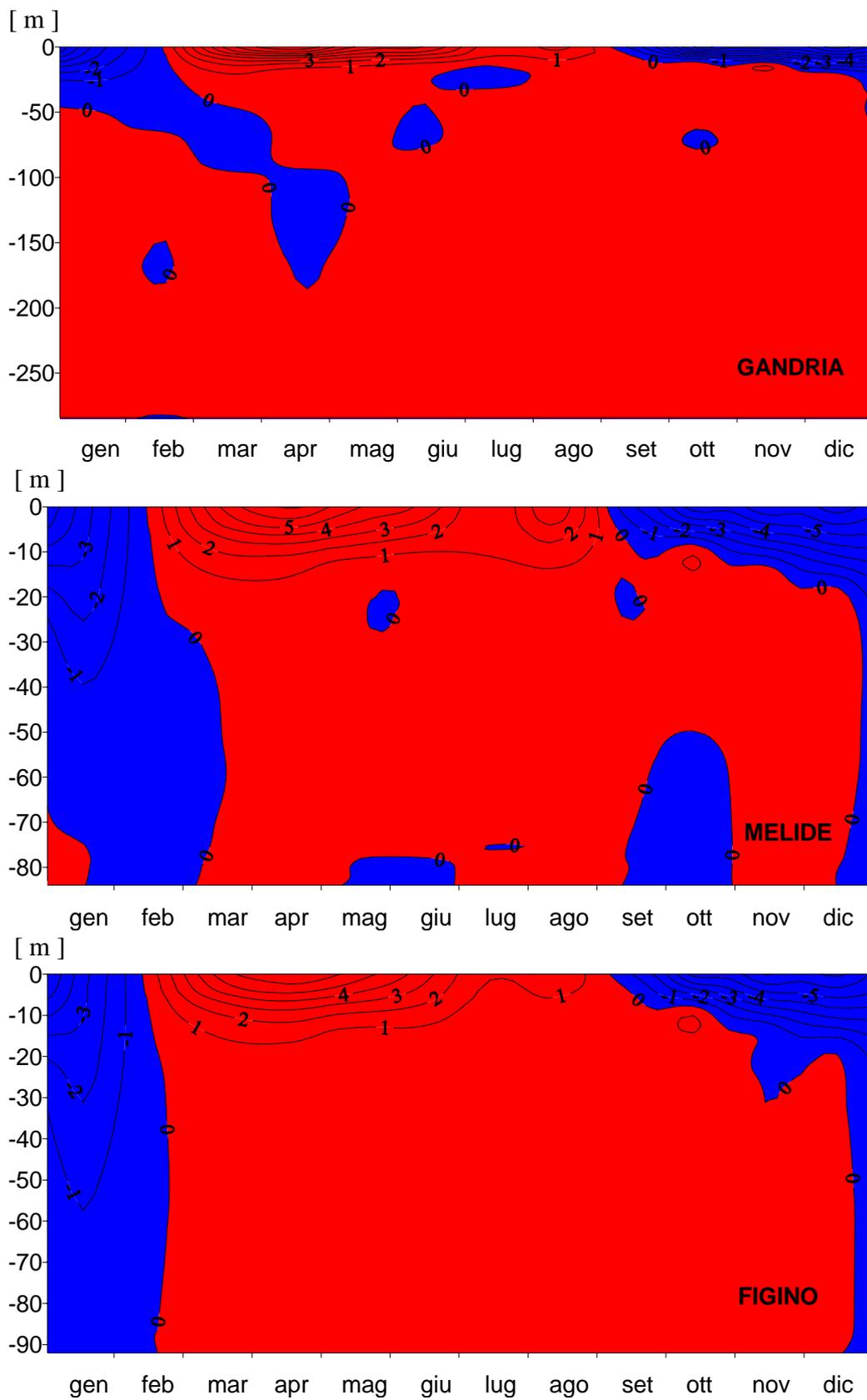


Fig. 5.4.b Lago di Lugano, 2011: andamento del flussi di calore [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$].

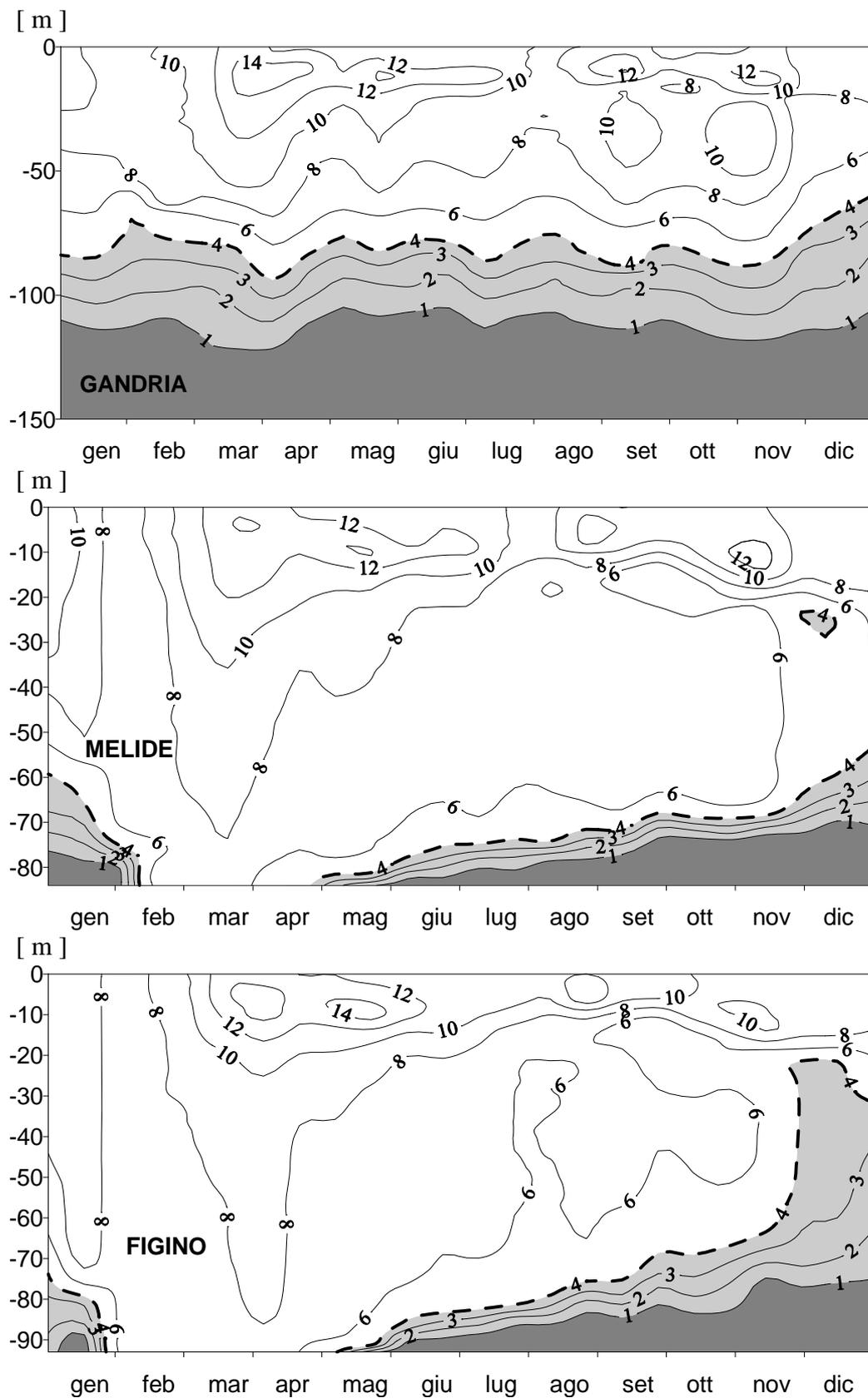


Fig. 5.5. Lago di Lugano, 2011: andamento dell'ossigeno disciolto, misurato ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [g m^{-3}].

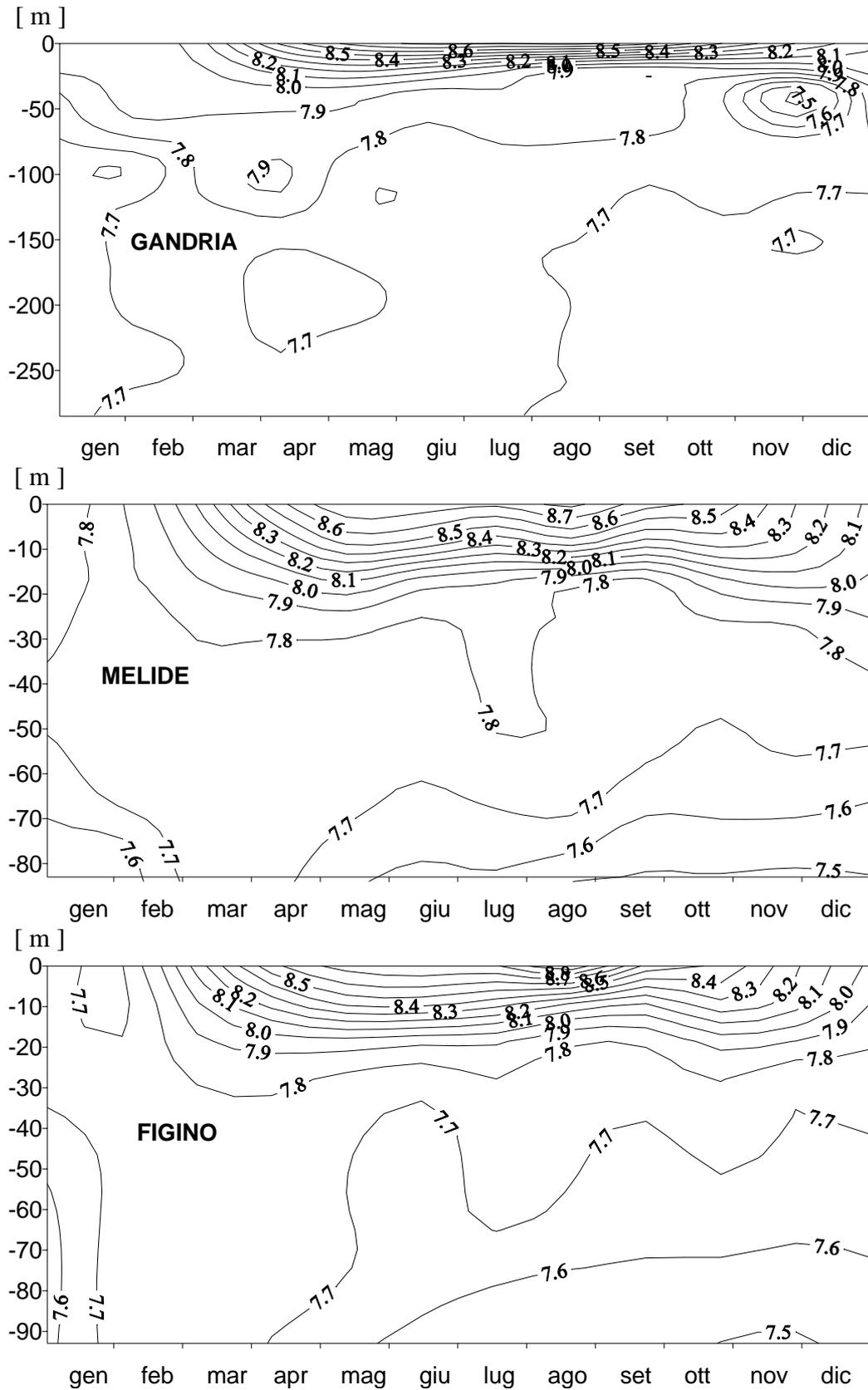


Fig. 5.6.1. Lago di Lugano, 2011: andamento del valore pH.

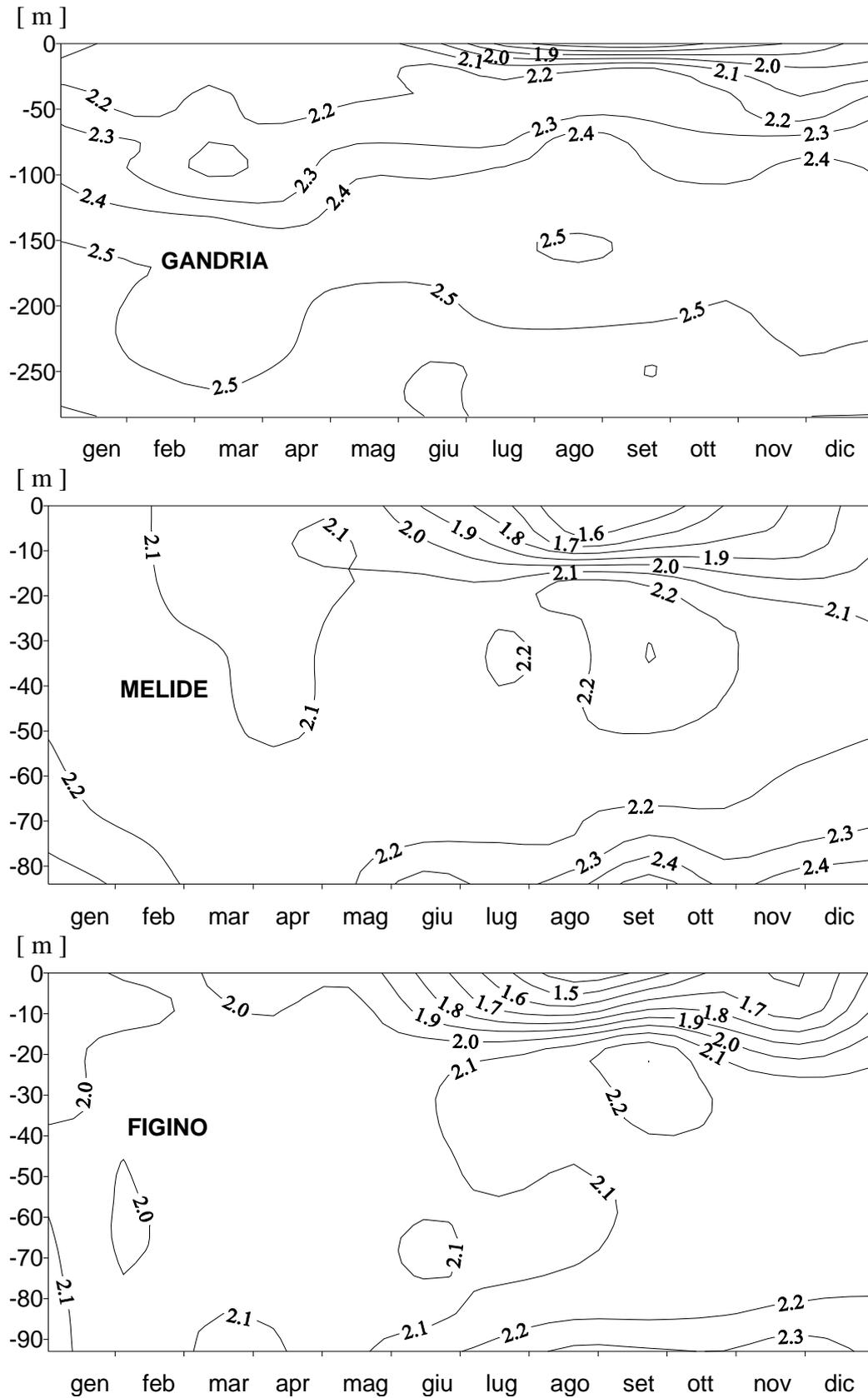


Fig. 5.6.2. Lago di Lugano, 2011: andamento dell'alcalinità [eq m⁻³].

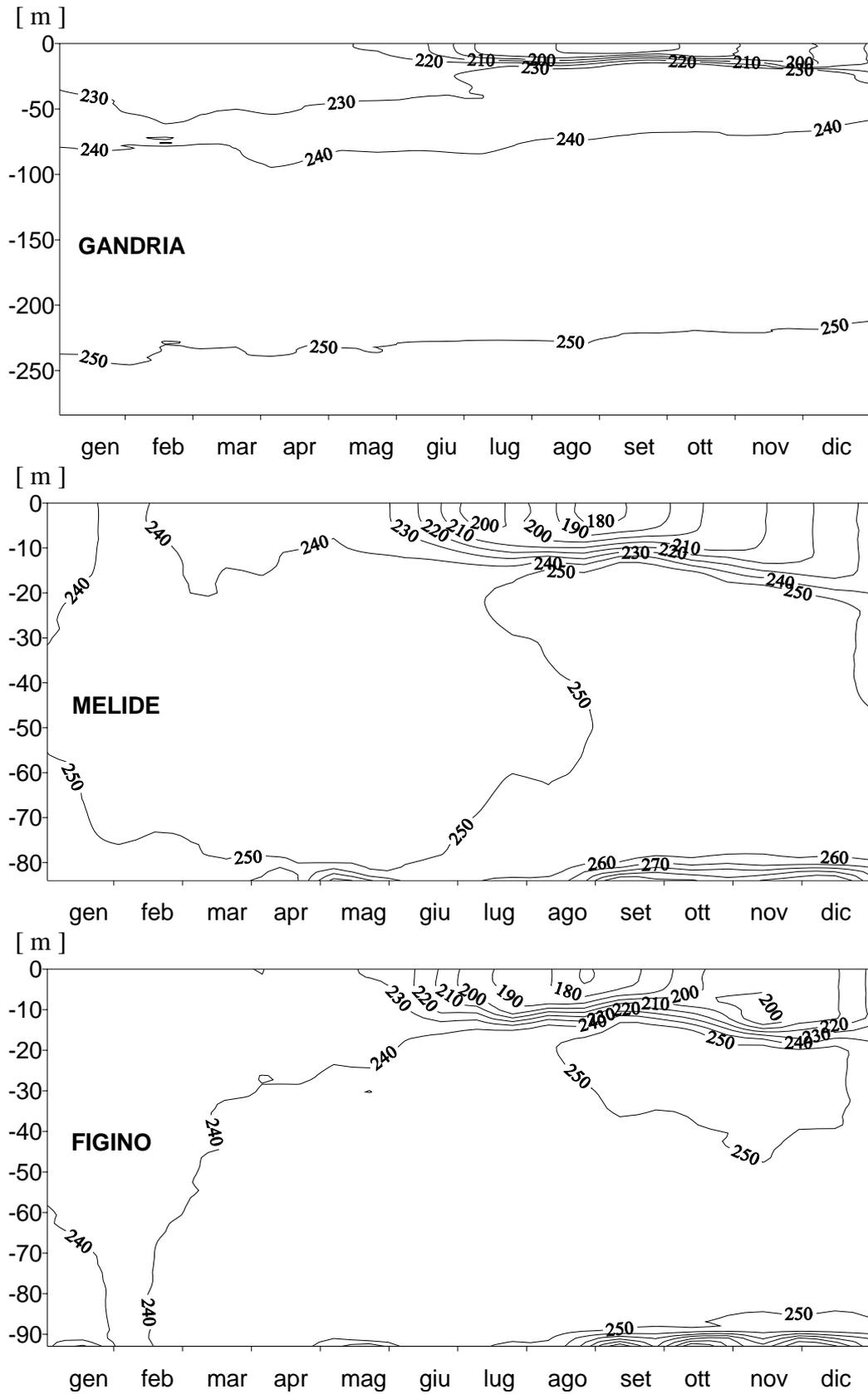


Fig. 5.7. Lago di Lugano, 2011: andamento della conducibilità elettrica, misurata ogni 50 cm con la sonda multiparametrica [$\mu\text{S cm}^{-1}$, 20°C].

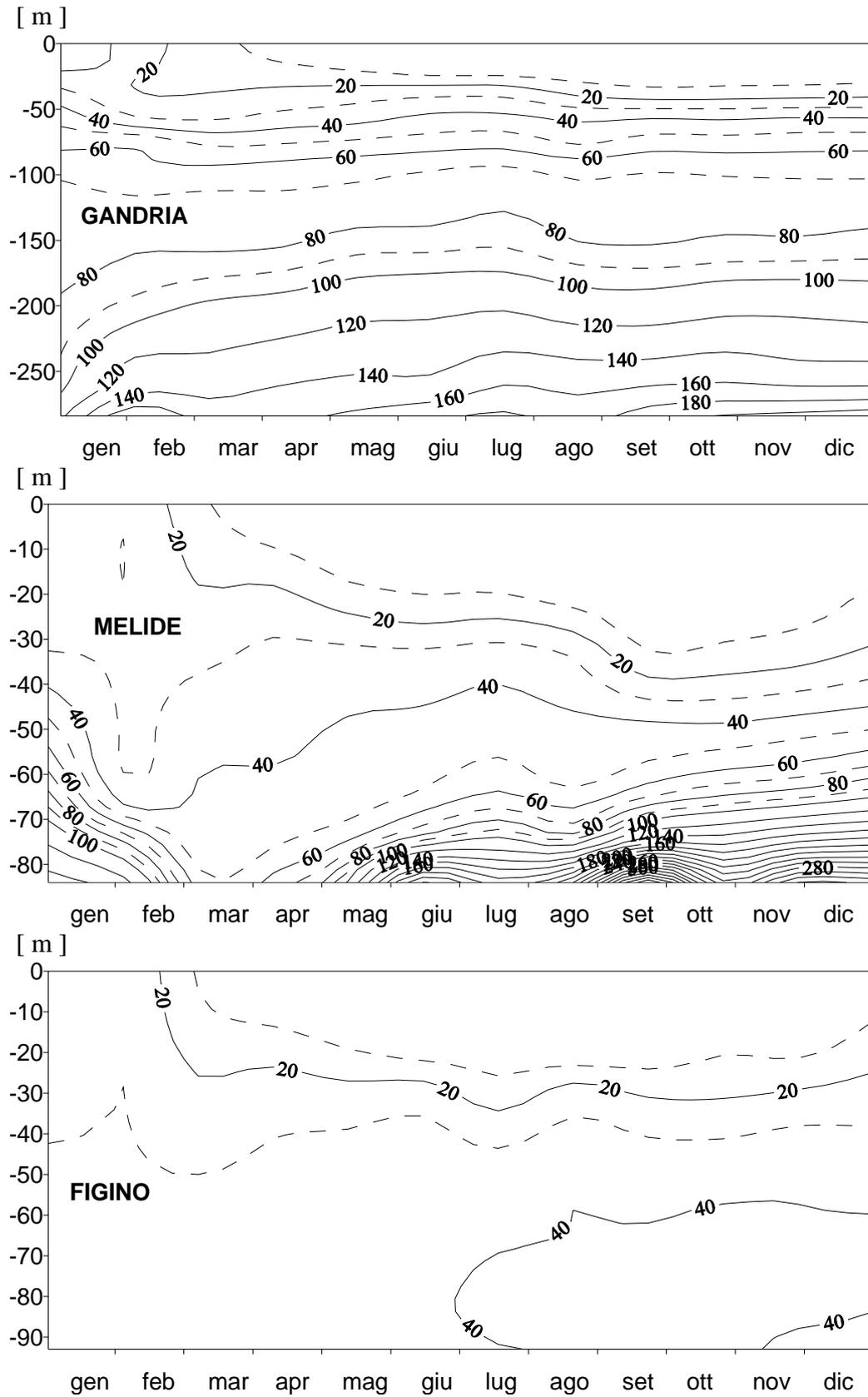


Fig. 5.8.1. Lago di Lugano, 2011: andamento del fosforo ortofosfato [mg P m^{-3}].

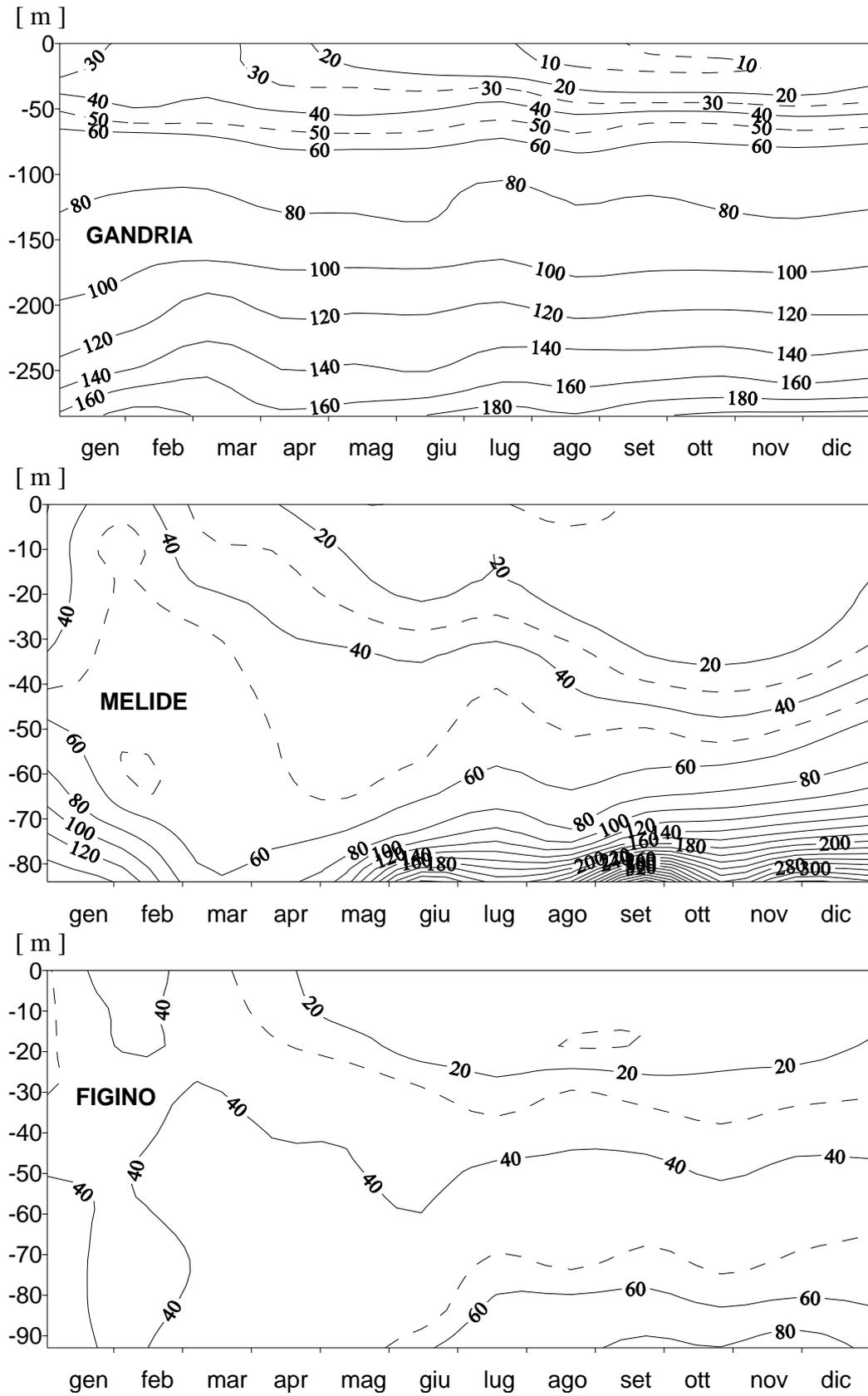


Fig. 5.8.2. Lago di Lugano, 2011: andamento del fosforo totale [mg P m^{-3}].

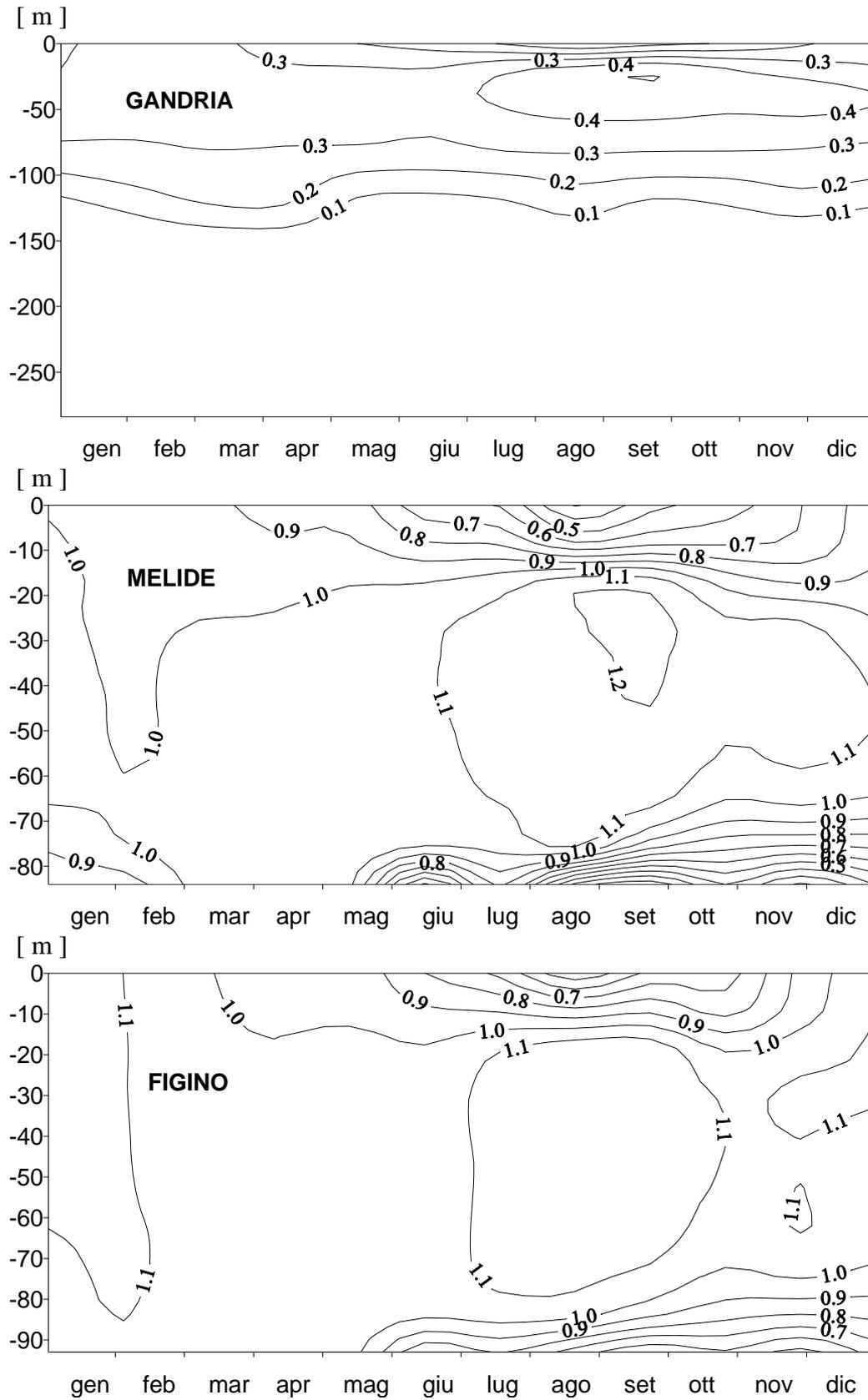


Fig. 5.9.1. Lago di Lugano, 2011: andamento dell'azoto nitrico [g N m^{-3}].

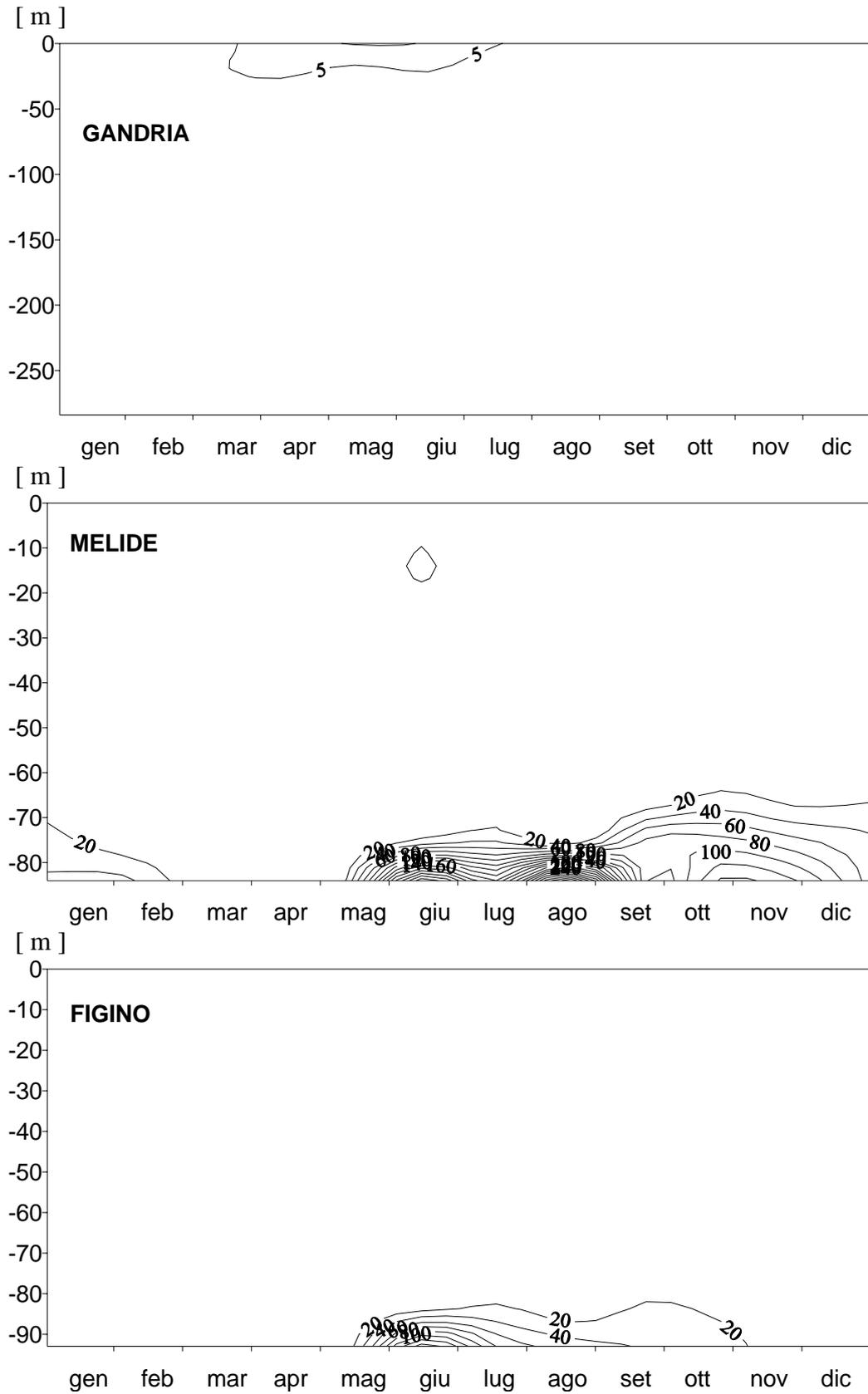


Fig. 5.9.2. Lago di Lugano, 2011: andamento dell'azoto nitroso [mg N m^{-3}].

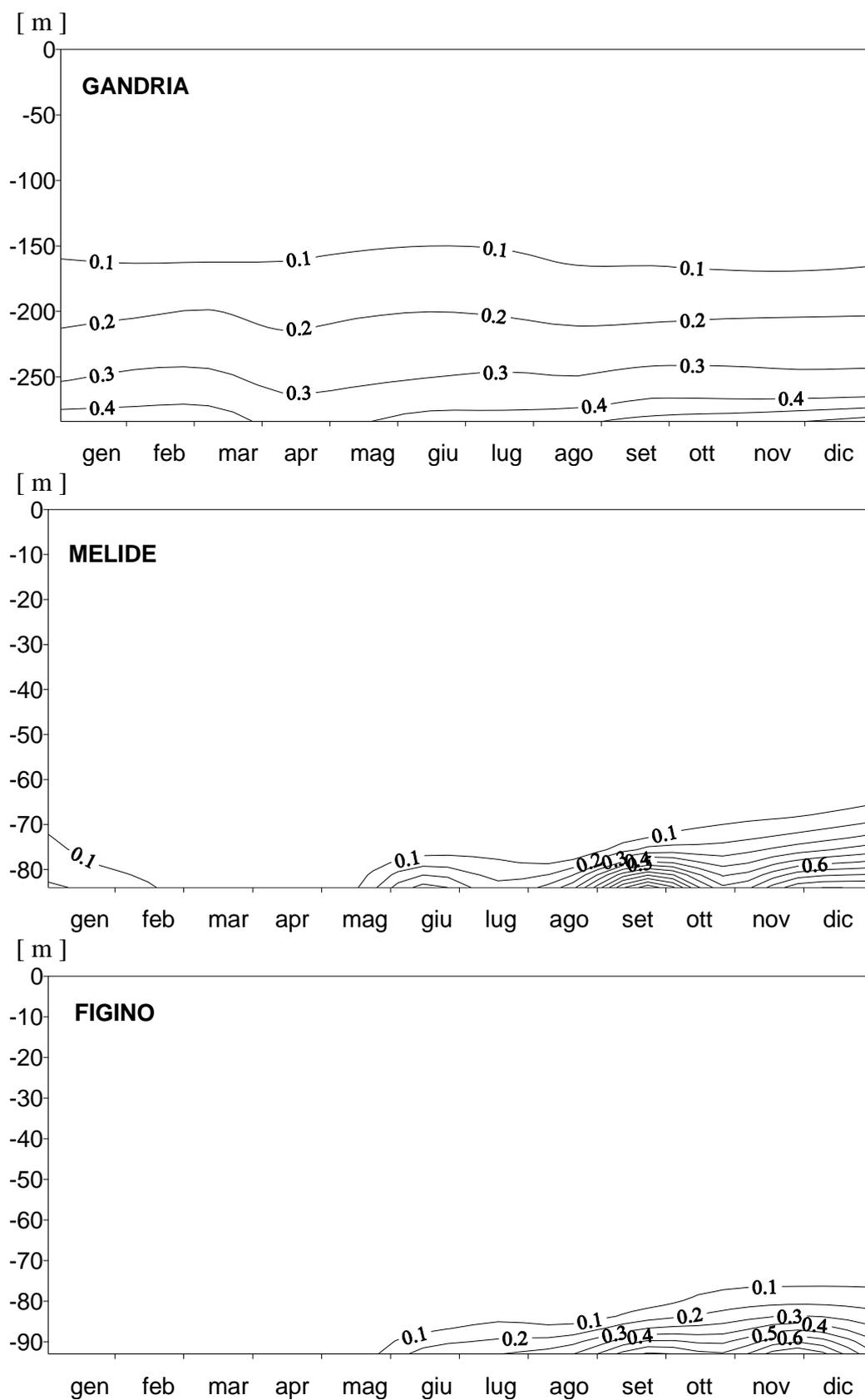


Fig. 5.9.3. Lago di Lugano, 2011: andamento dell'azoto ammoniacale [g N m^{-3}].

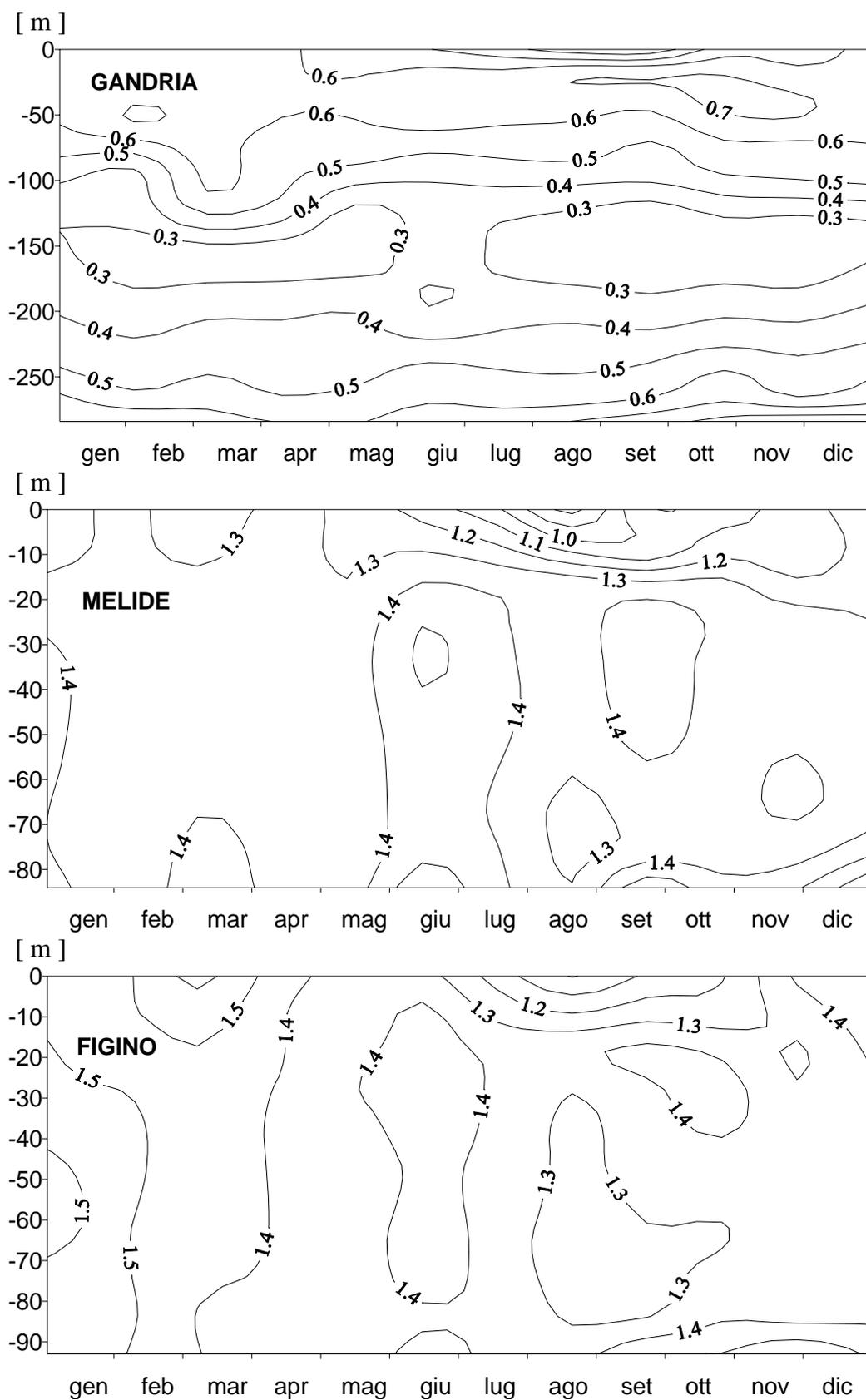


Fig. 5.9.4. Lago di Lugano, 2011: andamento dell'azoto totale [g N m^{-3}].

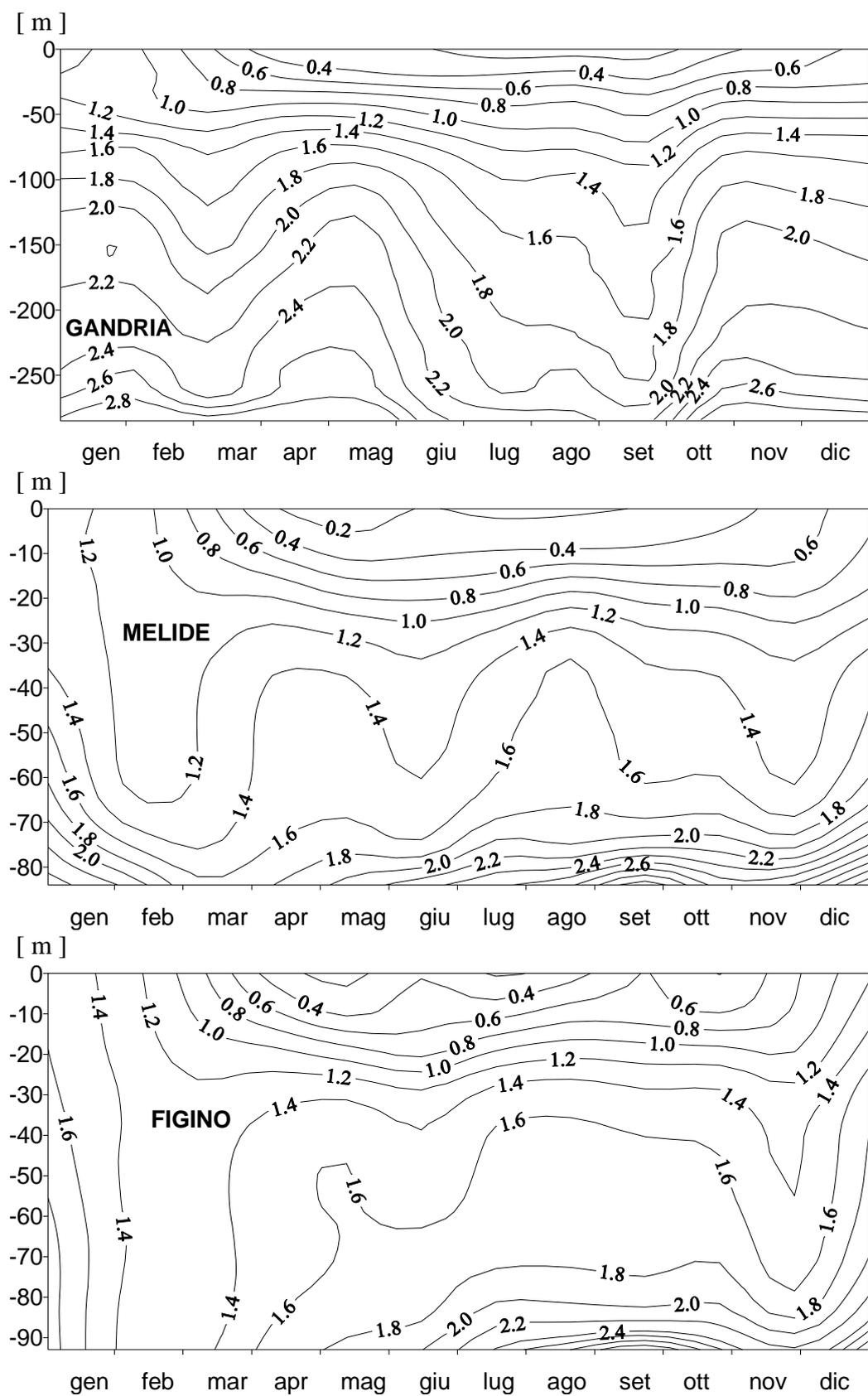


Fig. 5.10. Lago di Lugano, 2011: andamento dei silicati reattivi [g Si m^{-3}].

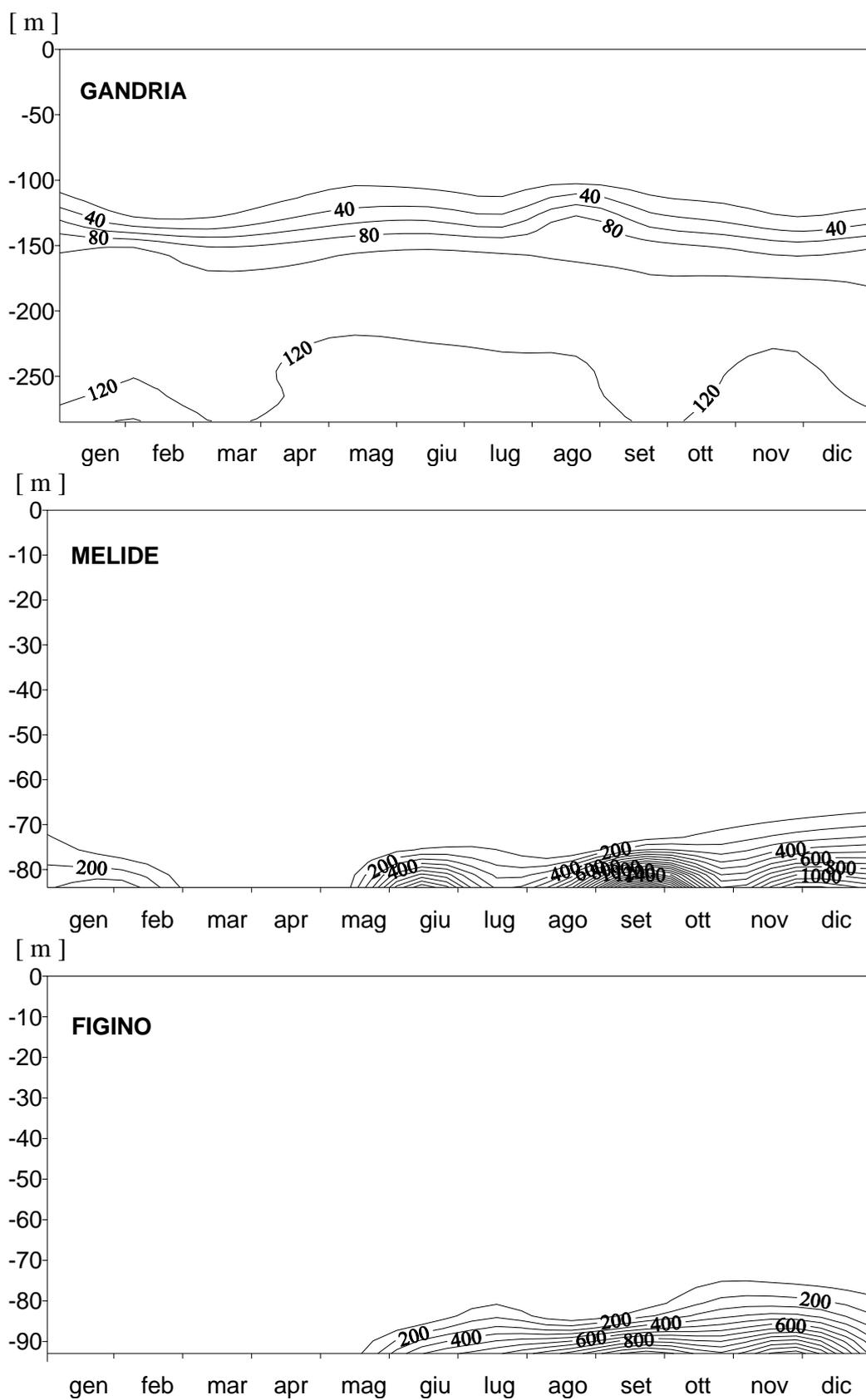


Fig. 5.11. Lago di Lugano, 2011: andamento del manganese disciolto [mg m^{-3}].

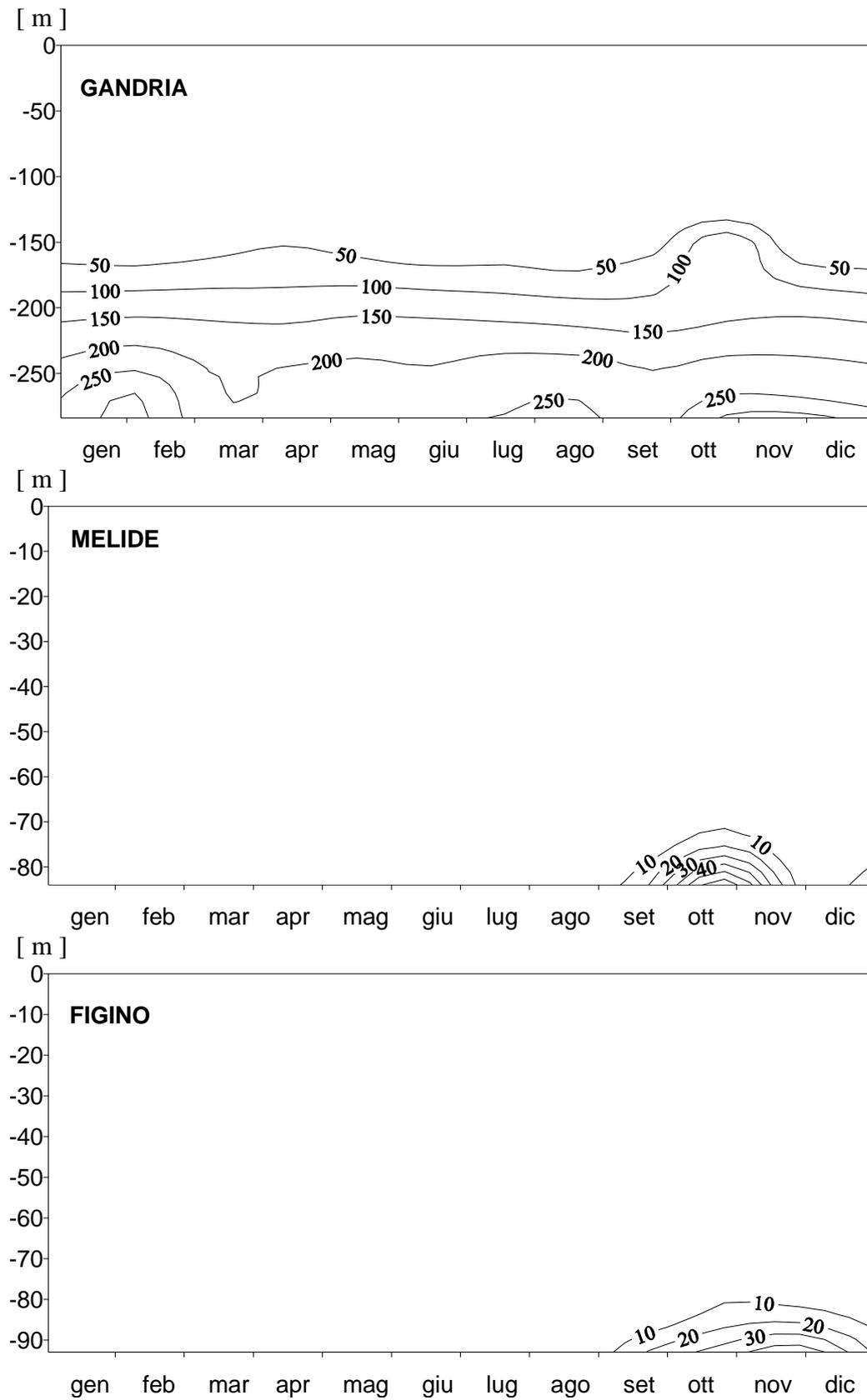


Fig. 5.12. Lago di Lugano, 2011: andamento del ferro disciolto [mg m^{-3}].

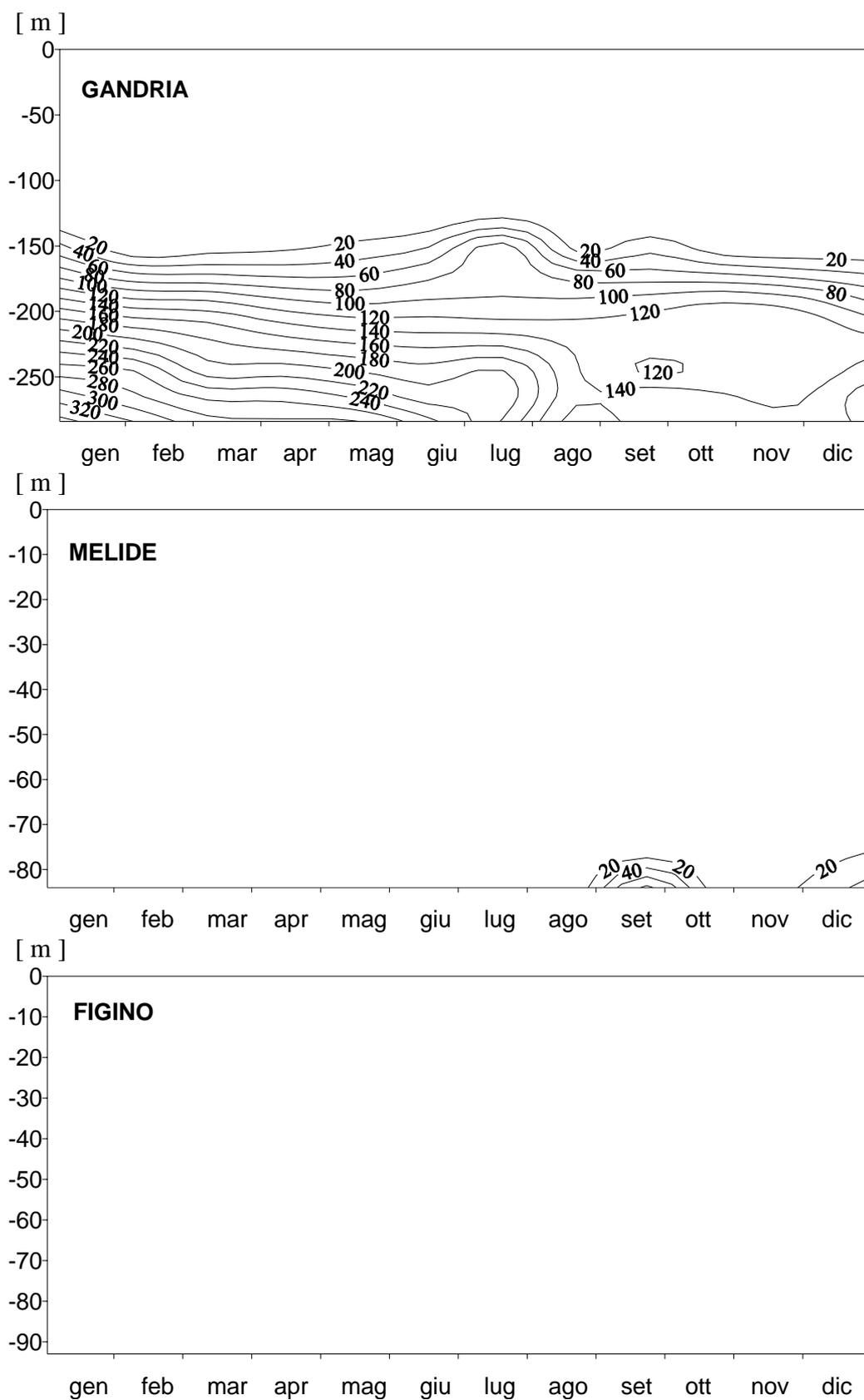


Fig. 5.13. Lago di Lugano, 2011: andamento del solfuro [mg m^{-3}].

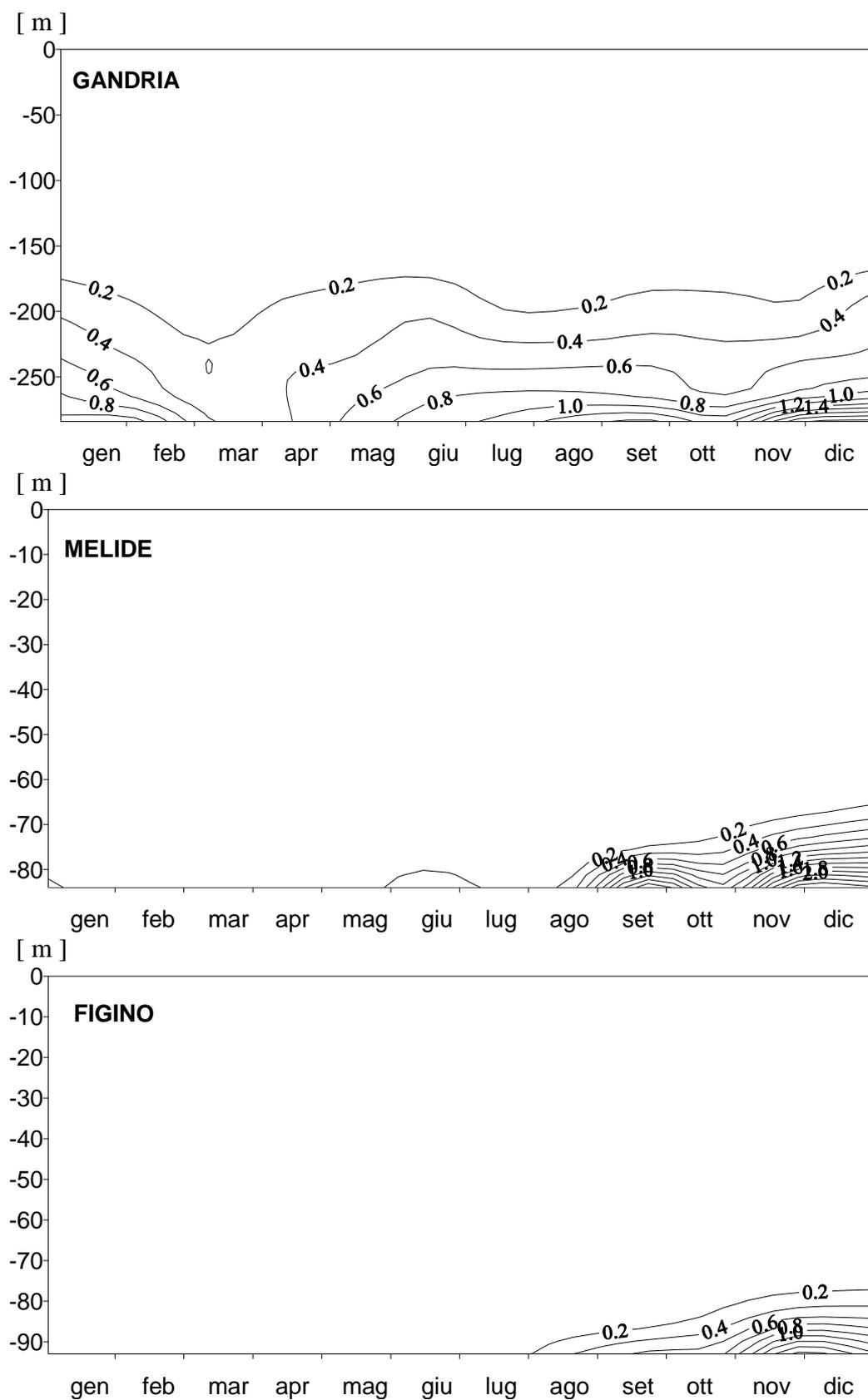


Fig. 5.14. Lago di Lugano, 2011: andamento del metano [g m^{-3}].

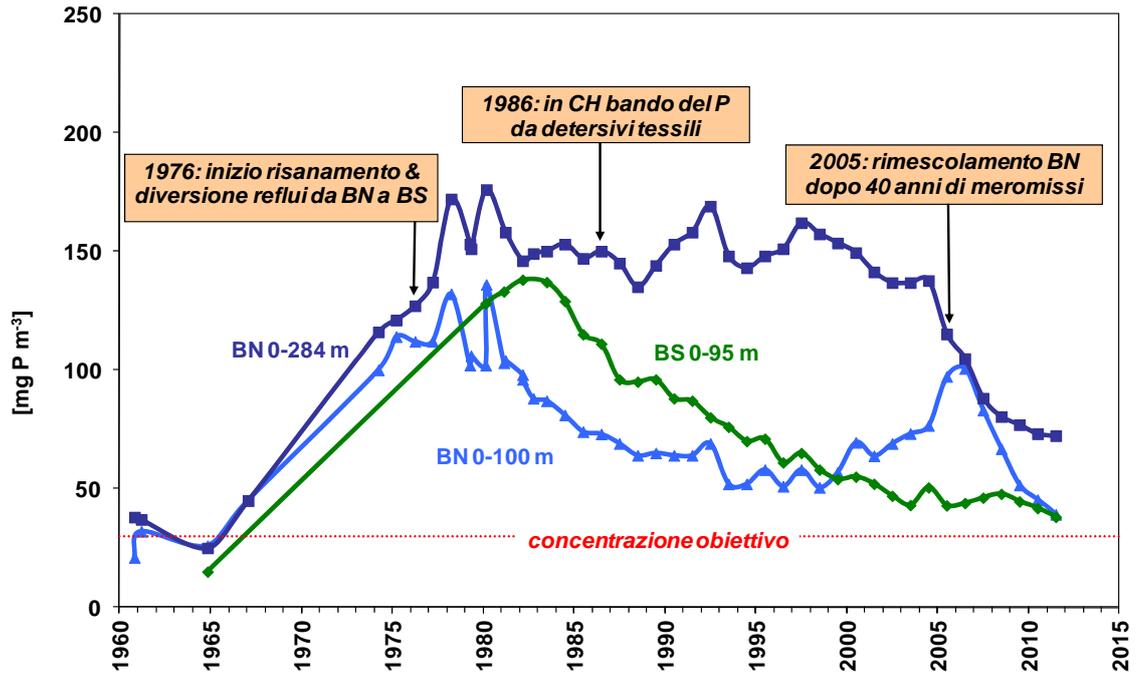


Fig. 5.15. Lago di Lugano, 1960-2011: evoluzione della concentrazione media annua del fosforo totale nel bacino sud (BS) ed in differenti strati del bacino nord (BN).

6. INDAGINI SUL FITOPLANCTON

6.1. Struttura dei popolamenti

Nel corso del 2011 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 eseguiti 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.

Anche quest'anno l'evoluzione stagionale del popolamento fitoplanctonico ha presentato differenze significative tra i due bacini del lago, soprattutto nel corso del secondo semestre.

Come di consueto, il periodo vegetativo ha preso avvio con un rapido sviluppo di specie piccole dimensioni appartenenti ai gruppi tassonomici tipicamente primaverili (quest'anno in soprattutto diatomee), caratterizzate da un'elevata rata di riproduzione a basse temperature. Nel bacino nord questa fase iniziale è comunque risultata meno marcata rispetto all'anno precedente a motivo del debole rimescolamento invernale della colonna d'acqua, che ha limitato l'apporto di nutrienti algali dagli strati profondi verso la zona trofogenica.

Ad esse sono succedute diatomee coloniali e filamentose, più voluminose e scarsamente edibili, che tra fine marzo ed inizio aprile hanno raggiunto il loro massimo livello di densità. Il rapido esaurimento dei nutrienti algali negli strati superficiali da una parte ha favorito lo sviluppo in profondità di specie filamentose con basse esigenze luminose, dapprima con le xantoficee e successivamente con le cianoficee, e dall'altra ha contribuito a mantenere i popolamenti estivi delle cloroficee su livelli di densità contenuti, soprattutto nel bacino nord. Con l'avvento dell'autunno i popolamenti di cianoficee presenti negli strati profondi si sono progressivamente spostati verso la superficie del lago, provocando particolari effetti di colorazione delle acque (le cosiddette "fioriture algali").

L'analisi dei principali gruppi tassonomici ha evidenziato nel 2011 una generale ripresa delle **cianoficee** in tutto il lago, in misura più marcata nel bacino nord. Nel corso della prima metà dell'anno in tutto il lago la specie predominante è risultata *Aphanizomenon flos-aquae*, che ha raggiunto i suoi massimi di densità nel bacino nord già in aprile, mentre nel bacino sud nel corso del mese di giugno. Il secondo semestre è stato invece caratterizzato dapprima dallo sviluppo di *Planktothrix rubescens*, particolarmente intenso nel bacino nord, e successivamente, ma solo nel bacino sud, di *Gomphospaeria aponina*, specie crococciale che ha fatto registrare il suo massimo in novembre. Verso la fine del periodo vegetativo le acque superficiali del lago hanno assunto una differente colorazione, in seguito all'affioramento degli organismi di queste due specie, ciascuna delle quali predominante in un bacino lacustre: rosso-violaceo per il bacino nord (*Planktothrix*); verde-azzurro per il bacino sud (*Gomphospaeria*; Foto 6.1 e 6.2).

Come di consueto, le **diatomee** hanno rappresentato la componente predominante nel corso del primo semestre, dapprima con specie centriche (febbraio-marzo) e quindi con specie pennate (seconda metà di marzo-seconda

metà di maggio). Durante il secondo semestre questo gruppo si è assestato su valori di densità modesti, fatta eccezione per alcuni momenti di ripresa di *Fragilaria crotonensis* nel bacino sud e per una breve fase di crescita di *Cyclotella ocellata* nel bacino nord, in agosto. Fra le specie centriche sono risultate particolarmente abbondanti *Stephanodiscus parvus/minutulus*, di piccole dimensioni, e *Aulacoseria islandica ssp.helvetica*, specie coloniale filamentosa di grandi dimensioni, mentre fra le pennate hanno raggiunto valori di densità rilevanti le specie coloniali *Fragilaria crotonensis*, e in misura minore *Tabellaria fenestrata*.

Rispetto all'anno precedente sono calate ancora sensibilmente le **cloroficee**, la cui fase principale di sviluppo si è estesa dal periodo estivo fino all'autunno: fra di esse hanno raggiunto in tutto il lago valori di densità di un certo rilievo, ma pur sempre contenuti, unicamente le due specie clorococcali *Sphaerocystis schraeteri* (ininterrottamente da giugno ad ottobre) e *Celastrum polychordum*, (da agosto ad ottobre). Nel corso del primo semestre (aprile) si segnala inoltre un contributo a questo gruppo da parte della specie volvocale *Pandorina morum*, caratteristica di acque eutrofe, ma unicamente nella stazione di Figino.

Le **criptoficee** hanno avuto nel genere *Rhodomonas* il loro principale rappresentante: la prima fase di sviluppo, che generalmente coincide con l'inizio del periodo vegetativo, si è prolungata quest'anno fino al mese di giugno; in seguito si è osservata un'altra punta, di entità simile nel corso del mese d'agosto.

Per quanto concerne i restanti gruppi, si sono mantenute su livelli molto modesti sia le **coniugatoficee** che le **crisoficee**, e costantemente modesti le **peridinee**. Hanno invece confermato una significativa presenza le **xantoficee**, con la specie filamentosa *Tribonema sp.*, che ha fatto registrare la sua fase di massimo sviluppo puntualmente nel corso del mese di maggio, raggiungendo valori di densità fra i più elevati degli ultimi anni.

La tabella 6.1., che riporta i valori di densità delle principali specie fitoplanctoniche nel corso del 2011, 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, 2011: sviluppo delle principali specie di fitoplancton nello strato 0-20 m (densità in 10⁶ cellule l⁻¹).

	GANDRIA	MELIDE	FIGINO
febbraio	Stephanodiscus parvus/min. (3.4)	Stephanodiscus parvus/min. (3.8)	Stephanodiscus parvus/min. (3.7)
marzo	Stephanodiscus parvus/min. (4.9) Aulacoseria islandica helv. (0.7) Asterionella formosa (0.1) Tabellaria fenestrata (0.2) Rhodomonas (1.3)	Aulacoseria islandica helv. (1.5) Asterionella formosa (0.3) Tabellaria fenestrata (0.2) Fragilaria crotonensis (0.5)	Stephanodiscus parvus/min. (2.9) Aulacoseria islandica helv. (1.9) Asterionella formosa (0.3) Tabellaria fenestrata (0.2) Fragilaria crotonensis (0.8)
aprile	Aphanizomenon flos-aquae (2.2) Tabellaria fenestrata (0.2) Rhodomonas (0.6) Tribonema (1.3)	Aphanizomenon flos-aquae (1.9) Fragilaria crotonensis (0.7) Tabellaria fenestrata (0.3) Rhodomonas (0.6) Tribonema (2.6)	Aphanizomenon flos-aquae (1.6) Fragilaria crotonensis (1.8) Tabellaria fenestrata (0.5) Pandorina morum (0.3) Rhodomonas (0.6) Tribonema (1.3)
maggio	Tribonema (2.5) Fragilaria crotonensis (0.8) Rhodomonas (0.8)	Tribonema (3.2) Fragilaria crotonensis (0.4) Rhodomonas (0.5)	Tribonema (1.9) Fragilaria crotonensis (0.8) Rhodomonas (0.7)
giugno	Sphaerocystis schroeteri (0.4) Rhodomonas (0.9)	Aphanizomenon flos-aquae (2.3) Sphaerocystis schroeteri (0.3) Phacotus lenticularis (0.2) Pandorina morum (0.1) Rhodomonas (1.4)	Aphanizomenon flos-aquae (6.1) Fragilaria crotonensis (0.3) Phacotus lenticularis (0.2) Pandorina morum (0.1) Rhodomonas (1.0)
luglio	Pandorina morum (0.1) Sphaerocystis schroeteri (0.2)	Sphaerocystis schroeteri (0.2)	Planktothrix rubescens (2.6) Sphaerocystis schroeteri (0.4) Fragilaria crotonensis (0.3)
agosto	Snowella lacustris (1.0) Sphaerocystis schroeteri (0.2) Coelastrum polychordum (0.2) Cyclotella ocellata. (0.3) Rhodomonas (0.8)	Sphaerocystis schroeteri (0.6) Coelastrum polychordum (0.2) Willea sp. (0.1) Rhodomonas (0.7)	Planktothrix rubescens (7.0) Sphaerocystis schroeteri (0.7) Coelastrum polychordum (0.2) Willea sp. (0.1)
settembre	Planktothrix rubescens (10.8) Coelastrum polychordum (0.3) Sphaerocystis schroeteri (0.1)	Planktothrix rubescens (11.8) Snowella lacustris (0.6) Coelastrum polychordum (0.3) Sphaerocystis schroeteri (0.2)	Planktothrix rubescens (6.1) Pandorina morum (0.1) Coelastrum polychordum (0.3) Sphaerocystis schroeteri (0.2)
ottobre	Planktothrix rubescens (17.6) Coelastrum polychordum (0.2) Sphaerocystis schroeteri (0.1)	Coelastrum polychordum (0.2) Sphaerocystis schroeteri (0.6)	Snowella lacustris (0.7) Fragilaria crotonensis (0.3) Coelastrum polychordum (0.2) Sphaerocystis schroeteri (0.5)
novembre	Planktothrix rubescens (13.5)	Gomphosphaeria aponina (9.3)	Gomphosphaeria aponina (16.7)

6.2. Variazioni della biomassa

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

I valori di **biomassa media annua (Gandria: 1.05; Melide: 1.11; Figino: 1.07 g m⁻³)** sono risultati in leggera ripresa rispetto all'anno precedente, pur rimanendo fra i più bassi dell'intero periodo d'indagine. In generale si nota un livellamento dei valori fra le tre stazioni campionate, con una distribuzione degli stessi lungo il corso dell'anno più omogenea a Gandria e Melide rispetto a Figino, dove la produzione di biomassa risulta concentrata nel trimestre primaverile.

L'andamento delle curve presenta un andamento simile nelle tre stazioni di campionamento, anche se nel bacino nord l'inizio del periodo vegetativo risulta leggermente anticipato rispetto a quello sud, e la fase di sviluppo successiva alla punta principale si presenta in ritardo di alcune settimane. Come si può facilmente osservare dalla grafica, il contributo principale al dato annuo è stato

fornito dalle diatomee, che già nel corso del mese di marzo hanno fatto registrare la principale fase di crescita: i massimi annui sono risultati simili a Gandria (2.65 g m^{-3}) e Melide (3.04 g m^{-3}), e più elevati a Figino (4.33 g m^{-3}).

A partire da giugno i valori si sono mantenuti, come conseguenza del progressivo esaurimento dei nutrienti nello strato trofogeno: di fatto nel corso del secondo semestre la biomassa algale è risultata costituita prevalentemente da specie che si sviluppano più in profondità, adattate a basse condizioni luminose, che possono sfruttare i nutrienti ancora disponibili nella zona metalimnica, in prossimità del termoclino.

Un'analisi più dettagliata degli andamenti nelle singole stazioni permette d'individuare in tutto il lago nel primo semestre due punte di crescita della biomassa algale, più facilmente riconoscibili a Gandria e Melide: la principale (marzo-aprile) costituita quasi esclusivamente da diatomee (*Stephanodiscus parvus*, *Aulacoseria islandica ssp. helvetica*), mentre la seconda (maggio nel bacino nord; aprile-maggio nel bacino sud), prevalentemente da xantoficee (*Tribonema sp.*, riportata graficamente nella categoria "altre") e criptoficee. Il secondo semestre è caratterizzato da una contemporanea, modesta presenza di tutti i principali gruppi tassonomici, fatta eccezione per le cianoficee, risultate costantemente predominanti.

Sotto l'aspetto della composizione percentuale della biomassa algale (valore medio annuo, Fig. 6.2.2.), nel 2011 le diatomee hanno ridotto drasticamente in tutto il lago la loro predominanza (Gandria (29%, Melide 34%, Figino 40%), a vantaggio soprattutto delle cianoficee, tornate dopo diversi anni a costituire il secondo gruppo tassonomico del lago (Gandria 27%, Melide 23%, Figino 19%). Le criptoficee si attestano al terzo posto, mantenendo una quota di rilievo (14-18%), nettamente superiore alle peridinee (che si confermano attorno al 10%). In netto calo sono risultate le cloroficee, scese dovunque al di sotto della soglia del 10% (a Gandria e Melide si tratta dei valori i più bassi degli ultimi anni), e le coniugatoficee, vicine ai minimi storici (attorno all'1%), mentre la quota delle xantoficee, la cui unica specie del lago (*Tribonema sp.*) presenta una fase di sviluppo limitata ai mesi centrali dell'anno, ha fatto registrare in tutte le stazioni il massimo dell'intero periodo d'osservazione (attorno al 4-7%).

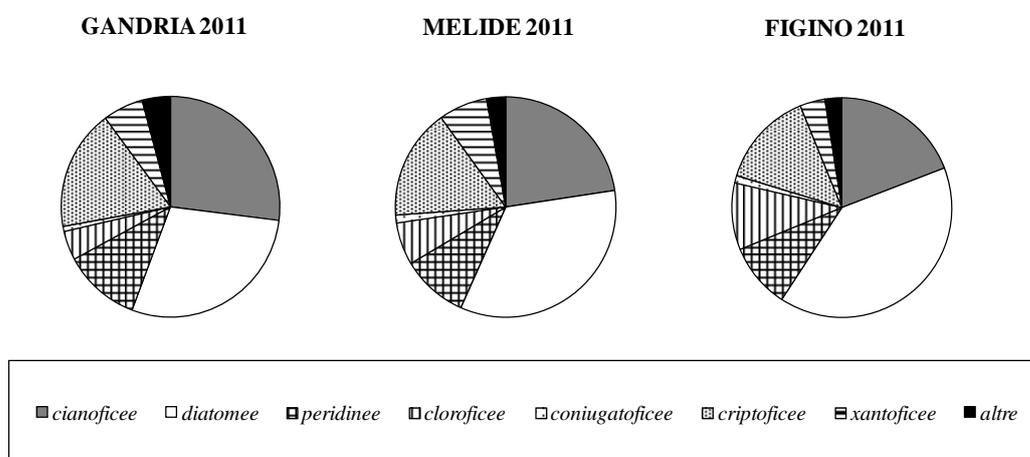


Fig. 6.2.2. Lago di Lugano, 2011: composizione della biomassa media annua del fitoplancton.



Foto 6.1. Caslano, 28.10.2011: fioritura di *Gomphosphaeria aponina*.

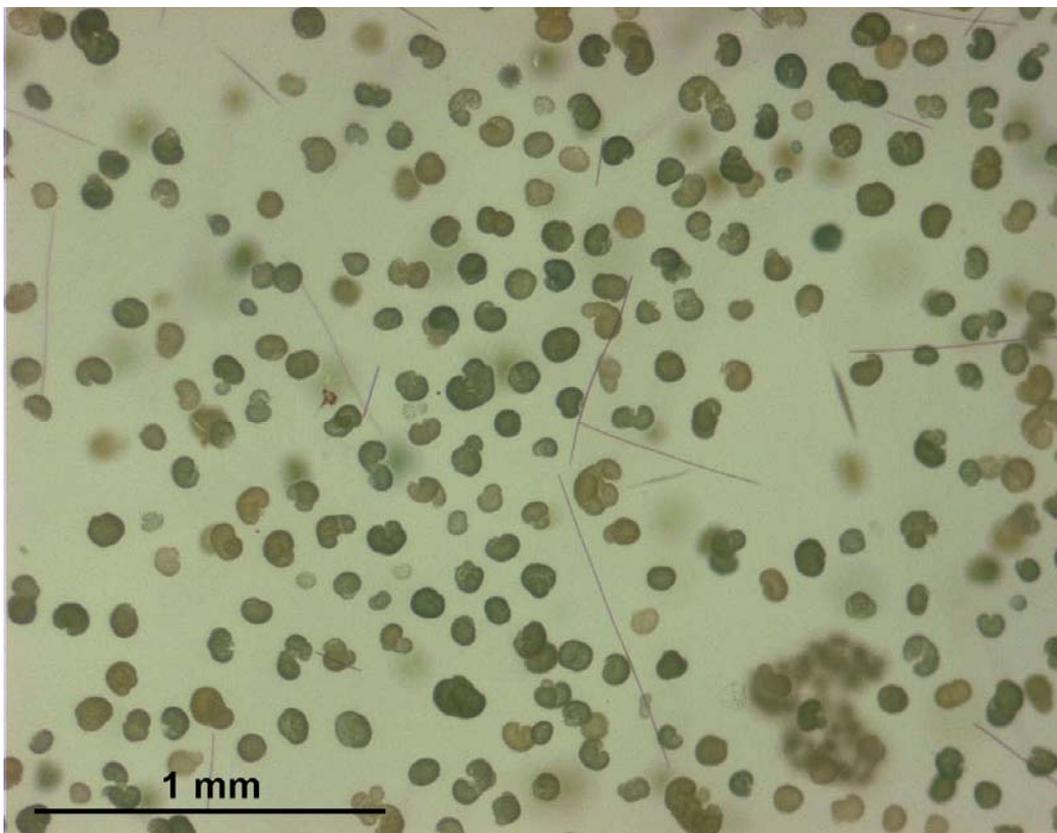


Foto 6.2. Lago di Lugano, bacino sud (novembre 2011): colonie di *Gomphosphaeria aponina*, assieme ad alcuni filamenti di *Planktothrix rubescens*.

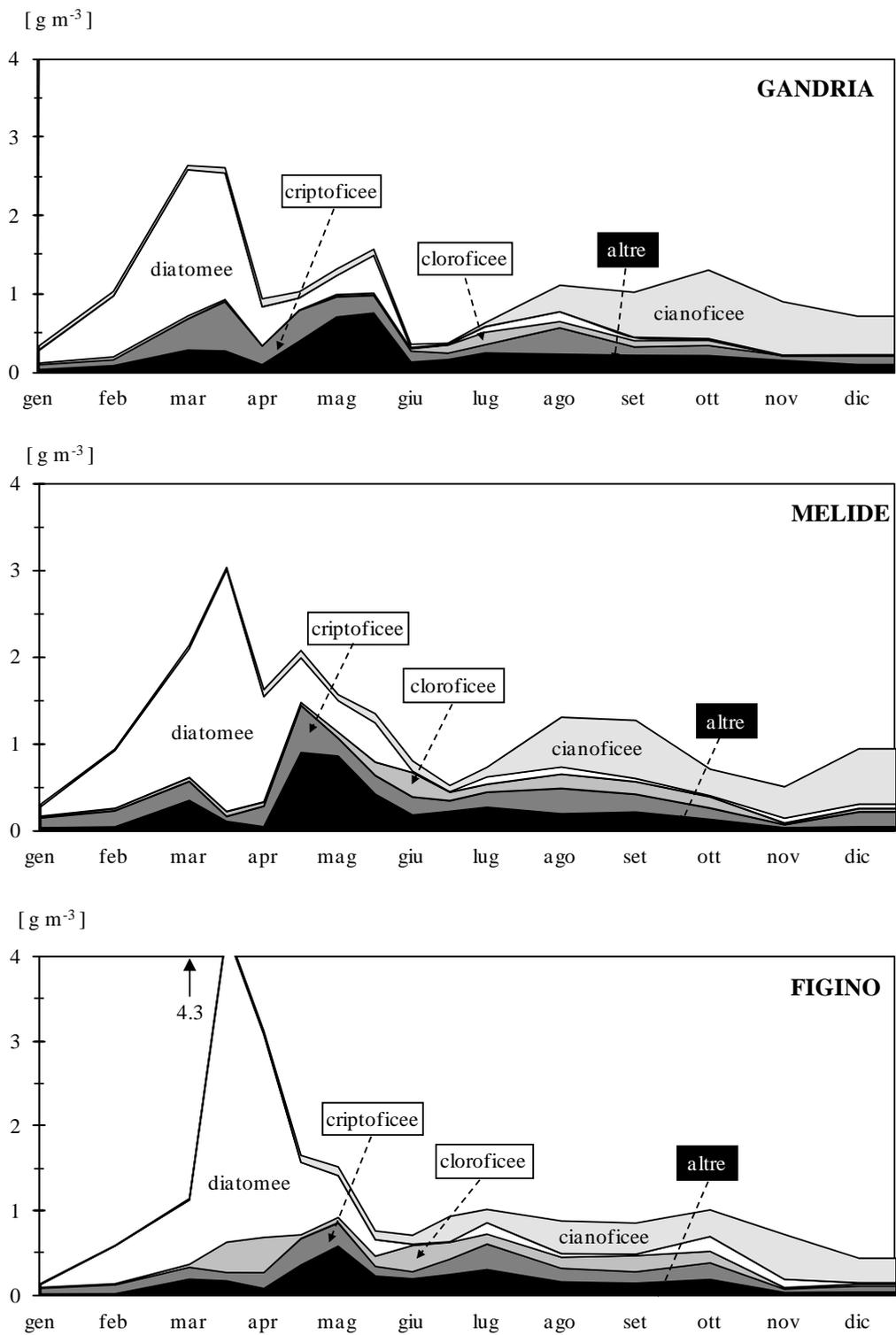


Fig. 6.2.1. Lago di Lugano, 2011: andamento delle biomasse cumulate del fitoplancton (peso fresco).

6.3. Clorofilla

Quale fondamentale complemento nelle indagini sull'evoluzione dei popolamenti fitoplanctonici, nel corso del 2011 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 l'evoluzione della biocenosi planctonica durante la fase di stagnazione estiva delle acque, dal mese di maggio fino alla fine d'ottobre la raccolta di campioni lungo il profilo verticale ha assunto una frequenza quindicinale.

La distribuzione spazio-temporale dei valori di clorofilla, che rispecchia l'andamento dei popolamenti fitoplanctonici rilevato nello strato 0-20 m (cfr. Fig. 6.2.1.), evidenzia come la principale fase di sviluppo algale si sia verificata durante il periodo primaverile, ed abbia riguardato soprattutto i primi 10 m della colonna d'acqua: nel bacino nord essa risulta limitata al mese di marzo, mentre in quello sud si è protratta almeno fino a metà aprile. E' durante questo periodo che le concentrazioni di clorofilla hanno raggiunto i massimi in tutte le stazioni (Gandria: 34 mg m⁻³; Melide: 37, Figino: 30).

Già a partire dalla metà d'aprile si osserva nel bacino nord un drastico calo dei valori che ha riguardato dapprima gli strati superficiali (0-10 m), e successivamente, da fine maggio, l'intero epilimnio. Questa situazione, indotta inizialmente dalla rapida sedimentazione delle grosse diatomee ed dall'incremento dell'attività di grazing da parte dello zooplancton erbivoro, si è protratta fino al mese d'agosto, a motivo della scarsità di nutrienti nello strato trofogeno. Le elevate concentrazioni rilevate nello strato inferiore dell'epilimnio (10-20 m) durante il mese di maggio sono verosimilmente da ricondurre all'intensa fase di sviluppo di *Tribonema sp.* (xantoficee). A partire da agosto si assiste ad una generale ripresa dei valori lungo quasi tutta la colonna d'acqua, in concomitanza con la fase di crescita autunnale delle cianoficee (*Planktothrix rubescens*), con una punta massima (23 mg m⁻³) localizzata attorno ad 8 m di profondità.

Per quanto riguarda il bacino sud, dopo la fase primaverile, in entrambe le stazioni si sono misurati valori di clorofilla costantemente più elevati rispetto al bacino nord, soprattutto negli strati superiori dell'epilimnio. L'intenso sviluppo dei popolamenti di cianoficee coccali negli strati profondi, evidenziati dagli elevati valori estivi di clorofilla tra 5 e 10 m di profondità (a Figino in agosto si sono misurati 27 mg m⁻³), è sfociato in una fioritura algale negli strati superficiali, protrattasi durante l'intero

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 particolato, costituito in larga misura dalla biomassa fitoplanctonica.

I dati rilevati nel corso del 2011 coincidono solo parzialmente con l'andamento delle isoplete della clorofilla, in particolare per quanto riguarda la misura di fine febbraio, durante il quale il segnale di torbidità è da ricondurre al particolato abiotico formatosi in seguito ai processi ossido-riduttivi durante la fase di rimescolamento invernale della colonna d'acqua (più marcata nel bacino sud). I valori misurati durante la fase primaverile di sviluppo algale risultano più attenuati rispetto a quelli del secondo semestre, durante il quale questo parametro permette di evidenziare la distribuzione dei popolamenti fitoplanctonici, dapprima stratificati in profondità (luglio-settembre), e successivamente nell'intero strato trofogeno (ottobre-dicembre).

- 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 le curve della 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 costituiscono in tutte le stazioni il massimo annuo (**Gandria: 15 mg m⁻³, Melide: 19, Figino: 14**), coincidono con la fase iniziale di sviluppo primaverile delle diatomee, risultando sostanzialmente in linea con i valori degli ultimi anni a Gandria, in calo a Figino, e leggermente in crescita a Melide. Nel corso del secondo semestre i valori sono rimasti sostanzialmente costanti a Gandria e Melide (con una breve ripresa all'inizio di settembre in quest'ultima stazione), ed in leggera, progressiva crescita a Figino (con due brevi punte minori, in agosto e settembre).

Le concentrazioni **medie annue** di clorofilla del 2011 (**Gandria: 5.8 mg m⁻³, Melide: 7.7, Figino: 7.2**) si mantengono in tutte le stazioni attorno ai livelli degli ultimi 8 anni, confermando la leggera tendenza alla diminuzione rispetto al dato medio del precedente quinquennio d'indagine (2003-2007). Pur tenendo conto della variabilità interannuale, dovuta anche alle oscillazioni dei parametri metoclimatici nei singoli anni, l'andamento pluriennale dei valori di clorofilla testimonia il lento ma progressivo recupero dello stato qualitativo delle acque lacustri, confermando la presenza del gradiente trofico fra le tre stazioni dei due bacini, crescente lungo l'asse di deflusso del lago.

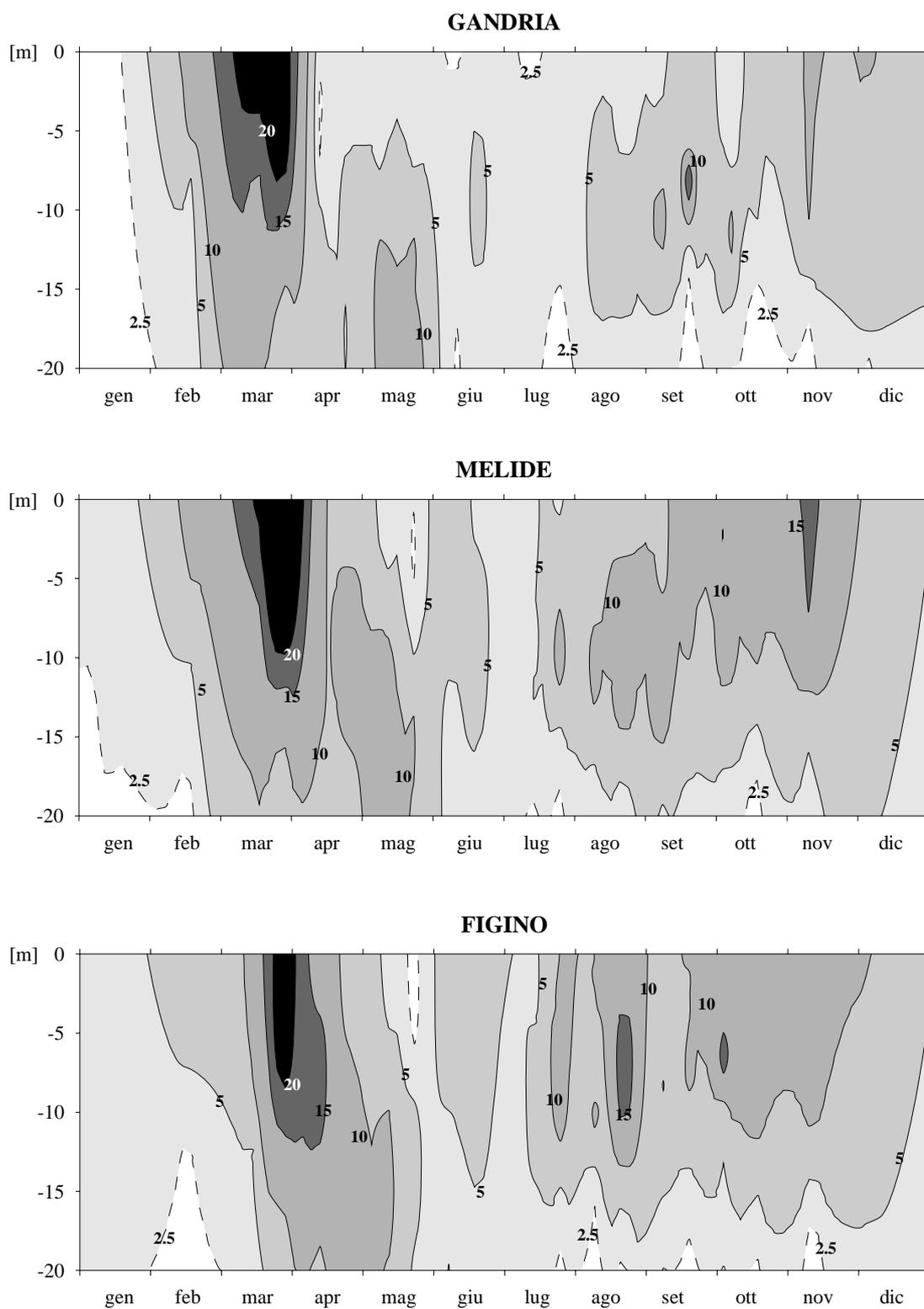


Fig. 6.3.1. Lago di Lugano, 2011: isolinee della clorofilla *a* [mg m^{-3}]

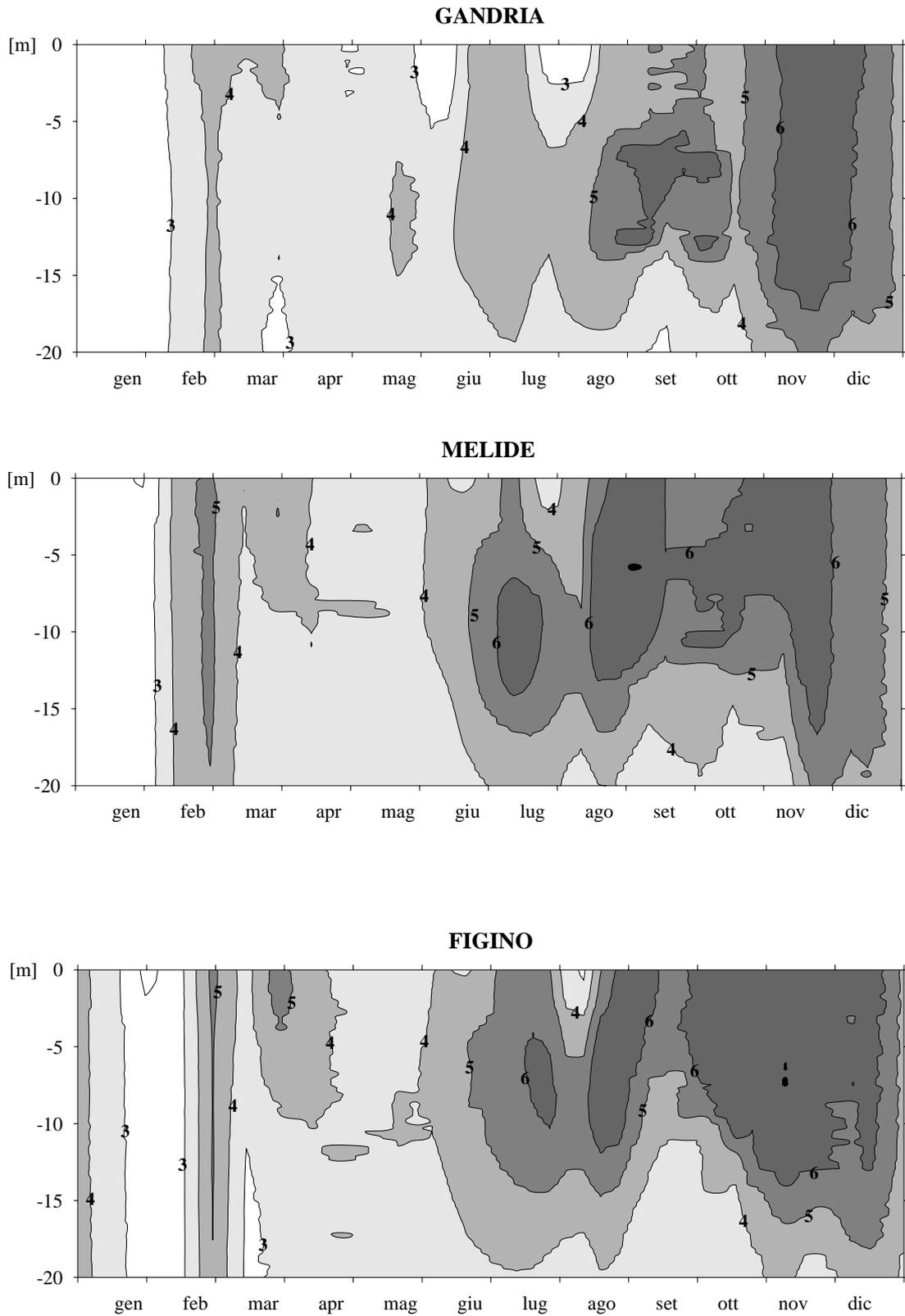


Fig. 6.3.2. Lago di Lugano, 2011: isolinee dei valori di torbidità dell'acqua [FTU]

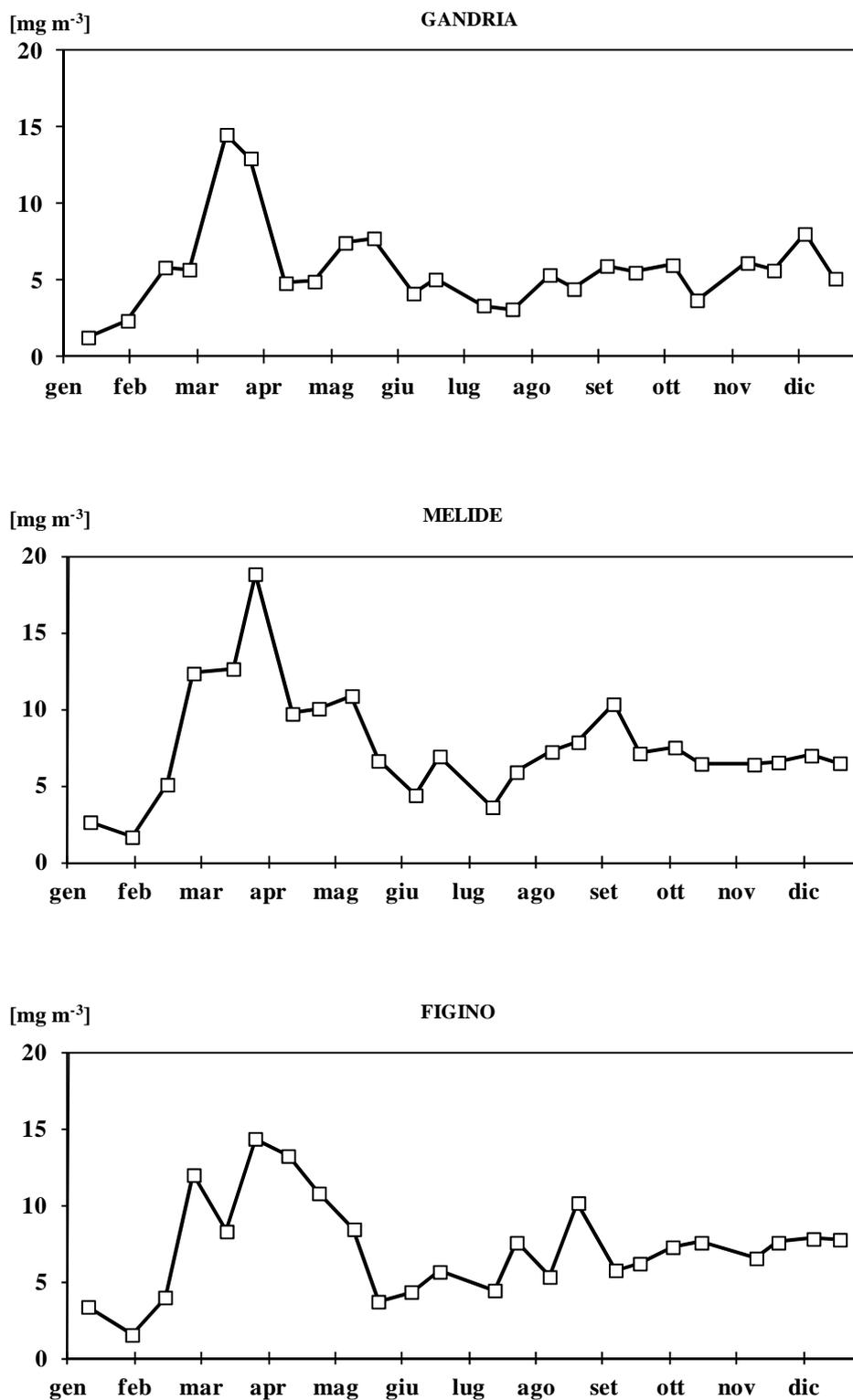


Fig. 6.3.3. Lago di Lugano, 2011: andamento della clorofilla a nello strato 0-20 m [mg m⁻³].

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 [12]. 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., valori nettamente deficitari rispetto alla media sono stati registrati unicamente nel corso del primo semestre: mentre il dato di febbraio può essere considerato abbastanza ininfluenza sul bilancio produttivo annuo, quello di marzo (ed in misura minore giugno e maggio) nella stazione di Figino rende di fatto problematico l'utilizzo del valore di produzione misurato in quella giornata. Grazie al fatto che in questa stazione, a partire da luglio, le misure di produzione sono state effettuate in giornate con valori d'irraggiamento quasi sempre superiori alla media, si può stimare che l'ammancio complessivo sul dato annuo di produzione primaria dovuto alle sfavorevoli condizioni dell'irraggiamento del primo semestre è risultato meno marcato (ca. -5%). Sulla base di analoghe valutazioni, il calcolo della produzione annua per le altre due stazioni del lago risulterebbe sovrastimato, più leggermente a Melide (ca. +5%) rispetto a Gandria (ca. +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. Nella stazione di Gandria il grado di penetrazione della luce è risultato particolarmente elevato (>20 m) durante i primi due mesi dell'anno, per poi calare rapidamente in marzo (13.1 m) in concomitanza con l'avvio della fase di crescita del fitoplancton primaverile. Il limite della zona eufotica, sceso momentaneamente attorno a 17 m in maggio per effetto del grazing del fitoplancton da parte dello zooplancton erbivoro, si è poi progressivamente innalzato senza interruzioni fino a novembre, quando ha raggiunto il minimo annuo (8.4 m).

Nelle stazioni del bacino sud la diminuzione di spessore dello strato eufotico all'inizio della periodo vegetativo è risultata più graduale, fermandosi a 10.5 m in marzo a Melide, ed a 9.2 in aprile a Figino. Dopo la fase di chiarificazione delle acque in maggio, (meno marcata rispetto al bacino nord), i valori $Z_{1\%}$ sono dapprima calati abbastanza rapidamente (a Melide fino a luglio, Figino fino ad agosto), per poi mantenersi abbastanza stabili (Melide: 8.3-10.8, Figino: 7.8-8.7 m) fino al mese di novembre.

La penetrazione massima della luce, che come al solito viene misurata nei mesi invernali, ha raggiunto in gennaio la profondità di 21.4 m a Gandria, di 17.8 m a Melide, e soltanto di 15.8 m a Figino. La massima compressione dello strato

trofogeno è stata invece rilevata in novembre a Gandria (8.4 m) e Figino (7.8 m), ed in settembre a Melide (8.3 m).

Come negli anni precedenti il **valore medio annuo** di $Z_{1\%}$ delle tre stazioni campionate presenta un andamento decrescente lungo l'asse di deflusso del lago, in accordo con il gradiente del potenziale trofico riscontrato nello strato produttivo: i valori del 2011 (**Gandria: 13.7 m, Melide: 11.7 m, Figino: 11.1 m**) hanno fatto registrare un calo rispetto al 2010 (da considerarsi comunque eccezionale, soprattutto a Gandria), tornando sui livelli degli anni ancora precedenti. Le differenze tra i due bacini si manifestano anche a livello dei valori di **trasparenza media annua** delle acque lacustri, rilevati con il disco di Secchi (**Gandria: 6.6 m, Melide: 5.8 m, Figino: 5.7 m**): rispetto agli anni precedenti questo parametro è risultato in netto calo a Gandria e Melide, e stabile a Figino.

- 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 2011. 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.

Dalle curve dei valori mensili è possibile rilevare come l'attività produttiva del fitoplancton è ripartita con un mese d'anticipo nel bacino nord, dove ha fatto registrare già in marzo il massimo assoluto dell'anno ($2.0 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Nel bacino sud la punta primaverile è risultata più contenuta ($1.4-1.5 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$): a Melide addirittura inferiore al massimo estivo d'agosto ($1.8 \text{ g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Fatta eccezione per quest'ultimo dato di Melide, l'andamento estivo delle curve non ha presentato sbalzi di rilievo dei valori, rimanesti sostanzialmente costanti a Gandria, in progressivo calo a Melide, e distribuiti regolarmente attorno alla punta d'agosto a Figino.

I valori più elevati di produttività sono stati raggiunti nel bacino nord in marzo ($0.16 \text{ g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$) e settembre ($0.13 \text{ g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$), nel bacino sud in aprile ed agosto (a Melide $0.11 - 0.17 \text{ g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$; a Figino in entrambi i casi $0.17 \text{ g C m}^{-3} \text{d}^{-1}$).

Complessivamente il 2011 ha fatto registrare anche per i parametri d'attività produttiva primaria una generale ripresa dei valori rispetto al 2010, anno caratterizzato da cali attorno al 20- 40% rispetto al periodo precedente. I valori annui di **produzione areale** (stimata come di consueto sulla base delle 12 misure giornaliere effettuate a scadenza mensile) sono risultati in calo da **Gandria ($383 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$)** a **Melide ($349 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$)** ed a **Figino ($282 \text{ g C m}^{-2} \text{a}^{-1}$)**: vanno tuttavia considerate, a questo riguardo, le osservazioni sugli errori di stima sopra citati, legati alle condizioni d'irraggiamento nei giornate di misura.

I valori della **produttività annua** del 2011 confermano solo in parte le differenze di livello trofico esistenti fra i due bacini del lago (**Gandria: 30.2 g C m⁻³ a⁻¹; Melide: 31.3; Figino: 28.0**). Data l'elevata variabilità dei valori nei singoli anni, una valutazione più consistente di questi parametri deve essere formulata con estrema prudenza, e confrontando preferibilmente periodi pluriennali di dati.

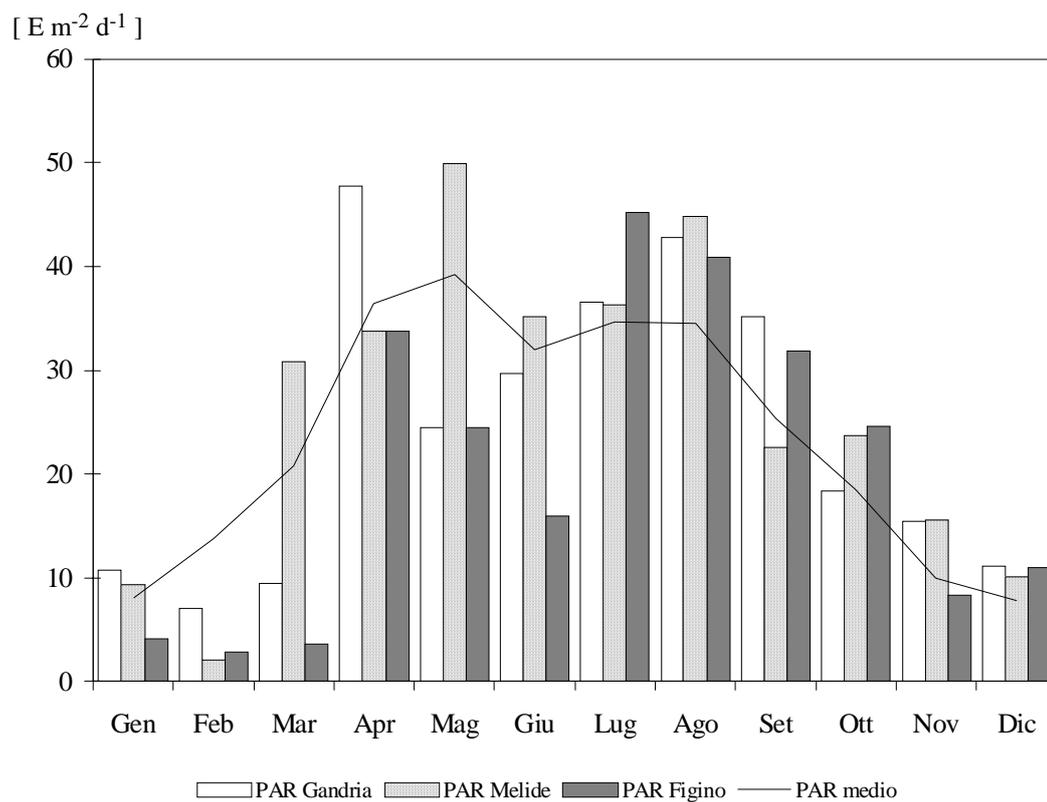


Fig. 6.4.1. Lago di Lugano, 2011: confronto tra i valori PAR medi mensili (linea continua) ed i valori PAR giornalieri dei giorni di campionamento nelle stazioni di Gandria, Melide e Figino.

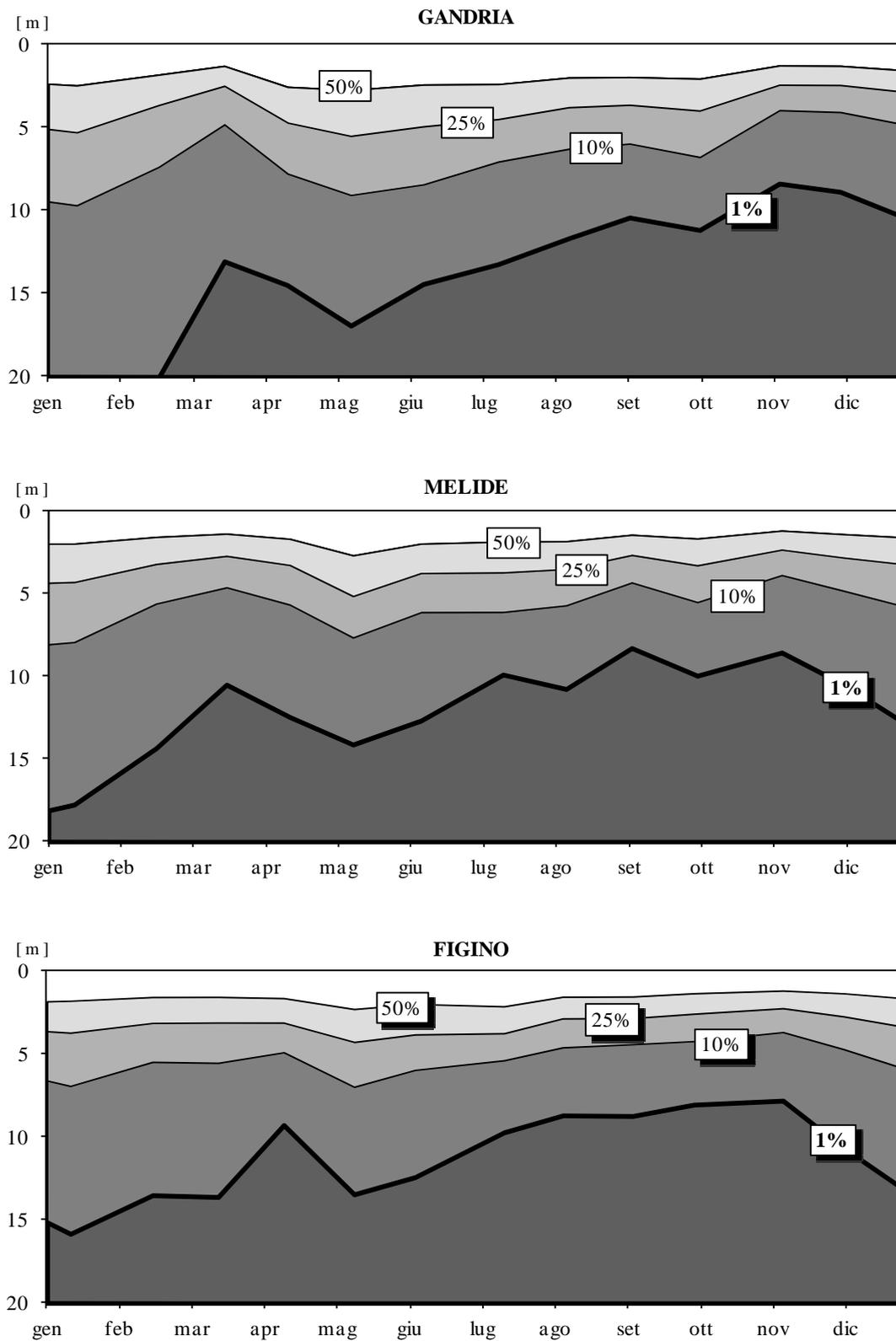


Fig. 6.4.2. Lago di Lugano, 2011: isolinee della trasmissione della radiazione fotosintetica [% PAR].

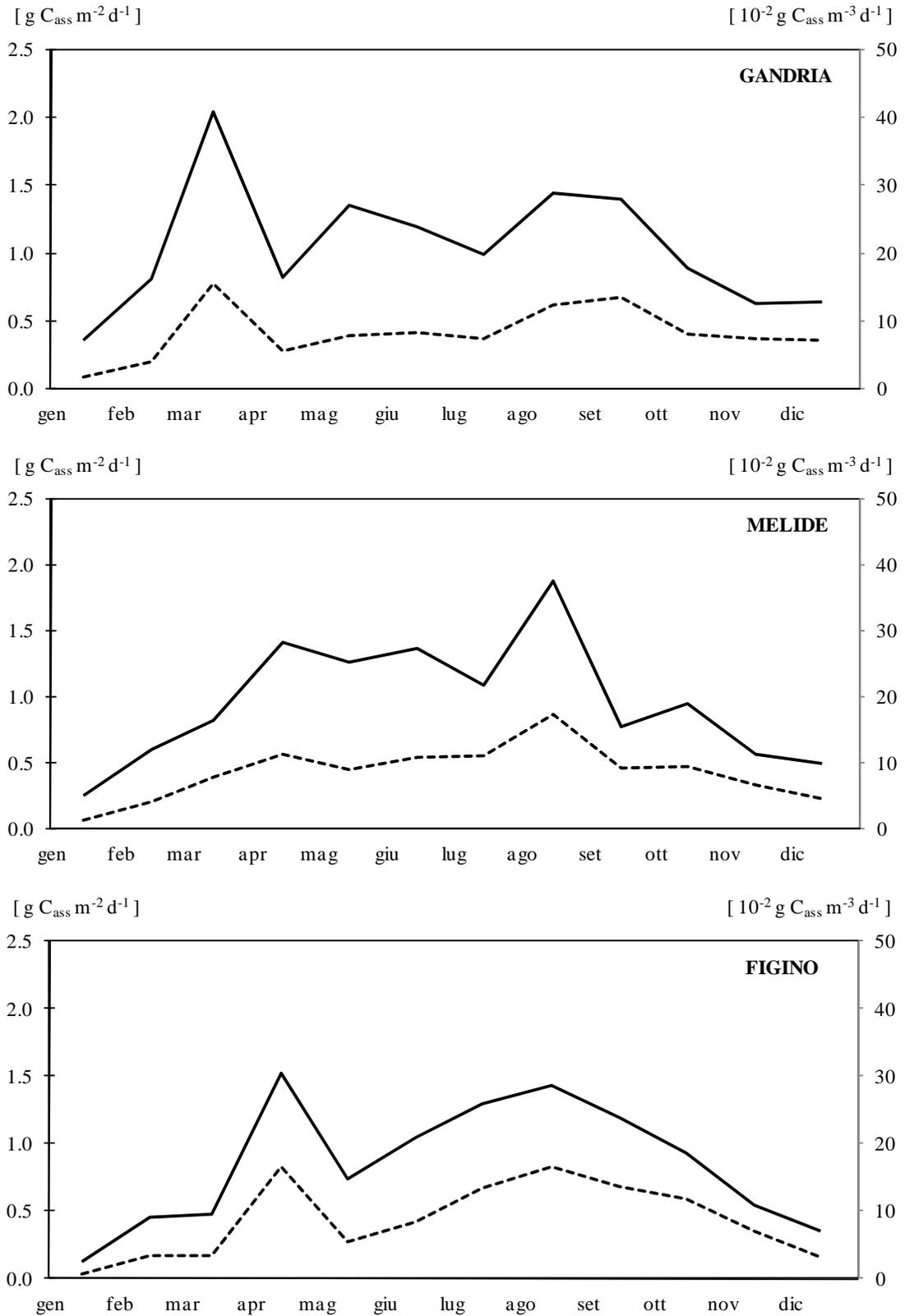


Fig. 6.4.3. Lago di Lugano, 2011: andamento della produzione primaria areale (linea continua; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e della produttività nello strato trofogeno (linea tratteggiata; $\text{g C}_{\text{ass}} \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$).

7. INDAGINI SULLO ZOOPLANCTON

Le indagini sui popolamenti zooplanctonici nelle tre stazioni principali del Lago di Lugano sono proseguite nel corso del 2011. I campionamenti sono stati effettuati secondo quanto previsto dal programma quinquennale 2008-2012, 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.

I campioni raccolti non sono però ancora stati analizzati, dal momento che a partire dal 2011 non è più stato possibile far capo a personale qualificato, in grado di svolgere l'attività di determinazione e conteggio degli organismi zooplanctonici.

Si prevede pertanto di presentare congiuntamente i risultati del biennio 2011-12 nell'ambito del prossimo rapporto annuale, che comprenderà anche una valutazione complessiva dei dati raccolti nel quinquennio 2008-2012.

8. CONCLUSIONI

Il profondo rimescolamento della colonna d'acqua verificatosi negli inverni 2004-2005 e 2005-2006 ha modificato profondamente il quadro limnologico del bacino nord del Lago di Lugano:

- abbattimento della barriera meromittica dopo 40 anni di stabilità
- improvviso raffreddamento degli strati ipolimnici ($-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ all'interno dello strato 100-286m)
- riduzione del 25 % del contenuto di fosforo (-153 t P) in due anni
- bilancio ossido-riduttivo positivo grazie all'apporto di 11'000 tonnellate di ossigeno in soli cinque mesi (ottobre 2004-marzo 2005).

Il bacino sud aveva risentito degli effetti di questa circolazione, in particolare per quanto concerne le concentrazioni di fosforo, che erano aumentate nel corso dei quattro anni successivi agli eventi di circolazione (da 43 a 48 mg P m⁻³), come conseguenza del maggiore apporto dal bacino nord. Nel corso degli anni successivi gli effetti del rimescolamento si sono parzialmente esauriti. La barriera meromittica si è lentamente ricostituita, favorita anche da intensi e prolungati fenomeni di precipitazione della calcite biogenica, che hanno convogliato ingenti quantitativi di sali negli strati profondi. Gli inverni successivi alla circolazione 2005-2006 sono risultati miti e poveri di attività eolica, combinazione di fattori che ha ridotto le probabilità di nuove circolazioni profonde. A fine 2011 l'ossiclina si è stabilizzata intorno ai 120 m di profondità, mentre prima del 2004 non superava i 90 m, a conferma del fatto che l'attuale stato di ossigenazione è migliorato rispetto al passato.

Nel 2011 le scarse precipitazioni sul bacino imbrifero del Lago di Lugano (-24 % rispetto al quinquennio precedente 2003-2007) hanno portato ad una diminuzione dei valori di portata dei tributari (-26 % sull'emissario Tresa). Anche gli apporti esterni di azoto hanno risentito di questa riduzione di deflusso (-24 %), mentre i carichi di fosforo sono risultati leggermente superiori (+4 %). Questa discrepanza sembra essere riconducibile al regime torrentizio di alcuni tributari, che trasportano durante gli eventi di piena importanti quantitativi di nutrienti, nonché agli scarichi del sistema di collettamento misto durante eventi piovosi. L'apporto totale annuo di fosforo, comprensivo della quota relativa ai tributari direttamente campionati e della quota stimata in base alle caratteristiche del bacino imbrifero, viene confrontato con il valore critico stabilito dalla CIP AIS [4] per il conseguimento della mesotrofia. Per il bacino sud il carico a lago ha ecceduto del 12 % (+2.6 t P) il carico ammissibile, mentre in quello nord è risultato leggermente inferiore (-0.8 t P; - 4 %).

Alcuni corsi d'acqua tributari hanno presentato condizioni qualitative critiche; tra questi si distinguono il Laveggio e, in particolare, il Bolletta per quanto concerne i carichi areali di azoto ammoniacale e nitroso, i composti di fosforo ed il carbonio organico. Nonostante un bacino imbrifero limitato (19.5 km²), il Bolletta convoglia a tutt'oggi il maggiore carico di fosforo fra i tributari campionati (5.0 t P a⁻¹), superiore anche agli apporti provenienti dal bacino nord, e corrispondente da solo ad un quinto dell'intero carico al bacino sud.

Nonostante l'impegno profuso dagli Enti svizzeri ed italiani deputati alla tutela dell'ambiente lacustre, e volto a ridurre gli apporti di nutrienti a lago, sovente si rilevano ancora condizioni di criticità nell'ultimo tratto dei fiumi su cui gravano gli scarichi degli impianti di depurazione. A tale scopo il nostro Istituto ha eseguito uno studio per identificare e quantificare le differenti fonti di carico veicolate a lago [6]. Da tale studio è emerso l'importante contributo degli scaricatori di piena, il cui carico di fosforo generato è responsabile di circa un quarto degli apporti totali, a fronte di un quinto proveniente dagli scarichi residui degli IDA.

Per quanto concerne il corpo lacustre, si conferma il progressivo riscaldamento dello strato ipolimnico profondo. Dopo il raffreddamento della colonna d'acqua durante la piena circolazione dell'inverno 2005-2006, nello strato 100-286 m del bacino nord la temperatura media ha ripreso a crescere con un'intensità di $0.06\text{ }^{\circ}\text{C a}^{-1}$. Anche il bilancio termico conferma per il 2011 un importante apporto netto di calore in tutti i bacini. Secondo MeteoSvizzera il 2011 è risultato l'anno più caldo presente nelle statistiche dall'inizio delle misurazioni sistematiche nel 1864, con uno scarto positivo di due gradi rispetto alla norma.

Nel bacino sud il discreto rimescolamento invernale non ha impedito alla soglia ipossica ($< 4.0\text{ g O}_2\text{ m}^{-3}$) di risalire a Melide fino a 20 m di profondità. Nel bacino nord tale limite si è confermato attorno a 75 m, a riprova di una positiva stabilità dello stato d'ossigenazione, ma nel contempo anche a conferma dell'avvenuta reinstaurazione della meromissi. All'interno degli strati anossici ($< 1.0\text{ g O}_2\text{ m}^{-3}$) è stata riscontrata la presenza di sostanze ridotte problematiche dal profilo ecologico, quali nitrito, ammonio, metano e solfuri. Questi ultimi sono stati nuovamente rilevati anche nel bacino sud (Melide).

Nel 2011 è proseguito il declino della concentrazione di fosforo all'interno del bacino nord, avviato dalla circolazione dell'inverno 2004-2005. Nello strato 0-100 m, dopo un iniziale aumento dei valori dovuto agli apporti dagli strati profondi, a partire dal 2006 (101 mg P m^{-3}) la concentrazione è scesa agli attuali 39 mg P m^{-3} ($-12\text{ mg P m}^{-3}\text{ a}^{-1}$); si tratta di un valore mai riscontrato in precedenza, simile a quello di metà degli anni '60. Considerando l'intera colonna d'acqua, la concentrazione media sale a 72 mg P m^{-3} .

Più stabile per contro la situazione nel bacino sud, dove i valori medi confermano il progressivo declino iniziato nel 2008, raggiungendo nel 2011 38 mg P m^{-3} : anche in questo bacino si tratta della concentrazione di fosforo più bassa mai registrata. Nelle due stazioni campionate i valori risultano in diminuzione lungo l'asse di deflusso delle acque del lago da Melide (42 mg P m^{-3}) a Figino (33 mg P m^{-3}).

Riguardo all'andamento annuale si osserva che, malgrado durante la primavera la prima fase di produzione algale abbia ridotto a meno di un terzo il fosforo disponibile nello strato trofogeno (0-20 m), nel corso del successivo periodo vegetativo le concentrazioni sono tornate su livelli elevati grazie ai consistenti apporti esterni (eventi alluvionali, scarichi IDA, sfioratori di piena) ed alla diffusione di nutrienti dall'ipolimnio sottostante. 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 [13].

Per quanto concerne il bacino nord, la sua particolare conformazione e l'elevato contenuto ipolimnico di fosforo potrebbero far sì che il raggiungimento l'obiettivo qualitativo (30 mg P m^{-3} sull'intera colonna d'acqua) richieda più tempo rispetto al bacino sud. Decisiva in questo senso sarà l'entità delle future circolazioni invernali, che determineranno il ricambio delle acque profonde e la conseguente rimobilizzazione ed esportazione delle riserve di fosforo. Nel bacino sud la presenza di fonti esterne di carico più consistenti e regolari, nonché le temperature epilimniche più elevate, contribuiscono all'instaurarsi di condizioni di sviluppo più favorevoli per i popolamenti algali rispetto al bacino nord. Tuttavia nel bacino sud il conseguimento degli obiettivi di riduzione del carico potrebbe consentire il rapido abbattimento della concentrazione di fosforo in ragione della scarsa capacità di accumulo e del basso tempo di ricambio del bacino.

Il quadro della biocenosi fitoplanctonica del 2011 è caratterizzato da un sostanziale mantenimento dei valori di biomassa vegetale attorno ai livelli dell'ultimo quinquennio, in tutte le stazioni i più bassi dall'inizio delle indagini regolari da parte elvetica (1980). E' da supporre la minor disponibilità di nutrienti, legata sia alla riduzione del carico esterno che dell'abbattimento delle riserve interne al corpo idrico avvenuto nel corso degli inverni 2005 e 2006, stia iniziando a mostrare i suoi effetti sia a livello della struttura che dell'entità dei popolamenti algali. In accordo con queste nuove condizioni trofiche sembrano evolvere anche i parametri direttamente correlati alla biocenosi algale, (quali la trasparenza delle acque, lo spessore dello strato trofogeno, la produzione primaria), che nel 2011 hanno confermato il miglioramento in atto. Anche se in misura meno marcata rispetto al 2010, le tre stazioni campionate presentano un livello trofico in crescita lungo l'asse di deflusso delle acque, fatta eccezione per alcuni parametri a Figino.

Fra gli aspetti più significativi del quadro fitoplanctonico del lago nel 2011 vi è da menzionare la netta ripresa delle cianofite, soprattutto nel bacino nord, a scapito delle diatomee, che mantengono valori percentuali in aumento da Gandria a Figino, in accordo con il gradiente trofico. Accanto al perdurare della scarsità di clorofite, nonostante una leggera ripresa a Figino, si registra inoltre il consolidamento delle xantofite, che nonostante la breve fase di sviluppo (aprile-maggio) dell'unica specie presente nel lago (*Tribonema sp.*) sono arrivate a costituire il 4-7% della biomassa fitoplanctonica totale annua.

Le importanti opere di pretrattamento, collettamento e di depurazione dei reflui domestici ed industriali realizzate negli ultimi 40 anni sul bacino imbrifero del Lago di Lugano, nonché una legislazione più severa in materia di protezione delle acque (ad esempio il bando del fosforo dai detersivi tessili in Svizzera nel 1986), hanno consentito il lento ma progressivo recupero qualitativo delle acque dalla situazione di ipertrofia in cui versavano all'inizio degli anni '70. La completa circolazione dell'inverno 2005-2006 ha impresso un'accelerazione importante a questo recupero e analoghi eventi meteo-climatici potrebbero ulteriormente accelerarlo in futuro. In termini d'uso il miglioramento qualitativo delle acque lacustri ha prodotto degli effetti positivi, segnatamente per quanto concerne l'approvvigionamento idrico a scopo potabile, balneabile, irriguo, termico ed industriale, l'attrattività turistica e la pesca.

Malgrado i miglioramenti conseguiti negli ultimi decenni, il Lago di Lugano risulta ancora fortemente eutrofizzato con una produzione primaria eccessiva. In confronto agli altri grandi laghi sudalpini e svizzeri è quello che presenta le maggiori criticità qualitative [14, 15, 16]. L'andamento altalenante degli apporti e del contenuto di fosforo totale nel lago, nonché un'ossigenazione costantemente critica delle acque ipolimniche (con formazione di composti ridotti indesiderati), rendono più che mai opportuno tenere sotto stretto controllo l'evoluzione di questo ecosistema lacustre.

In quest'ottica va mantenuto lo sforzo volto ad abbattere ulteriormente gli apporti esterni di fosforo per raggiungere i carichi critici prestabiliti, proseguendo nell'eliminazione delle immissioni dirette provenienti dagli abitanti rivieraschi e dagli scaricatori di piena. A tal fine sono auspicabili il completamento e l'ottimizzazione della gestione della rete delle canalizzazioni ed il mantenimento della capacità funzionale dei manufatti già realizzati, separando per quanto possibile le acque meteoriche da quelle luride. In particolare, per quanto concerne gli impianti di trattamento delle acque, è necessario che venga assicurata una gestione efficiente degli stessi.

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, 2011. Annuario idrologico del Cantone Ticino 2012.
- [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, 2011. Resoconto meteorologico 2010. Fosco Spinedi, 25 gennaio 2011.
- [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] FERRARIO L., 2009. Quantificazione e caratterizzazione dei carichi di nutrienti in entrata al lago di Lugano (Svizzera – Italia). Tesi di laurea specialistica Università degli studi dell'Insubria 2008-2009. 129 pp.
- [7] CAGGIATI G., LAGOSTENA D., BORSANI G., DELLE DONNE A. & PEREIRA A., 2001. Valutazione dello stato trofico e tecniche di risanamento dei laghi resilienti. Quaderni 3, 157 pp.
- [8] RAGOTZKIE R. A., 1978. Heat budgets of lakes. In: Lerman A., Lakes: chemistry, geology, physics. Springer, pp. 1-19.
- [9] LIVINGSTONE, D., & D.M. IMBODEN; 1989: Annual heat balance and equilibrium temperature of Lake Aegeri, Switzerland. Aquatic Sciences 51/4: 351-369.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] GÄCHTER, R., 1972. Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion: Modelle und in-situ-Messungen. Schweiz. Z. Hydrol. 34:211-244.
- [13] SIMONA, M., 2003. Winter and spring mixing depths affect the trophic status and composition of phytoplankton in the northern meromictic basin of Lake Lugano. J. Limnol., 62 (2): 190-206.

- [14] Mosello R., W. Ambrosetti, S. Arisci, R. Bettinetti, F. Buzzi, A. Calderoni, E. Carrara, R. de Bernardi, S. Galassi, L. Garibaldi, B. Leoni, M. Manca, A. Marchetto, G. Morabito, A. Oggioni, R. Pagnotta, D. Ricci, M. Rogora, N. Salmaso, M. Simona, G. Tartari, M. Veronesi e P. Volta, 2010. Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. *Biologia Ambientale*, 24 (1): 167-177, 2010. Atti XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008.
- [15] EAWAG, 2010. Eutrophicated lakes: a slow recovery. *EWAG News*, 68, 36 pp.
- [16] LIECHTI P., 1994. Der Zustand der Seen in der Schweiz. BUWAL, Schriftenreihe Umwelt, 237, 159 pp.

**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