

ISSN: 1013-8099

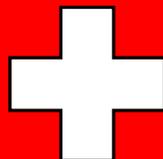
Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore
Aspetti limnologici

Programma quinquennale 1998 – 2002
Campagna 1999

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto Italiano di Idrobiologia
Verbania Pallanza



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

Ist. Ital. Idrobiol. - C.N.R. 2000. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 1999.* Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 71 pp.

ISSN: 1013-8099

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore
Aspetti limnologici

Programma quinquennale 1998 - 2002
Campagna 1999

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto Italiano di Idrobiologia
Verbania Pallanza

RIASSUNTO

Questo volume, il 22° della serie annuale, raccoglie i dati più significativi delle ricerche limnologiche condotte nel 1999 sul Lago Maggiore dal C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia per conto della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

SUMMARY

This volume, the 22nd of the annual series started in 1978, presents the most significant results emerging from the limnological research carried on Lago Maggiore during 1999 in the framework of an agreement between the C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia and the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

As in the previous years analyses have been performed following standardized methodologies thus allowing a correct comparison among the different sets of yearly data to describe the trends in the trophic conditions of the lake. The results indicate that L. Maggiore in last years has reached an almost stable situation close to the upper limits of oligotrophy

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
	<i>(R. de Bernardi)</i>	
1.1.	Prefazione	1
1.2.	Inquadramento geografico	2
1.3.	Modalità di campionamento e metodi di analisi	3
1.4.	Unità di misura	4
2.	INDAGINI SUL BACINO IMBRIFERO	5
2.1.	Caratteristiche idrologiche	5
	<i>(A. Carollo, M. Ciampittiello, V. Libera, A. Rolla)</i>	
2.1.1.	<u>Pluviometria del bacino imbrifero</u>	5
2.1.2.	<u>Deflussi</u>	8
2.2.	Meteorologia dell'areale lacustre	11
	<i>(W. Ambrosetti, L. Barbanti, A. Ferrari e A. Rolla)</i>	
2.2.1.	<u>Radiazione solare</u>	11
2.2.2.	<u>Temperatura atmosferica</u>	12
2.2.3.	<u>Evaporazione</u>	13
2.2.4.	<u>Intensità e direzione del vento</u>	13
2.3.	Apporti chimici dai tributari	15
2.3.1.	<u>Caratteristiche chimiche e chimico fisiche</u>	15
	<i>(A. Calderoni, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
2.3.2.	<u>Carichi chimici</u>	21
	<i>(A. Calderoni, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
2.3.3.	<u>Carbonio organico totale (TOC)</u>	30
	<i>(R. Bertoni, C. Callieri e M. Contesini)</i>	
3.	INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO	31
3.1.	Limnologia fisica	31
	<i>(W. Ambrosetti, L. Barbanti, A. Ferrari e A. Rolla)</i>	
3.1.1.	<u>Livello del lago</u>	31
3.1.2.	<u>Trasparenza delle acque lacustri</u>	32
3.1.3.	<u>Temperatura delle acque lacustri</u>	32
3.1.3.1.	Acque superficiali.....	32
3.1.3.2.	Acque profonde.....	34
3.1.4.	<u>Ossigenazione delle acque lacustri</u>	35
3.1.5.	<u>Bilancio termico</u>	35
3.1.6.	<u>Profondità di mescolamento</u>	38
3.2.	Chimica lacustre	41
	<i>(A. Calderoni, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
3.2.1.	<u>Chimismo di base</u>	41
3.2.2.	<u>Composti dell'azoto</u>	43
3.2.3.	<u>Composti del fosforo</u>	45
3.2.4.	<u>Ossigeno disciolto</u>	46
3.2.5.	<u>Silicati reattivi</u>	48
3.3.	Popolamenti planctonici	49
3.3.1.	<u>Indagini sul fitoplancton</u>	49
	<i>(G. Morabito, D. Ruggiu e P. Panzani)</i>	
3.3.1.1.	Struttura dei popolamenti.....	49
3.3.1.2.	Variazioni della biomassa.....	50
	<i>(G. Morabito)</i>	
3.3.1.3.	Produzione primaria.....	53
3.3.2.	<u>Indagini sullo zooplancton</u>	57
	<i>(M. Manca, N. Cavicchioni e P. Alemani)</i>	

3.4.	Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi	62
	<i>(R. Bertoni, C. Callieri e M. Contesini)</i>	
3.4.1.	<u>Carbonio Organico Totale e Particellato (TOC e POC) e popolamenti batterici nel 1999</u>	62
4.	CONCLUSIONI	65
	<i>(R. de Bernardi)</i>	
	BIBLIOGRAFIA	69
	ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI	70
	APPENDICE	71

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Questo volume presenta i risultati più significativi delle ricerche limnologiche condotte nel 1999 sul Lago Maggiore nell'ambito di indagini a lungo termine promosse dalla Commissione Internazionale per la protezione delle acque Italo-Svizzere sin dal 1978.

In conformità con i programmi e con continuità temporale, in analogia a quanto fatto negli anni precedenti, le indagini svolte hanno preso in considerazione i principali parametri ambientali e le principali componenti ecosistemiche atte a descrivere la situazione ambientale, soprattutto sotto l'aspetto trofico, di questo importante corpo lacustre e la sua evoluzione recente anche quale conseguenza degli interventi di risanamento realizzati negli ultimi decenni.

I risultati ottenuti hanno posto in luce come il 1999 debba per alcuni aspetti essere considerato un anno peculiare. Infatti, se da una parte i dati confermano che il Lago Maggiore ha ormai raggiunto condizioni di oligo-mesotrofia che vanno sempre più stabilizzandosi, dall'altra nell'inverno di questo anno si è verificato il processo di completo mescolamento delle sue acque. Questo evento, eccezionale per il Lago Maggiore, ha determinato una riossigenazione delle acque di fondo ma al tempo stesso la superficializzazione di acque profonde più ricche in nutrienti, con conseguenze a livello chimico e biologico sinteticamente ma chiaramente descritte e discusse nei vari capitoli.

Nel presente rapporto sono illustrati e discussi solamente i dati limnologici; quelli relativi al DDT sono invece oggetto di un'altra specifica pubblicazione, in stampa a cura della Commissione per la protezione delle acque Italo-Svizzere.

1.2. Inquadramento geografico

SUDDIVISIONI AMMINISTRATIVE DEL BACINO IMBRIFERO

Province (I): Novara e V.C.O. (Piemonte); Varese e Como (Lombardia)

Cantoni (CH): Grigioni, Ticino e Vallese

COORDINATE GEOGRAFICHE DEL CENTRO DEL LAGO

Latitudine: 45° 57' N

Longitudine: 3° 47' W (da Monte Mario)

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DELLA CONCA LACUSTRE

Quota media del lago	194 m s.l.m.	Prof. criptodepres.	176 m
Lunghezza del thalweg	66 km	Volume	37,502 km ³
Larghezza massima	10 km	Profondità media	176,5 m
Area ⁽¹⁾	212,5 km ²	Sviluppo del volume	1,44
Larghezza media	3,9 km	Perimetro	170 km
Profondità massima	370 m	Indice di sinuosità	3,07
Tempo teorico di rinnovo delle acque: circa 4 anni			

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO IMBRIFERO

Altitudine massima	4,633 m s.l.m.	Larg. media (dal lago)	37,6 km
Altitudine media	1,270 m s.l.m.	Indice di compattezza	1,58
Area (lago incluso) ⁽²⁾	6,599 km ²	Rapporto fra aree del bacino imbrifero e del lago	31,1

(1) 169,9 km² in territorio italiano e 42,6 km² in territorio svizzero.

(2) 3.229,5 km² in territorio italiano e 3.369,5 km² in territorio svizzero.

1.3. Modalità di campionamento e metodi di analisi

Nel corso della campagna di indagini limnologiche condotta nel 1999 sul Lago Maggiore, le metodologie utilizzate per la raccolta ed il trattamento dei campioni, nonché le metodiche analitiche specifiche seguite per la loro valutazione sia in termini qualitativi che quantitativi, sono state le stesse utilizzate in occasione delle precedenti campagne.

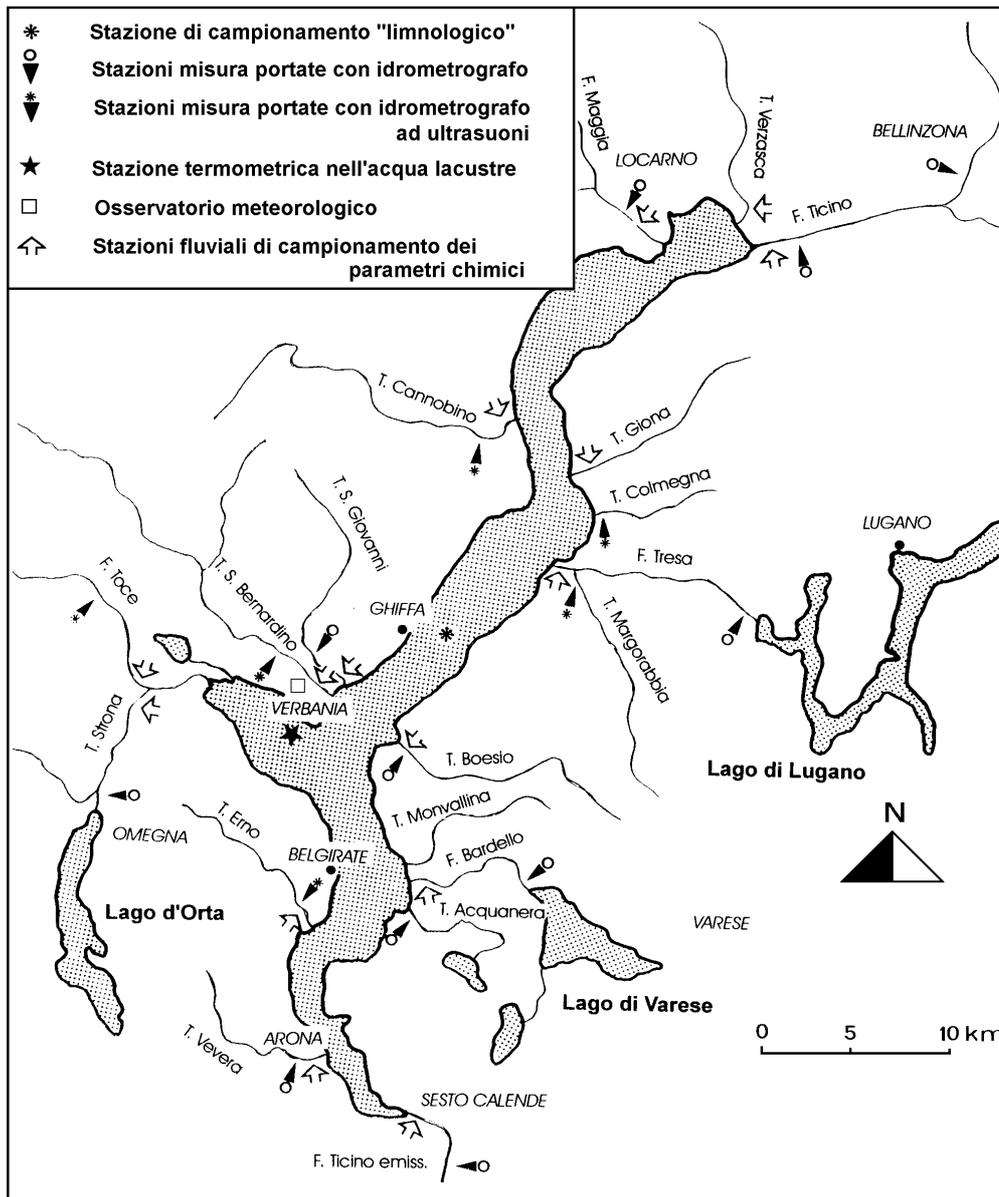


Fig. 1.3. Lago Maggiore, 1999. Ubicazione delle stazioni di campionamento.

1.4. Unità di misura

PARAMETRI FISICI	SIMBOLO	UNITA' DI MISURA
Temperatura atmosferica	T _a	[°C]
Precipitazioni	P	[mm]
Evaporazione	E	[mm]
Percorso del vento	W	[km]
Direzione del vento	-	1/16 rosa dei venti
Portata	Q	[m ³ s ⁻¹]
Altezza idrometrica	H	[m s.l.m.]
Trasparenza	-	[m]
Temperatura dell'acqua del lago	T _w	[°C]
Radiazione solare globale	Q _s	[cal cm ⁻²]
Radiazione solare riflessa	Q _r	[cal cm ⁻²]
Radiazione ad onda lunga	Q _b	[cal cm ⁻²]
Calore di evaporazione	Q _e	[cal cm ⁻²]
Calore di conduzione	Q _h	[cal cm ⁻²]
Calore accumulato dal lago	Q _t	[cal cm ⁻²]
Flussi di calore	-	[cal cm ⁻² d ⁻¹]
PARAMETRI CHIMICI		
Ossigeno disciolto	O ₂	[mg O ₂ l ⁻¹]
Fosforo totale	TP	[µg P l ⁻¹]
Fosforo reattivo	RP	[µg P l ⁻¹]
Azoto ammoniacale	N-NH ₄	[µg N l ⁻¹]
Azoto nitrico	N-NO ₃	[µg N l ⁻¹]
Azoto inorganico	N _{in.}	[µg N l ⁻¹]
Azoto organico	N _{org.}	[µg N l ⁻¹]
Azoto totale	TN	[µg N l ⁻¹]
Apporti areali	-	[mg m ⁻³ a ⁻¹]
Carichi	-	[t a ⁻¹] [g d ⁻¹]
Conducibilità elettrica specifica	-	[µS cm ⁻¹] (a 20°C)
Concentrazione idrogenionica	pH	[u]
Alcalinità totale	-	[meq l ⁻¹]
Silicati reattivi	SiO ₂	[mg Si l ⁻¹]
PARAMETRI BIOLOGICI		
Clorofilla	chl- <i>a</i>	[µg l ⁻¹]
Feofitina	-	[mg m ⁻³]
Biomassa fitoplancton	-	[mm ³ m ⁻³]
Biomassa zooplancton	-	[cm ³ m ⁻³]
Densità zooplancton	-	[ind m ⁻³]
Concentrazione metalli	-	[mg kg ⁻¹]
Particellato totale (Seston)	-	[mg l ⁻¹]
Carbonio organico particellato	POC	[µg l ⁻¹]
Carbonio organico totale	TOC	[µg l ⁻¹]
Popolamento batterico eterotrofo	CMI	[cell 10 ⁶ ml ⁻¹]

2. INDAGINI SUL BACINO IMBRIFERO

2.1. Caratteristiche idrologiche

2.1.1. Pluviometria del bacino imbrifero

Sono state prese in considerazione 118 località di misura delle precipitazioni, di esse sono stati reperiti i dati completi di 88 stazioni; 20 non hanno fornito informazioni e per 10 é stato possibile acquisire un numero incompleto di valori pluviometrici. I dati sono stati raccolti dalle reti idroclimatiche dell'Istituto Italiano di Idrobiologia CNR, del Servizio Meteorologico Svizzero, della Società Blennio e Maggia (Ofima), dell'ENEL, del Servizio Idrografico del Cantone Ticino, del Servizio Meteorologico della Regione Piemonte, della Società Sisma Elettrica, del Centro Geofisico Prealpino, del CCR Euratom, della Montedison, del Consorzio del Ticino.

I totali mensili ed annui delle precipitazioni sono raccolti nella Tab.2.1.1. che alla base riporta le medie di bacino per il 1999, per i periodi 1978-98 e 1921-77: Questi ultimi tre tipi di dati sono stati rappresentati nella figura 2.1.1a.

Tab. 2.1.1. Lago Maggiore 1999. Totali pluviometrici mensili e annuali nel bacino imbrifero (mm).

Stazione	Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
AIROLO	Ticino immissario	1139	155	153	144	120	182	300	105	168	314	294	81	120	2136
PIOTTA	Ticino immissario	1007	87	86	112	142	117	278	98	136	329	201	43	94	1723
FAIDO	Ticino immissario	760	96	73	126	140	113	294	135	180	265	257	58	85	1822
COMPROVASCO	Ticino imm.-Brenno	575	72	33	122	155	122	244	119	248	268	194	43	69	1689
BIASCA	Ticino immissario	291	110	24	112	172	126	280	154	282	519	300	59	84	2223
S. BERNARDINO (Tunnel)	Ticino imm.-Moesa	1639	133	66	139	228	164	330	157	370	530	323	73	126	2639
MESOCO	Ticino imm.-Moesa	815	79	43	114	125	165	263	124	250	332	231	48	99	1873
BRAGGIO	Ticino imm.-Moesa	1320	70	18	101	150	195	260	106	346	349	238	70	79	1982
GRONO	Ticino imm.-Moesa	350	82	14	109	129	170	266	111	274	323	212	66	66	1822
BELLINZONA	Ticino immissario	225	63	7	139	125	194	236	118	364	379	274	77	65	2041
MAGADINO (Aeroporto)	Lago Maggiore	197	82	0	139	235	190	322	133	325	475	362	111	58	2432
VIRA GAMBAROGNO	Lago Maggiore	210	90	2	129	216	203	275	87	293	449	277	104	50	2175
CIMETTA	Lago Maggiore	1672	64	58	90	78	173	251	179	221	471	219	85	31	1920
LOCARNO MONTI	Lago Maggiore	366	99	13	125	167	194	300	162	322	545	265	127	49	2368
BRISSAGO	Lago Maggiore	280	94	4	176	245	228	264	106	266	649	320	145	45	2542
MALVAGLIA	Ticino imm.-Brenno	923	75	42	101	134	151	290	136	236	404	183	64	78	1894
LODRINO	Ticino immissario	275	80	16	90	136	125	314	83	314	427	243	50	73	1951
GNOSCA	Ticino immissario	247	79	14	110	116	167	214	93	294	360	222	52	67	1788
GIUBIASCO	Ticino immissario	215	82	5	136	129	213	232	110	367	350	285	80	54	2043
ALPE PREDASCA	Ticino imm.-Brenno	1735													
LUZZONE DIGA	Ticino imm.-Brenno	1617	122	115	106	165	204	393	192	305	314	281	77	119	2393
AZZONACALDA	Ticino imm.-Brenno	1775	88	135	75	120	123	339	122	223	246	230	55	97	1853
PASSO MUAZ	Ticino imm.-Brenno	1698	93	75	129	155	173	343	151	275	281	271	51	98	2095
OLIVONE	Ticino imm.-Brenno	905	83	62	109	152	142	297	96	235	226	192	39	82	1715
COPERA	Lago Maggiore	665	96	5	175	178	259	244	86	371	433	302	102	59	2310
VERBANO CENTRALE	Lago Maggiore	202	115	3	158	272	217	191	112	292	608	323	115	41	2447
LAGO DELIO	Lago Maggiore	835													
PIANO DEI CAMOSCI	Toce	2450	21	29	58	37	157	238	96	158	295	114	21	2	1226
L. TOGGIA	Toce	2170	172	203	123	114	130	196	68	94	192	142	46	100	1580
L. SABBIONE	Toce	2462	52	40	59	43	128	241	69	124	275	112	28	67	1238
L. MORASCO	Toce	1820	114	145	109	103	182	250	93	120	278	271	76	111	1852
L. VANNINO	Toce	2175	51	49	62	81	106	204	76	121	216	169	58	84	1277
PONTE FORMAZZA	Toce	1300	130	85	125	107	156	161	69	113	254	141	48	65	1454
CRODO (Ist. Agrario)	Toce	560	107	15	150	117	30	188	78	76	219	138	67	34	1219
CREVOLADOSSOLA	Toce	303	145	9	212	155	217	122	83	83	152	166	99	46	1489
DOMODOSSOLA (Nosere)	Toce	252	142	4	180	129	244	140	61	85	254	136	76	34	1485
DOMODOSSOLA-CALICE	Toce	240													
PALLANZENO	Toce	240	80	3	167	20	201	105	101	149	253	161	104	31	1375
CODELAGO	Toce-Devero	1885	140	102	167	116	214	238	79	131	294	208	59	79	1827
DEVERO (Reg. Piem.)	Toce-Devero	1640	40	82	89	55	217	243	116	128	283	173	72	74	1572
L. D'AGARO	Toce-Devero	1600	138	76	112	98	213	194	132	99	184	223	60	49	1578
SIMPLON DORF	Toce-Diveria	1495	71	81	145	100	194	134	87	82	241	115	148	68	1466
LAGO D'AVINO	Toce-Diveria	2240													
S. DOMENICO	Toce-Diveria	1300	45	88	90	48	280	187	73	77	252	134	75	59	1408
AGRASINA	Toce-Isorno	1370	126	35	121	140	225	167	161	128	240	201	95	48	1687
L. LARECCHIO	Toce-Isorno	1840	122	26	113	158	215	150	182	143	330	226	100	47	1812
CIPATA	Toce-Isorno	937													
PONTETTO	Toce-Isorno	348	98	13	122	132	207	103	111	112	246	140	76	41	1401
DRUOGNO	Toce-Melezzo occ.	831	106	3	152	153	203	-	78	123	390	144	87	24	
MAGLIETTO	Toce-Melezzo occ.	657													
Lago PAIONE Superiore	Lago-Bogna	2269													
PIZZANCO	Toce-Bogna	1142	56	10	144	120	222	-	98	95	401	184	100	54	

Tab. 2.1.1. (continuazione)

L. ALPE CAVALLI	Toce-Ovesca	1510	78	24	193	152	175	238	157	66	244	176	118	23	1644
ALPE CHEGGIO	Toce-Ovesca	1460	45	14	115	69	224	259	105	73	299	163	103	13	1482
L. CAMPOSECCO	Toce-Ovesca	2281	101	22	147	74	179	178	91	72	235	126	88	46	1359
L. CINGINO	Toce-Ovesca	2281	34	-	-	-	132	279	62	78	213	89	38	33	-
L. CAMPLICCIOLI	Toce-Ovesca	1320	135	20	192	182	216	225	116	91	336	190	112	78	1893
ROVESCA	Toce-Ovesca	760	-	3	100	107	154	100	77	70	164	136	95	-	-
MACUGNAGA (P.sso Moro)	Toce-Anza	2820	27	20	37	20	516	173	85	97	140	-	20	-	-
MACUGNAGA (Fornarelli)	Toce-Anza	1185	34	17	159	103	200	181	79	105	333	146	87	13	1457
CEPPO MORELLI (Battigio)	Toce-Anza	540	58	7	79	102	149	130	40	78	249	92	48	55	1087
BANNIO ANZINO	Toce-Anza	687	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FORNO PREIA	Toce-Strona	880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SAMBUGHETTO	Toce-Strona	800	159	2	244	215	281	151	122	161	-	-	-	-	-
OMEGNA	Toce-Strona	298	124	1	205	198	227	183	81	191	304	201	129	38	1882
BOLETO	Toce-L. d'Orta	695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ORTA - Sacro Monte	Toce-L. d'Orta	380	101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONTE MESMA	Toce-L. d'Orta	575	-	-	-	-	-	-	-	107	216	196	-	29	-
MOTTARONE (Baita CAI)	Toce-L. d'Orta	1302	46	0	177	205	285	238	126	208	382	235	159	13	2074
ROBIEI	Maggia	1898	181	179	224	223	283	327	101	170	475	380	133	169	2845
CEVIO	Maggia	418	88	53	170	168	182	235	153	169	354	214	76	64	1926
BOSCO GURIN	Maggia	1505	116	169	188	200	205	279	150	169	367	230	105	111	2289
MOSOGNO	Maggia	760	95	20	190	240	243	201	143	178	596	282	112	58	2358
CORTINO CAVAGNOLI	Maggia	2226	119	193	156	193	265	338	101	148	456	419	114	131	2633
CAVERGNO CENTRALE	Maggia	540	73	62	169	230	238	303	106	172	342	265	80	83	2123
PIANO DI PECCIA	Maggia	1020	104	74	147	136	202	392	158	144	338	292	78	103	2168
SAMBUCO DIGA	Maggia	1471	152	106	106	124	164	317	113	147	265	255	57	120	1926
FUSIO	Maggia	1300	140	106	179	85	174	292	86	150	340	239	60	121	1972
MAGGIA	Maggia	327	50	12	169	226	200	195	134	219	438	294	86	52	2075
PALAGNEDRA	Maggia	498	142	10	196	250	232	228	136	216	700	326	122	41	2599
CAMEDO	Maggia	550	113	8	202	251	176	232	140	200	711	328	127	56	2544
SONOGNO	Verzasca	925	93	44	154	204	226	324	158	285	521	329	88	90	2516
FRASCO	Verzasca	890	56	23	136	176	218	97	173	300	563	321	83	81	2227
AROSIO	Tresa	860	82	0	134	173	237	288	111	236	230	334	102	54	1981
ISONE	Tresa	810	111	8	168	186	242	239	62	374	389	348	93	44	2264
LUGANO	Tresa	273	62	1	113	123	157	191	134	301	233	235	97	53	1700
CRANA TORRICELLA	Tresa	1002	82	0	187	234	315	322	146	341	317	509	115	52	2620
PONTE TRESA	Tresa	274	73	0	137	175	181	248	107	226	368	266	106	49	1936
STABIO	Tresa	353	75	0	142	113	110	215	90	118	170	198	122	57	1410
SOMAZZO	Tresa	580	76	0	125	127	114	171	69	111	180	205	128	0	1306
MENDRISIO	Tresa	290	93	0	117	107	110	222	65	135	171	186	95	56	1357
CREVA	Tresa	233	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GERMIGNAGA	Tresa	203	94	0	120	141	194	158	127	259	322	311	106	43	1875
CADERO VEDDASCA	Giona	570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FALMENTA	Cannobino	662	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CURSOLO O. (M.te Pratini)	Cannobino	940	145	3	187	244	255	222	100	202	618	233	128	31	2368
LUNECCO	Cannobino	415	113	2	248	293	235	196	111	227	713	276	142	39	2595
CANNOBIO	Cannobino	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOTTAC	S. Bernardino	1695	46	3	81	63	682	218	123	201	520	273	120	16	2346
IN LA PIANA	S. Bernardino	960	123	5	260	268	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CICOGNA	S. Bernardino	770	147	2	292	290	269	198	211	194	651	-	-	-	-
MIAZZINA	S. Bernardino	721	83	0	174	189	211	169	156	167	366	219	101	14	1849
UNCHIO	S. Bernardino	283	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIANCAVALLO	S. Giovanni	1240	96	1	150	169	277	222	156	327	420	286	161	41	2306
MERGOZZO	L. di Mergozzo	195	59	0	227	239	233	170	133	163	560	210	140	46	2180
CANDOGLIA	Toce	201	34	0	77	69	191	134	76	109	424	112	52	5	1283
PIAN DI SOLE	Lago Maggiore	920	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PALLANZA	Lago Maggiore	211	109	0	192	187	241	159	97	177	346	228	123	43	1902
CAMPO DEI FIORI	Bardello	1226	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S. MARIA DEL MONTE	Bardello	881	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GAVIRATE	Bardello	284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VARESE (Ist. Geofisico)	Bardello	410	95	1	142	94	143	254	57	141	155	251	124	51	1508
AZZATE	Bardello	320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOMERARO	Lago Maggiore	470	106	0	240	225	256	180	84	133	355	188	131	40	1938
ISPRA	Lago Maggiore	200	101	1	115	81	139	107	81	104	73	178	79	38	1097
MOTTARONE VETTA	Erno	1491	47	0	88	124	212	193	95	152	323	147	81	12	1474
ARONA	Vevera	334	118	0	159	114	167	127	66	72	147	175	125	31	1301
MIORINA	Ticino emissario	195	109	0	100	70	97	128	30	83	137	184	107	15	1060
	1999		94	36	143	150	201	227	110	186	346	229	89	59	1870
	1978 - 98		83	63	108	186	215	167	131	150	197	207	105	75	1691
	1921 - 1977		63	75	103	163	199	168	142	172	180	183	178	83	1709

Il totale annuo dell'intera regione di 1870 mm é superiore di circa il 10% rispetto alle medie dei periodi pluriennali di confronto. Il massimo puntuale della pioggia annua si é verificato a Robiei nell'alta Valle Maggia con 2845mm, ma occorre segnalare che in 9 stazioni si superano i 2500mm. Il minimo assoluto del territorio per il 1999 si é manifestato nella porzione meridionale del Lago Maggiore in località Miorina con 1060mm; le stazioni con più modeste precipitazioni, inferiori ai 1500 m, sono in numero di 22.

La carta delle isoiete annue (Fig. 2.1.1b.), mostra in complesso una fascia di elevate precipitazioni, che dalla Valle Strona interessa quindi i bacini del S. Bernardino e del Cannobino per poi piegare verso NW nella Valle Maggia. Peculiare nel 1999 é il nucleo di elevata precipitazione dell'alta valle della Moesa che raggiunge il massimo a S. Bernardino Tunnel con oltre 2600 mm.

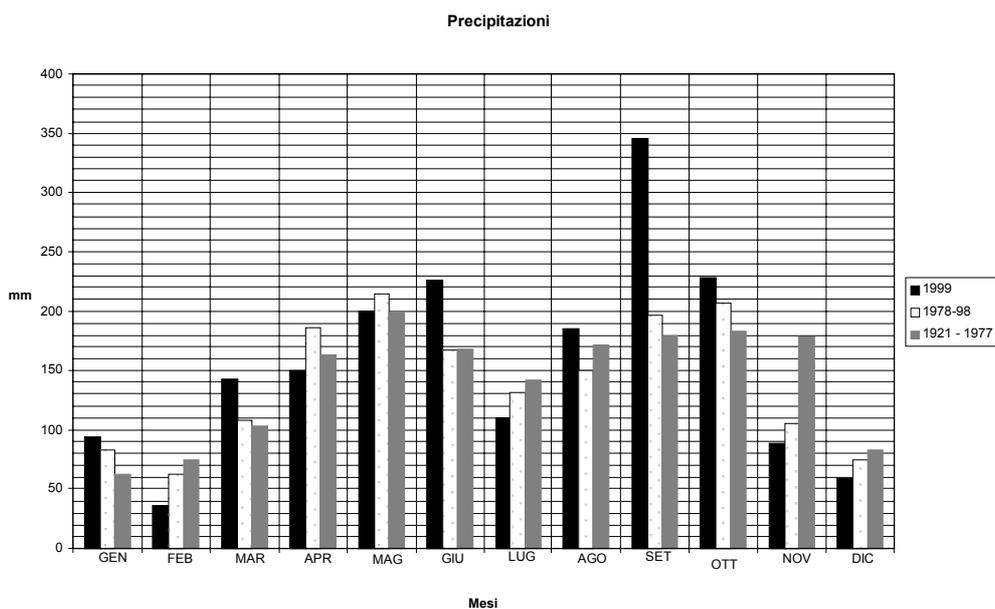


Fig. 2.1.1a. Lago Maggiore 1999. Regime delle precipitazioni dell'intero bacino.

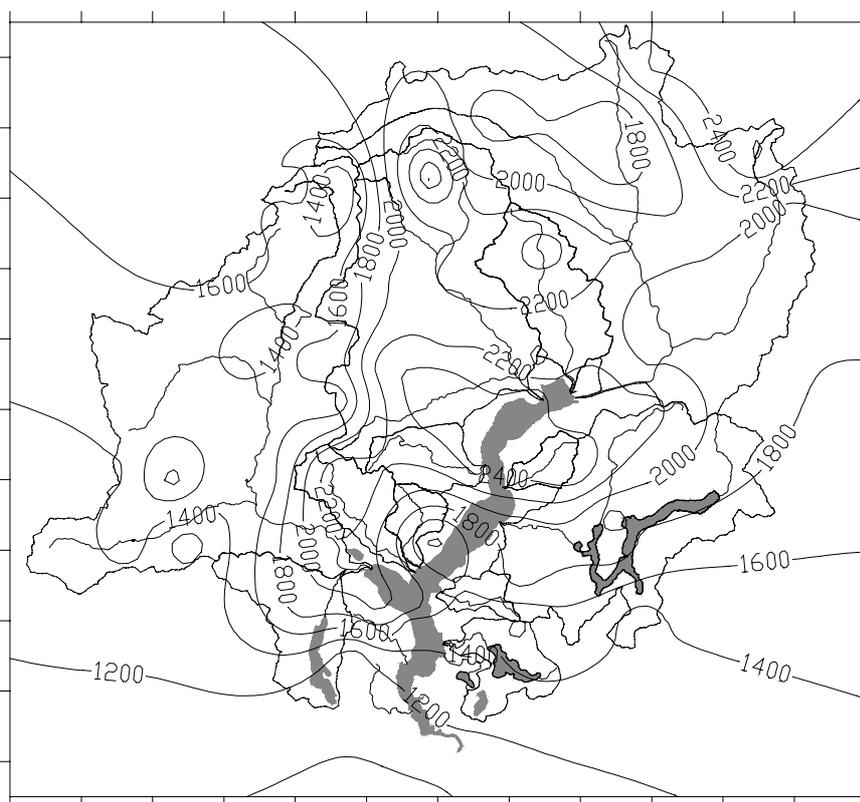


Fig. 2.1.1b. Lago Maggiore 1999. Carta delle isoiete annue (mm).

Le precipitazioni più modeste si riscontrano nella Valle del Toce con piogge in complesso inferiori ai 1400 mm e nella porzione meridionale della regione in studio con precipitazioni minori di 1200 mm.

Il regime delle precipitazioni (Fig. 2.1.1a.) presenta una doppia oscillazione come nei periodi di confronto, ma con un'entità ben più cospicua nel trimestre Agosto-Ottobre (oltre il 40% della pioggia annua). Il massimo più elevato si manifesta a Settembre con 346 mm dato notevole ma superato più volte nella serie storica di questo mese: superiori seppure in misura più contenuta sono i dati di Gennaio, Marzo e Giugno 1999.

Inferiori ai valori medi di entrambi i periodi di confronto sono i dati relativi a Novembre, Dicembre, Febbraio ed Aprile con il minimo assoluto a Febbraio con soli 36 mm.

2.1.2. Deflussi

Nel 1999 sono continuate le rilevazioni dei deflussi dei principali immissari e dell'emissario del Lago Maggiore. Le rilevazioni, ad eccezione del Boesio, interrottesi ad Agosto per motivi tecnici, sono complete per tutti gli altri corsi d'acqua e sono state effettuate dalla rete dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, del Servizio Idrologico e Geologico Nazionale Svizzero, dai Consorzi del Bardello e del Ticino. La parte emersa del bacino idrografico del Lago Maggiore soggetta a misure dirette di deflusso è pari a circa il 70% della sua intera estensione. Le principali caratteristiche morfometriche dei bacini sono raccolte nella tabella 2.1.2a.

Tab. 2.1.2a. Lago Maggiore 1999. Bacini idrografici dei principali immissari e dell'immissario: regioni di appartenenza, aree (km²) e caratteristiche altimetriche (m).

Corso d'acqua	Regione Amministrativa	Area sez. misura	Quota sez. misura	Area totale	Altitudine massima	Altitudine mediana
Ticino immissario	Canton Ticino	1515	220	1616,21	3402	1720
Maggia	Ticino-Piemonte	926	202	926,10	2864	1550
Cannobino	Piemonte	107	215	110,42	2193	1057
S. Giovanni	Piemonte	55	226	60,71	2156	914
S. Bernardino	Piemonte	125	225	130,84	2301	1228
Toce	Piemonte	1532	198	1774,11	4633	1570
Niguglia	Piemonte	115,7	289	115,72	1643	595
Erno	Piemonte	25	220	25,64	1491	657
Vevera	Piemonte	21	196	21,43	912	449
Bardello	Lombardia	111,7	238	134,27	1227	284
Boesio	Lombardia	45	197	45,37	1235	501
Margorabbia	Lombardia	94,5	197	94,59	1226	490
Tresa	Ticino-Lomb.	615	271	754,20	2245	650
Ticino emissario	Lomb.-Piemonte	6599	191	6599	4633	1283

Accanto ai dati medi mensili ed annui del 1999 nella tabella 2.1.2b. sono raccolti i valori di portata media pluriennali riferiti al periodo comune 1978-98 e a intervalli temporali precedenti.

Quale sintesi della situazione idrologica regionale la portata media annua del 1999 con i suoi 311,1 m³s⁻¹ è superiore di circa il 10% rispetto alle medie dei periodi di osservazione antecedenti al 1999. Per istituire un corretto confronto basato su un intervallo di tempo comune, sono stati considerati i deflussi del 1999 e quelli medi del periodo di osservazione 1978-98. Tutti i grandi bacini dal Ticino Immissario al Toce, alla Tresa presentano, per l'anno in studio, una portata superiore di circa il 20%, mentre per i piccoli bacini, ad eccezione del Cannobino e del Margorabbia, i deflussi del 1999 sono inferiori a quelli medi del periodo di confronto.

Tab. 2.1.2b. Portate medie mensili ed annue del 1999 e dei periodi pluriennali di confronto.

Corso d'acqua	Periodo	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
TICINO IMM.	1999	26,50	32,40	37,90	46,80	122,00	134,00	75,30	90,50	134,00	148,00	72,50	41,80	80,14
	1978-98	32,45	31,27	36,93	55,58	107,50	121,74	98,76	64,06	74,20	80,85	48,68	32,78	65,63
	1921-74	28,00	27,30	31,00	52,30	108,00	140,00	107,00	82,90	80,00	70,90	61,10	35,80	68,70
CANNOBINO	1999	1,46	1,06	4,65	8,21	9,70	4,08	2,17	4,98	14,31	8,64	3,40	0,63	5,27
	1978-98	2,14	2,10	4,31	8,29	9,30	6,94	4,50	3,12	6,31	8,42	3,82	2,37	5,14
S. GIOVANNI	1999	0,43	0,24	1,18	2,40	2,86	1,11	0,88	1,44	4,08	3,76	2,15	0,58	1,76
	1978-98	1,40	1,18	2,18	4,22	4,12	3,46	2,36	1,32	3,23	4,58	2,33	1,28	2,64
S. BERNARDINO	1999	1,20	0,81	4,56	9,06	13,56	5,07	2,56	3,84°	18,89	14,22	7,37	2,03	7,21
	1978-98	2,34	2,13	5,23	12,52	16,01	9,23	5,28	3,80	9,43	12,29	5,57	2,72	7,23
	1955-69	2,10	2,92	4,74	9,76	10,60	10,50	4,92	5,85	8,93	9,17	9,42	3,76	6,88
TOCE	1999	23,40	23,60	35,20	60,00	167,50	149,70	80,60	65,30	145,90	101,50	69,90	37,60	80,02
	1978-98	27,32	27,49	36,69	64,10	115,84	116,28	92,14	67,03	69,36	89,96	47,87	30,90	65,55
	1936-64	30,90	30,00	34,90	59,70	105,10	127,10	93,40	74,30	73,50	72,10	64,90	37,80	67,10
NIGUGLIA	1999	2,01	1,62	2,63	6,72	8,85	6,62	3,25	1,87	4,63	6,77	7,93	3,03	4,66
	1979-98	2,82	2,25	3,38	6,41	7,92	6,80	4,00	2,43	3,58	8,25	5,22	3,20	4,69
	1941-60	3,57	3,71	3,53	4,98	6,93	6,45	4,51	3,67	4,38	5,57	7,68	4,70	4,97
ERNO	1999	0,54	0,27	0,92	1,17	1,29	0,60	0,39	0,31	1,05	1,43	1,32	0,52	0,82
	1978-98*	0,72	0,58	1,02	1,60	1,60	1,18	0,70	0,50	0,90	1,70	0,86	0,63	1,00
VEVERA	1999	0,43	0,26	0,45	0,54	0,76	0,43	0,34	0,34	0,25	0,45	0,57	0,26	0,42
	1978-98	0,58	0,50	0,65	0,88	1,01	0,83	0,45	0,33	0,46	0,86	0,62	0,49	0,64
BARDELLO	1999	2,08	2,23	2,20	2,50	2,62	2,65	2,73	1,16	2,50	2,90	3,68	2,13	2,45
	1978-98	2,84	2,61	3,29	3,64	4,78	4,33	2,77	1,43	2,36	3,54	3,07	2,37	3,09
	1939-56	2,55	2,84	2,73	3,22	3,90	3,32	2,91	1,87	2,25	2,60	3,43	2,81	2,87
BOESIO	1999	1,23	0,74	1,49	2,07	2,43	1,41	1,09	0,79	3,90*	3,09*	1,86*	0,69*	1,73
	1978-98	1,50	1,11	1,62	2,58	2,83	2,30	1,37	0,86	1,46	2,40	1,71	1,18	1,75
MARGORABBIA	1999	1,89	1,24	2,61	4,78	3,94	3,37	1,92	2,09	4,22	10,74	6,36	2,35	3,79
	1978-98	2,73	2,32	3,67	5,21	5,45	4,63	2,52	1,61	2,80	5,61	3,45	2,29	3,54
TRESA	1999	7,30	5,36	15,50	29,50	37,90	31,00	19,40	33,10	31,00	65,40	33,40	12,60	26,79
	1978-98	15,27	12,12	18,32	32,43	40,84	37,51	22,12	14,13	22,67	32,84	19,52	13,58	23,47
	1923-74	16,10	14,90	17,70	27,80	36,60	34,60	25,30	19,10	20,70	24,10	33,80	23,30	24,50
TICINO EMISS.	1999	106,80	100,70	135,50	273,40	499,80	442,70	284,90	277,10	452,70	635,30	321,00	190,30	311,10
	1978-98	152,18	147,18	188,87	311,30	463,57	445,46	365,63	258,99	276,49	417,30	202,12	150,74	283,94
	1921-77	145,00	147,00	159,00	263,00	435,00	495,00	384,00	295,00	316,00	318,00	327,00	193,00	290,00

(*) dati ricostruiti

Per quanto attiene al regime, il massimo deflusso del Ticino Emissario si manifesta ad Ottobre, malgrado che il più elevato valore pluviometrico si verifichi a Settembre. È probabile che questa differenza sia da attribuire ad un effetto di immagazzinamento dell'ampio specchio liquido del Verbano. Occorre infine non dimenticare che il Lago Maggiore è sottoposto a regolazione. In sintesi la differenza più accentuata rispetto alla regimazione media si manifesta nel bimestre Settembre-Ottobre che dà luogo ad un deflusso pari a circa il 30% di quello che nel corso del 1999 è fuoriuscito dal Lago Maggiore (Fig. 2.1.2.).

Le masse liquide più modeste defluite dal Lago Maggiore riguardano il periodo da Gennaio a Marzo con il minimo più accentuato a Febbraio in cui si raggiungono i 100

m^3s^{-1} . Il periodo di magra segnalato presenta valori inferiori ai deflussi del periodo di confronto (Tab. 2.1.2b. e Fig. 2.1.2.).

Gli immissari presentano deflussi massimi a Settembre, Ottobre nella porzione settentrionale, nordoccidentale del bacino del Lago Maggiore, con un secondo massimo relativo nel mese di Maggio, mentre dal Toce al Vevera, con l'esclusione del Niguglia, le portate annuali più cospicue si manifestano proprio a Maggio. In particolare gli scostamenti in eccesso per i due principali immissari, dal regime medio pluriennale, si verificano a Maggio, Giugno, Settembre e Ottobre per il Toce, mentre è limitato a questi ultimi due mesi per il Ticino Immissario (Fig. 2.1.2.). È molto probabile che gli elevati valori registrati nel mese di Maggio (massimi assoluti o relativi) siano da attribuire alla concomitanza con la fusione delle nevi dal momento che in tale mese non si sono registrate piogge molto elevate.

I minimi sono particolarmente concentrati nel bimestre Gennaio e Febbraio con una maggior frequenza in quest'ultimo mese nel quale si manifestano le più modeste piogge dell'anno ed al contempo un'ampia porzione delle stesse è trattenuta al suolo nelle zone più elevate degli areali contribuenti, sotto forma di manto nevoso.

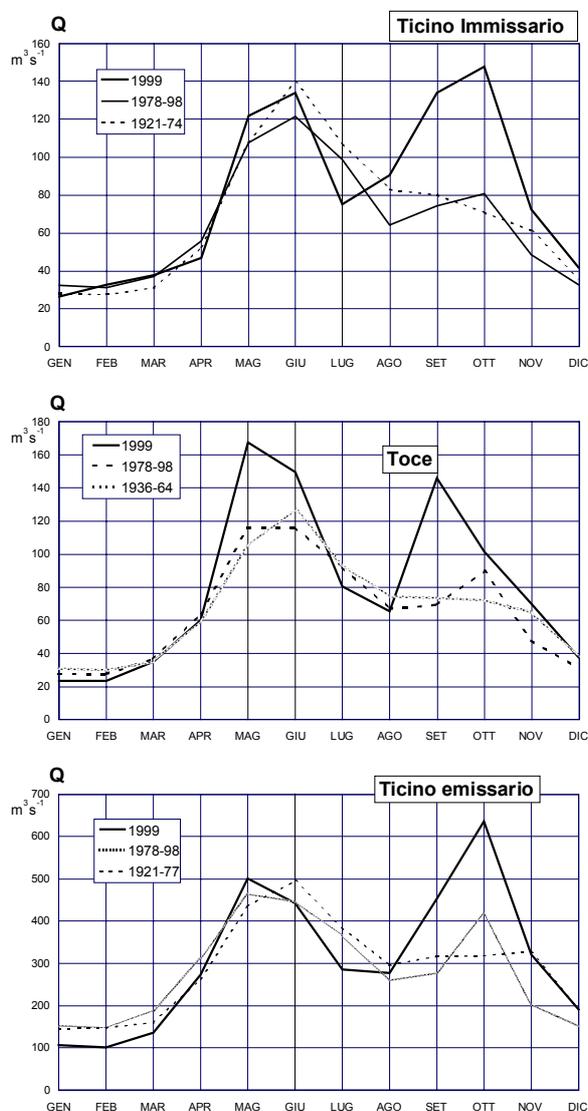


Fig. 2.1.2. Lago Maggiore 1999. Regime delle portate.

2.2. Meteorologia dell'areale lacustre

Il quadro sintetico attinente alle caratteristiche meteorologiche rilevate durante il 1999 alla stazione meteorologica di Pallanza (C.N.R. – Istituto Italiano di Idrobiologia) che qui viene presentato, ha lo scopo di fornire dati di base per l'interpretazione dei fenomeni fisici, chimici e biologici che interessano l'ecosistema lacustre. A tal fine saranno presentati quei parametri, quali radiazione solare incidente, temperatura atmosferica, evaporazione e direzione e intensità del vento, che più direttamente intervengono nel controllo dell'idrodinamica lacustre e che maggiormente concorrono a definire le quantità energetiche in grado di attivare i processi di stratificazione e destratificazione termica, nonché quelli di mescolamento verticale tardo invernale e di circolazione innescati dagli apporti advettivi.

Gli eventi meteorologici che maggiormente hanno caratterizzato il 1999 nell'areale del Lago Maggiore possono essere sintetizzati come segue: conferma della tendenza all'incremento termico dell'atmosfera, anche se più contenuto rispetto a quello registrato in alcuni degli anni immediatamente precedenti, e presenza di una notevole ventosità nel mese di Febbraio che ha favorito la completa circolazione delle acque del Lago Maggiore.

2.2.1. Radiazione solare

La quantità d'energia solare globale registrata nel 1999 risulta sufficientemente elevata ($107,301 \text{ cal cm}^{-2}$), superiore alla media degli anni 1951-1998 del 2,9% ($104,187 \text{ cal cm}^{-2}$), l'incremento è in ogni caso tale da non far discostare l'ultimo anno da quelli a radiazione media. L'analisi del ciclo stagionale evidenzia però come il suddetto incremento si sia verificato soprattutto nel periodo invernale (+20%); questo valore stagionale del 1999 ($14,124 \text{ cal cm}^{-2}$), risulta infatti inferiore solo a quello del 1975 e del 1969 quando con $14,654 \text{ cal cm}^{-2}$ si era registrato il massimo assoluto invernale nell'intero periodo considerato. Per gli altri trimestri va sottolineato l'aumento del 5% in estate che si contrappone ad una stessa diminuzione in autunno (-5 %), mentre la primavera presenta valori in perfetta media.

La distribuzione a livello mensile, figura 2.2.1., mostra valori al di sotto della media in Maggio, Agosto, Settembre ed Ottobre mentre gli altri mesi pur mantenendosi al di sopra della norma risultano ampiamente compresi entro i limiti già misurati in passato; tra questi, da rilevare che le 6714 cal cm^{-2} di Febbraio risultano di poco inferiori solo a quelle registrate nel 1959 e 1961, leggermente superiori alle $6,800 \text{ cal cm}^{-2}$.

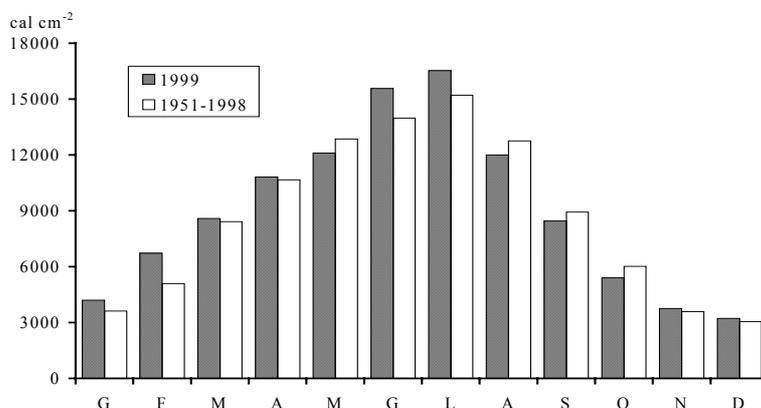


Fig. 2.2.1. Lago Maggiore 1999. Confronto tra i regimi mensili della radiazione solare a Pallanza nel 1999 e nel periodo 1951-1998.

Quanto ai dati giornalieri di radiazione solare essi sono tutti contenuti entro le $0,6 \text{ cal cm}^{-2}$ del 6 Novembre, che costituisce il nuovo minimo assoluto, e le $756,6 \text{ cal cm}^{-2}$ del 22 Giugno del 1956.

2.2.2. Temperatura atmosferica

La temperatura media dell'anno meteorologico 1999 è stata più elevata della norma ($12,94 \text{ }^\circ\text{C}$ rispetto al corrispondente valore di $12,27 \text{ }^\circ\text{C}$ del periodo 1951-1998) e pertanto viene ad essere confermata la tendenza all'incremento termico che ormai da alcuni anni è in atto nella nostra, come in altre zone della superficie terrestre; da rilevare, comunque, che quest'ultimo incremento risulta più contenuto rispetto a quello registrato in alcuni degli anni immediatamente precedenti. L'analisi dei dati termici stagionali evidenzia come la primavera sia stato il periodo con aumento di temperatura proporzionalmente più alto ($+1,24 \text{ }^\circ\text{C}$) seguita dall'estate ($+0,73 \text{ }^\circ\text{C}$), dall'autunno ($+0,51 \text{ }^\circ\text{C}$) e dall'inverno ($+0,2 \text{ }^\circ\text{C}$).

Quanto al regime termico mensile del 1999 (Fig. 2.2.2.), soltanto Novembre e Dicembre si sono caratterizzati con uno scarto in senso negativo con valori che nel confronto con la media pluriennale risultano più bassi rispettivamente di $-0,29$ e $-0,55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Viceversa tra i mesi con scostamenti positivi, molto elevato, superiore cioè a $2 \text{ }^\circ\text{C}$, è quello registrato in Maggio ($17,73 \text{ }^\circ\text{C}$) che si colloca al terzo posto nella serie storica di questo mese, mentre incrementi superiori a $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ si sono verificati in Gennaio ($3,75$ contro $2,72 \text{ }^\circ\text{C}$), Febbraio ($4,47$ contro $4,34 \text{ }^\circ\text{C}$), Luglio ($23,46$ contro $22,36 \text{ }^\circ\text{C}$) e Settembre ($19,32$ contro $17,9 \text{ }^\circ\text{C}$) ma che, pur essendo elevati, risultano inferiori ai valori già registrati in passato.

Anche i valori medi giornalieri si confermano entro i limiti estremi verificatisi nel periodo 1951-1998 alla stazione di Pallanza e risultano compresi tra $-0,27 \text{ }^\circ\text{C}$ dell'1 Febbraio e i $25,7 \text{ }^\circ\text{C}$ del 5 Luglio, mentre i valori estremi assoluti, di $-4,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $31,8 \text{ }^\circ\text{C}$, rilevati nelle due date sopra indicate, hanno determinato un'escursione massima annuale assoluta di $35,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

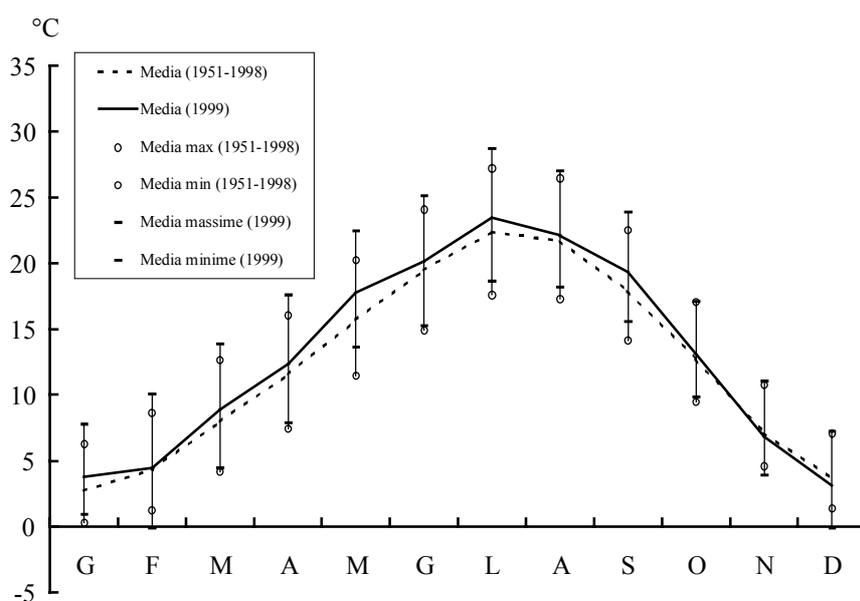


Fig. 2.2.2. Lago Maggiore 1999. Confronto tra i regimi mensili della temperatura media dell'aria a Pallanza nel 1999 e nel periodo 1951-1998.

2.2.3. Evaporazione

L'evaporazione totale del 1999 si è limitata a soli 952 mm rispetto ad una media pluriennale di 1111,8 mm, risultando così tra le più basse della serie storica che, per questo parametro, decorre dal 1957: più precisamente il dato dell'ultimo anno risulta il terzo per scarsità d'evaporazione dopo il 1972 (878,9 mm) e il 1996 (915 mm).

A parte l'inverno, (+31 mm) tutti gli altri periodi stagionali sono risultati inferiori al valore medio del periodo di confronto, con una evaporazione proporzionalmente più bassa in primavera (-23%) seguita da quella autunnale (-19%) e da quella estiva (-17%).

Dalla figura 2.2.3. nella quale sono rappresentati in forma istogrammetrica i regimi evaporimetrici mensili del 1999 e del periodo 1957-1998 è facile costatare come nell'ultimo anno solo in Dicembre e Febbraio siano stati superati i valori medi pluriennali; da sottolineare il valore di quest'ultimo mese che con 68 mm eguaglia il massimo assoluto del 1973. Scostamenti in senso negativo sono evidenti in tutti gli altri mesi e in particolare molto netto è quello d'Agosto che con 101,1 mm costituisce la quantità più bassa d'acqua evaporata mai riscontrata in questo mese; risale infatti al 1968, con 107 mm il precedente minimo di tutto il periodo considerato. Quanto all'evaporazione giornaliera si deve rilevare che in 18 giorni dell'anno non è stata superata la soglia limite strumentale del parametro perciò essa è da considerare ad evaporazione nulla; viceversa il giorno ad evaporazione massima è risultato il 22 Giugno con 13,7 mm.

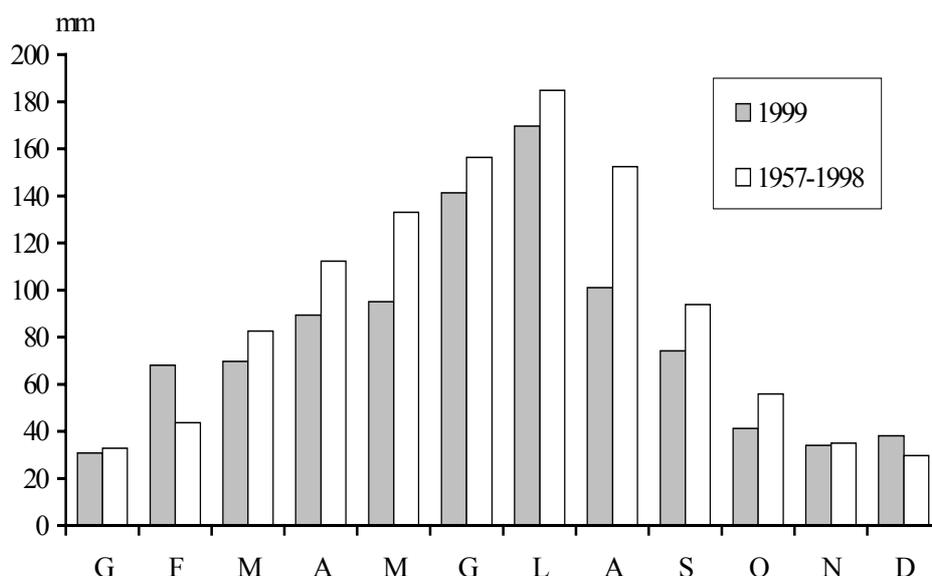


Fig. 2.2.3. Lago Maggiore 1999. Confronto tra i regimi dell'evaporazione a Pallanza nel 1999 e nel periodo 1957-1998.

2.2.4. Intensità e direzione del vento

Va precisato che nel 1997 l'anemometro VT 143 che aveva operato sino al 1996 è stato sostituito con uno a coppe di Robinson con trasduttore di velocità a stato solido ad alta frequenza, perciò un confronto con la situazione pregressa, per quanto riguarda l'intensità del vento, può essere soltanto indicativa.

Il percorso del vento nel 1999 è stato di 45,1591 km, leggermente inferiore alla media dei due anni precedenti (45,592 km), con una distribuzione percentuale quasi simile in tutte le stagioni, che risulta compresa tra il 23 e il 26% del totale annuo. Il mese più

ventoso, figura 2.2.4a., è stato Febbraio con 4,336 km, superiore del 42% alla media degli anni 1997-1998, seguito da Giugno con 4,221 km e Dicembre con 4,166 km. Viceversa il percorso più basso si è registrato a Gennaio, anche se con 2,986 km è risultato superiore alla media del percorso rilevato nei due anni precedenti (2,749 km). Da rilevare che il giorno più ventoso è risultato il 15 Aprile con 531,4 km percorsi. Quanto alle direzioni di provenienza, la figura 2.2.4b. indica che il vento prevalente è stato da W seguito da quello da NNE mentre in passato era NW e SSE. Questo perché il regime anemometrico a Pallanza è solitamente dominato da brezze di debole intensità che non venivano registrate dall'anemometro autogeneratore, mentre lo sono da quello attualmente operante.

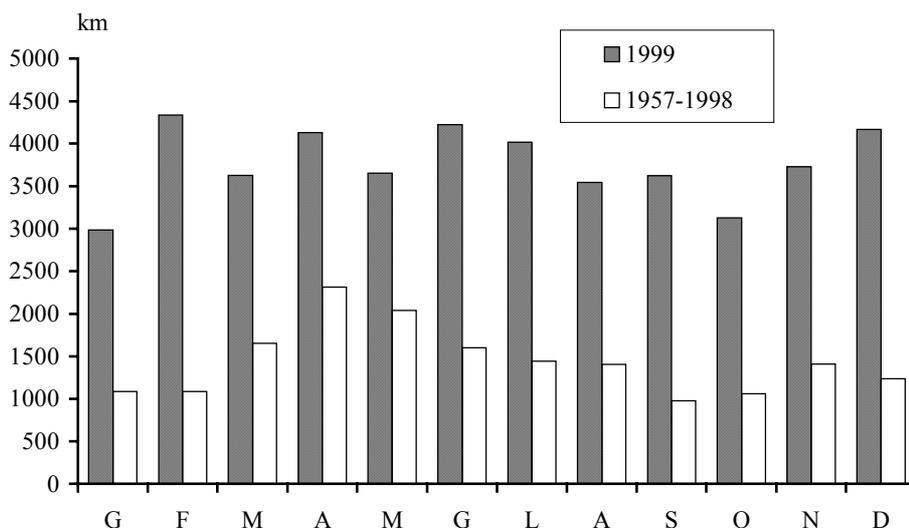


Fig. 2.2.4a. Lago Maggiore 1999. Regimi della quantità di vento filato a Pallanza nel 1999 e nel periodo 1957-1998.

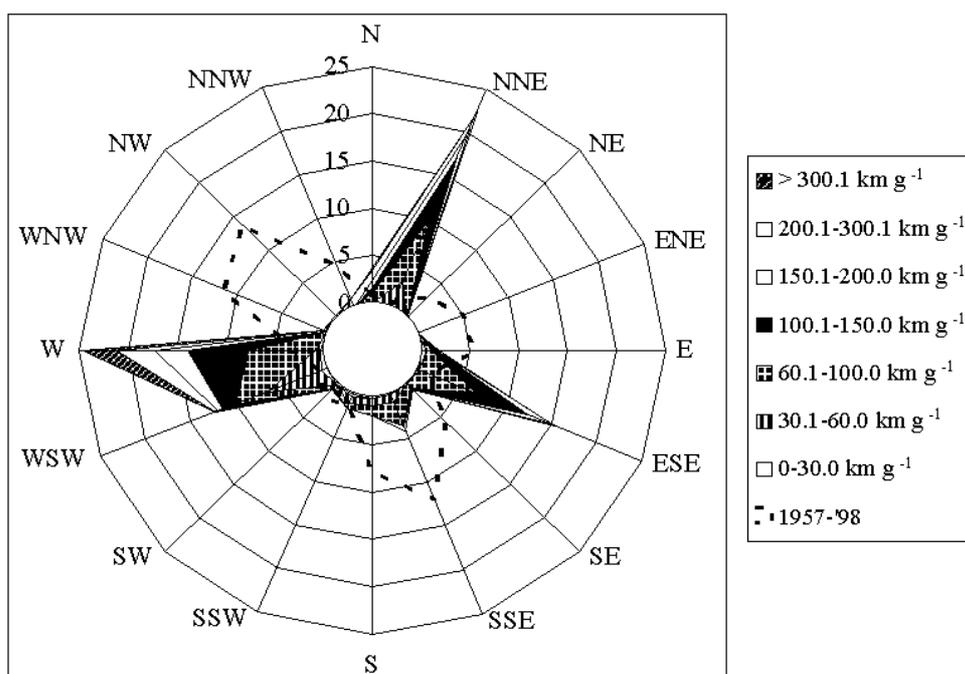


Fig.2.2.4b. Lago Maggiore 1999. Rosa dei venti a Pallanza per il 1999 e per il periodo 1957-1998.

2.3. Apporti chimici dai tributari

2.3.1. Caratteristiche chimiche e chimico fisiche

Nel corso del 1999 sui 14 corsi d'acqua oggetto d'indagine e sul Ticino emissario sono stati effettuati 12 campionamenti con frequenza mensile da Gennaio a Novembre, mese durante il quale sono stati effettuati 2 prelievi. Inoltre alla foce del Bardello sono stati prelevati quattro campioni aggiuntivi tra Agosto e Ottobre, al fine di valutare l'influenza sul corso d'acqua dei previsti interventi di sottrazione d'acque ipolimniche dal Lago di Varese nel periodo di massima stratificazione termica, con restituzione nell'emissario. Anche se l'intervento non si è concretato, i dati raccolti potranno servire come confronto con la situazione che si determinerà nel fiume a partire dall'estate del 2000, quando presumibilmente verranno avviati i lavori di risanamento del lago.

I valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche misurate sui tributari e sull'emissario nel corso del 1999 sono presentati in (Tab. 2.3.1a.). Per quanto riguarda le variabili più direttamente influenzate dalle caratteristiche geochimiche dei diversi bacini si sono riconfermate le osservazioni degli anni precedenti. I bacini impostati in rocce ignee (Verzasca, Maggia, Cannobino, San Giovanni, San Bernardino, Strona, Erno e Giona) presentano valori di pH, alcalinità totale e conducibilità piuttosto limitati: il pH risulta compreso tra un minimo di 6,97 (Verzasca) ed un massimo di 7,75 (Maggia); l'alcalinità tra 0,22 (Cannobino) a 0,45 meq l⁻¹ (Maggia); la conducibilità tra 41 (Cannobino) e 111 µS cm⁻¹ (Erno).

Tab. 2.3.1a. Valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche sui tributari e sull'emissario del Lago Maggiore campionati nel 1999.

		pH	T.A. meq l ⁻¹	Cond. µS cm ⁻¹	N-NH ₄ mg N l ⁻¹	N-NO ₃ mg N l ⁻¹	N _{org} mg N l ⁻¹	TN mg N l ⁻¹	TP µg P l ⁻¹	RSi mg Si l ⁻¹
Tributari lombardi										
Boesio	(BOE)	8,08	5,56	627	0,56	2,84	1,01	4,41	254	3,5
Bardello	(BAR)	8,06	2,68	367	0,20	1,31	0,85	2,35	144	1,7
Tresa (a)	(TRE)	8,14	1,68	196	0,09	0,92	0,38	1,40	39	0,9
Giona	(GIO)	7,63	0,33	75	0,02	1,08	0,18	1,28	29	4,5
Tributari piemontesi										
Veveva	(VEV)	7,84	1,46	198	0,07	2,89	0,29	3,25	46	5,8
Strona	(STR)	7,53	0,39	105	0,09	1,61	0,34	2,04	33	3,2
Toce Ossola	(TOC)	7,46	0,81	177	0,05	0,56	0,16	0,77	24	2,4
San Giovanni	(SGI)	7,42	0,24	57	0,01	1,25	0,17	1,44	13	4,8
Erno	(ERN)	7,35	0,32	111	0,01	1,73	0,18	1,92	20	4,7
San Bernardino	(SBE)	7,47	0,27	52	0,01	0,99	0,14	1,14	5	3,3
Cannobino	(CAN)	7,28	0,22	41	0,01	0,63	0,13	0,77	8	3,8
Tributari svizzeri										
Maggia	(MAG)	7,75	0,45	69	0,01	0,78	0,16	0,95	8	3,3
Ticino immissario	(TIM)	7,76	1,07	238	0,02	0,82	0,16	1,00	11	2,7
Verzasca	(VER)	6,97	0,30	50	0,01	0,73	0,13	0,88	6	2,9
Emissario										
Ticino emissario	(TEM)	7,89	0,77	139	0,01	0,70	0,22	0,94	12	0,8

(a) - Comprensivo delle acque emissarie del Lago di Lugano e del T. Margorabbia

I valori medi annuali più alti si sono misurati sui tributari che drenano areali in gran parte costituiti da rocce sedimentarie (Veveva, Bardello e Tresa). Essi mostrano pH compresi tra 7,84 (Veveva) e 8,14 (Tresa); alcalinità tra 1,46 (Veveva) e 2,68 meq l⁻¹

(Bardello); conducibilità tra 196 (Tresa) e 367 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Bardello). Anche il T. Boesio rientra in questa categoria, ma l'elevata concentrazione d'alcalinità totale delle sue acque (media annuale 5,56 meq l^{-1} , con massimi di 6,65 meq l^{-1}), così come di conducibilità (media annuale 627 $\mu\text{S cm}^{-1}$, con massimi di 836 $\mu\text{S cm}^{-1}$), sono da mettere in relazione con la presenza di scarichi industriali ad alto tenore di bicarbonati.

I valori intermedi hanno riguardato i bacini di maggior complessità e varietà litologica, vale a dire il Ticino Immissario e il Toce, sui quali sono stati rispettivamente misurati pH medi annuali di 7,76 e 7,46 unità, nonché concentrazioni medie d'alcalinità totale pari a 1,07 e 0,81 meq l^{-1} e di conducibilità pari a 238 e 177 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Va inoltre segnalato che i processi di produzione algale dei laghi di Lugano e Varese hanno influenzato significativamente l'idrochimica dei rispettivi emissari, il Tresa e il Bardello. Le loro acque presentano andamenti stagionali con massimi di pH e minimi d'alcalinità totale tra Agosto e Settembre, mentre al termine dell'inverno, tra Febbraio e Marzo, si osservano i minimi di pH e i massimi d'alcalinità (Fig. 2.3.1a).

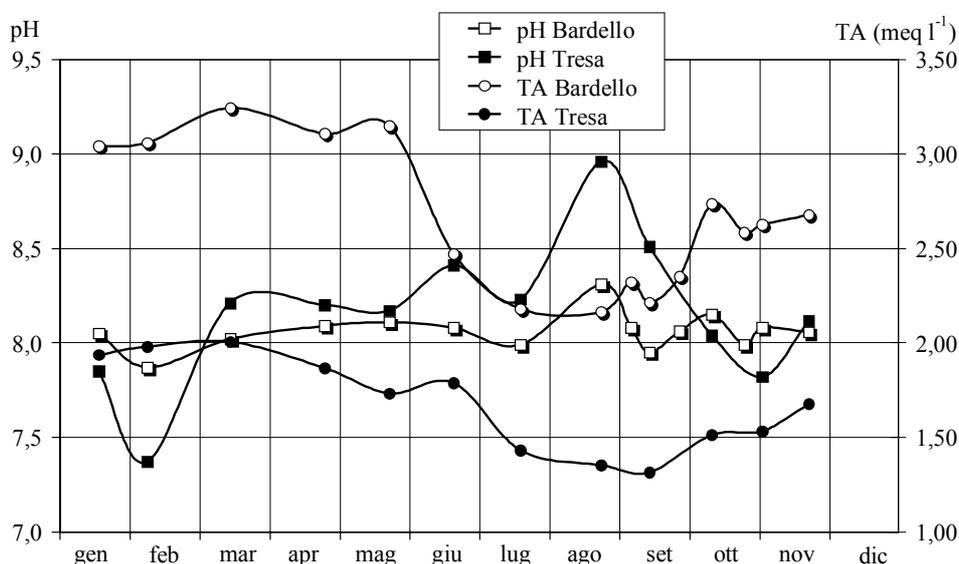


Fig. 2.3.1a. Andamento stagionale nel 1999 di pH e alcalinità totale (TA) alla foce di Tresa e Bardello, emissari dei laghi di Lugano e Varese.

Per quanto riguarda le variabili più direttamente influenzate da scarichi urbani e/o industriali, la situazione di gran lunga peggiore è sempre quella del T. Boesio che nel 1999 ha presentato tenori medi annuali di fosforo totale di 254 $\mu\text{g P l}^{-1}$, nonché valori di azoto organico ed ammoniacale rispettivamente di 1,01 e 0,56 mg N l^{-1} (Tab. 2.3.1a. e Fig. 2.3.1b.). Anche le acque del Bardello risultano sensibilmente alterate: le concentrazioni medie annuali di fosforo totale (144 $\mu\text{g P l}^{-1}$), azoto ammoniacale (0,20 mg N l^{-1}) ed organico 0,85 mg N l^{-1}), oltre a rispecchiare le condizioni eutrofe del Lago di Varese, indicano la presenza lungo il corso d'acqua di scarichi urbani ed industriali non sufficientemente depurati. Ciò è confermato dal fatto che su 15 campionamenti effettuati nel 1999 si sono riscontrati almeno quattro episodi riconducibili a situazioni d'immissioni d'inquinanti. Essi sono stati evidenziati dai massimi di azoto ammoniacale (0,61 mg N l^{-1}) del 18 Gennaio, d'azoto organico (1,65 $\mu\text{g N l}^{-1}$) del 25 Ottobre, di fosforo totale (208 $\mu\text{g P l}^{-1}$) del 6 Settembre, nonché dalle elevate concentrazioni di cloruri (162 mg l^{-1}) e sodio (99 mg l^{-1}) del 2 Agosto.

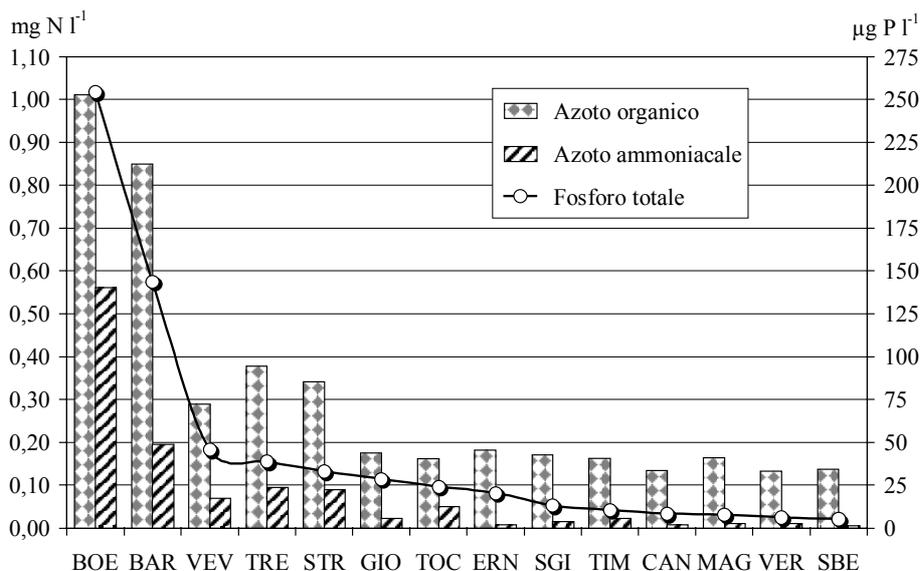


Fig. 2.3.1b. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate nel 1999 sui principali tributari del Lago Maggiore.

Escludendo questi due tributari, che come si è visto presentano valori largamente inaccettabili, l'ambito di variazione delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale degli altri corsi d'acqua campionati risulta assai più contenuto, essendo compreso tra 5 e 46 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (Fig. 2.3.1c.). Se si assume come obiettivo di qualità la concentrazione di 21 $\mu\text{g P l}^{-1}$, valore corrispondente a quello individuato dalla Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere per garantire il raggiungimento di stabili condizioni di oligotrofia nelle acque lacustri, si possono constatare condizioni largamente favorevoli per S. Bernardino, Verzasca, Maggia, Cannobino, Ticino immissario, S. Giovanni ed Erno. Questi sette tributari presentano infatti tenori medi annuali di fosforo al di sotto dei 13 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (Fig. 2.3.1c.), accompagnati da modestissimi contenuti di azoto ammoniacale ed organico, rispettivamente inferiori a 0,02 e 0,18 mg N l^{-1} (Fig. 2.3.1b.).

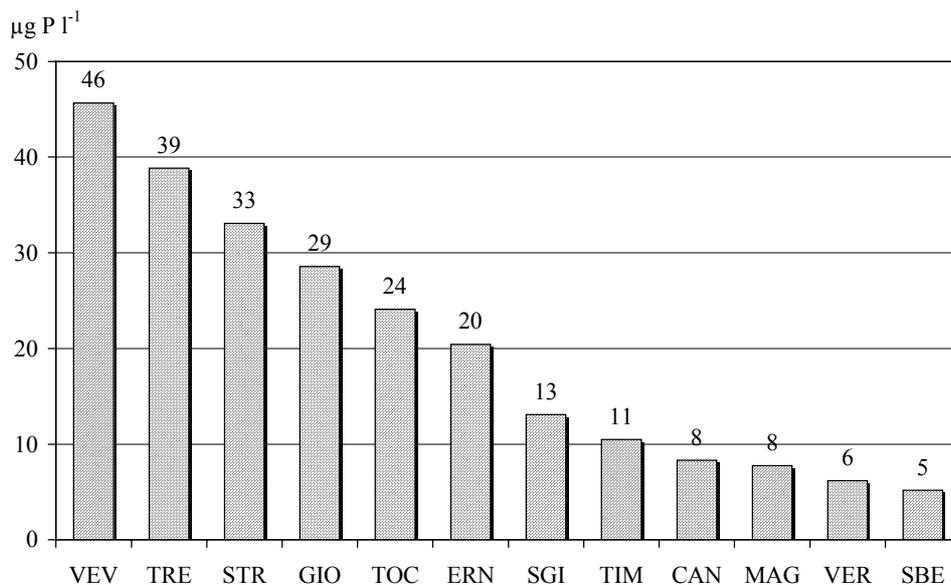


Fig. 2.3.1c. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel 1999 sui corsi d'acqua campionati ad esclusione di Boesio e Bardello.

Anche i tenori medi di fosforo totale di Toce Ossola ($24 \mu\text{g P l}^{-1}$), pur segnalando la presenza nel bacino drenante di scarichi ancora non sufficientemente depurati, si mantengono su valori vicini all'accettabilità. La situazione appare invece ancora sensibilmente compromessa per Vevera ($46 \mu\text{g P l}^{-1}$) e Tresa ($39 \mu\text{g P l}^{-1}$) e, in misura minore, per Strona ($33 \mu\text{g P l}^{-1}$) e Giona ($29 \mu\text{g P l}^{-1}$). Per questi cinque corsi d'acqua gli andamenti nell'ultimo quinquennio sono però risultati diversi (Fig. 2.3.1d.): rispetto al 1995-1996, i tenori medi annuali di fosforo totale si sono mantenuti pressochè costanti nel Toce; quelli di Vevera e Tresa hanno mostrato significative riduzioni, pari rispettivamente a circa il 29% e il 20%; le concentrazioni nel Giona sono invece aumentate leggermente passando $24\text{-}26 \mu\text{g P l}^{-1}$ del biennio 1995-1996 ai valori di $29\text{-}32 \mu\text{g P l}^{-1}$ misurati nell'ultimo triennio; quelle dello Strona sono ritornate sui valori del primo biennio, dopo che si erano notevolmente incrementate nel 1997 e 1998 a causa degli scompensi di funzionamento dell'impianto di depurazione di Omegna.

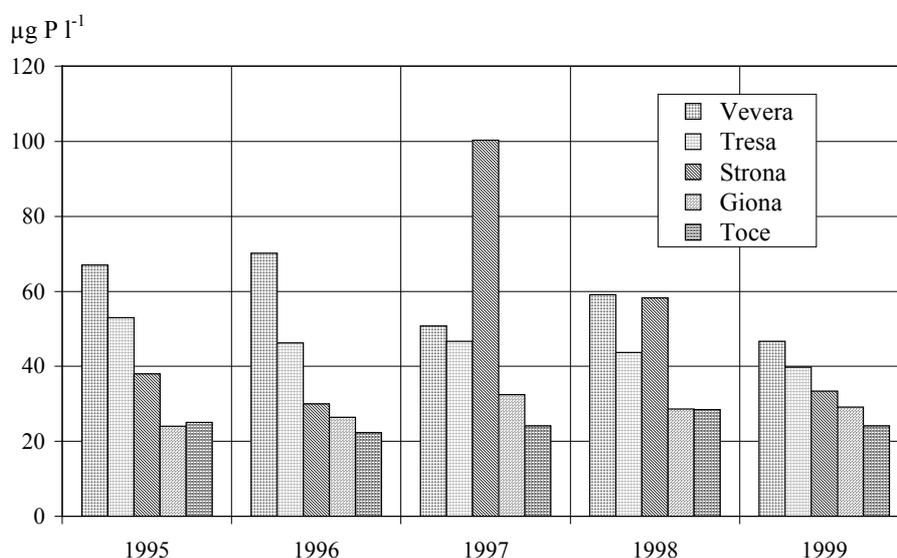


Fig. 2.3.1d. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel quinquennio 1995-1999 sui corsi d'acqua Vevera, Tresa, Strona, Giona e Toce (Ossola).

Un quadro complessivo della qualità degli afflussi al lago può essere fornito dalle concentrazioni areali calcolate come valori medi ponderati dal rapporto tra le concentrazioni annuali misurate sui singoli tributari e l'area dei rispettivi bacini imbriferi. Il confronto su scala regionale mette in evidenza che i contenuti medi annuali di azoto ammoniacale (Fig. 2.3.1e.), azoto organico (Fig. 2.3.1f.) e fosforo totale (Fig. 2.3.1g.) nelle acque tributarie lombarde, comprendenti attraverso il Tresa anche il bacino del Lago di Lugano, risultano nettamente più alti di quelli riscontrati nei tributari piemontesi e ticinesi. Per le concentrazioni delle tre variabili considerate, a partire dal 1994, si osserva una sensibile tendenza alla diminuzione nelle acque lombarde ed una relativa stabilità in quelle piemontesi e ticinesi.

Il raffronto della media dei valori riscontrati nell'ultimo biennio 1998-1999 con quella delle concentrazioni misurate nel quadriennio 1990-1993 evidenzia per le acque tributarie lombarde accentuati decrementi di azoto ammoniacale da $0,24$ a $0,14 \text{ mg N l}^{-1}$, di azoto organico da $0,69$ a $0,48 \text{ mg N l}^{-1}$ e di fosforo totale da 106 a $64 \mu\text{g P l}^{-1}$. Anche se il miglioramento è netto, occorre tuttavia ricordare che la qualità di queste acque è ancora compromessa dalla presenza nel bacino drenante di reflui urbani ed industriali non sufficientemente depurati con adeguati trattamenti, nonché di importanti corpi idrici

tuttora in condizioni alterate (laghi di Varese e Lugano). Infatti le concentrazioni riscontrate dal 1994 al 1999 sono rimaste pressochè invariate su livelli ancora inaccettabili perché influenzano negativamente il processo di oligotrofizzazione del lago e creano seri problemi per le utenze di balneazione lungo la fascia rivierasca.

Nello stesso periodo le acque tributarie ticinesi mostrano una sostanziale stabilità su valori particolarmente bassi e tipici di ambienti non contaminati: le concentrazioni di azoto ammoniacale ed organico restano attestate rispettivamente intorno a 0,02 e 0,15 mg N l⁻¹, mentre quelle di fosforo totale variano tra 7 e 9 µg P l⁻¹.

Anche la situazione delle acque tributarie piemontesi non ha presentato sostanziali modifiche. In questo caso, tuttavia, è possibile constatare condizioni ancora lontane da quelle ticinesi, soprattutto in termini di apporti eutrofizzanti. Infatti, mentre i contenuti di azoto ammoniacale (0,05-0,06 mg N l⁻¹) ed organico (0,18-0,24 mg N l⁻¹) sono dello stesso ordine di grandezza, le concentrazioni medie di fosforo totale risultano più che doppie, variando da 21 a 31 µg P l⁻¹.

Infine, per quanto riguarda i contenuti medi annuali di tutte le acque campionate che afferiscono al lago, calcolati come media ponderata dalle concentrazioni areali dei singoli tributari, si può osservare un calo significativo tra i tenori medi del quadriennio 1990-1993 e quelli dell'ultimo biennio 1998-1999: l'azoto ammoniacale passa da 0,08 a 0,05 mg N l⁻¹ (Fig. 2.3.1e.), l'azoto organico da 0,30 a 0,23 mg N l⁻¹ (Fig. 2.3.1f.), il fosforo totale da 33 a 24 µg P l⁻¹ (Fig. 2.3.1g.).

Quest'ultimo valore, ormai prossimo all'obiettivo di concentrazione per le acque tributarie (21 µg P l⁻¹), conferma l'avvicinamento a stabili condizioni di oligotrofia del lago. Esso è ben diverso dai contenuti di fosforo riscontrati alla fine degli anni '70 durante le fasi di avanzata mesotrofia (59-62 µg P l⁻¹). L'entità della diminuzione, pari ad oltre il 60%, rende conto dell'efficacia degli interventi adottati nel bacino imbrifero, ma deve essere sottolineato che il miglioramento della qualità delle acque tributarie risulta ancora troppo differenziato nelle porzioni rivierasche ticinesi, piemontesi e lombarde.

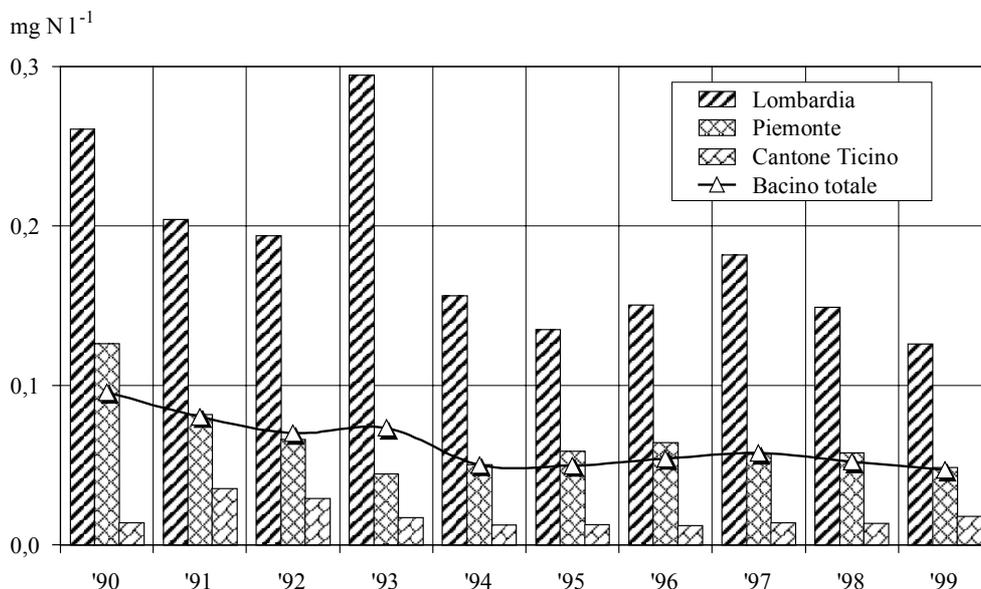


Fig. 2.3.1e. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale nel decennio 1990-1999 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino, in confronto con i contenuti medi annuali degli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

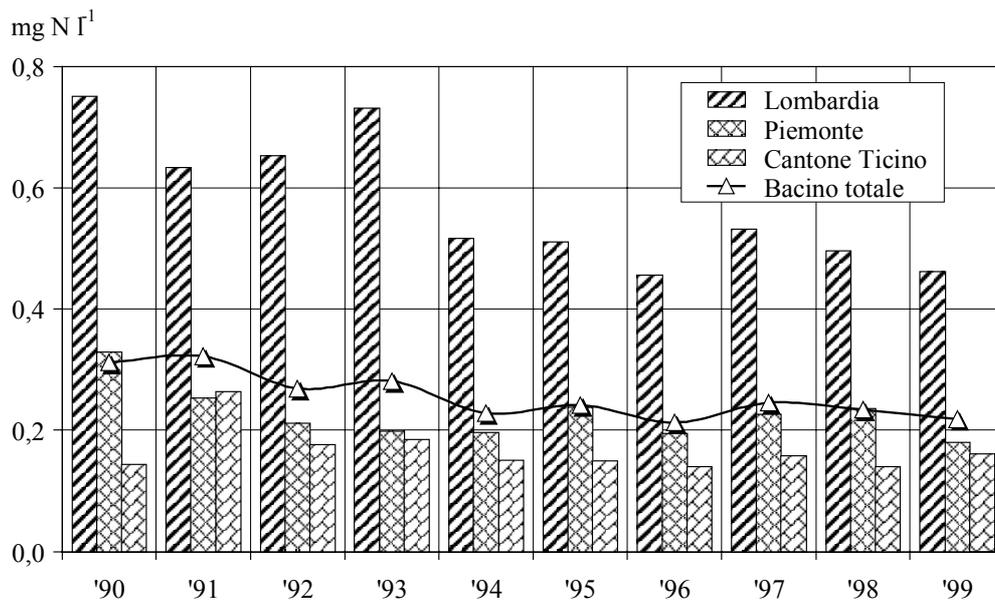


Fig. 2.3.1f. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto organico nel decennio 1990-1999 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino, in confronto con i contenuti medi annuali degli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

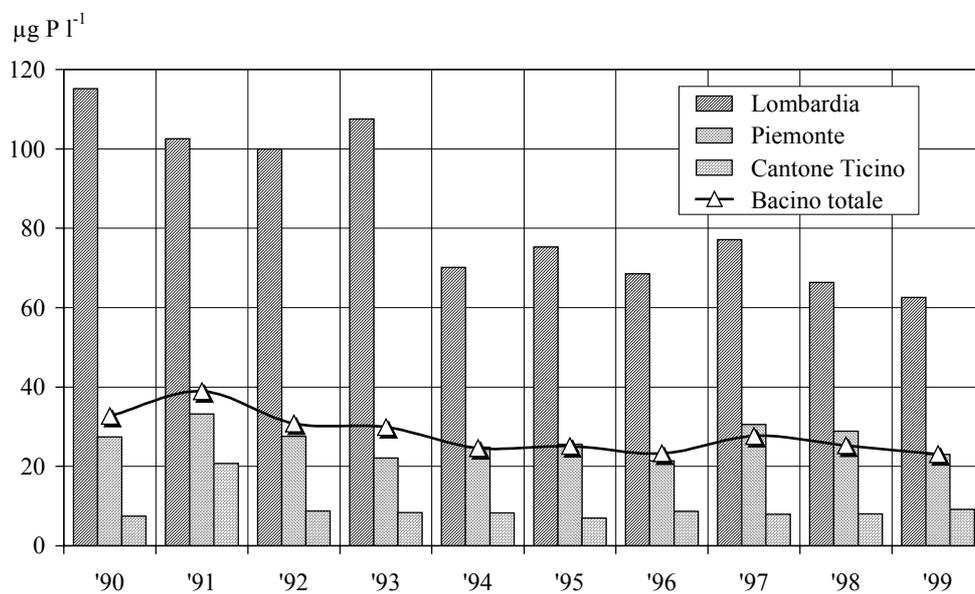


Fig. 2.3.1g. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di fosforo totale nel decennio 1990-1999 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino, in confronto con i contenuti medi annuali degli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

2.3.2. Carichi chimici

Gli apporti relativi al 1999 di azoto ammoniacale, nitrico, organico e totale, nonché di fosforo totale dai principali tributari e in uscita dall'emissario sono stati misurati utilizzando le metodologie di calcolo già impiegate negli anni precedenti. Per il Ticino emissario e 10 corsi d'acqua, drenanti complessivamente il 70% del bacino imbrifero, i carichi sono stati calcolati dai valori di concentrazione e dai deflussi giornalieri. Per altri 3 tributari (Maggia, Verzasca e Giona), che rappresentano il 22,5% del bacino drenante, e per lo Strona, che confluisce nel Toce a valle del bacino della Val d'Ossola, sono stati stimati dalla regressione lineare tra i contributi areali e le concentrazioni medie annuali.

Come si vede in tabella 2.3.2a., gli apporti annuali di azoto totale derivanti dai tributari campionati sono risultati leggermente più alti di quelli misurati l'anno precedente (9082 contro 8484 t N a⁻¹). Il modesto incremento è essenzialmente dovuto ai carichi di azoto nitrico (7042 contro 6466 t N a⁻¹), mentre quelli di azoto ammoniacale ed organico sono rimasti costanti su valori pari rispettivamente a circa 710 e 1730 t N a⁻¹. Quest'ultimo fatto induce a ritenere che gli aumenti osservati non derivino da incrementi di emissioni inquinanti, ma siano dovuti a precipitazioni più consistenti rispetto al 1998 (1870 contro 1630 mm) che hanno riguardato prevalentemente i bacini del Ticino immissario e del Toce (Ossola). In effetti su questi tributari si è osservato una crescita del carico di nitrati di circa il 28%, legata soprattutto all'aumento dei deflussi medi annuali, passati rispettivamente da 70 a 80,3 m³ s⁻¹ e da 58,5 a 80,2 m³ s⁻¹, mentre gli apporti dei diversi composti dell'azoto sono rimasti del tutto simili a quelli dell'anno precedente per gli altri corsi d'acqua campionati.

Tab. 2.3.2a. Lago Maggiore. Apporti annuali (t a⁻¹) di azoto e fosforo dai tributari campionati ed uscite attraverso l'emissario nel biennio 1998-1999.

	N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Ticino Immissario ^(a)	30	50	1711	2176	346	432	2088	2658	21,4	29,9
Maggia ^(b)	11	4	1066	1042	190	158	1267	1203	9,3	6,3
Verzasca ^(b)	2,4	0,7	249	260	48	33	300	293	1,7	1,2
Cannobino ^(a)	0,7	1,1	118	109	15	24	134	134	0,8	1,2
San Giovanni ^(a)	0,9	0,6	123	77	14	11	137	88	0,9	0,7
San Bernardino ^(a)	0,9	1,0	243	224	29	32	273	257	0,8	1,0
Toce Ossola ^(a)	90	108	1106	1425	443	399	1639	1931	51,8	57,7
Strona ^(b)	26	21	456	377	91	92	573	490	12,9	7,3
Erno ^(a)	0,6	0,2	58	45	5,5	4,3	64	50	0,6	0,4
Vevera ^(a)	2,8	0,9	60	38	8,1	3,9	71	43	1,2	0,6
Bardello ^(a)	33	21	169	140	89	90	291	250	15,8	15,1
Boesio ^(a)	27	29	150	155	44	52	221	237	11,6	12,8
Tresa ^(a)	80	73	887	908	377	388	1344	1369	35,2	32,9
Giona ^(b)	1,7	0,8	68	66	12	11	82	78	1,5	1,4
Totale campionati	307	310	6466	7042	1712	1730	8484	9082	165	169
Ticino emissario ^(a)	165	160	6309	6756	1737	2136	8211	9052	93	109

(a) Valori calcolati dai dati di concentrazione e dai deflussi.

(b) Valori calcolati dalla regressione fra concentrazione e contributi areali.

Il carico di azoto totale del 1999, comprensivo degli apporti derivanti dall'areale emerso, dalla popolazione rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre, è risultato pari a 11200 t N a⁻¹, a fronte di un carico in uscita attraverso il Ticino emissario di 9000 t N a⁻¹ (Tab. 2.3.2c.). Su scala storica, gli apporti si collocano tra

i minimi di 9100 t N a⁻¹, relativi agli anni 1980, 1985 e 1990, ed i massimi di 13000 e 12800 t N a⁻¹, riscontrati rispettivamente nel 1988, 1987 e 1993 (Fig. 2.3.2a.).

La ripartizione degli apporti di azoto totale dai tributari campionati si è modificata rispetto agli anni precedenti, quando i carichi più consistenti erano dovuti all'intero bacino del Toce comprensivo dello Strona: infatti nel 1999 le frazioni più rilevanti sono derivate dal Ticino (29,3%), Toce (26,7%), Tresa (15,1%) e Maggia (13,2%), mentre i rimanenti tributari hanno contribuito al carico globale per il 15,7% (Fig. 2.3.2b.).

Per quanto riguarda il fosforo totale, per il quale la componente dovuta agli scarichi puntuali è largamente prevalente rispetto a quella derivante da sorgenti diffuse, gli apporti dai bacini campionati sono risultati pari a 169 t P a⁻¹ (Tab. 2.3.2a.), valore quasi identico a quello misurato per il 1998 (165 t P a⁻¹). In questo caso si sono però osservate sensibili modificazioni su diversi tributari. Le diminuzioni sono state accertate per Strona (-5,6 t P a⁻¹), Tresa (-2,3 t P a⁻¹) e Maggia (-3 t P a⁻¹), mentre le variazioni in aumento hanno riguardato il Ticino immissario (+8,5 t P a⁻¹) e il Toce Ossola (+5,9 t P a⁻¹), principalmente a causa del consistente incremento dei rispettivi deflussi annuali. Ciò è del tutto vero per il Toce, in quanto la concentrazione media annuale di fosforo nelle sue acque è leggermente diminuita (da 28 µg P l⁻¹ nel 1998 a 24 µg P l⁻¹ nel 1999), ma per il Ticino l'aumento si è prodotto anche in conseguenza di una modesta crescita dei contenuti medi annuali (da 9 µg P l⁻¹ nel 1998 a 11 µg P l⁻¹ nel 1999).

Gli apporti di fosforo totale nel 1999 provenienti dall'intero bacino (241 t P a⁻¹), che comprendono i carichi dai tributari campionati, dall'areale non campionato e dalla zona rivierasca, sono i più alti riscontrati nell'ultimo quinquennio (valore minimo di 219 t P a⁻¹ nel 1997), pur essendo sostanzialmente identici alle 238 t P a⁻¹ misurate l'anno precedente (Tab. 2.3.2b. e Fig. 2.3.2c.). I contributi più importanti al carico complessivo di fosforo dalle acque tributarie (Fig. 2.3.2d.) derivano dal bacino del Toce comprensivo dello Strona (38,5%), dal Tresa comprensivo del Margorabbia (19,5%) e dal Ticino immissario (17,7%). Più limitati risultano i contributi dal Bardello (8,9%), Boesio (7,6%) e Maggia (3,7%), mentre i restanti bacini rappresentano soltanto il 4,1%.

Come per gli anni passati, i maggiori apporti di fosforo per unità di superficie drenata misurati nel 1999 (Tab. 2.3.2d.) hanno riguardato il Boesio che ha presentato valori superiori a quelli dell'anno precedente (0,281 contro 0,256 g m⁻² a⁻¹). Lo stato di allarmante compromissione ambientale di questo corso d'acqua, evidenziato anche dagli elevati contributi areali di azoto ammoniacale ed organico, è di particolare gravità anche perché questa situazione non ha mostrato alcun segnale di miglioramento nell'ultimo quinquennio (Fig. 2.3.2e.).

Per gli altri tributari, l'esame dei contributi areali annuali dell'ultimo triennio di fosforo totale (Fig. 2.3.2f.), azoto ammoniacale (Fig. 2.3.2g.), organico (Fig. 2.3.2h.) e totale (Fig. 2.3.2i.) permette di constatare condizioni ancora alterate per Bardello e Tresa, mentre i contributi di Strona e Vevera nel 1999 risultano significativamente più bassi dei valori del biennio precedente. Infine nelle quattro figure vengono riportati i contributi medi areali di fosforo e dei composti di azoto dalle acque tributarie derivanti dal Cantone Ticino, Piemonte e Lombardia che confermano la necessità di ulteriori interventi di risanamento nell'areale lombardo.

Tab. 2.3.2b. Lago Maggiore. Bilanci annuali dal 1978 al 1999 di azoto totale (t N a⁻¹). I totali parziali e complessivi sono approssimati alle centinaia.

Tributari campionati	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99
Ticino Immissario	1971	1576	1427	2050	2396	2232	1962	2022	2766	2897	2604	1843	1365	2314	2112	2449	2353	1522	1809	1760	2088	2658
Maggia	1050	1240	780	1411	1211	1280	1300	968	1200	1570	1784	1240	923	1250	1395	1404	1462	1153	1377	1010	1267	1203
Verzasca	373	406	251	403	320	327	354	247	299	416	456	310	197	319	376	353	365	277	356	217	300	293
Cannobino	140	126	105	131	144	152	136	85	137	182	165	136	99	146	148	130	159	114	129	107	134	134
San Giovanni	130	118	56	163	102	99	135	78	107	128	174	101	93	122	122	133	133	124	133	91	137	88
San Bernardino	307	224	226	431	256	324	271	181	299	345	333	326	407	470	326	281	322	297	315	203	273	257
Toce (Ossola + Strona)	4233	3216	2934	3500	2494	2469	2765	2178	2797	2701	2824	1786	2127	2398	2175	2981	2405	1956	2276	1729	2212	2422
Erno	65	65	32	44	49	35	57	34	48	60	86	52	38	62	75	74	74	52	70	48	64	50
Vevera	93	79	103	92	61	54	83	50	91	109	81	52	62	67	69	77	67	63	69	61	71	43
Bardello	364	410	302	259	270	273	385	447	380	338	323	395	360	365	427	363	366	347	371	333	291	250
Boesio	143	125	180	191	157	181	181	140	260	195	187	199	285	277	224	334	264	208	218	206	221	237
Tresa	1492	1158	955	1011	1328	1077	1377	1000	1352	1646	1562	1568	1294	1371	1885	1853	1613	1318	1328	1280	1344	1369
Giona	84	76	48	80	72	71	75	57	73	94	101	72	61	78	93	88	89	72	89	66	82	78
Tributari campionati	10400	8800	7400	9800	8900	8600	9100	7500	9800	10700	10700	8100	7300	9200	9400	10500	9700	7500	8500	7100	8500	9100
Areale non campionato	896	756	634	838	760	735	779	642	841	916	916	693	627	788	805	900	901	902	732	609	728	780
Totale bacino emerso	11300	9600	8000	10600	9700	9300	9900	8100	10600	11600	11600	8800	7900	10000	10200	11400	10600	8400	9200	7700	9200	9900
Fascia rivierasca	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Precipitazioni sul lago	700	600	378	866	605	596	389	348	532	548	674	466	509	622	650	650	580	420	566	400	600	600
Totale apporti	12700	10900	9100	12200	11000	10600	11000	9100	11800	12800	13000	10000	9100	11300	11600	12800	11900	9500	10500	8800	10500	11200
Uscite da emissario	11600	7200	7200	11300	8500	8500	8300	7100	9300	9600	9600	6900	5000	8400	9500	10800	10300	7100	7800	6700	8200	9000
Ritenzione in lago	9%	33%	21%	7%	22%	20%	24%	23%	21%	26%	26%	30%	46%	31%	18%	16%	13%	25%	26%	24%	22%	20%

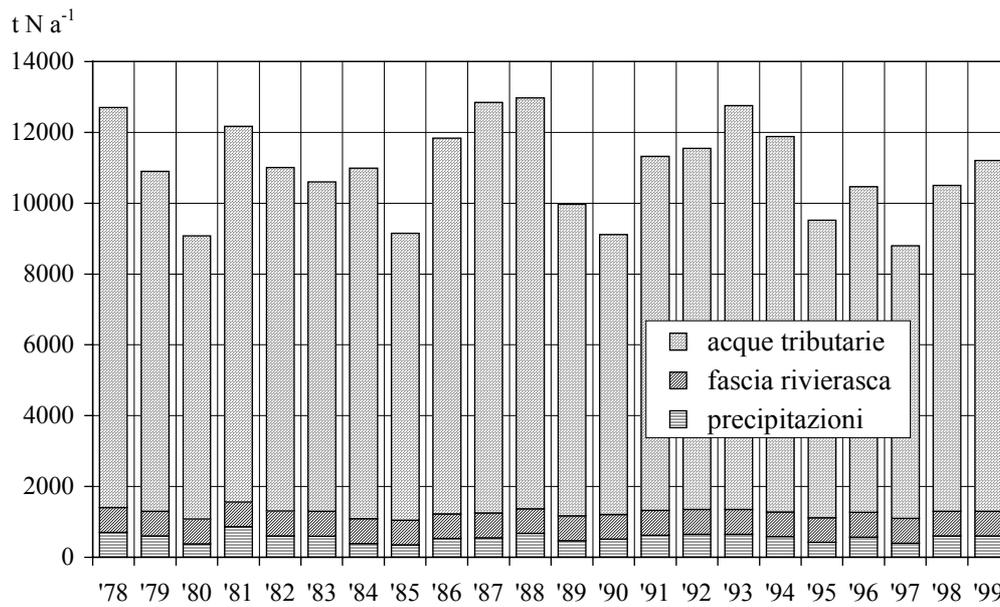


Fig. 2.3.2a. Lago Maggiore. Apporti annuali di azoto totale al lago dall'areale emerso, dalla zona rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre.

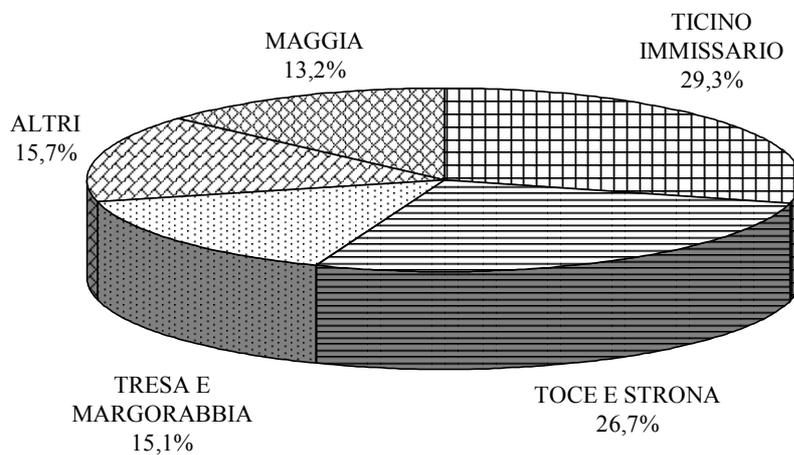


Fig. 2.3.2b. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di azoto totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 1999.

Tab. 2.3.2c. Lago Maggiore. Bilanci annuali dal 1978 al 1999 del fosforo totale (t P a⁻¹)

<u>Tributari campionati</u>	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99
Ticino Immissario	50	84	66	59	66	37	33	43	48	51	31	17	10	16	25	28	21	13	20	20	21	30
Maggia	17	21	18	16	9	14	17	15	11	13	19	23	7	20	20	5	9	12	15	7	9	6
Verzasca	7	11	3	5	5	8	4	1	3	8	3	5	1	3	4	4	2	2	3	1	1,7	1,2
Cannobino	3	3	3	2	4	4	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	0,8	1,2
San Giovanni	5	3	2	3	3	3	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	0,9	0,7
San Bernardino	7	7	8	6	4	4	4	3	5	6	2	4	3	17	14	2	2	6	2	1	0,8	1,0
Toce (Ossola + Strona)	85	163	90	102	65	64	72	53	55	77	35	34	47	53	49	67	64	45	44	58	65	65
Erno	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	3	0	1	1	1	1	1	1	0	0,6	0,4
Vevea	7	4	11	9	4	5	7	3	4	4	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1,2	0,6
Bardello	67	53	58	58	37	39	48	52	45	31	27	33	33	25	27	19	19	18	19	18	16	15
Boesio	8	8	22	11	9	8	9	7	14	10	8	14	21	11	13	19	10	10	11	12	12	13
Tresa	105	80	74	72	69	62	66	71	72	94	54	57	40	41	62	68	50	39	39	27	35	33
Giona	2	3	2	1	2	2	1	0	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1,5	1,4
Tributari campionati	364	440	357	344	278	248	265	250	261	301	187	195	168	192	221	218	183	151	158	148	165	169
Areale non campionato	31	38	31	30	24	21	23	21	22	26	16	17	14	16	19	19	16	13	14	13	15	14
Totale bacino emerso	395	478	388	374	301	270	288	271	283	327	203	212	182	208	240	237	199	164	172	161	180	183
Fascia rivierasca	117	117	117	117	117	88	88	88	88	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Totale apporti	512	595	505	491	418	357	376	359	371	386	262	271	241	266	298	295	257	222	230	219	238	241
Uscite da emissario	277	263	208	187	166	160	128	134	131	152	142	101	57	121	98	140	104	87	99	93	93	109
Ritenzione in lago	48%	58%	59%	63%	62%	58%	66%	62%	65%	63%	46%	63%	76%	55%	67%	53%	59%	61%	57%	57%	61%	55%

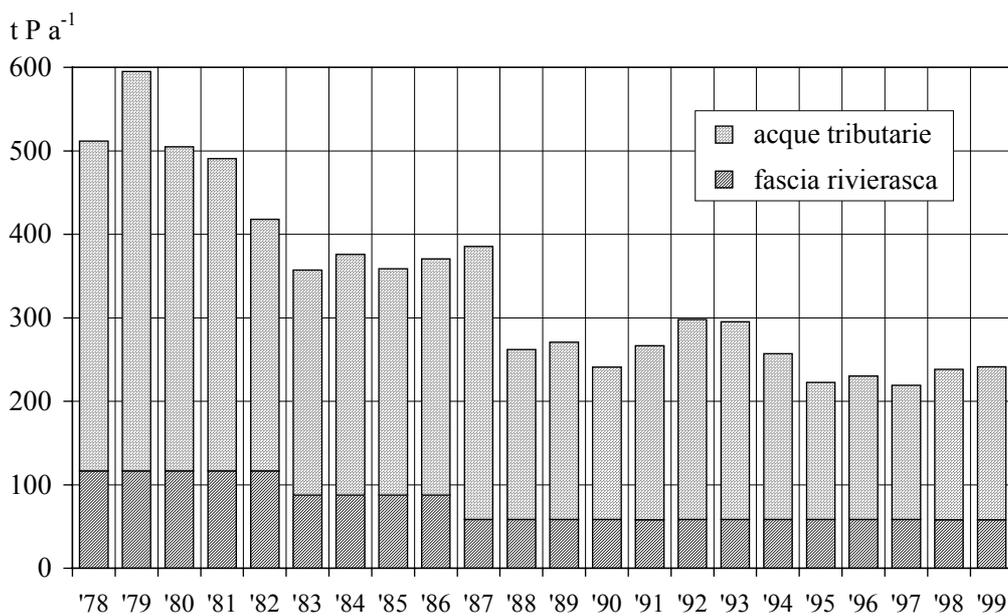


Fig. 2.3.2c. Lago Maggiore. Apporti annuali di fosforo totale al lago dall'areale emerso e dalla zona rivierasca.

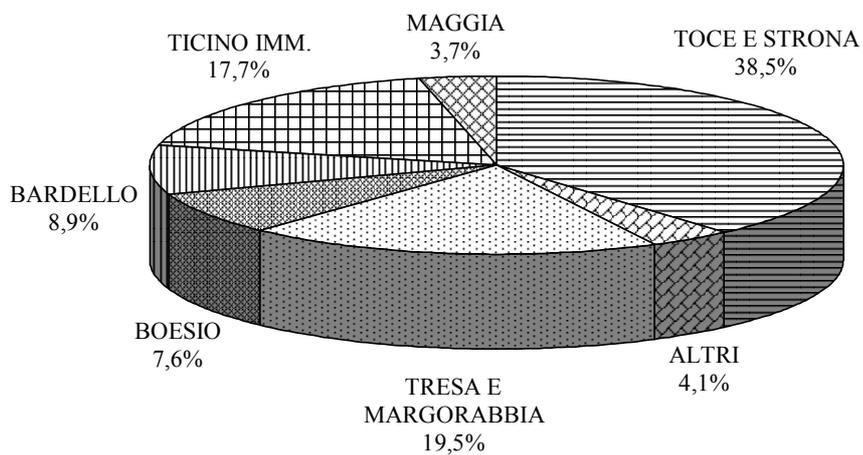


Fig. 2.3.2d. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di fosforo totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 1999.

Tab. 2.3.2d. Lago Maggiore. Contributi areali annuali ($\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$) di azoto ammoniacale, nitrico, organico, totale e fosforo totale nel biennio 1998-1999 dai tributari campionati e dall'emissario.

		N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
		1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Ticino Immissario	TIM	0,019	0,031	1,059	1,346	0,214	0,268	1,292	1,645	0,013	0,018
Maggia	MAG	0,012	0,004	1,151	1,125	0,205	0,170	1,368	1,299	0,010	0,007
Verzasca	VER	0,010	0,003	1,052	1,096	0,204	0,139	1,266	1,239	0,007	0,005
Cannobino	CAN	0,007	0,010	1,073	0,986	0,134	0,214	1,214	1,210	0,007	0,011
San Giovanni	SGI	0,015	0,009	2,027	1,266	0,223	0,176	2,264	1,451	0,015	0,012
San Bernardino	SBE	0,007	0,008	1,857	1,710	0,220	0,244	2,083	1,962	0,006	0,008
Toce Ossola	TOC	0,058	0,070	0,715	0,921	0,286	0,258	1,059	1,249	0,033	0,037
Strona	STR	0,116	0,092	2,044	1,690	0,408	0,414	2,568	2,196	0,058	0,033
Erno	ERN	0,025	0,008	2,270	1,771	0,216	0,168	2,510	1,947	0,023	0,017
Vevera	VEV	0,131	0,042	2,822	1,794	0,376	0,180	3,329	2,017	0,057	0,028
Bardello	BAR	0,242	0,153	1,262	1,041	0,666	0,669	2,170	1,863	0,117	0,112
Boesio	BOE	0,584	0,643	3,301	3,415	0,979	1,155	4,864	5,213	0,256	0,281
Tresa	TRE	0,107	0,097	1,176	1,204	0,500	0,515	1,782	1,816	0,047	0,044
Giona	GIO	0,034	0,017	1,372	1,331	0,234	0,220	1,641	1,568	0,030	0,028
Totale campionati		0,052	0,053	1,099	1,197	0,291	0,294	1,442	1,544	0,028	0,029
Ticino emissario	TEM	0,025	0,024	0,956	1,024	0,263	0,324	1,244	1,372	0,014	0,016

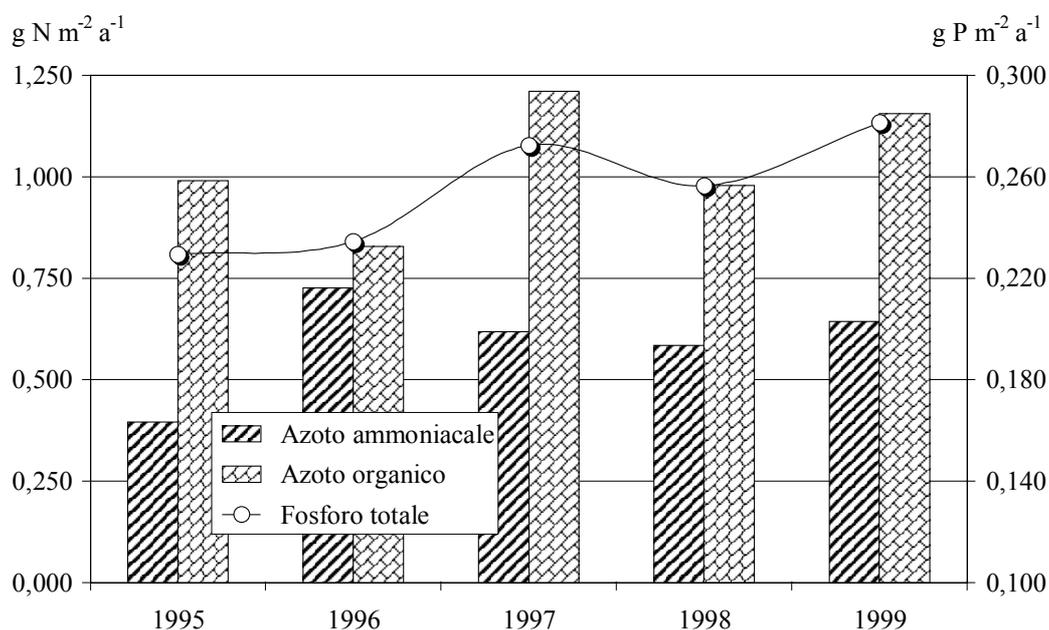


Fig. 2.3.2e. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal T. Boesio nel quinquennio 1995-1999.

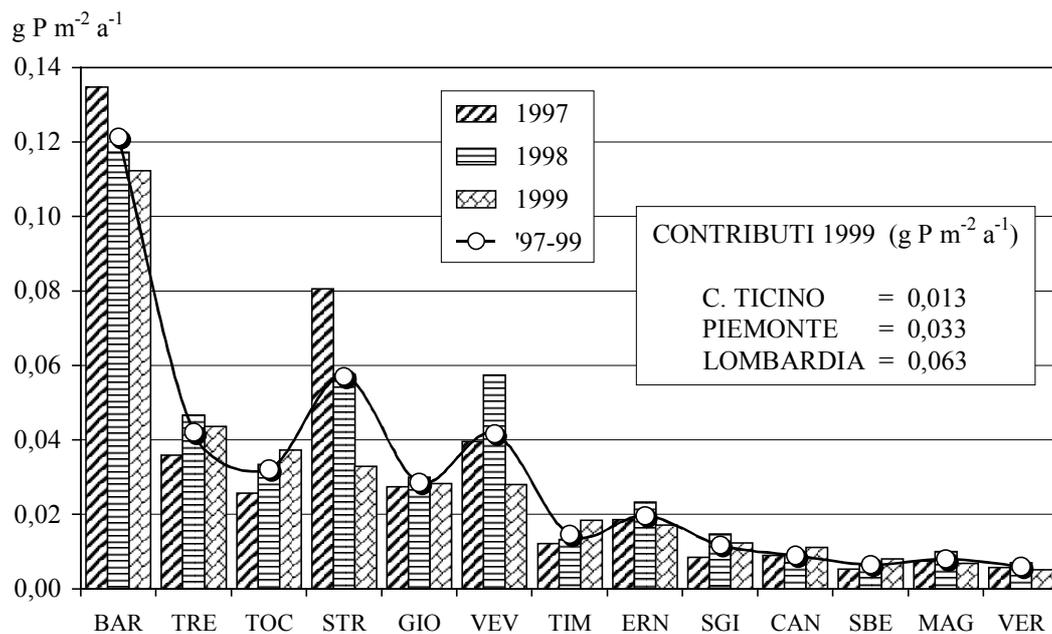


Fig. 2.3.2f. Lago Maggiore. Contributi areali di fosforo totale, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1997-1999 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d.).

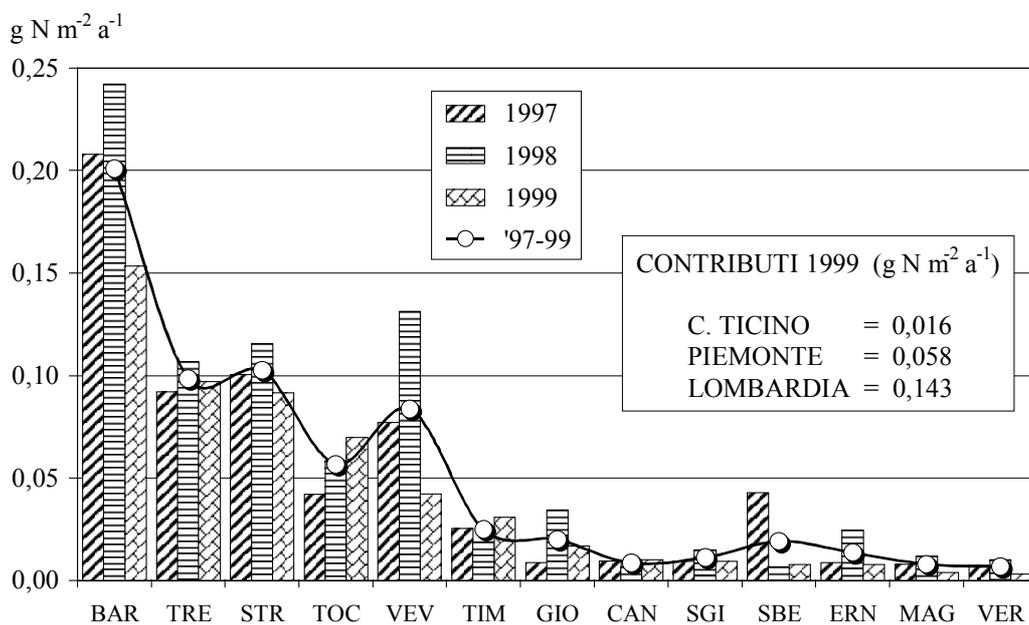


Fig. 2.3.2g. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto ammoniacale, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1997-1999 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d.).

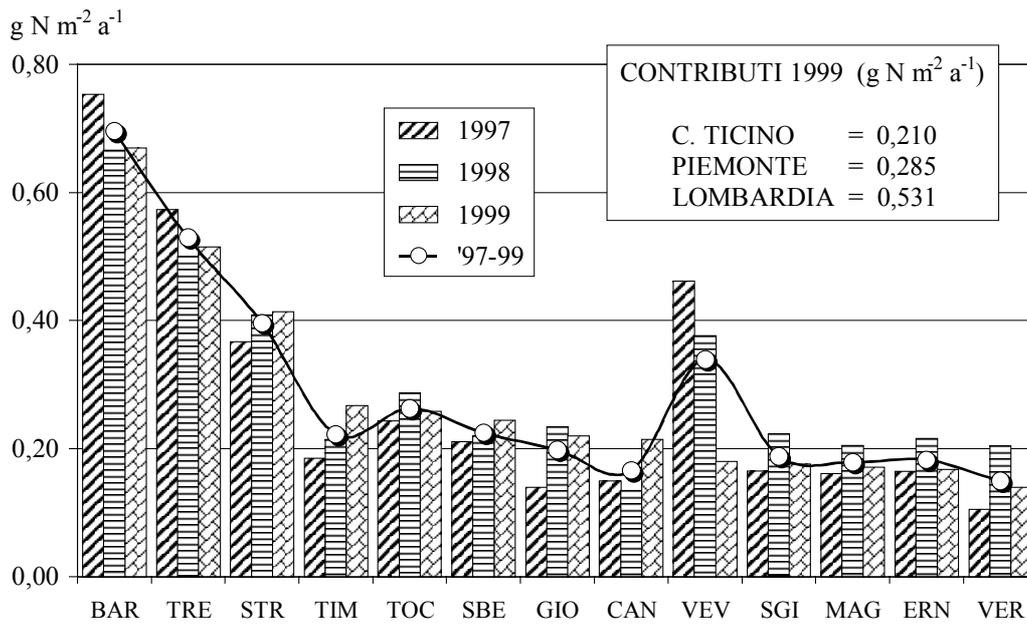


Fig. 2.3.2h. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto organico, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1997-1999 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d.).

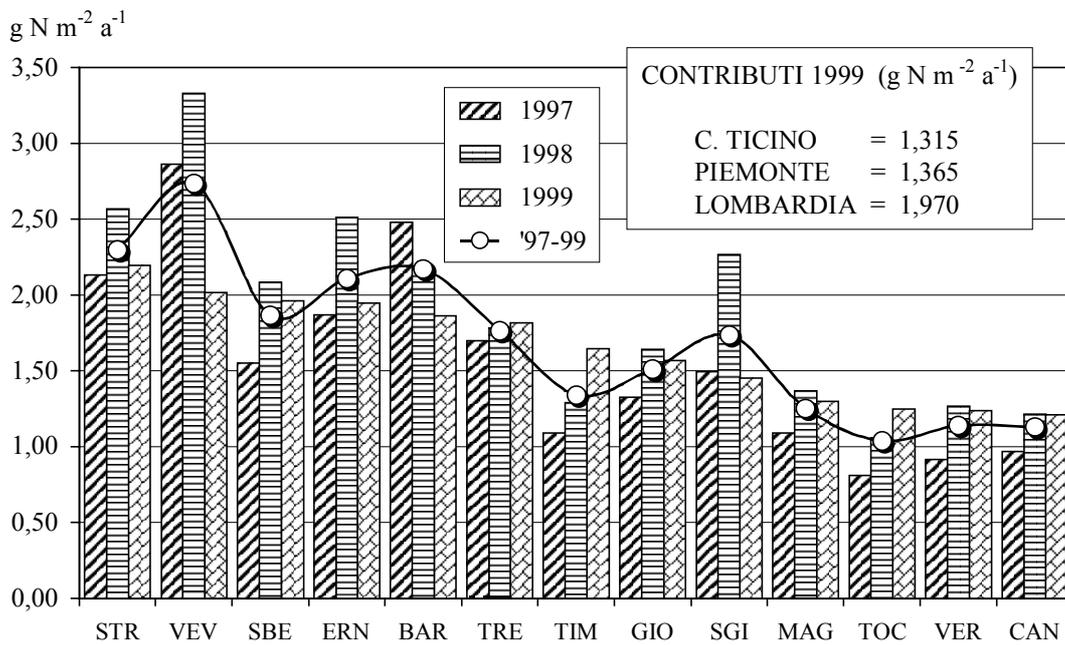


Fig. 2.3.2i. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto totale, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1997-1999 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d.).

2.3.3. Carbonio Organico Totale (TOC)

Gli apporti di sostanza organica alloctona al Lago Maggiore sono stati misurati come carbonio organico totale presente nei tributari già presi in considerazione per la stima degli apporti inorganici. Le concentrazioni di TOC, in mg l^{-1} , misurate in ciascun campionamento sono presentate nella tabella 2.3.3. Come in passato, i fiumi Bardello e Boesio (e in misura minore il Tresa) sono stati caratterizzati da concentrazioni di TOC più elevate di quelle delle acque pelagiche del Lago Maggiore. Le concentrazioni di TOC misurate nel corso del 1999 hanno in generale presentato valori prossimi a quelli misurati nello stesso corso d'acqua nell'anno precedente, come è evidente dal confronto delle concentrazioni medie annue del '98 e del '99. Ha fatto eccezione il Boesio, dove la concentrazione di TOC è stata particolarmente elevata nei primi tre mesi dell'anno.

Tab. 2.3.3. Concentrazione di Carbonio Organico Totale (TOC mg l^{-1}) nei fiumi tributari del Lago Maggiore.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Set	Ott	Nov	Dic	av. '99	av. '98
Bardello	3,44	4,06	4,22	3,66	4,79	3,24	4,36	5,62	4,96	4,60	3,93	4,3	4,5
Boesio	11,04	10,86	7,29	1,63	3,01	3,03	3,97	4,61	3,59	3,51	3,42	5,1	4,3
Cannobino	0,89	1,09	1,19	0,73	1,53	0,56	0,94	1,60	0,85	0,82	0,70	1,0	1,1
Erno	0,95	0,84	1,01	0,84	1,73	1,93	1,98	2,31	1,13	1,02	1,00	1,3	1,3
Giona	0,76	0,68	1,00	0,72	1,28	0,65	0,90	1,75	0,89	0,83	0,60	0,9	1,1
Maggia	0,74	0,75	1,08	0,91	1,16	0,61	0,91	2,12	0,82	0,94	0,66	1,0	1,0
S. Bernardino	0,72	0,78	1,20	0,86	1,34	0,64	1,03	1,50	0,75	0,64	0,50	0,9	1,1
S. Giovanni	0,86	1,00	1,17	0,62	1,58	0,61	0,82	1,98	0,66	0,87	0,65	1,0	1,1
Strona	1,21	1,75	1,19	0,83	0,93	1,16	1,25	2,24	1,30	1,22	0,93	1,3	1,6
Ticino E.	0,97	1,22	1,19	0,86	1,41	1,12	1,56	2,78	1,27	1,17	1,17	1,3	1,5
Ticino I.	0,59	0,78	1,09	0,59	0,79	0,40	1,89	1,58	0,78	0,81	0,58	0,9	0,9
Toce	0,74	0,76	1,35	0,94	1,10	1,18	1,00	1,99	1,05	1,12	0,74	1,1	1,2
Tresa	1,64	1,71	1,96	2,66	1,65	1,56	2,03	4,04	2,86	2,14	1,41	2,1	2,3
Verzasca	0,76	0,60	1,03	0,83	0,95	1,06	1,21	1,90	1,18	1,11	0,62	1,0	1,0
Vevera	0,93	1,23	1,30	1,43	2,14	0,93	0,83	1,88	1,28	1,54	1,03	1,3	1,7

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO

3.1. Limnologia fisica

Le caratteristiche fisiche dell'ecosistema Lago Maggiore sono state analizzate attraverso l'esame di una serie di parametri scelti tra quelli che consentono di definire soprattutto gli aspetti idrodinamici e, in particolare, le condizioni che si attuano al momento della circolazione tardo-invernale: il verificarsi, o meno, di un mescolamento verticale completo entro tutta la massa d'acqua rappresenta un evento dal quale dipende l'evoluzione futura delle caratteristiche fisiche (e non solo) delle acque lacustri.

Infatti, come si è già sottolineato più volte in questi rapporti l'aspetto idrodinamico più importante per i laghi profondi della fascia temperata che, in Europa, comprende i bacini lacustri prealpini dislocati sia a sud che a nord della catena montuosa è la profondità raggiunta dal mescolamento verticale delle sue acque al termine dell'inverno limnologico. E' in questo periodo dell'anno, infatti, che riflettendo la situazione media delle condizioni climatiche della stagione appena trascorsa, le acque profonde possono venire a contatto con quelle superficiali caratterizzandosi così sia termicamente che per il loro contenuto d'ossigeno in modo tale da incidere sul funzionamento dell'intero ecosistema acquatico, non solo sul comparto fisico ma anche su quello chimico e biologico. Il 1999 da questo punto di vista si può considerare un anno "storico" in quanto è avvenuta, con meccanismi che saranno analizzati in seguito, una completa omogeneizzazione della massa d'acqua del Lago Maggiore, che ha interrotto la serie di mescolamenti verticali parziali che si protraevano dal 1970 [1]. Dopo 28 anni termina così un lungo periodo di oligomissi che ha determinato un progressivo riscaldamento dell'ipolimnio profondo del lago portando la temperatura dell'acqua da 5,8 °C nel 1963 a 6,8 °C nel 1998 e, stabilendo, nell'estate del 1998, il massimo di contenuto calorico totale nel lago dal 1963 ad oggi ($153,474 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Inoltre i dati raccolti, elaborati ed analizzati nel 1999 ci consentono di fare il punto sull'andamento della situazione limnologica generale di quest'anno soprattutto come conseguenza dell'avvenuta piena circolazione. In particolare si farà riferimento alle seguenti variabili:

- fluttuazioni del livello del lago;
- trasparenza delle acque;
- andamento stagionale delle temperature delle acque, dalla superficie al fondo del lago;
- distribuzione lungo la colonna d'acqua dell'ossigeno disciolto;
- bilancio calorico della massa lacustre e flussi di calore.

3.1.1. Livello del lago

Nel corso del 1999 l'altezza idrometrica media del Lago Maggiore è stata di 194,01 m s.l.m., 13 cm al di sopra del valore medio pluriennale (193,88 m s.l.m.). Il lieve incremento annuo rispetto al periodo 1952-1998 è il risultato di un livello medio invernale di -18 cm compensato dai valori positivi primaverili, estivi ed autunnali, rispettivamente di +15, +10 e +48 cm.

Quanto alla regimazione mensile dei livelli idrometrici, la figura 3.1.1. evidenzia, nel 1999 rispetto al periodo di riferimento, scostamenti negativi solo in Gennaio (-58 cm) e Febbraio (-28 cm) mentre in tutta la restante parte dell'anno si riscontrano valori al di sopra della media pluriennale. Gli incrementi di livello sono risultati di lieve entità sino

ad Agosto (compresi tra 4 e 17 cm) e più consistenti da Settembre a Dicembre con il dato di Ottobre (+55 cm) che rappresenta il massimo scarto positivo dell'anno.

Il lago nel corso dell'anno ha, infatti, subito un fenomeno di piena che ha interessato il periodo tra la metà di Settembre e i primi giorni di Ottobre raggiungendo quota 195,30 m s.l.m., a 20 cm dalla sua esondazione a Pallanza. Il livello minimo si è invece mantenuto (193,21 m s.l.m., il 10 Gennaio) molto al di sopra del minimo assoluto del 18 Marzo del 1956 (192,38 m s.l.m.); ne deriva che l'escursione massima nel corso del 1999 è stata di 2,09 m un valore molto al di sotto di quelli registrati in passato nel Lago Maggiore.

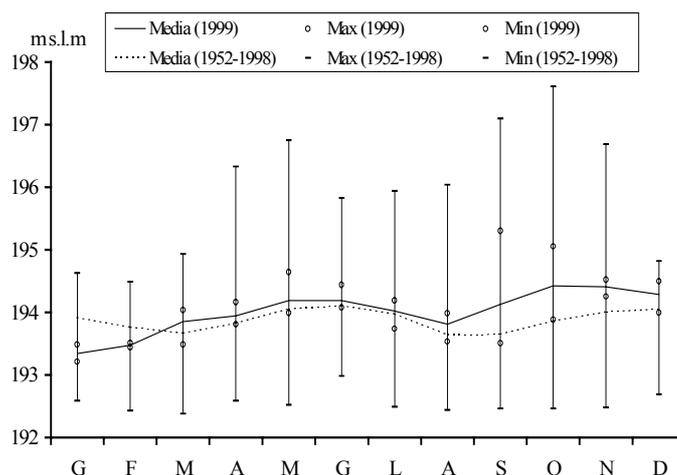


Fig. 3.1.1. Lago Maggiore 1999. Regimi mensili dei livelli, valori estremi in ciascun mese e confronto con il periodo 1952-1998.

3.1.2. Trasparenza delle acque lacustri

La trasparenza dell'acqua misurata come di consueto mediante disco di Secchi, è stata caratterizzata nel 1999 da un massimo di 17,5 m in Gennaio e Febbraio (Fig. 3.1.2.), una profondità piuttosto ragguardevole che non si riscontrava dal Febbraio del 1991. Essa è senza dubbio da porre in relazione oltre che con il momento di bassa produzione anche con la piena circolazione avvenuta al termine dell'inverno limnologico di quest'anno nelle acque del Lago Maggiore. Da segnalare inoltre le repentine diminuzioni del parametro in Marzo (circa 6 m) e Aprile (4 m), probabilmente dovute ad un anticipo della prima produzione algale, e un regolare incremento, con la consueta riduzione in Settembre e Ottobre, sino ai 10,8 m di Dicembre.

3.1.3. Temperatura delle acque lacustri

3.1.3.1. Acque superficiali

L'analisi del ciclo termico stagionale della temperatura delle acque superficiali del Lago Maggiore fa riferimento allo strato fino a 20 m di profondità e si basa sui dati misurati nella stazione di Ghiffa con cadenza decadica. Infatti, occorre precisare che nel corso del 1999, si sono avute molte interruzioni nel rilevamento dei dati alla boa di Pallanza, per cui, visto le lacune presenti nei dati registrati dalle sonde termometriche, si è preferito presentare la situazione della stazione pelagica, anche perché la differenza in termini termometrici può essere considerata di modesta entità.

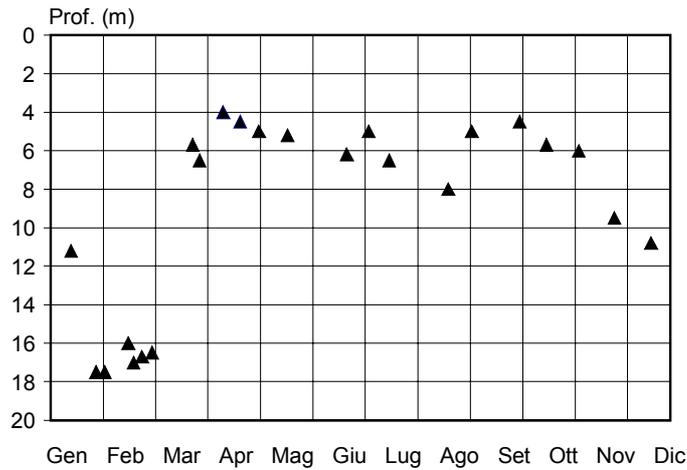


Fig. 3.1.2. Lago Maggiore 1999. Andamento della trasparenza (disco di Secchi)

Il confronto tra le figure 3.1.3.1a. e 3.1.3.1b. consente di rilevare, per i primi mesi del 1999, una situazione molto simile a quella media del periodo di confronto, tuttavia l'isoterma 6,7 °C che giunge sino in superficie, presenta una situazione molto diversa da quella degli anni immediatamente precedenti; è infatti dal 1993 che l'isolinea precedentemente indicata non risaliva ai livelli più superficiali e ciò sottolinea la presenza negli ultimi cinque anni di uno strato relativamente più caldo tra 0 e 20 m di profondità. Evidentemente una conseguenza del mescolamento totale di cui si dirà in seguito. Un leggero riscaldamento dello stesso strato si verifica invece dopo Giugno ed è visibile nelle figure dall'osservazione delle isolinee 11 e 12 °C, la cui scomparsa a 20 m è anticipata di circa un mese. Quasi nella norma la situazione termica in Novembre e Dicembre quando ricompaiono le isoterme 12 e 11 °C. Da rilevare che la temperatura massima superficiale è stata misurata il 19 Luglio con 22,7 °C, e ciò è in linea con i valori degli altri anni.

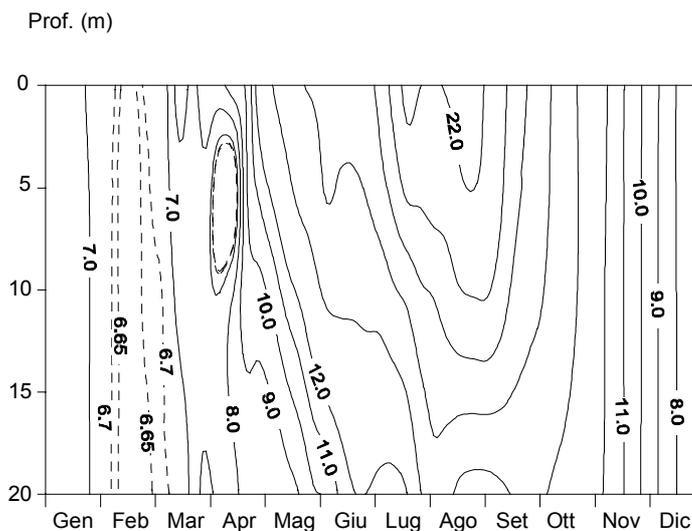


Fig. 3.1.3.1a. Lago Maggiore 1999. Isotherme dello strato superficiale (°C).

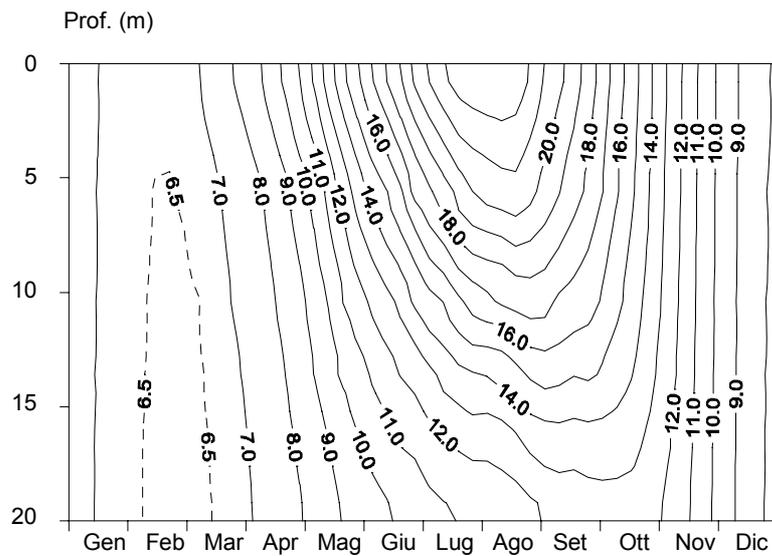


Fig. 3.1.3.1b. Lago Maggiore 1962 - 1998. Isotherme dello strato superficiale (°C).

3.1.3.2. Acque profonde

La situazione termica riscontrata nell'intera colonna d'acqua del Lago Maggiore durante il 1999 è indicata in figura 3.1.3.2. come risultato delle elaborazioni grafiche dei dati raccolti nel corso dei sopralluoghi effettuati con cadenza circa decadica nella porzione centrale del lago, al largo di Ghiffa, dove il fondale raggiunge la massima profondità (370 m).

La più importante considerazione che si ricava dall'analisi della figura riguarda il fatto che l'intera massa d'acqua ipolimnica, così come quella più superficiale, ha subito nel corso del 1999 un netto raffreddamento nei primi mesi dell'anno rispetto agli anni immediatamente precedenti. Ciò in seguito al completo mescolamento, avvenuto tra il 15 e il 18 Febbraio, che ha determinato un'isotermità su tutta la colonna di 6,63 °C e al contemporaneo inserimento d'acqua più fredda in profondità.

E' quanto risulta, per esempio dall'andamento dell'isolinea 6,7 °C che nell'anno precedente giungeva sino a 300 m di profondità e dopo la piena circolazione subisce un cospicuo innalzamento collocandosi per tutto l'anno tra i 50 e i 100 m; pure quella quotata 7,0 °C, situata entro i primi 100 m nel 1998, si trova, nell'ultimo anno, confinata entro i primi 50-60 m. Le poche tracce dell'isotermita 6,6 °C presenti in profondità nel 1998 nel periodo Febbraio - Dicembre 1999, occupano invece con un andamento alquanto sinuoso, uno spessore di lago molto ampio che va da 100 a 300 m di profondità. Da rilevare infine che tra Febbraio e Giugno ricompare anche l'isolinea 6,5 °C assente nelle acque del lago dall'Aprile del 1996.

Dall'analisi dei dati di temperatura lacustre del Lago Maggiore del 1999, si conferma così come supposto nei rapporti precedenti, e cioè il fatto che, nonostante la colonna d'acqua abbia raggiunto quest'anno la piena isotermita e subito un notevole raffreddamento, l'intera massa d'acqua del lago non è ritornata ai valori di temperatura degli anni 1963 e 1970 quando era avvenuto lo stesso fenomeno.

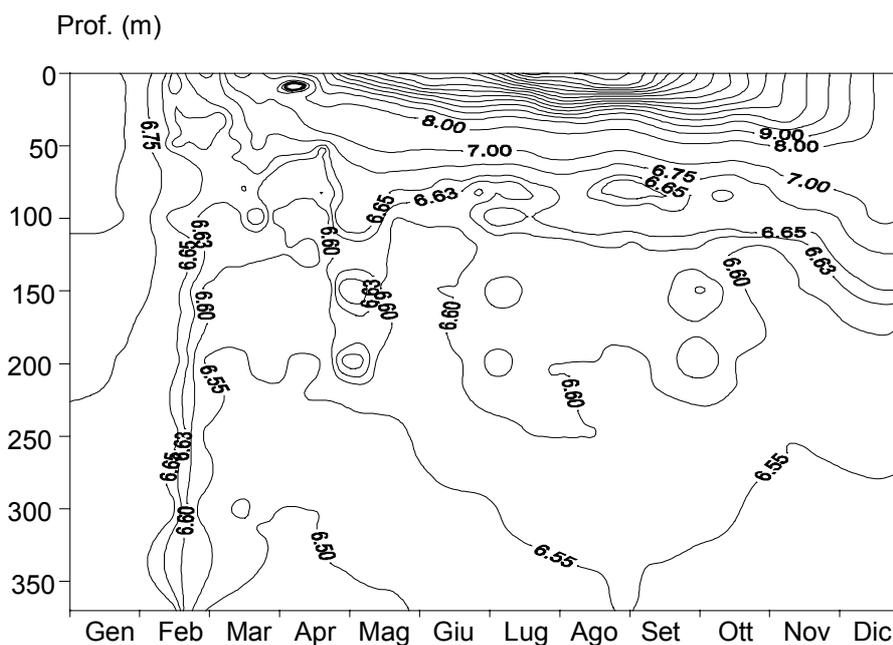


Fig. 3.1.3.2. Lago Maggiore 1999. Isotherme lungo l'intera colonna (°C).

3.1.4. Ossigenazione delle acque lacustri

Come rilevato in precedenza la piena circolazione delle acque del Lago Maggiore ha determinato un incremento della concentrazione d'ossigeno nell'ipolimnio profondo con valori che non si riscontravano dal 1991 quando si verificò nelle zone più depresse del lago un'infiltrazione d'acque fredde e ossigenate di provenienza fluviale.

L'attuale situazione è rappresentata in figura 3.1.4. ed è stata ottenuta dalle elaborazioni dei dati misurati a Ghiffa, in concomitanza con i rilievi termici. In essa è visibile un'uguale concentrazione d'O₂ (circa 7,7 mg O₂ l⁻¹) da 0 a 370 metri di profondità nel mese di Febbraio nonché la presenza di una massa d'acqua comprendente l'ipolimnio superiore e profondo, (cioè da -100 m al fondo) con valori che superano gli 8,0 mg O₂ l⁻¹ che persiste sino a Dicembre. Si tratta di una situazione completamente cambiata rispetto a quella dell'anno precedente quando nello stesso strato d'acqua si raggiungevano a 150 m di profondità i 7,0 mg O₂ l⁻¹, a -250 m i 6,0 mg O₂ l⁻¹ e sul fondo valori addirittura inferiori ai 5,0 mg O₂ l⁻¹. Un leggero consumo d'ossigeno si verifica anche quest'anno nel periodo Agosto - Ottobre tra -20 e -50 m in prossimità del termoclinio e più in profondità nei mesi seguenti; si tratta di un evento abbastanza consueto che è probabilmente legato oltre che all'abbassamento del termoclinio, anche ai moti d'acqua che s'instaurano, in questa fase del ciclo stagionale, nello strato dove il gradiente termico è più pronunciato, e che sono anche responsabili della distribuzione a quei livelli di materiale biologico in fase di degradazione.

3.1.5. Bilancio termico

Anche per il 1999 il bilancio termico del Lago Maggiore è stato determinato su base mensile con la metodica già adottata in passato [2] e con le singole componenti che vengono espresse in unità energetiche per unità di superficie di lago (cal cm⁻² d⁻¹). Come è noto l'equazione è così espressa:

$$Q_s - Q_r - Q_b - Q_e - Q_h \pm Q_t = 0$$

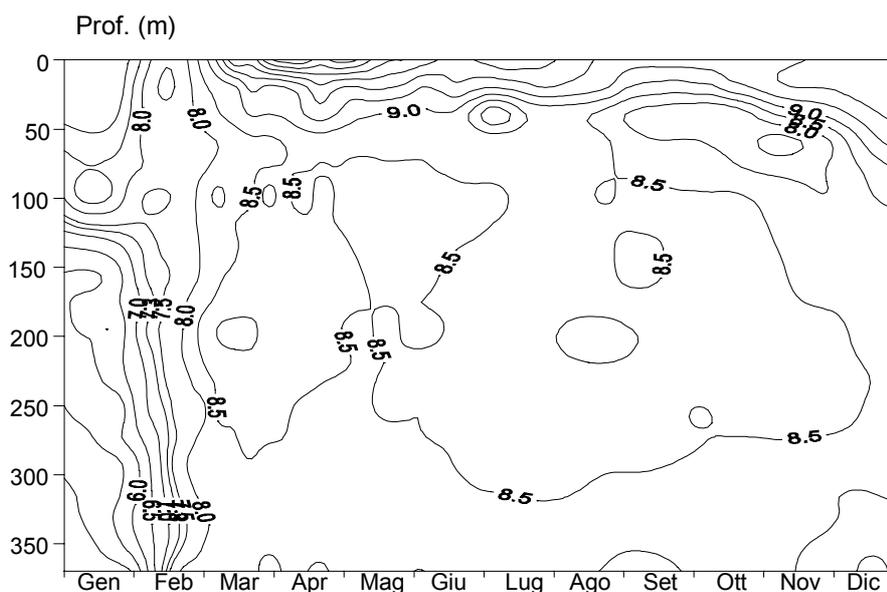


Fig. 3.1.4. Lago Maggiore 1999. Andamento delle concentrazioni d'ossigeno disciolto lungo l'intera colonna ($\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$)

Essendo:

- Q_s = radiazione solare globale;
- Q_r = radiazione solare riflessa;
- Q_b = netto dello scambio energetico ad onda lunga;
- Q_e = calore utilizzato nei processi evaporativi;
- Q_h = calore sensibile di conduzione;
- Q_t = calore immagazzinato o perso dal lago.

I valori di questi parametri, unitamente alla radiazione solare effettiva Q_{se} ($Q_s - Q_r$), alla radiazione netta ($Q_N = Q_s - Q_r - Q_b$) ed al rapporto di Bowen ($R = Q_h / Q_e$) sono riportati per quest'anno nella tabella 3.1.5.

Tab. 3.1.5. Lago Maggiore 1999. Quantità energetiche del bilancio calorico ($\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$).

	Q_s	Q_r	Q_{se}	Q_b	Q_N	Q_t	Q_e	Q_h	R
Gen	135	19	116	160	-44	-245	137	64	0,46
Feb	240	26	213	172	42	-178	171	48	0,28
Mar	277	25	252	135	117	8	142	-32	-0,23
Apr	360	29	332	85	246	157	133	-44	-0,33
Mag	390	27	363	86	277	271	24	-18	-0,74
Giu	519	36	482	95	387	256	233	-81	-0,35
Lug	533	37	496	92	404	121	314	-31	-0,10
Ago	387	27	360	112	248	198	50	0	0,00
Set	282	25	256	108	148	-55	202	1	0,00
Ott	174	17	157	135	22	-143	140	26	0,19
Nov	125	16	109	175	-66	-229	113	50	0,44
Dic	104	16	88	179	-90	-291	126	75	0,59

Rispetto ai corrispondenti valori degli anni precedenti è possibile verificare come nel 1999 nei mesi di Febbraio, Giugno e Luglio, Q_{se} pur non raggiungendo i valori massimi assoluti del periodo 1963-1998, si è presentato su valori medio alti. In particolare la concomitanza in Luglio di un basso Q_b ($92 \text{ cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$) superiore solo al minimo assoluto

verificatosi nel 1995 ($82 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) ha favorito un notevole assorbimento di energia nella massa d'acqua (Q_N) che però non ha determinato un'altrettanto immagazzinamento nel lago (Q_t), in quanto gran parte dell'energia è stata utilizzata per i processi evaporativi (Q_e con $314 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ è risultato inferiore solo al valore determinato nel 1983 con $351 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Tutti i valori delle altre componenti energetiche sono compresi entro i limiti già riscontrati in passato.

Il bilancio termico di quest'anno è rappresentato anche in figura 3.1.5a., dal suo esame è possibile rilevare come l'energia netta assorbita dal lago Q_N sia stata, come consuetudine, positiva da Febbraio ad Ottobre con una leggera flessione a Maggio (conseguenza di una riduzione di Q_s) e l'immagazzinamento di calore con l'irregolarità di Luglio di cui si è detto, si sia protratto da Marzo a Settembre.

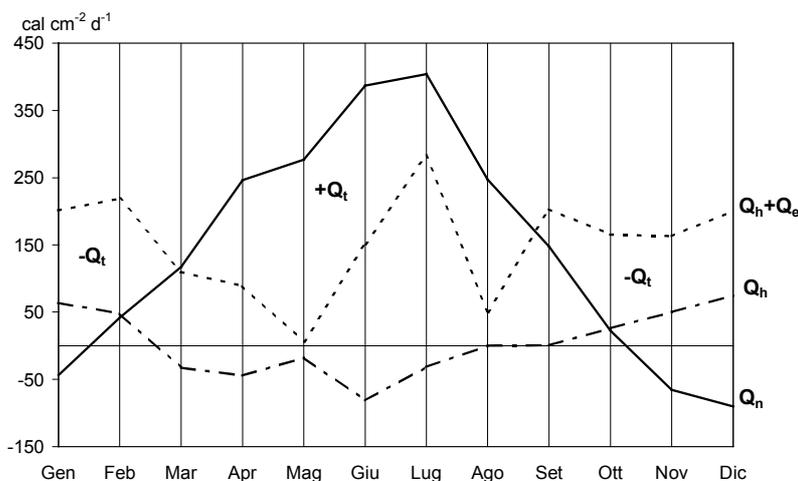


Fig. 3.1.5a. Lago Maggiore 1999. Bilancio termico.

I fenomeni evaporativi e quelli legati alla conduzione di calore sono stati molto attivi in Febbraio, Luglio e Settembre e ridotti in Maggio ed Agosto.

Il contenuto di calore (medio mensile) della massa d'acqua è risultato in Febbraio di $119,034 \text{ cal cm}^{-2}$ (minimo dell'anno) ed è progressivamente aumentato sino a raggiungere il massimo in Agosto con $149,942 \text{ cal cm}^{-2}$; per ritrovare nelle acque del Lago Maggiore la presenza di quantità energetiche così basse in estate bisogna risalire al corrispondente mese del 1995. Le perdite sono risultate notevoli nella seconda parte dell'anno determinando a Dicembre un contenuto calorico di $127,164 \text{ cal cm}^{-2}$ che è comparabile con le $128,017 \text{ cal cm}^{-2}$ del 1993.

L'evolversi del ciclo stagionale dei flussi di energia termica e il loro andamento in profondità è rappresentato in figura 3.1.5b. attraverso isolinee quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e con le fasi di riscaldamento e di raffreddamento dei diversi strati del lago indicate rispettivamente da aree bianche e scure. In essa appaiono evidenti le perdite energetiche nella prima parte dell'anno, in Febbraio quando l'isolinea -100 supera i 60 metri di profondità e la -50 i 100 metri e in Marzo e Aprile quando flussi negativi sono ancora presenti nei livelli più depressi del lago.

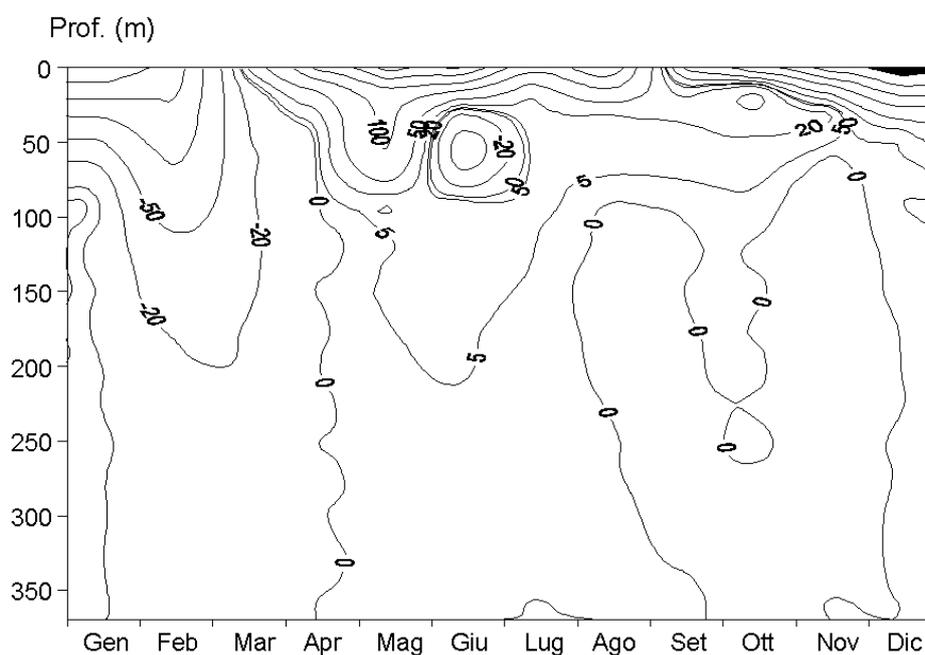


Fig. 3.1.5b. Lago Maggiore 1999. Flussi di calore. Isolinee quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$

3.1.6. Profondità di mescolamento

I dati di temperatura e ossigeno raccolti nel 1999 lungo l'intera colonna d'acqua nei sopralluoghi a Ghiffa hanno consentito di seguire il graduale approfondimento dello strato mescolato sino all'omogeneizzazione completa della massa d'acqua avvenuta tra il 15 e il 18 Febbraio. La circolazione verticale nelle acque del Lago Maggiore è stata facilitata dal fatto che già il mese di Dicembre 1998 e successivamente anche quello di Febbraio sono stati caratterizzati da una notevole quantità di vento filato come non accadeva dal 1970, tanto che il 12 Gennaio le acque lacustri presentavano uno strato mescolato che raggiungeva i 100 m di profondità e il 27 Gennaio i 150 metri. Dopo 5 giorni, l'1 Febbraio, la circolazione verticale per moti convettivi si era spinta sino a circa 200 m di profondità; da sottolineare tuttavia che alla stessa data gli strati al di sotto dei 250 m (Fig. 3.1.6a. e 3.1.6b.), ancora separati termicamente da quelli sovrastanti, presentavano un incremento nella loro concentrazione di ossigeno. Ciò è da collegare con il fatto che nei giorni 29 e 30 Gennaio (Fig. 3.1.6c.) ha soffiato sull'areale del Lago Maggiore un vento di föhn di forte intensità che ha portato i massimi di temperatura dell'aria sopra i 13°C e ciò ha inciso sia sullo sprofondamento dello strato mescolato superficiale che sull'ossigenazione delle acque più depresse, provocato da un infossamento di acqua più fredda proveniente dai tributari a seguito dello scioglimento delle nevi.

Nel campionamento del 15 Febbraio si è rilevato un'uguale ossigenazione da 0 a 370 m di profondità intorno ai $7,4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ mentre la temperatura dell'acqua presentava ancora entro la colonna verticale un leggero gradiente termico. La piena circolazione è stata infine verificata nella sua completezza il 18 Febbraio sia per quanto riguarda la temperatura ($6,63^{\circ}\text{C}$) che la concentrazione di O_2 (circa $7,5 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$) uniformi entro tutta la colonna d'acqua. Prima di questi ultimi due rilievi si sono verificate giornate (4 e 7 Febbraio) con il föhn che ha superato ancora i 200 km elevando la temperatura mas-

sima atmosferica a valori compresi tra 10,8 e 19,1 °C, mentre successivamente, sino al 15 Febbraio, si sono avuto giorni freddi e molto ventosi.

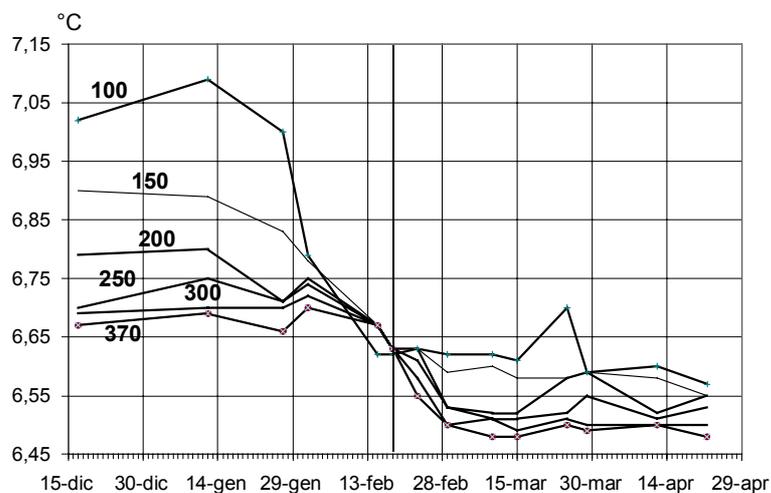


Fig. 3.1.6a. Andamento della temperatura dell'acqua (°C) tra 100 e 370 metri di profondità nelle acque del Lago Maggiore nel periodo Dicembre 1998 - Aprile 1999

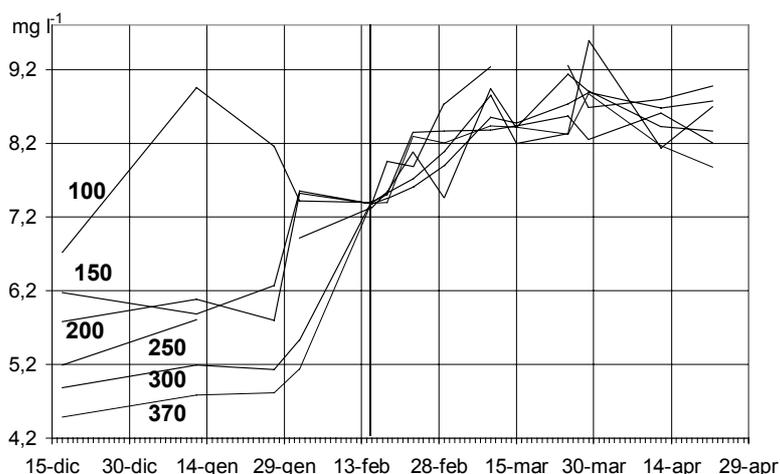


Fig. 3.1.6b. Andamento delle concentrazioni di ossigeno (mg l^{-1}) tra 100 e 370 metri di profondità nelle acque del Lago Maggiore nel periodo Dicembre 1998 - Aprile 1999

La circolazione completa dell'inverno 1999, considerando la situazione meteorologica instauratasi in questo periodo sull'areale del Lago Maggiore e i meccanismi di ossigenazione e di raffreddamento che in passato hanno interessato le acque profonde del lago, fa supporre, come per altro è accaduto nel Lago di Garda [9] che si sia verificata grazie ad un'azione concomitante, di moti convettivi, almeno sino alla profondità di 200 m, e di penetrazione di acque superficiali più fredde e maggiormente ossigenate negli strati al di sotto di tale profondità. Questo doppio meccanismo si è protratto almeno sino al 15 Febbraio quando sono ancora distinguibili le due masse d'acqua, non più identificabili nel campionamento del 18 Febbraio quando si è raggiunta l'omogeneizzazione completa del lago.

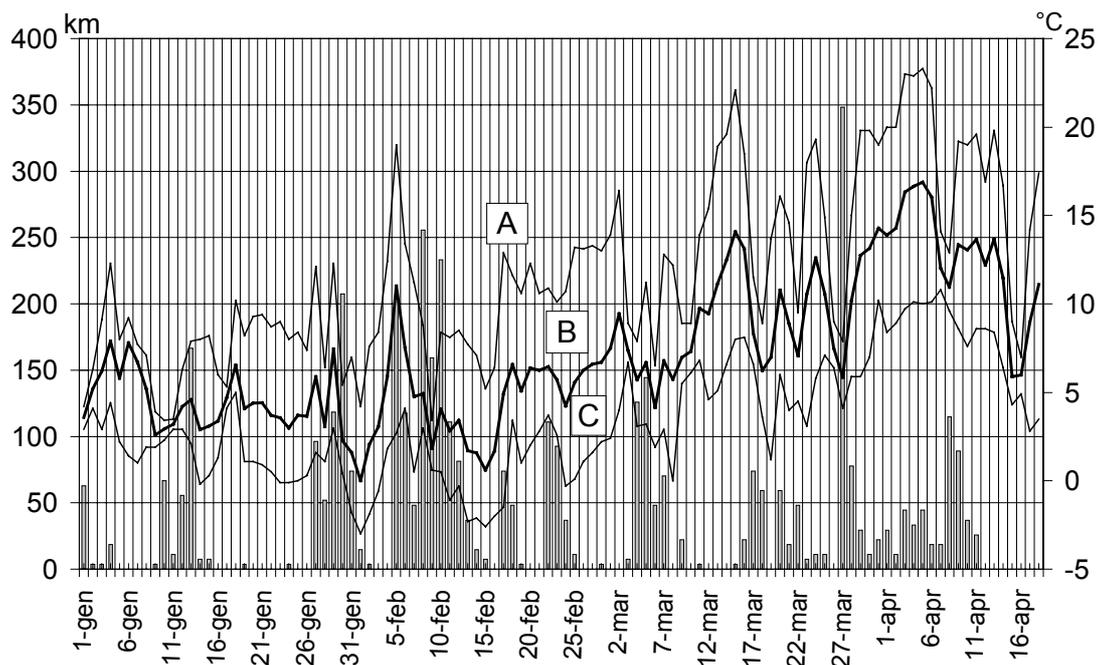


Fig.3.1.6c. Andamento giornaliero delle temperature atmosferiche medie (B), massime (A), e minime (C) e del percorso del vento alla stazione meteorologica di Pallanza nei primi quattro mesi del 1999

Quanto sin qui sostenuto sui meccanismi che hanno determinato il mescolamento del Lago Maggiore nel 1999 trovano conferma nel valore assunto dal parametro di mescolamento M , che valutato, secondo la metodica descritta nei passati rapporti [3], dal 1956 ad oggi ha sempre permesso di determinare con estrema precisione la profondità di mescolamento raggiunta nel lago per moti convettivi. Esso nel 1999, in base alla situazione meteorologica instauratasi nei mesi invernali sull'areale lacustre, assume il valore 536 che corrisponde ad una profondità di mescolamento attorno ai 175 m di profondità, quasi uguale a quella che risulta dalla nostra analisi.

Va sottolineato che il mescolamento del 1999 è avvenuto ad una temperatura dell'acqua sull'intera colonna di $6,63\text{ }^{\circ}\text{C}$, molto al di sopra di quella delle precedenti circolazioni: $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ nel 1963 e $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ nel 1970.

Da un punto di vista energetico si è rilevato che il contenuto calorico dell'intera colonna massa d'acqua è passato da $123,998\text{ cal cm}^{-2}$ del Febbraio 1998 a $117,336\text{ cal cm}^{-2}$ del 18 Febbraio 1999 con una diminuzione del 4,7 %. Ulteriori riduzioni si sono avute con il prosieguo della stagione: $117,265\text{ cal cm}^{-2}$ il 23 Febbraio e $116,644\text{ cal cm}^{-2}$ l'1 Marzo. Dal 23 Febbraio in poi la riduzione energetica ha interessato però quasi esclusivamente lo strato tra 150 e 370 m come conseguenza dello sprofondamento d'acqua più fredda proveniente dagli immissari che ha portato la temperatura media in questo spessore di lago al di sotto di $6,5^{\circ}\text{C}$.

3.2. Chimica lacustre

3.2.1. Chimismo di base

In occasione del completo mescolamento verticale della massa lacustre, intervenuto il 15 Febbraio 1999, le concentrazioni medie delle principali specie ioniche nella zona di massima profondità (Ghiffa) sono risultate identiche a quelle riscontrate nel 1998 (Tab. 3.2.1.). La composizione ionica delle acque lacustri, è praticamente rimasta invariata nel decennio 1990-1999, presentando una larga prevalenza di calcio tra i cationi e di bicarbonati e solfati tra gli anioni. Il contenuto ionico totale si è mantenuto stabilmente tra 3,0 e 3,1 meq l⁻¹ e la conducibilità a 20 °C ha presentato modeste variazioni, comprese tra 144 e 149 µS cm⁻¹.

Nel decennio considerato, anche i valori medi ponderati sui volumi del pH nell'intera colonna d'acqua sono risultati pressochè costanti tra 7,35 e 7,43. Ma, alla piena circolazione del 1999, si è riscontrato un pH di 7,15 unità, decisamente inferiore rispetto a quello misurato negli anni precedenti quando l'estensione verticale del mescolamento non aveva mai interessato le acque al di sotto dei 200 m di profondità.

Il minimo raggiunto, che riguarda anche i valori medi epi- ed ipolimnetici, è contestuale con la più bassa percentuale di saturazione di ossigeno in epilimnio (62%) dell'intero decennio nei periodi di massima circolazione (Fig. 3.2.1a.). La figura mette inoltre in evidenza, per l'anno in studio, massimi epilimnetici stagionali di pH tra 8,6 e 8,9 unità, in corrispondenza dei mesi di maggior produzione algale, durante i quali si registrano anche i contenuti medi più alti d'ossigeno.

Tab. 3.2.1. Bilancio ionico (meq l⁻¹), pH e conducibilità (µS cm⁻¹ a 20 °C) alla circolazione primaverile delle acque del Lago Maggiore dal 1990 al 1999 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

<i>specie ioniche</i>	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
HCO ₃ ⁻	0,77	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,81	0,78	0,79	0,79
SO ₄ ⁻	0,61	0,61	0,61	0,62	0,62	0,61	0,62	0,61	0,63	0,63
Cl ⁻	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
NO ₃ ⁻	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Σ anioni	1,50	1,51	1,51	1,52	1,53	1,52	1,55	1,51	1,54	1,54
Ca ⁺⁺	1,05	1,10	1,09	1,10	1,09	1,06	1,08	1,09	1,08	1,08
Mg ⁺⁺	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30
Na ⁺	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
K ⁺	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Σ cationi	1,48	1,54	1,53	1,55	1,54	1,49	1,53	1,54	1,53	1,53
Σ ioni	2,98	3,05	3,04	3,07	3,07	3,01	3,08	3,05	3,07	3,07
pH	7,35	7,35	7,43	7,34	7,38	7,36	7,39	7,32	7,37	7,15
Conducibilità	144	146	145	146	146	146	146	145	147	149

Andamenti del tutto simili si osservano anche nello strato più superficiale, compreso tra la superficie e i 5 m di profondità (Fig. 3.2.1b.): il pH e la saturazione d'ossigeno raggiungono massimi estivi, rispettivamente pari a 89 e 120%. Tali valori indicano che i processi di sintesi si sono mantenuti sui livelli dell'anno precedente e segnalano che l'evento di piena circolazione non ha comportato significativi incrementi di produzione algale nei mesi successivi.

Nel corso del 1999, i tenori medi più elevati d'alcalinità totale e conducibilità si riscontrano al termine della stagione invernale (Fig. 3.2.1c.). I minimi sono assai più pronunciati nello strato epilimnico, ma rispetto a quanto era stato segnalato negli anni precedenti, essi hanno interessato due periodi. Una prima riduzione d'alcalinità e di conducibilità, legata agli effetti dei processi di sintesi algale sull'idrochimica lacustre, si è misurata tra Luglio ed Agosto. In autunno, dalla fine di Settembre alla prima metà di Novembre, si è invece osservato un calo più accentuato dei valori medi epilimnetici di queste due variabili anche per l'influenza della laminazione nello strato superficiale d'apporti idrici più diluiti derivanti da eventi di piena dei tributari, che si sono verificati a seguito delle consistenti precipitazioni meteoriche sull'intero bacino imbrifero (circa 650 mm dal 15 Settembre al 15 Novembre, corrispondenti al 35% degli afflussi totali del 1999).

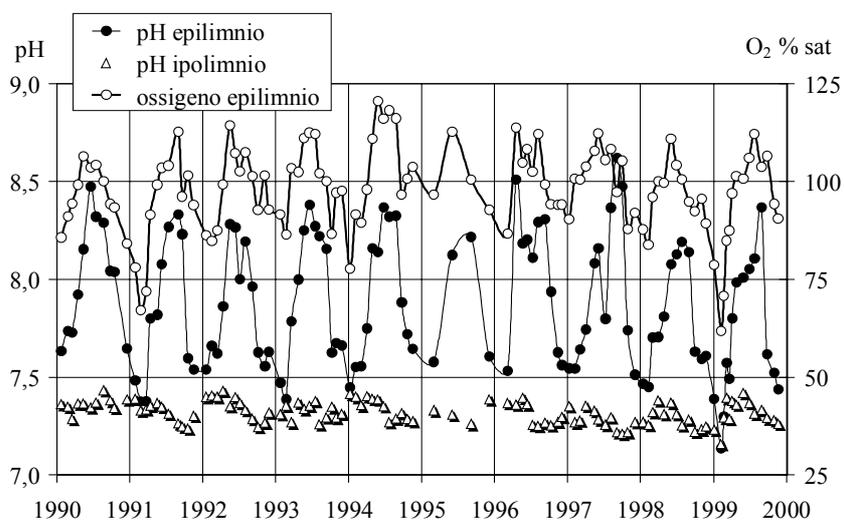


Fig. 3.2.1a. Lago Maggiore nel periodo 1990-1999: pH nello strato epilimnico (0-25 m) ed ipolimnico (25-370 m) e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

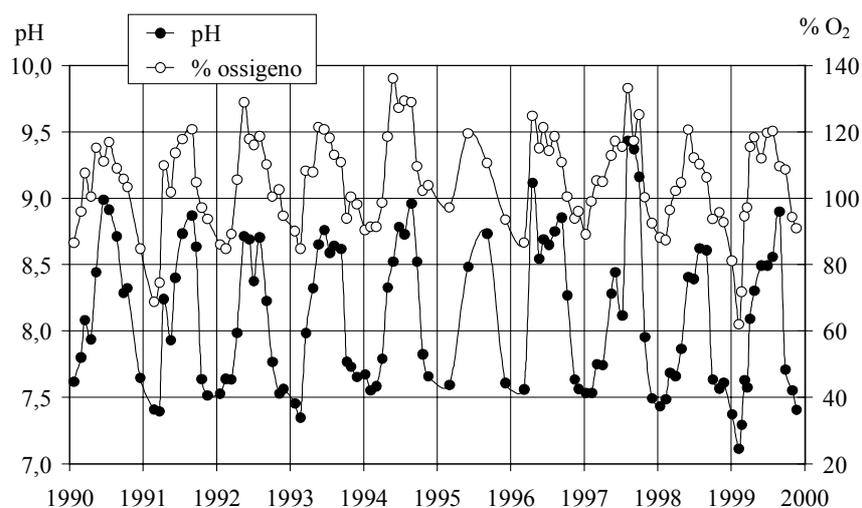


Fig. 3.2.1b. Lago Maggiore nel periodo 1990-1999: pH e saturazione d'ossigeno nello strato d'acqua compreso tra la superficie ed i 5 metri di profondità (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

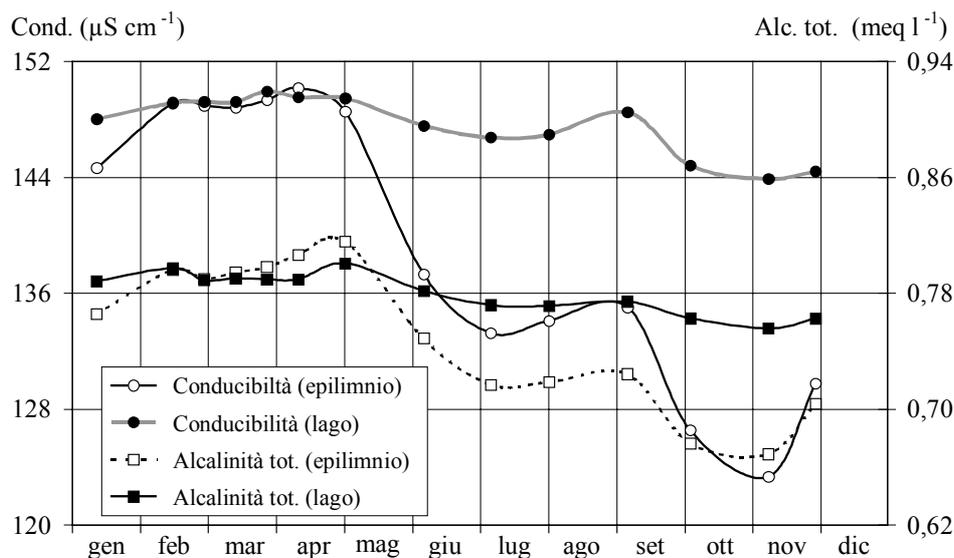


Fig. 3.2.1c. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento stagionale nel corso del 1999 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale e di conducibilità a 20 °C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

3.2.2. Composti dell'azoto

Nel 1999 i contenuti medi annuali sull'intera colonna d'acqua di azoto nitrico e azoto totale sono risultati pari rispettivamente a 0,82 mg N-NO₃ l⁻¹ e a 0,95 mg N l⁻¹, valori praticamente identici a quelli misurati nell'anno precedente (rispettivamente 0,82 e 0,93 mg N l⁻¹). I tenori di azoto ammoniacale non hanno mai superato i 10 µg N l⁻¹ sia negli strati superficiali che in quelli profondi, mentre l'azoto nitroso è risultato presente con livelli estremamente bassi soltanto nelle acque epilimniche nel campionamento del 6 Settembre (0,007 mg N l⁻¹). L'azoto organico, calcolato per differenza tra l'azoto totale e quello inorganico, ha mostrato tenori medi annuali nell'intera massa d'acqua di 0,13 mg N l⁻¹, presentando i massimi di concentrazione in epilimnio al termine della stagione estiva (0,21-0,23 mg N l⁻¹), mentre i minimi sono stati misurati nel periodo tardo invernale di circolazione. Un andamento stagionale opposto si verifica invece per le concentrazioni medie epilimniche di azoto nitrico e di azoto totale. Infatti, nel decennio 1990-1999, i nitrati mostrano massimi invernali seguiti da cali primaverili, con minimi tardo estivi principalmente legati ai consumi algali dalla primavera all'autunno, cui si assommano le fluttuazioni degli apporti alloctoni di azoto totale, generalmente più limitati nel periodo estivo per effetto del trattenimento dei nitrati operato dalla copertura vegetale nel bacino imbrifero (Fig. 3.2.2a.).

L'esame del grafico dell'andamento storico dei contenuti medi di azoto nitrico in lago (Fig. 3.2.2b.) permette di ipotizzare che si sia ormai arrestata la tendenza ad una crescita molto rallentata, che era stata messa in luce dopo il 1976. Infatti, nell'ultimo quinquennio si è osservata una sostanziale stabilità delle concentrazioni attestata su un valore medio di 818 µg N l⁻¹, con una deviazione standard assai bassa (12 µg N l⁻¹).

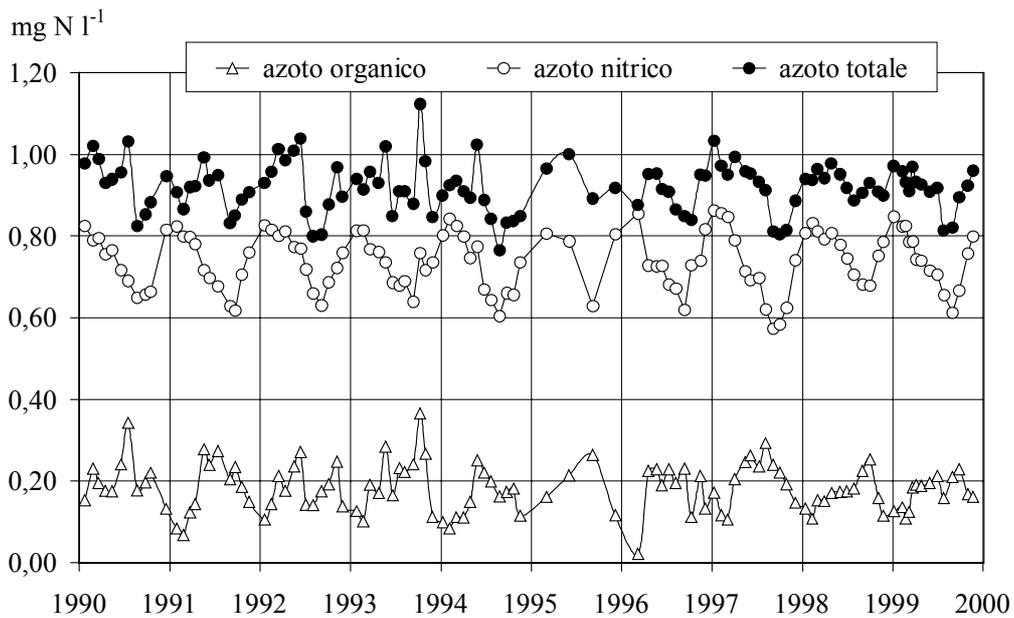


Fig. 3.2.2a. Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel periodo 1990-1999 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa)

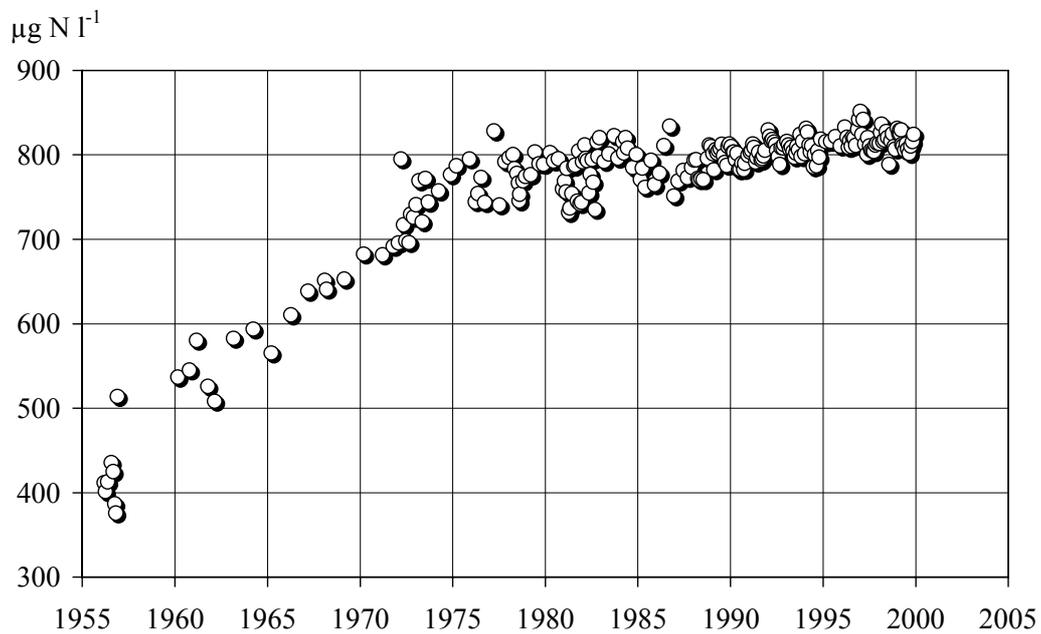


Fig. 3.2.2b. Lago Maggiore: evoluzione delle concentrazioni di azoto nitrico (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

3.2.3. Composti del fosforo

L'andamento delle concentrazioni medie di fosforo nell'ultimo decennio (Fig. 3.2.3.) mostra che i suoi tenori medi si erano mantenuti fino al 1996 sui livelli minimi raggiunti all'inizio del 1993. Nel biennio successivo si era però registrato un modesto incremento dei contenuti medi annuali di fosforo reattivo e totale fino ai valori misurati nel 1998, pari rispettivamente a 7 e a 11 $\mu\text{g P l}^{-1}$. Queste concentrazioni sono state sostanzialmente ripetute dopo il primo quadrimestre del 1999, vale a dire successivamente al periodo durante il quale sono intervenuti i processi di completa circolazione della massa lacustre che hanno sensibilmente modificato il chimismo delle acque ipolimnetiche influenzando soprattutto i contenuti di fosforo e di ossigeno. In effetti, nella fase iniziale del mescolamento (15 Febbraio), si sono osservate concentrazioni omogenee in tutta la colonna d'acqua sia di fosforo reattivo (valore medio ponderato di 9,0 $\mu\text{g P l}^{-1}$) che di fosforo totale (valore medio ponderato di 13,6 $\mu\text{g P l}^{-1}$). Tali contenuti indicano un quantitativo di fosforo totale in lago più alto del 15% di quello presente in Gennaio e del 27% di quello misurato al campionamento del Dicembre 1998. Tenendo conto che questi due mesi sono stati caratterizzati da scarsissime precipitazioni meteoriche e da afflussi minimi dai tributari, l'incremento osservato non può essere messo in relazione con eventuali aumenti di apporti di fosforo dal bacino. La spiegazione del fenomeno è probabilmente legata all'incremento in lago della frazione fine di particolato (0,2-1,2 μm ; si veda il cap. 3.4.) a causa della parziale risospensione dei sedimenti superficiali provocata dai movimenti circolatori della massa lacustre soprattutto lungo la fascia costiera nelle zone di pendenza più accentuata della cuvetta lacustre. Questo materiale, generalmente ad elevata richiesta di ossigeno, è costituito da batteri, sostanze organiche parzialmente degradate, colloidali inorganici ed organici, nonché da composti e complessi del fosforo con ioni metallici. La sua diffusione nella massa d'acqua ipolimnica induce una serie di reazioni chimiche e biochimiche strettamente connesse con il potenziale di ossido riduzione del sistema: da un lato, i processi di degradazione del carbonio organico, così come la nitrificazione dell'ammonio risultante dalla lisi delle cellule, vengono sensibilmente incentivati dal parziale recupero di ossigeno nelle acque profonde nella fase iniziale del mescolamento; dall'altro, si generano forme ridotte di metalli quali ferro e manganese. Le conseguenze di questi due processi sono analoghe per quanto riguarda il fosforo. Nel primo caso, l'ossidazione della frazione organica si manifesta con consumo di ossigeno, rilascio di fosfati e sali di azoto, produzione di CO_2 e conseguente abbassamento del pH (si vedano al proposito i minimi epi- ed ipolimnetici di pH in (Fig. 3.2.1a.); nel secondo, si ha un rilascio di fosforo dalle forme ridotte di ferro e manganese.

Con il procedere del mescolamento e quindi del rifornimento di ossigeno in tutta la massa idrica, lo stato del sistema raggiunge un livello tale da permettere condizioni di potenziale di ossidoriduzione e di pH favorevoli alla formazione di composti e complessi insolubili del fosforo con le forme ossidate di ferro e manganese. Difatti la concentrazione media si riporta in Marzo intorno a 11 $\mu\text{g P l}^{-1}$ per stabilizzarsi nella seconda metà dell'anno sui 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$, valore che conferma l'avvicinamento a stabili condizioni di oligotrofia del lago.

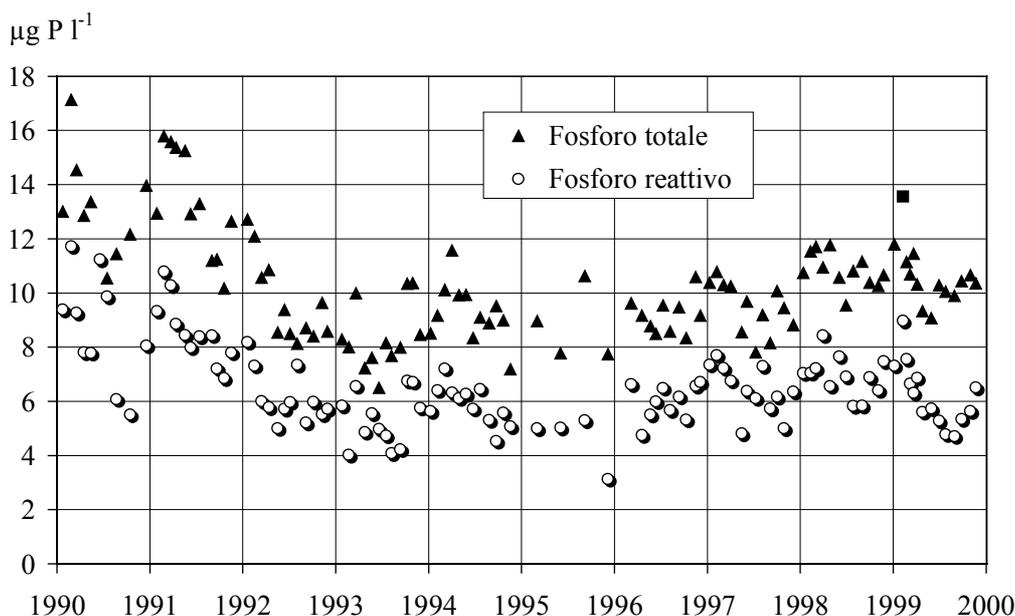


Fig. 3.2.3. Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel periodo 1990-1999 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa). Il quadratino nero indica la concentrazione di ossigeno al momento della piena circolazione (15/02/99).

3.2.4. Ossigeno disciolto

Come si è già osservato al cap. 3.2.1., le variazioni dei contenuti medi di ossigeno in epilimnio e nello strato più superficiale sono risultati nel corso del 1999 sostanzialmente dello stesso ordine di grandezza di quelle verificatesi nel 1998, con l'unica eccezione del minimo misurato al momento della circolazione.

L'andamento in dettaglio della distribuzione verticale dell'ossigeno prima e durante la piena circolazione dell'anno in studio è presentato in figura 3.2.4a. Come si può osservare nella figura, al campionamento del 12 Gennaio il mescolamento aveva già interessato i primi 100 metri d'acqua, che presentavano concentrazioni medie di circa $9,3 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, mentre nel resto dell'ipolimnio i contenuti variavano da un minimo di $4,8 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (-360 m) ad un massimo di $5,9 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (-150 m). Il mescolamento completo dei due strati è stato accertato il 15 Febbraio. In questa data il contenuto medio riscontrato nell'intera colonna d'acqua è risultato leggermente inferiore rispetto a quello del mese precedente ($7,38 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ contro $7,60 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$), con valori alle singole quote di campionamento compresi tra il minimo di $7,26 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, alla profondità di 200 m, e i massimi di $7,53 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ in superficie e a -30 m. Dopo due settimane (campionamento del 1 Marzo) le concentrazioni di ossigeno sono cresciute in tutte le profondità, presentando massimi di $8,6-8,7 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ in superficie e a -200 m, mentre il contenuto medio in lago si è attestato su $8,23 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$. Tale valore è cresciuto dopo altre due settimane fino a $8,70 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (campionamento del 15 Marzo), ma l'ulteriore aumento, assai pronunciato in epilimnio per i processi di sintesi algale, è stato alquanto limitato nello strato compreso tra 20 e 200 m di profondità (circa $0,4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$), mentre le concentrazioni sono rimaste invariate nell'ipolimnio profondo.

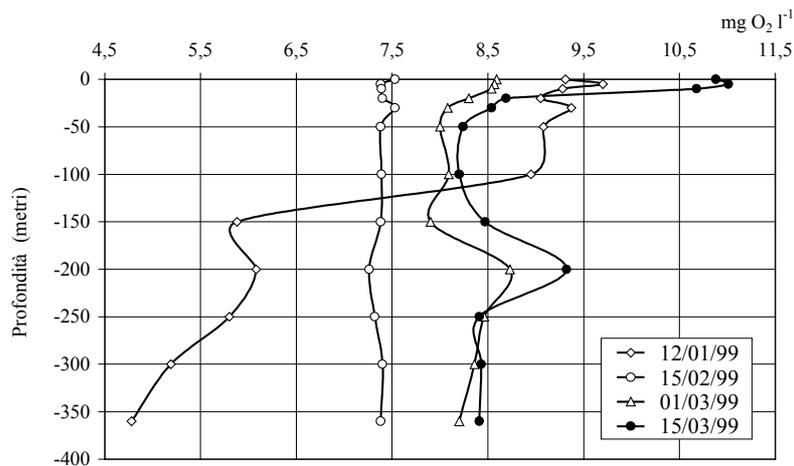


Fig. 3.2.4a. Lago Maggiore (Ghiffa). Distribuzione verticale di ossigeno disciolto prima e durante la circolazione del 1999.

Per quanto riguarda lo strato compreso tra i 200 ed i 370 m di profondità, che storicamente ha presentato lunghi periodi di segregazione per le condizioni di oligo-olomissi del lago, il contenuto di ossigeno raggiunto nella prima fase del mescolamento è presentato in figura 3.2.4b. insieme con l'andamento delle concentrazioni medie nello strato a partire dal 1955. Il valore misurato il 15 Febbraio, pari a 7,33 mg O₂ l⁻¹, indica un primo consistente recupero rispetto al contenuto medio del mese precedente (5,62 mg O₂ l⁻¹ nel campionamento del 12 Gennaio). L'incremento è proseguito nei giorni successivi per poi stabilizzarsi a partire da Marzo su concentrazioni comprese tra 8,5 e 8,7 mg O₂ l⁻¹. Tali valori, che corrispondono a percentuali di saturazione del 72%, sono dello stesso ordine di quelli raggiunti negli anni 1981, 1986 e 1991, quando le acque profonde si sono riossigenate per il verificarsi di processi di parziale mescolamento verticale innescati ed accompagnati da eventi idrologici di piena che hanno permesso lo sprofondamento nel basso ipolimnio di acque tributarie fredde ed aerate.

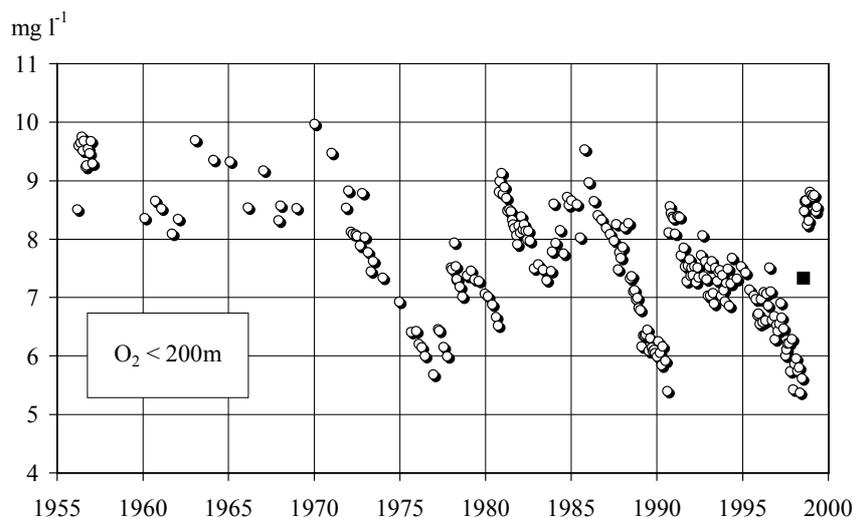


Fig. 3.2.4b. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento storico della concentrazione media di ossigeno nello strato 200-370 m (valori ponderati sui volumi). Il quadratino nero indica la concentrazione di ossigeno al momento della piena circolazione (15/02/99).

3.2.5. Silicati reattivi

La piena circolazione non ha influenzato i contenuti di silicati reattivi in lago. Le concentrazioni medie sull'intera colonna d'acqua misurate durante il 1999 sono rimaste comprese tra 1,3 e 1,6 mg Si l⁻¹, risultando pressochè identiche a quelle del periodo 1994-1998 (Fig. 3.2.5.). Anche i minimi epilimnetici, associati a fioriture di diatomee e solitamente riscontrati nella tarda primavera e alla fine della stagione estiva, si collocano sui livelli già toccati dopo il 1994 (0,4-0,5 mg Si l⁻¹).

Su scala storica, l'esame dell'andamento delle concentrazioni nel decennio 1990-1999 sembra indicare due periodi distinti che potrebbero essere messi in relazione con la diversa situazione trofica del lago: il quadriennio 1990-1993, caratterizzato da tenori più bassi di silicati nell'intero lago con minimi epilimnetici molto pronunciati, e il periodo 1994-1999 durante il quale i consumi di silicati sembrano assai più contenuti.

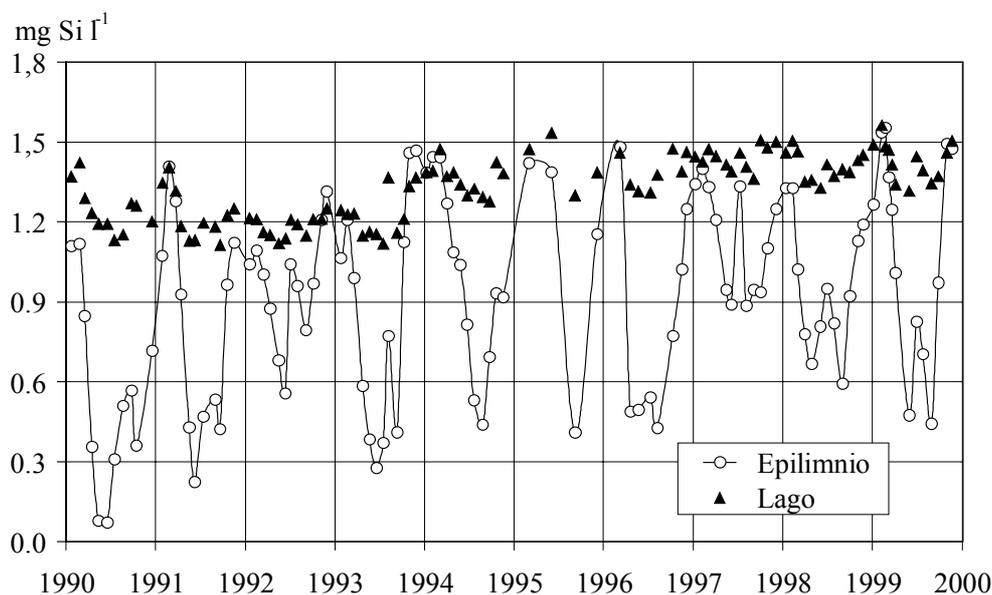


Fig. 3.2.5. Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnetico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 1990-1999.

3.3. Popolamenti planctonici

3.3.1. Indagini sul fitoplancton

3.3.1.1. Struttura dei popolamenti

Lo schema dei campionamenti per il fitoplancton si è uniformato, anche per il 1999, alla serie storica dei campionamenti sul Lago Maggiore. Nella stazione al largo di Ghiffa sono stati effettuati, tra il 12 Gennaio e il 2 Dicembre, 20 sopralluoghi con prelievamento di campioni d'acqua nello strato 0-20 m, con frequenza mensile nei mesi caratterizzati da minore attività algale (Gennaio, Febbraio, Novembre e Dicembre) e fondamentalmente quindicinale nella restante parte dell'anno. In Marzo sono stati effettuati tre sopralluoghi allo scopo di seguire meglio eventuali effetti della piena circolazione sui popolamenti.

I campioni sono stati analizzati in laboratorio seguendo le tecniche standard utilizzate negli anni passati, sia per quanto riguarda i conteggi, l'identificazione delle specie e il calcolo della biomassa (biovolume) che per la determinazione della concentrazione della clorofilla *a* e dei feopigmenti.

Il numero totale dei taxa censito durante il 1999 è il più alto in assoluto (80 contro 78 e 74 rispettivamente nel 1997 e nel 1998). Tali numeri sono da considerare praticamente identici negli ultimi tre anni (Fig. 3.3.1.1.). Nel 1999 anche il numero medio di specie per campione è il più elevato (34), ed è praticamente uguale a quello degli ultimi tre anni (Fig. 3.3.1.1.). Lo stesso vale per le specie più significative (dominanti in quanto concorrenti a formare almeno l'80% del biovolume totale almeno una volta nel corso dell'anno): esse sono state 31 nel 1999; sempre dalla figura citata si può notare come il loro numero abbia superato, nella serie storica, la trentina a partire dal 1993, contro valori molto più bassi nella serie di anni precedenti quando lo stato trofico del lago era più elevato.

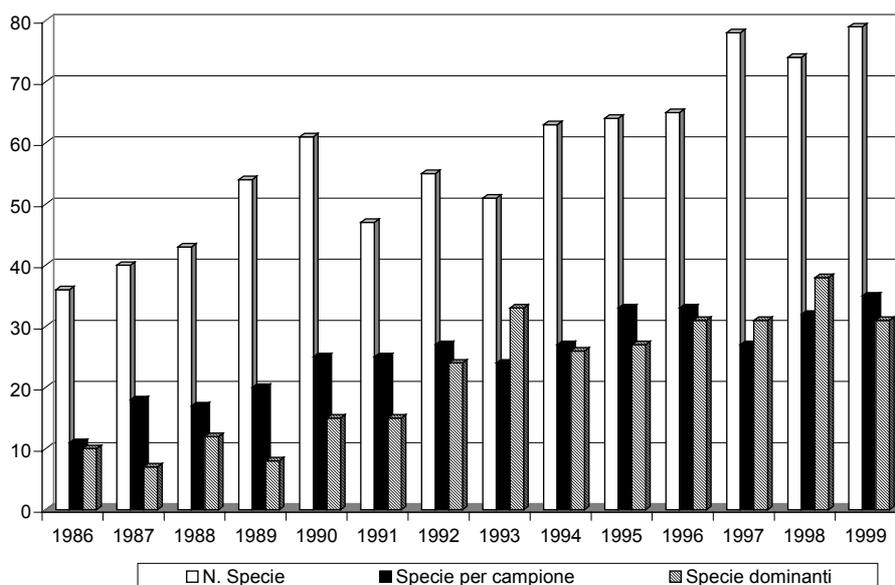


Fig. 3.3.1.1. Evoluzione del numero totale di specie censite, del numero medio di specie per campione e del numero di specie significative (v. testo).

Le specie o generi censiti globalmente durante l'anno non mostrano differenze significative rispetto al 1998 nella loro ripartizione numerica tra le categorie sistematiche maggiori. La classe con il maggior numero di taxa è ancora quella delle cloroficee (22 taxa contro i 18 del 1998), seguita dalle diatomee (19 contro 17), quindi dalle crisoficee (15, come nel 1998), dai cianobatteri (cianoficee: 12 specie, anch'esse invariate nel numero), dalle dinoficee (6 contro 7) e infine dalle criptoficee (6 contro 5). Queste ripartizioni sono abbastanza omogenee negli ultimi anni. Coerentemente con ciò, la biodiversità (qui non riportata) è andata continuamente aumentando, in media annuale, dal 1988 in poi. Essa dipende fortemente dalla maggiore o minore uniformità di distribuzione degli individui tra le specie ("evenness"), e quindi dal numero di specie che abbiamo denominato significative o dominanti, nonché dal numero totale delle specie presenti nei singoli campioni, che in un lago aumenta con il passaggio verso uno stato più oligotrofico, come accade nel Lago Maggiore.

La successione stagionale è, a grandi linee, molto simile a quella del 1998. Resta pienamente confermata l'osservazione, fatta in quell'anno, della sensibile riduzione dell'importanza dei cianobatteri nel complesso della comunità, sia come numeri che come biomassa. *Oscillatoria rubescens* resta il cianobatterio più importante, ma su valori nettamente più bassi rispetto ad anni passati quando il livello trofico del lago era più elevato. Compaiono invece svariate specie di cianobatteri delle Chroococcales, appartenenti a generi come *Aphanothece*, *Aphanocapsa*, *Snowella*, non particolarmente indicatori di elevata trofia. *Microcystis aeruginosa*, che è indicatrice di alta trofia quando si sviluppa in massa, come *O. rubescens*, può considerarsi attualmente una specie rara nel Lago Maggiore. Il gruppo più importante, come già nel 1998, è rappresentato dalle diatomee (Bacillariophyceae), che dominano, non solo come biomassa ma anche come densità di popolazione, per gran parte dell'anno. Tra questi organismi bisogna segnalare il caso di *Tabellaria flocculosa*, che, una volta abbondante, non si era più ritrovata nel plancton sin dal 1979 ed è ricomparsa stabilmente a partire dal 1990. Nel 1999 questa specie è stata tra le più importanti, raggiungendo tra le diatomee una posizione dominante in Maggio e fino al primo campionamento di Giugno. Il suo comportamento nel lago andrà seguito attentamente in futuro, anche perché si tratta di una delle diatomee più cosmopolite ed ampiamente diffuse nel plancton lacustre.

3.3.1.2. Variazioni della biomassa

Uno dei dati più interessanti del 1999 è che sia il biovolume complessivo del fitoplancton che la concentrazione della clorofilla *a* hanno raggiunto, in media annuale, i valori più bassi in tutta la serie storica che comincia dal 1981, cioè in tutto il periodo nel quale ha avuto luogo il lento processo di oligotrofizzazione che secondo noi [8] già da alcuni anni è molto vicino alla sua conclusione. Per la prima volta il biovolume è risultato inferiore a $1 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ (0,96, Fig. 3.3.1.2a.), mentre la concentrazione della clorofilla è inferiore a 3 mg m^{-3} (2,86). Ciò rappresenta comunque una piccola variazione rispetto a quanto osservato negli ultimi anni e in particolare nel 1998. In realtà, malgrado l'avvenuta piena circolazione e le sue ipotizzabili conseguenze, le variazioni della biomassa sono molto simili negli ultimi due anni. Non solo la sequenza dei picchi di biomassa complessiva ma anche il loro valore numerico sono del tutto comparabili. Il maggiore sviluppo tardo invernale-primaverile, quasi interamente dovuto, come nel 1998, alle diatomee, cade in Aprile con valori di $2600\text{-}2700 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$, la consueta caduta della biomassa si verifica tra Maggio e Giugno e i massimi estivi, dove le diatomee sono ancora le alghe più importanti, si collocano tra Luglio e Agosto (Fig. 3.3.1.2b.).

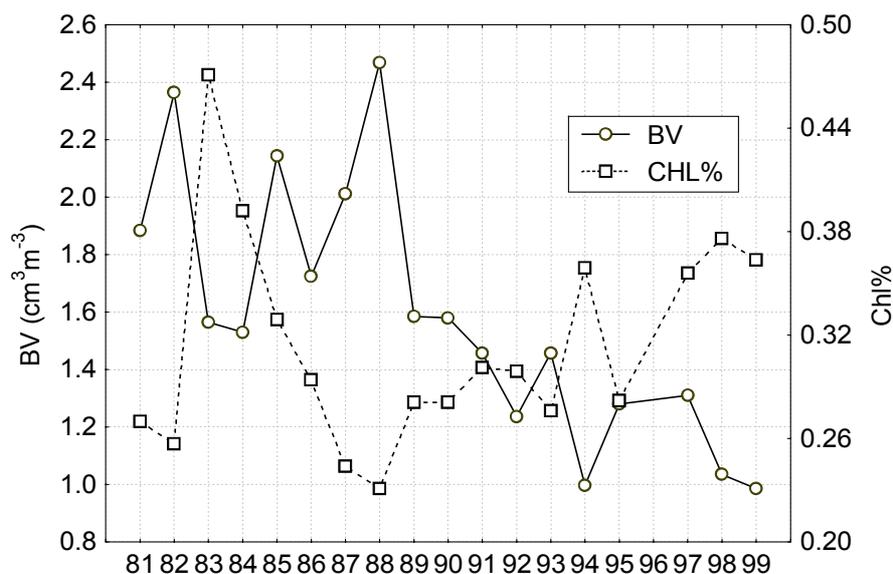


Fig. 3.3.1.2a. Evoluzione pluriennale del biovolume medio annuo e del rapporto percentuale medio annuo tra clorofilla e biovolume.

La piena circolazione del Febbraio 1999, distribuendo e diluendo le alghe in uno strato d'acqua molto ampio, ha provocato una forte riduzione della biomassa nelle acque più superficiali all'inizio della primavera (Fig. 3.3.1.2c.). A partire da Marzo, tuttavia, l'apporto di nuovi nutrienti in quantità maggiori rispetto al consueto, ha stimolato un rapido ed intenso sviluppo delle diatomee, che si è protratto, contrariamente a quanto osservato negli anni recenti, fino alla metà di Giugno. In questa prima fase della successione algale si è assistito all'alternanza di diverse specie di diatomee: tra Marzo e Aprile erano prevalenti le diatomee centriche (*Cyclotella* spp., *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*), mentre a cavallo tra Aprile e Maggio hanno dominato *Asterionella formosa* e *Fragilaria crotonensis*, la cui crescita si è improvvisamente esaurita in Giugno, quando queste specie sono state sostituite da *Tabellaria flocculosa*. Trascurabile la presenza di *Diatoma elongatum*, in passato spesso dominante durante la fase primaverile della successione fitoplanctonica: secondo lo schema di classificazione delle associazioni algali proposto da Reynolds [7], questa specie è associabile a condizioni trofiche mediamente elevate e, dunque, la riduzione della sua importanza è probabilmente una conseguenza dell'oligotrofizzazione del Lago Maggiore. Sempre secondo Reynolds [7], la combinazione *Asterionella-Tabellaria* dovrebbe invece essere indicatrice d'acque oligo-mesotrofe.

Nel periodo estivo si assiste ad una certa riduzione del biovolume algale complessivo, accompagnato ad un'elevata diversificazione della comunità (Fig. 3.3.1.2c.): *Cyclotella comensis*, *Fragilaria crotonensis*, *Limnithrix* sp. ed *Oscillatoria rubescens* sono le specie più importanti, ma numerose altre, rappresentanti di tutti i gruppi algali, raggiungono importanza equivalente all'interno della fitocenosi. Nei laghi eutrofici, dove i nutrienti non sono limitanti, è possibile che si realizzino, durante l'estate, le condizioni di stabilità necessarie per dare origine ad una fioritura monospecifica: un'elevata diversità nel periodo estivo può dunque essere vista come un segno positivo per quanto riguarda la buona qualità delle acque del Lago Maggiore.

Infine, i mesi del tardo autunno-inverno sono, come di consueto, caratterizzati dal forte declino della biomassa algale.

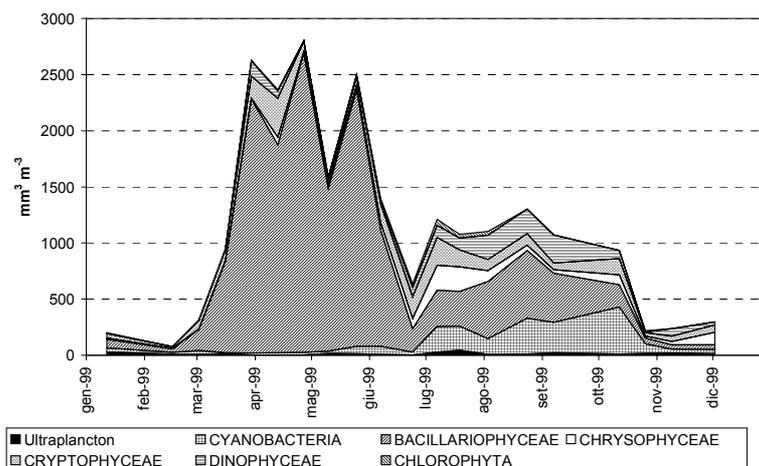


Fig. 3.3.1.2b. Biovolumi cumulati dei principali raggruppamenti sistematici per il 1999.

Le relazioni tra il biovolume e il contenuto cellulare di clorofilla, sulle quali si era richiamata l'attenzione nel precedente rapporto relativo al 1998, acquistano il loro significato sul lungo termine. Esiste una correlazione negativa, statisticamente significativa, tra il biovolume fitoplanctonico e il contenuto cellulare di clorofilla, come si desume facilmente dalla figura 3.3.1.2a. Poiché nel corso dell'oligotrofizzazione il biovolume diminuisce fortemente, il contenuto di clorofilla, sempre sul lungo periodo, aumenta. Tale aumento è dovuto alla parallela diminuzione delle dimensioni cellulari medie, che in proporzione contengono più clorofilla. Questi fatti erano stati accertati già alla metà degli anni novanta [8] e le tendenze delle variabili fitoplanctoniche più importanti non hanno fatto che confermarsi negli ultimi anni.

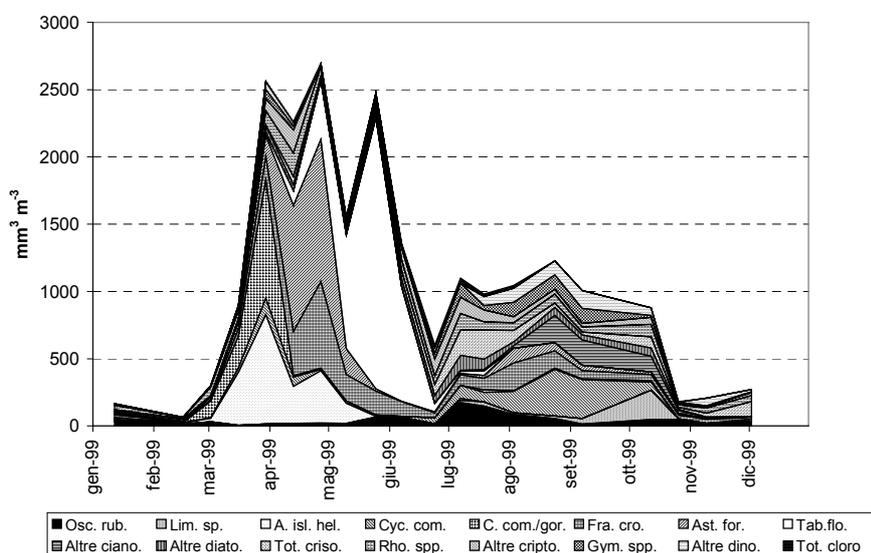


Fig. 3.3.1.2c. Biovolumi cumulati di entità sistematiche particolarmente significative. Osc. rub.: *Oscillatoria rubescens*; Lim. sp.: *Limnothrix* sp.; A. isl. hel.: *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*; Cyc. com.: *Cyclotella comensis*; C.com/gor.: *Cyclotella comensis/gordonensis*; Fra. cro.: *Fragilaria crotonensis*; Ast. for.: *Asterionella formosa*; Tab. flo.: *Tabellaria flocculosa*; Altre ciano: altre cianofite; Altre diato: altre diatomee; Tot. criso: crisofitee totali; Rho. spp.: *Rhodomonas minuta* e *Rhodomonas lacustris*; Altre cripto: altre criptofitee; Gym. spp.: *Gymnodinium helveticum* e *Gymnodinium* sp.; Altre dino.: altre dinofitee; Tot. cloro.: clorofitee totali.

3.3.1.3. Produzione primaria

Nel corso del 1999, secondo anno di sperimentazione per quanto riguarda la ricerca accessoria sulla produzione primaria, sono stati dunque condotti 19 esperimenti di misura della produzione primaria, di solito con cadenza quindicinale ad eccezione dei mesi di Gennaio, Febbraio, Luglio, Settembre, Novembre e Dicembre, in cui la frequenza è stata mensile. Il metodo utilizzato è identico a quello impiegato nel 1998 e si basa sulla misura del carbonio radioattivo assimilato dalle alghe, in un arco di tempo rappresentativo dello svolgimento giornaliero del processo fotosintetico (normalmente quattro ore a cavallo del mezzogiorno). I campioni d'acqua, raccolti nella stazione di Ghiffa a cinque diverse profondità, scelte sulla base dell'attenuazione della radiazione subacquea (100 %, 50 %, 25 %, 10 %, 1 %), venivano poi incubati *in situ* nella stazione di Pallanza, più accessibile dal punto di vista logistico. Al termine dell'incubazione i campioni venivano portati in laboratorio, dove una frazione (30 ml) del volume d'acqua incubata veniva filtrata su membrane in policarbonato con porosità di 0,2 μm . I filtri venivano poi acidificati per rimuovere eventuali tracce di carbonio inorganico radioattivo. Infine, dopo l'aggiunta del cocktail di scintillazione, veniva misurata la radioattività trattenuta dal filtro: da questa si risaliva, conoscendo l'attività totale della soluzione di ^{14}C aggiunta e la concentrazione del carbonio inorganico disponibile in lago, alla quantità di carbonio radioattivo organificato dalle alghe.

Le variazioni stagionali della produzione primaria nella zona eufotica durante il 1999 (Fig. 3.3.1.3a.) mostrano un periodo invernale caratterizzato da bassi valori, con massimi che non superano i $5 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. La profondità di massima produzione si colloca, in questo periodo, fra 3 e 5 m, senza che vi siano picchi evidenti.

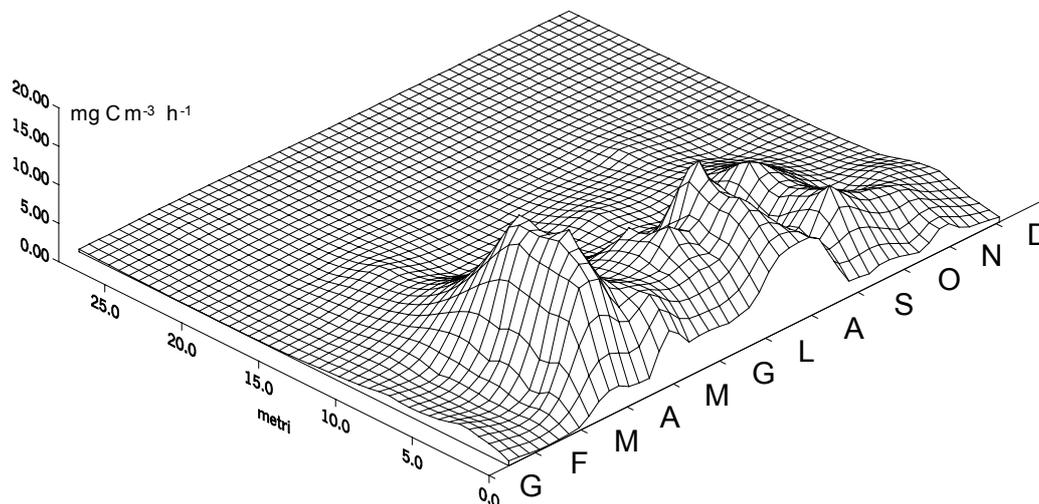


Fig. 3.3.1.3a. Variazioni della produzione primaria nello strato eufotico durante il 1999.

Bisogna peraltro ricordare che, nel Febbraio 1999 ha avuto luogo un eccezionale evento di completa circolazione della colonna d'acqua: tale fenomeno ha provocato, come conseguenza immediata, una diluizione dei popolamenti algali lungo lo strato d'acqua 0-370 m, col risultato che la produzione primaria nel mese di Febbraio è stata

eccezionalmente bassa. Infatti, il 16 Febbraio i valori di assimilazione sulla verticale sono stati inferiori ad $1 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ e la produzione giornaliera ha raggiunto solo i $78 \text{ mg m}^{-2} \text{ g}^{-1}$ (Tab. 3.3.1.3.).

Tab. 3.3.1.3. Valori di radiazione solare giornaliera (I; Kcal m^{-2}), clorofilla *a* nella zona eufotica (Clor. *a*; mg m^{-3}), produzione primaria giornaliera (ΣA ; $\text{mg C m}^{-2} \text{ g}^{-1}$), assimilazione massima giornaliera sulla colonna (A_{max} ; mg C m^{-3}), profondità di A_{max} (Z, m) e rapporto $\Sigma A/A_{\text{max}}$.

Data	I	Clor. <i>a</i>	ΣA	A_{max}	Z	$\Sigma A/A_{\text{max}}$
13 Gennaio	161	1,16	166	12,44	3,0	13,3
16 Febbraio	218	0,47	78	4,50	8,0	17,3
2 Marzo	289	1,67	356	25,22	6,0	14,1
16 Marzo	343	5,36	1149	104,98	6,0	10,9
30 Marzo	460	5,14	1409	135,51	4,0	10,4
13 Aprile	561	4,89	801	87,77	4,0	9,1
27 Aprile	160	-	683	82,11	1,0	8,3
10 Maggio	361	5,28	717	69,93	4,0	10,3
25 Maggio	498	5,55	665	77,40	5,5	8,6
7 Giugno	376	2,73	925	110,58	4,0	8,4
22 Giugno	719	2,53	561	75,50	3,0	7,4
7 Luglio	686	5,40	1268	152,82	5,5	8,3
3 Agosto	256	3,61	494	80,08	0,0	6,2
24 Agosto	350	2,99	300	35,62	4,8	8,4
7 Settembre	383	3,86	746	77,00	2,5	9,7
12 Ottobre	216	2,69	187	38,99	3,0	4,8
26 Ottobre	173	0,86	244	31,77	2,5	7,7
9 Novembre	229	1,01	205	22,07	5,5	9,3
2 Dicembre	163	1,29	103	14,69	4,0	7,0

La piena circolazione, che pure si è rapidamente esaurita, ha però avuto anche un effetto a medio termine: infatti, l'apporto di nutrienti alle acque superficiali, favorito da questo fenomeno, ha portato ad un forte incremento della produzione in Marzo, con picchi sulla verticale che hanno raggiunto circa $20 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$, sensibilmente più elevati di quelli registrati nel Marzo 1998 e paragonabili ai valori misurati nell'Agosto di quell'anno. Lo stimolo alla produzione ha avuto, peraltro, breve durata: già a partire dal mese di Aprile la produzione oraria sulla colonna si era assestata su valori simili a quelli misurati nell'Aprile del 1998.

La produzione si è poi mantenuta relativamente costante per tutto il periodo primaverile, mentre è cresciuta durante i mesi di Giugno e Luglio: i valori più elevati del periodo estivo sono stati registrati il 7 Luglio, con massimi sulla verticale tra 15 e $20 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. Negli altri mesi estivi si assiste ad un'attenuazione dei fenomeni produttivi (Fig. 3.3.1.3a.), particolarmente accentuata nel mese di Agosto, probabilmente a seguito di condizioni meteorologiche che, per la maggior parte di questo mese, hanno fortemente ridotto la quantità di radiazione luminosa disponibile per i processi di fotosintesi (si veda in proposito anche il capitolo sulla meteorologia nel presente rapporto).

A partire da Ottobre la produzione diminuisce nuovamente, seguendo la riduzione della radiazione solare disponibile e della temperatura (Fig. 3.3.1.3a.).

In nessuno dei mesi con tassi di produzione elevata sono state osservate curve di distribuzione verticale con evidenti picchi superficiali, ma i massimi valori di produzione sono stati sempre distribuiti in modo omogeneo nello strato d'acqua compreso tra la superficie e 6 m circa. La forma del profilo di produzione lungo la verticale può essere espressa dall'indice $\Sigma A/A_{\text{max}}$, dato dal rapporto tra la produzione totale giornaliera integrata nella zona eufotica e la produzione massima giornaliera sulla colonna. Questo rapporto tende a crescere quanto più la produzione sulla colonna si distribuisce in un ampio strato d'acqua, senza che vi siano picchi in prossimità della superficie. I valori

elevati raggiunti da questo parametro nel corso del 1999 indicano dei profili di produzione tipici di un ambiente oligo-mesotrofo. Come già fatto notare per il 1998, una simile distribuzione verticale riflette la bassa trofia del Lago Maggiore, dove sono assenti fenomeni di *self-shading* [4], comuni invece in acque eutrofe e dovuti al forte sviluppo di biomasse algali in prossimità della superficie.

Dai dati ottenuti nelle quattro ore di incubazione è stata poi calcolata, per ogni esperimento, la produzione giornaliera (Tab. 3.3.1.3.), applicando il metodo di Platt [6]: l'andamento di questo parametro è riportato in figura 3.3.1.3b. Il valore massimo nel corso del 1999 è stato misurato il 30 Marzo con $1409 \text{ mg C m}^{-2} \text{ g}^{-1}$, mentre il minimo si è registrato, come già accennato in precedenza, il 16 Febbraio ($78 \text{ mg m}^{-2} \text{ g}^{-1}$). Entrambi questi valori sono stati condizionati dalla piena circolazione del Lago Maggiore, essendo il minimo legato alla diluizione della biomassa algale lungo uno strato d'acqua molto ampio ed il massimo all'apporto di nutrienti "nuovi", provenienti dagli strati più ricchi e più profondi del lago e giunti alle acque superficiali grazie al completo rimescolamento.

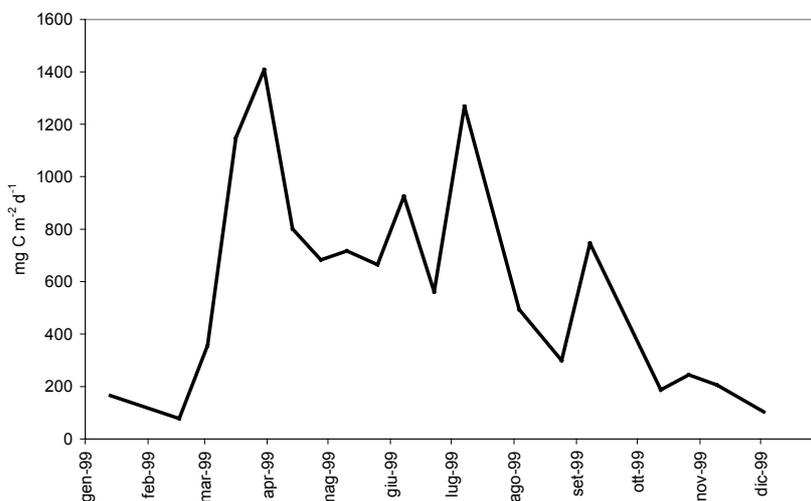


Fig. 3.3.1.3b. Variazioni stagionali della produzione giornaliera nel corso del 1999.

E' tuttavia importante sottolineare che la piena circolazione non ha avuto alcun effetto "eutrofizzante" sulla produttività e sulla biomassa algale nell'arco temporale di un anno, come si poteva temere sulla base di osservazioni condotte da Tonolli [10] in occasione di un evento analogo verificatosi nel 1963. Un'approfondita indagine del fenomeno [5] ha invece messo in luce come la circolazione del 1999 abbia esaurito rapidamente il suo effetto: infatti, nonostante i valori di produzione molto elevati misurati nel mese di Marzo, l'intera produzione del periodo primaverile ammontava a 61 g C m^{-2} , in linea con i valori misurati nel 1998. Analogamente, la produzione annua ha raggiunto 183 g C m^{-2} , molto vicina a quella dell'anno precedente. L'assenza di un insolito sviluppo di biomassa algale a seguito della circolazione, contrariamente a quanto osservato nel 1963, può essere spiegata, oltre che con la breve durata temporale dell'evento della primavera del 1999, anche con l'attuale assetto trofico del Lago Maggiore [5]: infatti, ora le alghe sono più piccole che in passato e probabilmente adottano una strategia di crescita basata più sull'immediato sfruttamento dei flussi di nutrienti che sul loro immagazzinamento all'interno delle cellule, in questo modo si ha un effetto consistente

sulla produttività a breve e medio termine (3-4 settimane), mentre non si osservano effetti su scale temporali superiori.

Così nel 1999 l'andamento della produzione è stato caratterizzato da un breve periodo di inizio primavera, nel quale si sono misurati picchi dell'ordine di quelli tipici degli anni di maggiore trofia (1970-1980), mentre nel resto dell'anno la produzione è tornata sui valori tipici degli anni più recenti, in linea con le attuali condizioni trofiche del lago. Le condizioni meteorologiche del periodo estivo, caratterizzato da numerosi giorni piovosi con scarsa radiazione luminosa, hanno ulteriormente contribuito a limitare lo svolgimento dei processi di fotosintesi.

I risultati ottenuti nel corso di questa ricerca hanno dunque fornito un'ulteriore conferma del miglioramento delle condizioni trofiche del Lago Maggiore, mostrando come, per quanto riguarda l'entità della produzione annua, si sia ritornati a livelli simili a quelli della fine degli anni '50. Di particolare rilevanza è però il fatto che, nonostante l'arricchimento in fosforo prodotto dalla piena circolazione, la dinamica dei fenomeni produttivi non ne sia stata profondamente sconvolta, a testimonianza del fatto che la comunità algale del Lago Maggiore sembra avere ormai raggiunto una stabilità elevata, che garantisce una certa resistenza a fenomeni che possano indurre reversioni dello stato trofico.

3.3.2. Indagini sullo zooplancton

L'anno 1999 è stato caratterizzato dal completo mescolamento della massa d'acqua, evento che non si verificava da 28 anni (Ambrosetti, Barbanti, Ferrari e Rolla, questo volume). Studi pregressi hanno dimostrato i notevoli effetti che un processo di questo tipo può avere sul plancton, sia nell'immediato, che nell'arco dell'intero ciclo stagionale. Pur tuttavia, è apparso interessante avviare uno studio su questo evento, verificandosi esso, per la prima volta, durante la fase di oligotrofizzazione del lago [5]. Il completo mescolamento porta verso gli strati d'acqua superiori nutrienti che, durante gli anni di parziale mescolamento, erano segregati nelle acque profonde. Tale input di sostanze nutritive, ed in particolare di fosforo, può avere effetti notevoli sul fitoplancton, e conseguentemente, sullo zooplancton. L'effetto di questo arricchimento dipende dalla concentrazione iniziale di fosforo; allo stato attuale nel Lago Maggiore, i valori di fosforo totale alla circolazione sono dell'ordine di 10-12 $\mu\text{g l}^{-1}$, valori che in base alla letteratura sono da ritenere sensibilmente limitanti per la crescita del fitoplancton. Entro questo intervallo, un incremento, sia pure relativamente modesto nelle concentrazioni di fosforo si ritiene possa promuovere la crescita e la produzione del fitoplancton, soprattutto di quelle specie a dimensioni modeste, che presentano un elevato tasso riproduttivo e costituiscono la base alimentare dello zooplancton. Durante il completo mescolamento del 1999, la concentrazione totale di fosforo nelle acque epilimniche ha raggiunto i 14 $\mu\text{g l}^{-1}$, ed è rimasta su valori di 11 $\mu\text{g l}^{-1}$ fino alla fine di Marzo, con un incremento di circa 4-5 $\mu\text{g l}^{-1}$ rispetto ai valori registrati per quel periodo nei tre anni precedenti (Calderoni, com. pers.).

Durante lo svolgersi del mescolamento, sono stati pertanto effettuati campionamenti anche negli strati d'acqua più profondi, in modo tale da documentare l'eventuale trascinarsi d'organismi verso il fondo e avere dunque una chiave di lettura di eventuali irregolarità o anomalie nel ciclo stagionale [5]. Purtroppo, non è stato possibile raccogliere i campioni in tempo reale rispetto all'evento, ma solamente ai primi di Marzo, quando già si delineava una leggera tendenza alla stratificazione. Tuttavia, una stima indiretta del fenomeno è stata desunta dal notevole impoverimento, a metà Febbraio, di organismi nelle acque entro i primi 50 m, segnale evidente del trascinarsi verso le acque più profonde; l'analisi della distribuzione verticale, effettuata all'inizio di Marzo, ha, infatti, rivelato la presenza di organismi zooplanctonici fino alle massime profondità. Analoga situazione è stata registrata a carico del popolamento fitoplanctonico, con un forte decremento numerico nella zona fotica, e una buona presenza fino alla metà Marzo di cellule algali e clorofilla *a* attiva fino in profondità. Come atteso, il mescolamento ha dato un forte impulso alla produttività primaria, con valori in tutto il mese di Marzo doppi rispetto a quelli misurati nell'anno precedente ed un massimo di 1409 $\text{mgC m}^{-2} \text{g}^{-1}$, valore questo superiore al massimo estivo del '98, in linea con dati che non si registravano dagli anni '80 [5]. L'incremento numerico del fitoplancton è risultato in ritardo rispetto a quello della produttività primaria; a metà Marzo i valori erano, infatti, ancora di poco superiori a 5000 ind ml^{-1} , e solo con la fine del mese sono risultati superiori a 20000 cell ml^{-1} , più elevati di quelli solitamente riscontrati in questo periodo dell'anno. All'incremento nella produttività e nella densità numerica delle cellule algali ha fatto seguito quello nella densità di popolazione dello zooplancton, con valori in Aprile doppi rispetto a quelli dell'anno precedente.

Allo scopo di meglio comprendere il significato dell'evento per la dinamica stagionale dello zooplancton, si è ritenuto opportuno raffrontare i dati relativi al 1999 con quelli dell'anno precedente.

Il raddoppiamento della densità numerica dello zooplancton sembra interessare esclusivamente il mese di Aprile; durante la restante parte dell'anno, infatti, i valori risultano in generale più bassi o simili a quelli dell'anno precedente (Fig. 3.3.2a.).

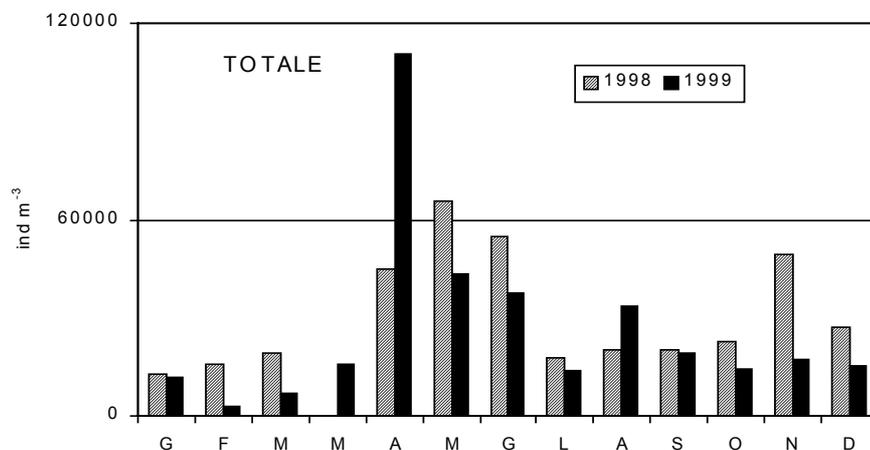


Fig. 3.3.2a. Densità di popolazione dello zooplancton: raffronto con i dati del 1998.

Analoga situazione si osserva relativamente ai copepodi (Fig. 3.3.2b.); meno monotona la situazione dei rotiferi, i quali presentano densità numeriche più basse a Maggio e Giugno, vale a dire nei mesi successivi alla fase di massimo sviluppo legata al mescolamento (Fig. 3.3.2c.); la loro densità numerica è però risultata più elevata durante il periodo Luglio - Settembre.

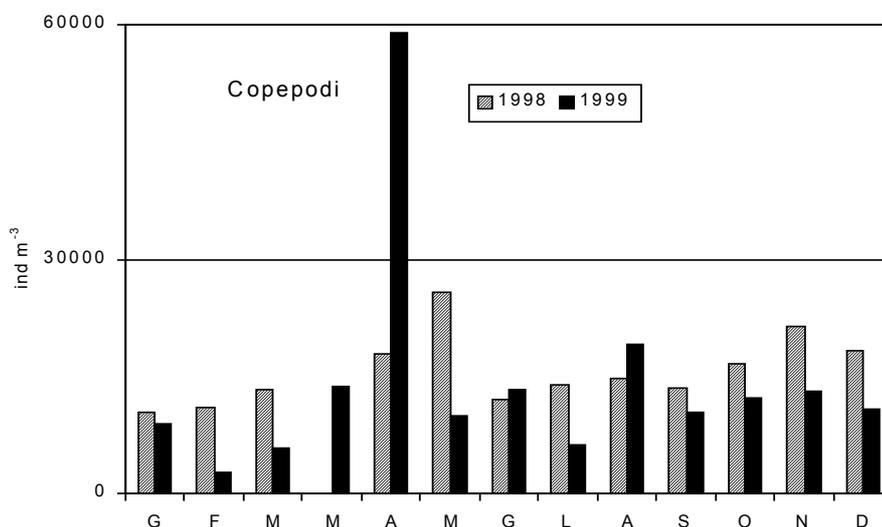


Fig. 3.3.2b. Densità di popolazione dei copepodi zooplanctonici: raffronto con i dati del 1998.

Si sono così osservate, nell'arco del ciclo stagionale, tre fasi; la prima, fino alla fine di Marzo, nella quale dominano i copepodi; la seconda, da Aprile a Settembre, nella quale vi è stata una tendenza al predominio dei rotiferi; la terza, ed ultima, che ha visto

un ritorno al predominio dei copepodi, ma con un maggiore contributo dei cladoceri rispetto alla fase iniziale. A determinare il picco di Aprile conseguente al mescolamento hanno contribuito in egual misura i copepodi, con diaptomidi e ciclopidi egualmente rappresentati, e i rotiferi, tra i quali, come di consueto, *Keratella* spp. e *Conochilus hippocrepis* hanno rappresentato il 50% della densità totale.

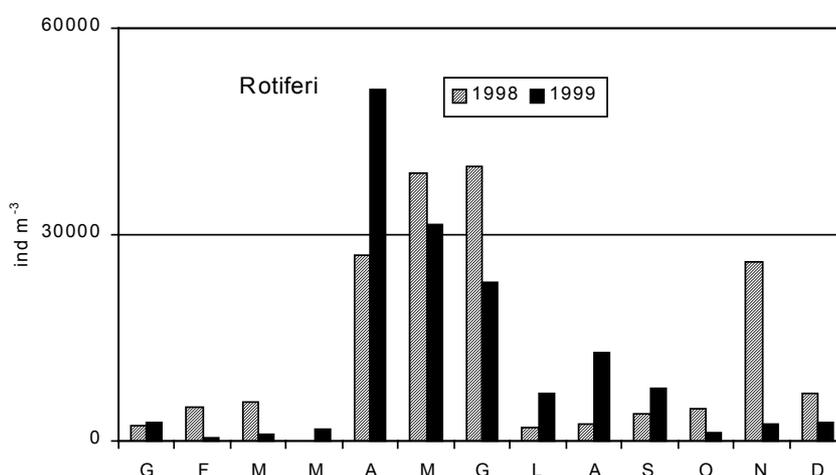


Fig. 3.3.2c. Densità di popolazione dei rotiferi: raffronto con i dati relativi al 1998.

I cladoceri sembrano rispondere con un certo ritardo all'evento di mescolamento; solamente a Maggio, infatti, la densità di popolazione risulta raddoppiata rispetto all'anno precedente (Fig. 3.3.2d.).

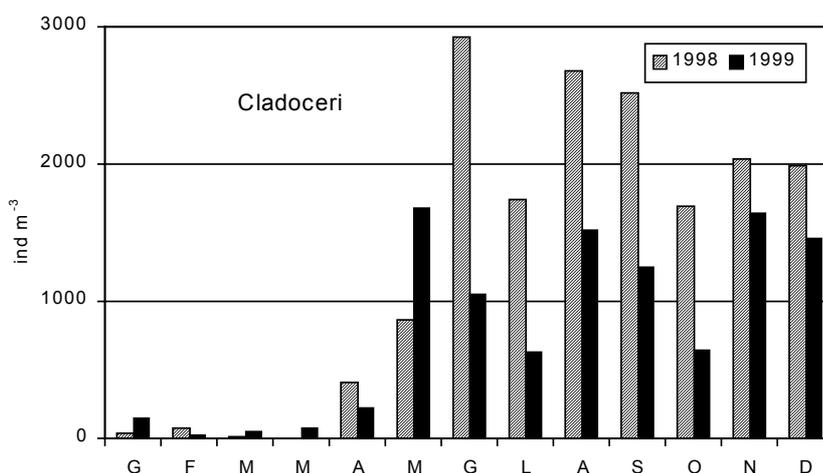


Fig. 3.3.2d. Densità di popolazione dei cladoceri zooplanctonici: raffronto con i dati del 1998.

Tuttavia, i valori di abbondanza numerica nel corso del 1999 risultano generalmente inferiori rispetto all'anno precedente. La struttura del popolamento risulta alterata (Fig.3.3.2e.); manca, infatti, la fase primaverile "a *Eubosmina*" che caratterizza il pe-

riodo primaverile, ed è *Daphnia* la componente prevalente del popolamento, fatta eccezione per la breve parentesi di Agosto e Settembre, periodo di crescita della popolazione di *Diaphanosoma brachyurum*, la cui presenza numerica è comunque ridimensionata rispetto all'anno precedente.

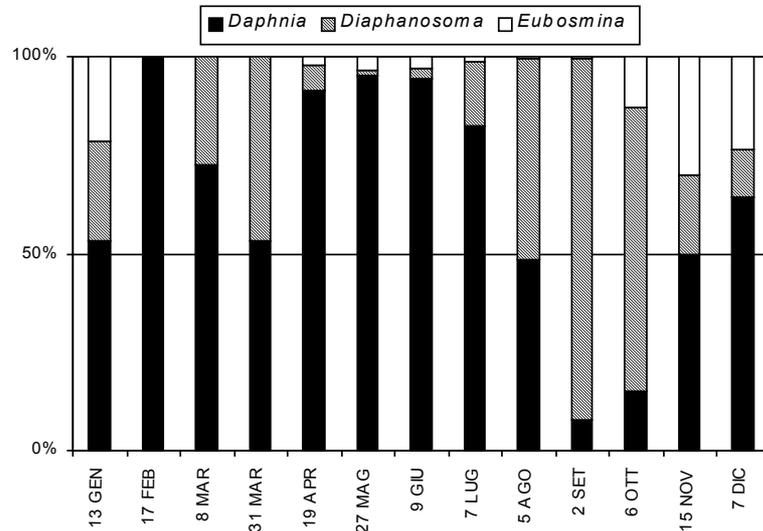


Fig. 3.3.2e. Struttura del popolamento a cladoceri erbivori.

Il massimo sviluppo numerico di *Daphnia*, a Maggio, con valori di densità superiori a $1,5 \text{ ind l}^{-1}$, appare interessante, poichè da tempo non osservato nel lago. Esso è preceduto da un aumento considerevole nella fecondità media della popolazione, che presenta sia a fine Marzo che ad Aprile valori doppi rispetto a quelli dell'anno precedente. L'impulso alla produttività primaria osservato a Marzo a seguito del mescolamento, sembra tradursi, inizialmente, in una sorta di energia potenziale che si tradurrà poi nel picco in densità della popolazione di Maggio. Da notare altresì il massimo assoluto a Luglio, decisamente superiore a quello dell'anno precedente ed il perdurare di valori di fecondità relativamente elevati fino a Settembre.

Tra i predatori, *Bythotrephes* presenta un più precoce sviluppo, rispetto all'anno precedente, con un picco di entità più modesta ed una tenuta della densità di popolazione su valori dell'ordine di $40-50 \text{ ind m}^{-3}$ anche in Agosto (Fig. 3.3.2f.). Anche lo sviluppo della popolazione di *Leptodora* è risultato, nel 1999, in anticipo rispetto all'anno precedente, con un picco a Luglio, di entità inferiore rispetto a quello dell'Agosto dell'anno precedente (Fig. 3.3.2g.).

Durante il 1999 i valori di presenza media dei diversi gruppi di organismi mesozooplanctonici risultano, nel loro complesso, inferiori a quelli registrati nell'anno precedente, con un decremento di circa il 30% per *E. padanus*, dell'80% per *E. longispina* e del 50% per *D. brachyurum*. L'aumento, rispetto al 1998, della densità di popolazione di *Daphnia* su base annuale è stato pari al 25% circa.

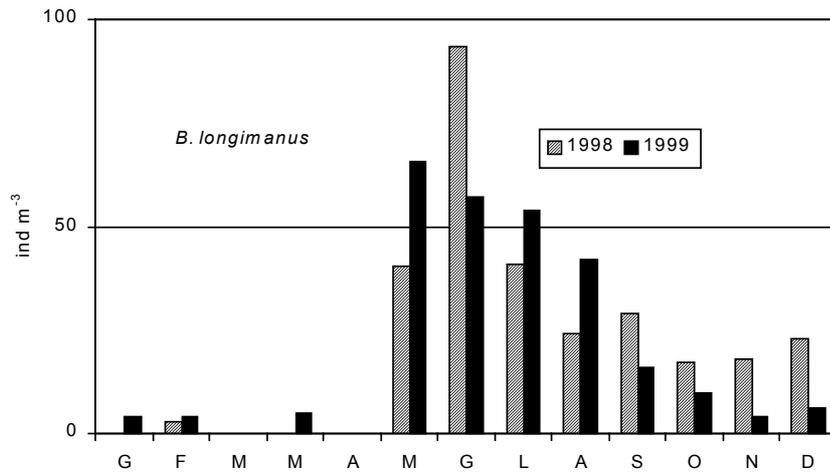


Fig. 3.3.2f. Densità di popolazione di *Bythotrephes longimanus*: raffronto con i dati del 1998.

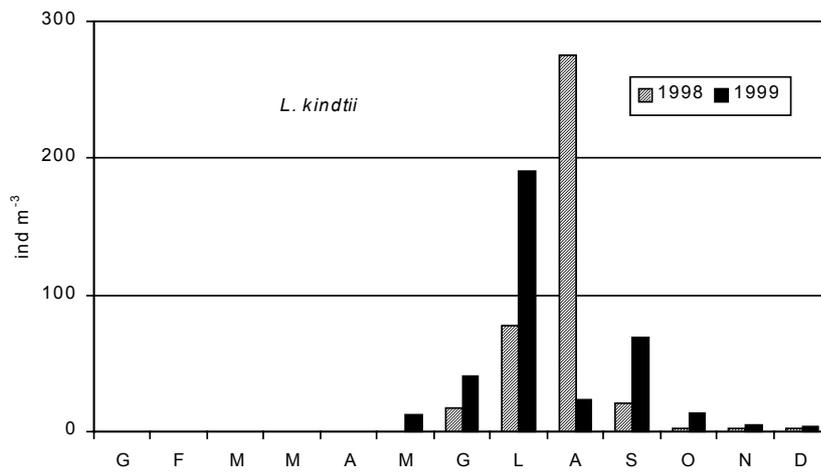


Fig. 3.3.2g. Densità di popolazione di *Leptodora kindtii*: raffronto con i dati del 1998.

3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi

3.4.1. Carbonio Organico Totale e Particellato (TOC e POC) e popolamenti batterici nel 1999

Le concentrazioni di carbonio organico totale misurate lungo la colonna d'acqua nel corso dell'anno sono presentate nella tabella 3.4.1. insieme ai valori medi relativi alla zone eufotica (0-20 m) ed afotica (20-350 m). Da essa si può costatare che nel 1999 la concentrazione del TOC, confermando una tendenza già emersa nel precedente anno, si è collocata di nuovo su valori simili a quelli misurati a fine anni 80 ed inizio anni 90, confermando il progredire del processo di oligotrofizzazione del Lago Maggiore. Quanto finora detto è ben evidente in figura 3.4.1a. dove è presentata l'evoluzione delle concentrazioni del TOC negli anni 1998 e 1999. Nella stessa figura si può vedere l'evoluzione della densità del popolamento batterico nello stesso periodo. Entrambe le variabili non hanno mostrato variazioni quantitativamente significative da un anno all'altro, pur presentando un'evoluzione stagionale diversa nei due anni. La concentrazione annua del particellato totale (seston) (Tab. 3.4.1.) è rimasta su valori assai vicini a quelli dell'anno precedente, sottolineando l'assenza nel 1999 di cospicui apporti di particellato alloctono dal bacino imbrifero.

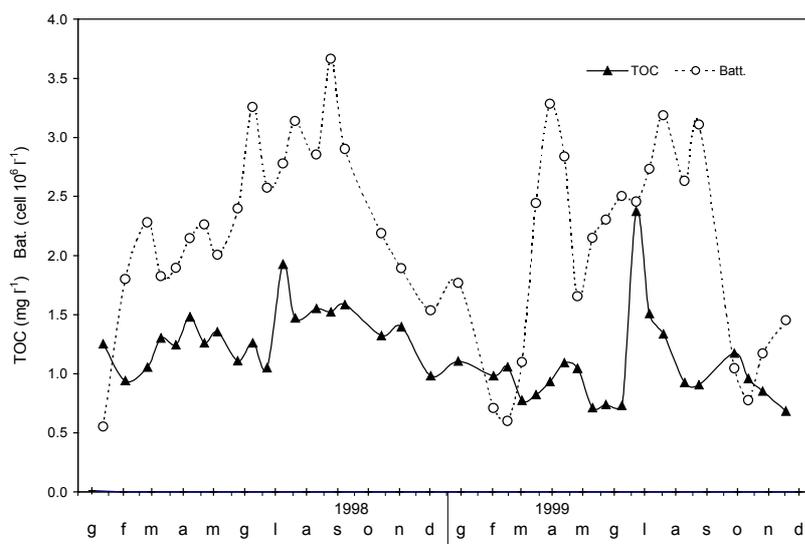


Fig.3.4.1a. Valori della concentrazione di carbonio organico totale (TOC: mg l⁻¹) e della densità dei popolamenti batterici eterotrofi (cell 10⁶ ml⁻¹): confronto tra gli anni 1998 e 1999.

Per quanto riguarda gli effetti immediati della piena circolazione sui popolamenti batterici e sul carbonio organico, il fenomeno ha portato, come ci si poteva attendere, ad un'omogeneizzazione della densità dei microrganismi e del particellato in sospensione nelle zone eufotica ed afotica. Per il numero di batteri il rapporto tra le due zone è passato da 3,1 prima della piena circolazione, a 0,9. Per il particellato sospeso il discorso è più articolato perché sono emerse differenze tra le due frazioni dimensionali considerate: >0,2 μm e >1,2 μm. Il rapporto tra la concentrazione nella zona eufotica e in quella afotica passa, con la piena circolazione, da 1,7 a 1,0 μm e da 1,8 a 1,2 μm per la prima e la seconda frazione, rispettivamente. Però mentre la concentrazione della prima

frazione, che include le particelle di dimensioni più piccole, aumenta visibilmente a seguito della piena circolazione, la concentrazione della frazione con particelle più grandi rimane pressoché costante. Questa dinamica appare evidente osservando le curve riportate nella figura 3.4.1b. Il significato di quanto fin qui illustrato è che il fenomeno della piena circolazione mobilizza prevalentemente, ed efficacemente, sostanze colloidali o particellato di piccole dimensioni (con dimensioni lineari tra 0,2 e 1,2 μm), rimettendo in circolazione i nutrienti associati a tale frazione.

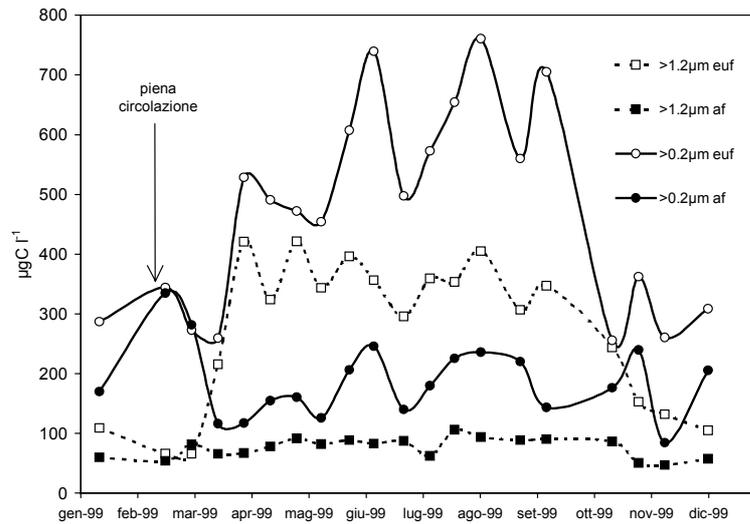


Fig. 3.4.1b. Valori della concentrazione di carbonio organico particellato con dimensioni $>1,2 \mu\text{m}$ (linea tratteggiata) e $>0,2 \mu\text{m}$ (linea continua) nelle zone eufotica (simbolo vuoto) ed afotica (simbolo pieno) del Lago Maggiore nel 1999

Tab. 3.4.1. Concentrazioni del Seston (mg l^{-1}), del carbonio organico particellato (POC: $\mu\text{g l}^{-1}$), del carbonio organico totale (TOC: mg l^{-1}) e numero di cellule batteriche per conteggio microscopico diretto (CMD: $\text{cell } 10^6 \text{ ml}^{-1}$) misurate nel 1999.

1999	12 Gen	16 Feb	2 Mar	16 Mar	30 Mar	13 Apr	27 Apr	10 Mag	25 Mag	7 Giu	23 Giu	7 Lug	20 Lug	3 Ago	24 Ago	7 Set	12 Ott	26 Ott	9 Nov	2 Dic
Seston mg l^{-1}																				
zona eufotica	0,11	0,15	0,31	0,41	1,67	1,62	2,650	2,2	2,53	1,950	1,4	1,3	1,07	1,47	1,36	1,59	1,09	0,77	0,5	0,46
zona afotica	0,17	0,179	0,443	0,517	1,580	0,267	0,457	0,334	0,481	0,360	0,359	0,240	0,342	0,320	0,36	0,32	0,4	0,16	0,27	0,24
POC $\mu\text{g l}^{-1}$																				
zona eufotica	109	66	65	216	421	324	421	343	396	356	296	359	353	405	307	347	244	153	132	105
zona afotica	59	54	131	65	67	78	92	82	88	83	87	62	106	94	88	90	86	50	47	57
TOC mg l^{-1}																				
0-20 m	1,11	0,98	1,06	0,78	0,82	0,93	1,09	1,05	0,71	0,74	0,73	2,38	1,51	1,34	0,93	0,91	1,17	0,96	0,85	0,68
20 m	0,85	0,77	0,82	0,66	0,76	0,70	0,92	0,60	0,57	0,58	0,65	0,71	1,40	0,92	0,75	0,75	0,94	0,75	0,77	0,64
50 m	0,96	0,70	0,74	0,62	0,71	0,69	0,78	0,52	0,54	0,49	0,63	0,57	1,39	0,78	0,62	0,65	0,59	0,51	0,49	0,43
100 m	0,85	0,75	0,83	0,67	0,66	0,71	0,74	0,58	0,52	0,51	0,56	0,67	1,07	0,63	0,59	0,58	0,60	0,45	0,43	0,47
200 m	0,68	0,76	0,88	0,67	0,77	0,76	0,77	0,51	0,62	0,48	0,54	1,61	1,31	0,77	0,70	0,68	0,70	0,54	0,44	0,44
300 m	0,70	0,71	0,72	0,81	0,70	0,86	0,82	0,53	0,57	0,44	0,63	0,77	3,08	0,73	0,62	0,63	0,61	0,52	0,53	0,41
350 m	0,88	0,68	0,78	0,79	0,73	0,93	0,76	0,67	0,54	0,45	0,58	2,17	3,05	0,68	0,64	0,67	0,70	0,49	0,42	0,43
zona eufotica	1,11	0,98	1,06	0,78	0,82	0,93	1,09	1,05	0,71	0,74	0,73	2,38	1,51	1,34	0,93	0,91	1,17	0,96	0,85	0,68
zona afotica	0,89	0,82	0,95	0,69	0,70	0,81	1,00	0,60	0,55	0,57	0,61	1,92	1,50	1,34	0,88	0,59	0,69	0,58	0,48	0,49
CMD $\text{cell } 10^6 \text{ ml}^{-1}$																				
zona eufotica	1,77	0,71	0,60	1,10	2,44	3,28	2,84	1,66	2,15	2,30	2,50	2,46	2,73	3,19	2,63	3,11	1,05	0,78	1,17	1,45
zona afotica	0,57	0,76	0,66	0,69	1,17	1,08	0,88	0,60	0,65	0,54	0,68	0,57	0,75	0,63	0,71	0,66	0,00	0,56	0,46	0,57

4. CONCLUSIONI

I risultati limnologici ottenuti dalle ricerche integrate condotte nel 1999 nel Lago Maggiore ed il loro confronto con le serie storiche disponibili per i vari parametri consentono di tracciare il seguente quadro conclusivo.

Durante il 1999 le precipitazioni medie nel bacino hanno raggiunto un totale annuo di 1870 mm superando di circa il 10% le medie dei periodi annuali di confronto (1978-1998; 1921-1977). Il regime delle precipitazioni presenta una doppia oscillazione con un massimo nel trimestre Agosto-Ottobre quando si registra oltre il 40% del totale annuo. Come conseguenza della maggiore piovosità registrata nel 1999 anche i deflussi mostrano valori medi di circa il 10% superiori a quelli misurati nei periodi di riferimento con valori anche del 20% superiori per i bacini di maggiori dimensioni.

Parallelamente nel 1999 si sono registrati anche valori di energia solare globale superiore di circa il 3% rispetto alla media degli anni 1951-1998, anche se i valori osservati devono considerarsi nella norma. Tali valori sono comunque stati sufficienti per innalzare la temperatura atmosferica media dal valore di 12,27 °C (media del periodo 1951-1998) al valore per il 1999 di 12,94 °C. Inferiori a quelli medi del periodo di riferimento sono invece risultati l'evaporazione e l'intensità del vento.

Per quanto riguarda le variabili chimiche delle acque dei tributari quelle maggiormente influenzate dalle caratteristiche geochimiche dei bacini drenati (pH, alcalinità totale, conducibilità, ecc.) sono risultate in linea con quanto osservato negli anni precedenti. Da segnalare al proposito come per il T. Boesio gli elevati valori di alcalinità totale (media annua 5,56 meq l⁻¹) e di conducibilità (media annua 627 µS cm⁻¹) siano da mettere in relazione alla presenza nel suo bacino di scarichi industriali caratterizzati da un elevato tenore in bicarbonati.

Questo torrente è anche quello che presenta la situazione più compromessa per quanto riguarda i parametri riferibili a scarichi urbani e/o industriali con tenori medi annuali di P totale di 254 µg P l⁻¹ e valori di azoto organico ed ammoniacale rispettivamente di 1,01 e 0,56 mg N l⁻¹. Anche le acque del F. Bardello sono risultate sensibilmente alterate presentando valori medi annuali delle concentrazioni di P totale (144 µg P l⁻¹), azoto ammoniacale (0,20 mg N l⁻¹) ed organico (0,85 mg N l⁻¹) che, oltre a rispecchiare le condizioni di eutrofia delle acque in uscita dal Lago di Varese, stanno anche ad indicare la presenza lungo il suo corso di scarichi urbani ed industriali non sufficientemente depurati. Da rilevare al proposito che su 15 campionamenti effettuati nel corso del 1999 si sono riscontrati almeno tre episodi riconducibili a situazioni di immissioni di inquinanti.

Tali evidenze sono risultate anche dalle analisi del carbonio organico totale. Da segnalare al proposito che, mentre per tutti i tributari campionati i valori di TOC sono risultati in linea con quanto osservato negli anni precedenti, nei primi tre mesi dell'anno la concentrazione di TOC nel torrente Boesio è stata significativamente più elevata.

L'analisi delle concentrazioni areali delle variabili più direttamente influenzate dagli scarichi urbani, quali il fosforo totale e l'azoto organico e ammoniacale, riconferma il grave stato di alterazione di questi due tributari ed evidenzia che le acque di Vevera, Tresa e, in misura minore, di Strona e Giona presentano una situazione ancora sensibilmente compromessa. Il raffronto su scala regionale dei valori riscontrati nell'ultimo decennio permette di costatare che le acque tributarie ticinesi mostrano una sostanziale stabilità su contenuti particolarmente bassi e tipici di ambienti poco contaminati. Anche la situazione delle acque tributarie piemontesi non ha presentato sostanziali modifiche,

mantenendosi su livelli accettabili per quel che riguarda i contenuti di azoto ammoniacale ed organico; tuttavia, in termini di apporti eutrofizzanti, le concentrazioni medie di fosforo totale, comprese tra 21 e 31 $\mu\text{g P l}^{-1}$, risultano assai meno favorevoli di quelle ticinesi attestata nell'intero decennio su tenori di 7-9 $\mu\text{g P l}^{-1}$. Un sensibile miglioramento si è invece verificato per le acque tributarie lombarde. Infatti, rispetto ai contenuti medi misurati nel quadriennio 1990-1993, nell'ultimo biennio si sono accertati accentuati decrementi di azoto ammoniacale da 0,24 a 0,14 mg N l^{-1} , di azoto organico da 0,69 a 0,48 mg N l^{-1} e di fosforo totale da 106 a 64 $\mu\text{g P l}^{-1}$. I livelli di concentrazione raggiunti sono però ancora inaccettabili perché influenzano negativamente il processo di oligotrofizzazione del lago e creano seri problemi per le utenze di balneazione lungo la fascia rivierasca.

Per quanto riguarda gli apporti di nutrienti algali relativi al 1999 si può osservare che sostanzialmente non vi sono differenze significative rispetto al 1998. I carichi di azoto totale provenienti dall'intero bacino sono risultati leggermente più alti di quelli misurati l'anno precedente (11,200 contro 10,500 t N a^{-1}), essenzialmente a causa di afflussi meteorici più consistenti (1870 contro 1630 mm). Gli aumenti hanno riguardato prevalentemente i bacini del Ticino immissario e del Toce (Ossola), per i quali si è verificato un notevole incremento dei deflussi medi annuali, mentre gli apporti dei diversi composti dell'azoto dagli altri corsi d'acqua campionati sono rimasti del tutto simili a quelli dell'anno precedente. Anche i carichi di fosforo totale sono risultati dello stesso ordine di quelli accertati nel 1998 (241 contro 238 t P a^{-1}), ma il valore riscontrato è il più alto dell'ultimo quinquennio (minimo di 219 t P a^{-1} nel 1997). Rispetto all'anno precedente, si sono osservate sensibili modificazioni in diminuzione per Strona (- 5,6 t P a^{-1}), Tresa (- 2,3 t P a^{-1}) e Maggia (- 3 t P a^{-1}), mentre le variazioni in aumento hanno riguardato il Ticino immissario (+ 8,5 t P a^{-1}) e il Toce Ossola (+ 5,9 t P a^{-1}).

Complessivamente i carichi di fosforo relativi al 1999 e dell'ultimo triennio possono essere considerati del tutto compatibili col raggiungimento di stabili condizioni di oligotrofia del lago. Infatti, le concentrazioni medie annuali in ingresso al lago, calcolate dal rapporto tra il carico globale e gli afflussi, sono rimaste compresa tra 20 e 24 $\mu\text{g P l}^{-1}$, valori ben diversi da quelli riscontrati alla fine degli anni '70 durante le fasi di avanzata mesotrofia (58 $\mu\text{g P l}^{-1}$). L'entità della diminuzione, pari a circa il 65%, rende conto dell'efficacia degli interventi adottati nel bacino imbrifero, ma deve essere sottolineato che il miglioramento della qualità delle acque tributarie è ancora troppo differenziato. Infatti, mentre i contributi areali di fosforo totale dal bacino ticinese sono assai limitati (0,013 $\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$) e quelli della porzione piemontese risultano accettabili (0,033 $\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$), il carico derivante dalla porzione rivierasca lombarda (0,063 $\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$) è indicativo di una persistente situazione di compromissione ambientale dovuta alla presenza nel bacino drenante di reflui urbani ed industriali non sufficientemente depurati, nonché di importanti corpi idrici tuttora in condizioni alterate (laghi di Varese e Lugano).

L'elemento idrodinamico che ha caratterizzato le acque del Lago Maggiore durante il 1999 è stato il mescolamento verticale totale che si è manifestato verso la metà di Febbraio, per altro concentrato in un breve lasso di tempo. Si tratta di un evento che possiamo definire "storico" in quanto è stata interrotta la serie di mescolamenti verticali parziali che avevano caratterizzato il Lago Maggiore ininterrottamente dal 1970.

Il lungo periodo di oligomissi che aveva portato ad un progressivo riscaldamento delle acque profonde (da 5,8 °C del 1963 a 6,8 °C del 1988) è stato così bruscamente interrotto e nel contempo si è verificata una notevole ossigenazione delle acque profonde che non si riscontrava dal 1991.

La circolazione verticale avvenuta come si è detto a Febbraio è stata facilitata dalla notevole quantità di vento filato (non accadeva dal 1970) verificatasi in Dicembre (1998) e nella prima metà di Febbraio. Accanto all'azione dei moti convettivi tipici della fase di destratificazione che hanno omogeneizzato le acque almeno sino alla profondità di 200 m si è verificata una penetrazione nei livelli più bassi di acqua superficiale più fredda e ossigenata derivante dallo scioglimento delle nevi a seguito della presenza sull'areale di un forte vento di föhn.

Questo doppio meccanismo idrodinamico si è concluso dopo il 18 Febbraio quando è stata raggiunta l'omogeneizzazione completa delle acque del lago con una temperatura di 6,63 °C ed una concentrazione di ossigeno intorno ai 7,5 ml⁻¹ uniformi entro tutta la colonna verticale.

L'influenza sull'idrochimica lacustre della piena circolazione intervenuta nel Febbraio del 1999 è risultata assai limitata. Le concentrazioni medie delle principali specie ioniche nella zona di massima profondità (Ghiffa), così come il contenuto ionico totale e la conducibilità a 20 °C, sono risultate identiche a quelle riscontrate l'anno precedente e nell'intero decennio 1990-1999. Le uniche variazioni, peraltro limitate al breve periodo del mescolamento verticale, si sono avvertite per il pH e l'ossigeno disciolto, che hanno presentato minimi storici dei rispettivi valori medi in tutta la colonna d'acqua pari a 7,15 unità e a 7,38 mg O₂ l⁻¹, nonché di fosforo reattivo e totale, le cui concentrazioni medie sono aumentate fino a valori di 9 e 14 µg P l⁻¹. Tali modificazioni sono probabilmente associate all'incremento della frazione fine di particolato rimesso in sospensione dai movimenti circolatori della massa lacustre. Questo materiale, generalmente ad elevata richiesta di ossigeno, è costituito da batteri, sostanze organiche parzialmente degradate, colloidali inorganici ed organici, nonché da composti e complessi del fosforo con ioni metallici. La sua diffusione nella massa d'acqua ipolimnica induce una serie di reazioni di mineralizzazione della sostanza organica e di abbassamento del potenziale di ossido riduzione che si manifestano con consumo di ossigeno, produzione di CO₂ e conseguente diminuzione del pH, nonché con rilascio di fosfati dalle forme ridotte di metalli quali ferro e manganese. Con il procedere del mescolamento e quindi del rifornimento di ossigeno in tutta la massa idrica, lo stato del sistema raggiunge un livello tale da permettere condizioni di potenziale e di pH favorevoli alla formazione di composti e complessi insolubili del fosforo con le forme ossidate di ferro e manganese. Il processo è stato particolarmente rapido, tanto è vero che dopo due settimane le concentrazioni di ossigeno sono cresciute in tutte le profondità, presentando un contenuto medio nell'intera colonna di 8,23 mg O₂ l⁻¹. Allo stesso modo la concentrazione media di fosforo totale si è abbassata fino a 11 µg P l⁻¹ per stabilizzarsi nella seconda metà dell'anno sui 10 µg P l⁻¹, valori del tutto analoghi a quelli misurati durante il 1998.

Il numero totale dei *taxa* censito durante il 1999 (80), così come il numero medio di specie per campione (34) sono risultati i più alti in assoluto nella serie storica. La ripartizione degli individui nei diversi *taxa* è stata abbastanza omogenea, coerentemente con il continuo aumento, in media annuale, della biodiversità osservato dal 1988.

Uno dei dati più interessanti del 1999 è che sia il biovolume complessivo del fitoplancton che la concentrazione della clorofilla *a* hanno raggiunto, in media annuale, i valori più bassi in tutta la serie storica che comincia dal 1981. Per la prima volta il biovolume è risultato inferiore a 1 cm³ m⁻³ (0,96), mentre la concentrazione della clorofilla è inferiore a 3 mg m⁻³ (2,86). Ciò rappresenta una piccola variazione rispetto a quanto osservato negli ultimi anni, tuttavia bisogna considerare che nel 1999 si è verificata una

piena circolazione, che avrebbe potuto significativamente alterare la dinamica stagionale del fitoplancton.

Le relazioni tra il biovolume e il contenuto cellulare di clorofilla, sulle quali si era richiamata l'attenzione nel precedente rapporto relativo al 1998, acquistano il loro significato sul lungo termine. Esiste una correlazione negativa, statisticamente significativa, tra il biovolume fitoplanctonico e il contenuto cellulare di clorofilla. Poiché nel corso dell'oligotrofizzazione il biovolume diminuisce fortemente, il contenuto di clorofilla, sempre sul lungo periodo, aumenta. Tale aumento è dovuto alla parallela diminuzione delle dimensioni cellulari medie, che in proporzione contengono più clorofilla. Questi fatti erano stati accertati già alla metà degli anni novanta [1] e le tendenze delle variabili fitoplanctoniche più importanti non hanno fatto che confermarsi negli ultimi anni.

Per quanto riguarda le misure di produzione primaria, i risultati ottenuti nel corso di questa ricerca hanno fornito un'ulteriore conferma del miglioramento delle condizioni trofiche del Lago Maggiore, mostrando come, per quanto riguarda l'entità della produzione annua, si sia ritornati a livelli simili a quelli della fine degli anni '50. È importante sottolineare che la piena circolazione del Febbraio 1999 non ha avuto alcun effetto "eutrofizzante" sulla produttività algale nell'arco dell'anno, come si poteva temere sulla base di osservazioni condotte in passato [2]. Un'approfondita indagine del fenomeno [3] ha invece messo in luce come, nonostante i valori di produzione molto elevati misurati nel mese di Marzo (il valore massimo nel corso del 1999 è stato misurato il 30 Marzo con $1409 \text{ mg C m}^{-2} \text{ g}^{-1}$), grazie al consistente apporto di nuovi nutrienti alle acque superficiali, l'intera produzione del periodo primaverile sia rimasta in linea con i valori misurati nel 1998. In conseguenza dei bassi valori di produzione registrati nel periodo estivo, anche a causa di condizioni meteorologiche poco favorevoli in Agosto, la produttività primaria annua ha raggiunto 183 g C m^{-2} , molto vicina a quella dell'anno precedente.

È dunque significativo che, nonostante l'arricchimento in fosforo prodotto dalla piena circolazione, la dinamica dei fenomeni produttivi non ne sia stata profondamente sconvolta, a testimonianza del fatto che la comunità algale del Lago Maggiore sembra avere ormai raggiunto una stabilità elevata, che garantisce una certa resistenza a fenomeni che possano indurre reversioni dello stato trofico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ambrosetti, W. & L. Barbanti. 1999. Deep water warming in lakes: an indicator of a climatic change. *Journal of Limnology*, 58 (1): 1-9.
- [2] Ambrosetti, W., L. Barbanti & A. Rolla. 1978. Bilanci, flussi e variazioni pluriennali del contenuto calorico nel Lago Maggiore. *Mem Ist. ital. Idrobiol.*, 36: 331-382.
- [3] Ambrosetti, W., L. Barbanti & A. Rolla. 1979. Mescolamento parziale o totale nel Lago Maggiore nell'ultimo trentennio. *Mem Ist. ital. Idrobiol.*, 37: 197-208.
- [4] Harris, G.P. 1986. *Phytoplankton ecology. Structure, function and fluctuation*. Chapman & Hall. London: 348 pp.
- [5] Manca, M., N. Cavicchioni, & G. Morabito, 2000. First observations on the effect of a complete, exceptional overturn of Lake Maggiore on plankton and primary productivity. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 85: 209-222.
- [6] Platt, T. 1971. The annual production of phytoplankton in St. Margaret's Bay, Nova Scotia. *J. Cons. Explor. Mer*, 33: 324-333.
- [7] Reynolds, C.S. 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Excellence in *Ecology*, 9: 371 pp.
- [8] Ruggiu, D., G. Morabito, P. Panzani & A. Pugnetti. 1998. Trends and relations among basic phytoplankton characteristics in the course of the long-term oligotrophication of Lake Maggiore (Italy). *Hydrobiologia*, 369/370: 243-257.
- [9] Salmaso N., F. Decet, S. Consolaro & P. Cordella. 1999. Caratteristiche chimiche e situazione trofica del Lago di Garda nel corso dell'episodio di mescolamento delle acque della primavera del 1999. *Acqua e aria*. In press
- [10] Tonolli, L. 1969. Holomyxy and oligomyxy in Lake Maggiore: inference on the vertical distribution of zooplankton. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 17: 231-236.

ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

RESPONSABILE DELLA RICERCA

Dr. Riccardo de Bernardi Direttore

COORDINATORE DELLA RICERCA

Dr. Roberto Bertoni

ELENCO DEGLI AUTORI

Dr. Paolo Alemani	Idrobiologo
Dr. Walter Ambrosetti	Limnologo fisico
Prof. Luigi Barbanti	Limnologo fisico
Dr. Roberto Bertoni	Microbiologo Acquatico
Dr. Alcide Calderoni	Idrochimico
Dr. Cristiana Callieri	Microbiologo Acquatico
Dr. Nicoletta Cavicchioni	Idrobiologo
Prof. Alfredo Carollo	Geografo fisico
Dr. Marzia Ciampittiello	Limnologo fisico
Per. Ind. Mario Contesini	Tecnico in Microbiologia
Dr. Riccardo de Bernardi	Idrobiologo
Geom. Vittorio Libera	Tecnico in Idrobiologia
Dr. Marina Manca	Idrobiologo
Dr. Giuseppe Morabito	Idrobiologo
Sig.ra Pierisa Panzani	Tecnico in Idrobiologia
Per. Ind. Alfredo Pranzo	Tecnico in Idrochimica
Dr. Angelo Rolla	Informatico
Dr. Delio Ruggiu	Idrobiologo
Per. Chim. Gabriele Tartari	Tecnico in Idrochimica

ELENCO DEI COLLABORATORI

Dr. Gianluigi Giussani
Sig.ra Luciana Corbella
Sig. Andrea Ferrari
Per. Az. Luciana Giussani
Dr. Roberta Piscia
Rag. Stefano Vanetti

INDIRIZZO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto Italiano di Idrobiologia
Largo V. Tonolli 50/52
28922 – VERBANIA PALLANZA

APPENDICE

Repertorio bibliografico delle pubblicazioni sul Lago Maggiore (aggiornato a tutto il 1999).

- Ambrosetti, W. & L. Barbanti. 1999. Deep water warming in lakes: an indicator of climate change. *J. Limnol.*, 58(1): 1-9.
- Ambrosetti, W., A. Calderoni, M. Manca & D. Ruggiu. 1999. Indagini limnologiche nell'area antistante la foce del Torrente S. Bernardino (sopralluogo del 18 ottobre 1999). Report CNR-III, 02.99: 19 pp.
- Ambrosetti, W., V. Libera, M. Contesini & S. Vanetti. 1999. Carta Batimetrica zona antistante la Città di Angera. Edizione CNR Istituto Italiano di Idrobiologia. Scala 1: 2000.
- Bertoni, R. & C. Callieri. 1999. From micro-scale analyses to macro-scale scenarios: a practicable path for aquatic microbial ecology?. In: Farina, A. (Ed.), *Perspectives in Ecology*. Backhuys Publishers, Leiden: 323-334.
- Bertoni, R. & C. Callieri. 1999. The role of UV-B radiation on freshwater autotrophic and heterotrophic picoplankton in a subalpine lake. *J. Plankton Res.*, 21: 1373-1388.
- Calderoni, A. & V. Mezzanotte. 1999. Contributo pro-capite di azoto totale e fosforo totale da un comprensorio residenziale e turistico del Lago Maggiore. *Inquinamento*, 3: 70-74.
- Carollo, A. & V. Libera. 1999. Bacino idrografico Lago Maggiore. Carta di base. Edizione CNR Istituto Italiano di Idrobiologia. Scala. 1:100.000.
- Carollo, A. & V. Libera. 1999. Bacino idrografico Lago Maggiore. Carta altezza manto nevoso. Edizione CNR Istituto Italiano di Idrobiologia. Scala 1:150.000.
- Guilizzoni, P. & A. Lami. 1999. Palaeoclimate and anthropogenic impact on aquatic ecosystems as inferred from the analyses of natural archives. In: Farina, A. (Ed.), *Perspective in Ecology*. Backhuys Publishers, Leiden: 87-98.
- Guilizzoni, P., A. Lami & A. Marchetto. 1999. Palaeoenvironmental investigations on sediment cores from alpine, sub-alpine and crater lakes. *Terra Nostra*, 99(10): 36-39.
- Morabito, G. & A. Pugnetti. 1999. Long term changes of primary productivity during the trophic evolution of Lake Maggiore. *Atti Associazione Italiana Oceanologia Limnologia*, 13: 105-115.
- Martinella, S. 1999. *L'attività batterica eterotrofa nel Lago Maggiore valutata con un fluorocromo biochemiosensibile e con traccianti marcati*. Univ. Degli Studi dell'Insubria (sede Varese), Tesi in Scienze Biologiche: 109 pp.
- Piscia, R. 1999. *Dinamica stagionale e attività del picoplankton autotrofo del Lago Maggiore*. Univ. Degli Studi di Milano, Tesi in Scienze Biologiche: 145 pp.