

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 2001

a cura di Roberto Bertoni

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi
Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne
Verbania Pallanza



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 2001

a cura di Roberto Bertoni

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi
Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne
Verbania Pallanza

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

C.N.R.-I.S.E. Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne- 2001. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 2001.* Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 86 pp.

RIASSUNTO

Questo volume riporta i risultati ottenuti con le ricerche limnologiche condotte nel 2001 sul Lago Maggiore dall'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi del CNR, Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne, già Istituto Italiano di Idrobiologia, per conto della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

L'analisi dei dati ed il loro confronto con quelli ottenuti con regolarità sin dal 1978 consente un continuo e costante monitoraggio scientifico nell'evoluzione di questo importante ecosistema.

SUMMARY

In this volume are presented the results of the researches on Lago Maggiore carried on during 2001 by the Institute of Ecosystem Study of CNR, Section of Hydrobiology and Ecology of Inland Waters, formerly Istituto Italiano di Idrobiologia in the framework of an agreement with the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. The limnological data obtained are compared with the longterm series and discussed in term of ecosystem evolution.

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
<i>(R. Bertoni)</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>(M. Ciampittiello, 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	12
<i>(W. Ambrosetti, L. Barbanti, A. Ferrari e A. Rolla)</i>	
2.2.1. <u>Radiazione solare</u>	12
2.2.2. <u>Temperatura atmosferica</u>	13
2.2.3. <u>Evaporazione</u>	14
2.2.4. <u>Intensità e direzione del vento</u>	16
2.3. Apporti chimici dai tributari	18
2.3.1. <u>Caratteristiche chimiche e chimico fisiche</u>	18
<i>(A. Calderoni, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
2.3.2. <u>Carichi chimici</u>	25
<i>(A. Calderoni, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
2.3.3. <u>Carbonio organico totale (TOC)</u>	35
<i>(R. Bertoni, C. Callieri e M. Contesini)</i>	
2.4. Utilizzo di bioindicatori per la valutazione del rischio potenziale dei tributari del Lago Maggiore	36
<i>(R. Baudo e M. Beltrami)</i>	
2.4.1. <u>Introduzione</u>	36
2.4.2. <u>Materiali e metodi</u>	37
2.4.2.1. 1 ^a esposizione	37
2.4.2.2. 2 ^a esposizione	37
2.4.2.3. 3 ^a esposizione	37
2.4.2.4. 4 ^a esposizione	38
2.4.3. <u>Analisi</u>	38
2.4.4. <u>Risultati preliminari</u>	38
3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO	40
3.1. Limnologia fisica	40
<i>(W. Ambrosetti, L. Barbanti, e A. Rolla)</i>	
3.1.1. <u>Livello del lago</u>	40
3.1.2. <u>Trasparenza delle acque lacustri</u>	41
3.1.3. <u>Temperatura delle acque lacustri</u>	42
3.1.3.1. Acque superficiali	42
3.1.3.2. Acque profonde	43
3.1.4. <u>Ossigenazione delle acque lacustri</u>	44
3.1.5. <u>Bilancio termico</u>	45
3.1.6. <u>Profondità di mescolamento</u>	48
3.2. Chimica lacustre	49
<i>(A. Calderoni, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
3.2.1. <u>Chimismo di base</u>	49
3.2.2. <u>Composti dell'azoto</u>	52
3.2.3. <u>Composti del fosforo</u>	53
3.2.4. <u>Ossigeno disciolto</u>	54
3.2.5. <u>Silicati reattivi</u>	55

3.3. Popolamenti planctonici	57
3.3.1. <u>Indagini sul fitoplancton</u>	57
<i>(G. Morabito, P. Panzani e A. Oggioni)</i>	
3.3.1.1. Struttura dei popolamenti	57
3.3.1.2. Variazioni della biomassa.....	59
3.3.2. <u>Indagini sullo zooplancton</u>	63
<i>(M. Manca, S. Gallibariggio)</i>	
3.3.2.1. Dinamica stagionale.....	63
3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi	67
<i>(R. Bertoni, C. Callieri, M. Contesini e R. Piscia)</i>	
3.5. Distribuzione orizzontale del Carbonio Organico e delle variabili ad esso associate nel Lago Maggio	70
<i>(R. Bertoni, C. Callieri, M. Contesini e R. Piscia)</i>	
4. CONCLUSIONI	79
<i>(R. Bertoni)</i>	
BIBLIOGRAFIA	83
ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI	85
APPENDICE	86

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Sono qui presentati i risultati emersi delle ricerche limnologiche condotte nel 2001 sul Lago Maggiore nell'ambito delle indagini a lungo termine promosse dalla Commissione Internazionale per la protezione delle acque Italo-Svizzere sin dal 1978.

In accordo con i programmi a suo tempo approvati dalla Commissione e proseguendo l'attività di ricerca in analogia a quanto fatto negli anni precedenti, le indagini realizzate hanno preso in considerazione i principali parametri ambientali e le maggiori componenti dell'ecosistema limnico in grado di descrivere, soprattutto dal punto di vista delle condizioni trofiche, lo stato attuale di questo importante corpo lacustre nonché la sua evoluzione recente anche in relazione agli interventi di risanamento realizzati negli ultimi decenni.

I dati ottenuti nel corso del 2001 hanno messo in evidenza qualche modesta deviazione dal trend consueto degli ultimi anni in conseguenza della piena dell'autunno 2000, la più importante nell'ultimo secolo. Si è trattato però di alterazioni che, almeno nel breve termine, non hanno modificato le condizioni di oligo-mesotrofia che sono andate stabilizzandosi nel corso del passato decennio. Si è invece consolidata la tendenza al riscaldamento delle acque profonde, interrotta dal mescolamento totale del 1999 e dalla cospicua discesa di acqua fredda in profondità nel 2000.

Questi risultati sottolineano l'importanza degli studi di lungo termine in quanto permettono, da un lato, di discriminare gli effetti di fenomeni occasionali e, dall'altro, di valutare se e in che misura le modificazioni osservate siano il risultato di cambiamenti profondi dell'ecosistema.

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 2001 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.

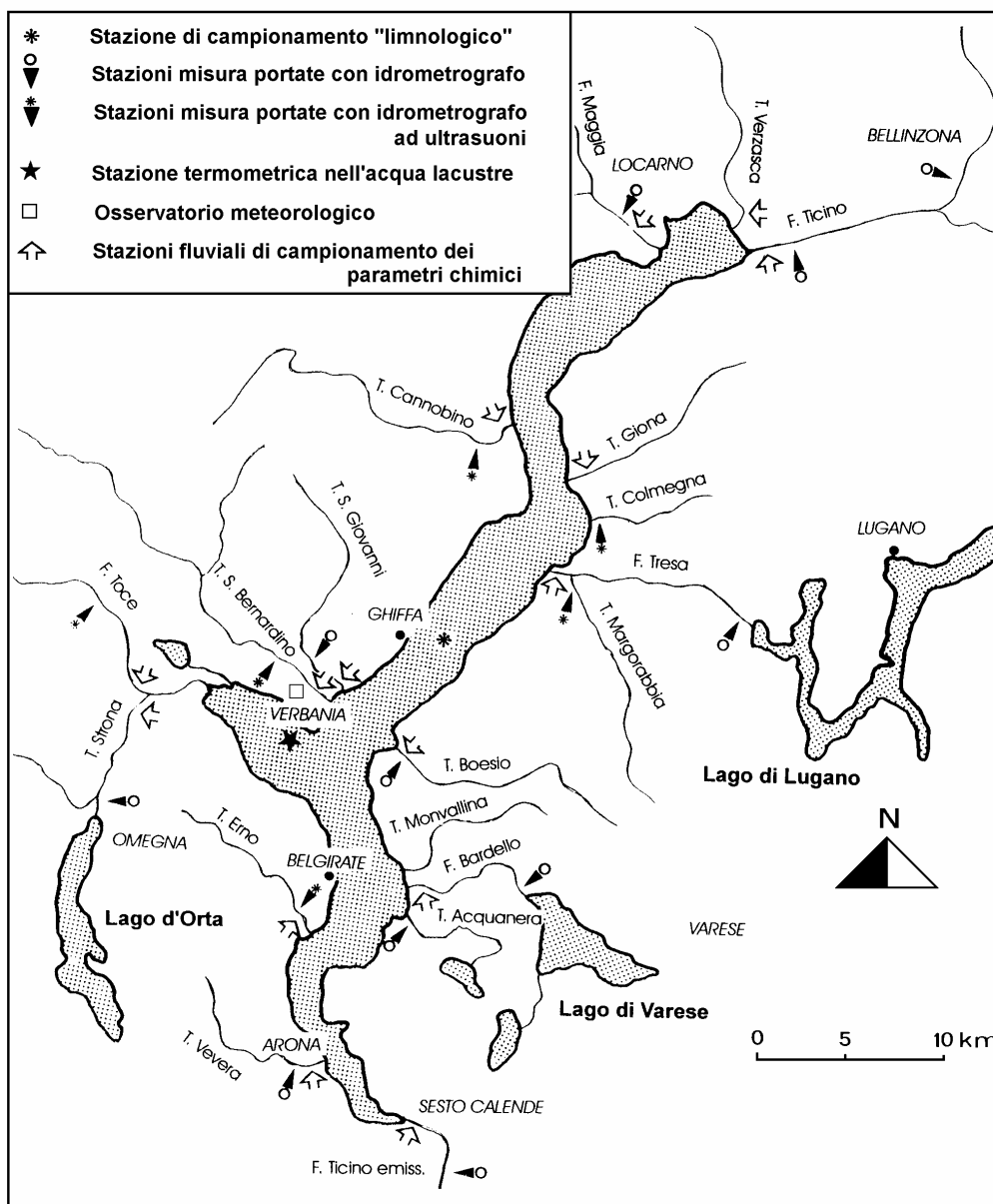


Fig. 1.3. Lago Maggiore, 2001. Ubicazione delle stazioni di campionamento.

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

I dati di precipitazione per l'anno 2001 sono stati raccolti nelle stazioni pluviometriche dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi 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, dell'Istituto di Scienze della Terra (TI, CH), della Montedison, del Consorzio del Ticino e del Centro Geofisico Prealpino.

I totali mensili ed annui delle precipitazioni sono riportati in tabella 2.1.1. con le medie della quantità di acqua caduta sull'intero bacino durante il 2001 e nei periodi 1978-00 e 1921-77: i loro andamenti mensili, dell'anno in studio e di quelli dei periodi di riferimento, sono rappresentati in figura. 2.1.1a.

Tab. 2.1.1. Lago Maggiore 2001. Totali pluviometrici mensili e annuali nel bacino imbrifero (mm).

Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO	
AIROLO	Ticino immissario	1139	92	117	198	82	204	191	240	184	112	151	15	35	1621
PIOTTA	Ticino immissario	1007	109	98	182	84	115	266	255	142	95	126	11	25	1510
FAIDO	Ticino immissario	760	136	122	185	68	117	172	210	186	74	133	10	10	1422
COMPROVASCO	Ticino imm.-Brenno	575	115	91	175	82	91	196	229	168	69	118	9	0	1344
BIASCA	Ticino immissario	291	206	108	215	78	134	270	293	161	85	128	9	0	1688
S. BERNARDINO (Tunnel)	Ticino imm.-Moesa	1639	216	142	259	111	145	319	260	242	162	133	26	4	2017
MESOCIO	Ticino imm.-Moesa	815	168	85	214	89	131	331	211	200	127	116	13	0	1684
BRAGGIO	Ticino imm.-Moesa	1320	131	77	190	95	186	355	237	229	140	127	20	0	1787
GRONO	Ticino imm.-Moesa	350	122	83	179	84	79	252	175	224	104	99	10	0	1411
BELLINZONA	Ticino immissario	225	143	87	202	96	114	257	229	271	103	128	9	0	1638
MAGADINO (Aeroporto)	Lago Maggiore	197	141	112	212	89	117	263	300	244	88	180	14	0	1760
VIRA GAMBAROGNO	Lago Maggiore	210	137	102	205	93	125	283	234	225	80	164	14	0	1660
CIMETTA	Lago Maggiore	1672	103	61	163	71	146	262	173	136	153	157	14	0	1437
LOCARNO MONTI	Lago Maggiore	366	146	111	239	83	122	329	233	163	150	163	14	0	1754
BRISSAGO	Lago Maggiore	280	163	146	241	85	136	327	201	246	131	237	13	1	1927
MALVAGLIA	Ticino imm.-Brenno	923	92	74	169	75	85	226	235	131	94	118	15	0	1311
LODRINO	Ticino immissario	275	158	74	192	73	131	391	260	142	121	112	8	0	1662
GNOSCA	Ticino immissario	247	131	76	176	78	105	344	260	218	113	120	9	0	1629
GIUBIASCO	Ticino immissario	215	144	81	206	88	103	250	244	263	103	131	7	0	1621
ALPE PREDASCA	Ticino imm.-Brenno	1735													
LUZZONE DIGA	Ticino imm.-Brenno	1617	164	111	208	152	220	317	280	255	135	176	28	28	2071
ACQUACALDA	Ticino imm.-Brenno	1775	41	90	117	92	158	230	213	175	88	143	25	9	1381
PASSO MUAZ	Ticino imm.-Brenno	1698	173	104	222	158	144	266	264	202	118	175	17	7	1848
OLIVONE	Ticino imm.-Brenno	905	142	111	187	78	103	225	231	183	78	136	10	10	1494
COPERA	Lago Maggiore	665													
VERBANO CENTRALE	Lago Maggiore	202	168	128	269	82	202	197	187	204	135	233	13	0	1817
LAGO DELIO	Lago Maggiore	835													
PIANO DEI CAMOSCI	Toce	2450	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
L. TOGGIA	Toce	2170	42	56	100	50	84	162	165	157	68	65	17	26	992
L. SABBIONE	Toce	2462	36	19	91	37	66	160	177	140	57	93	16	8	900
L. MORASCO	Toce	1820	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
L. VANNINO	Toce	2175	60	33	142	52	119	214	209	191	60	98	11	17	1206
PONTE FORMAZZA	Toce	1300	69	53	124	49	108	161	176	128	47	71	2	17	1005
CRODO (Ist. Agrario)	Toce	560	59	51	123	67	149	130	184	123	56	82	7	3	1035
CREVOLADOSSOLA	Toce	303	79	73	128	52	135	119	150	72	65	120	14	14	1021
DOMODOSSOLA (Nosere)	Toce	252	55	58	121	64	139	100	185	72	56	87	15	2	953
DOMODOSSOLA-CALICE	Toce	240													
PALLANZENO	Toce	240	69	57	147	45	193	119	179	90	54	100	17	0	1070
CODELAGO	Toce-Devero	1885	71	78	172	73	152	161	187	198	85	96	13	21	1307
DEVERO (Reg. Piem.)	Toce-Devero	1640	63	84	143	88	157	88	183	0	48	126	9	18	1007
L. D'AGARO	Toce-Devero	1600	108	49	138	61	169	128	158	134	60	75	5	12	1097
SIMPLON DORF	Toce-Diveria	1495	67	62	98	83	160	96	104	42	57	79	10	27	885
LAGO D'AVINO	Toce-Diveria	2240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
S. DOMENICO	Toce-Diveria	1300	58	76	128	77	166	92	172	173	71	112	17	20	1162
AGRASINA	Toce-Isorno	1370	51	62	0	65	129	133	193	80	62	109	10	8	902
L. LARECCHIO	Toce-Isorno	1840	88	159	0	94	170	140	200	87	81	140	18	10	1187

Tab. 2.1.1. Continuazione.

CIPATA	Toce-Isorno	937													
PONNETTO	Toce-Isorno	348	63	44	0	70	116	112	165	52	24	58	8	4	715
DRUOGNO	Toce-Melezzeo occ.	831	66	63	118	71	131	164	194	90	65	125	14	0	1101
MAGLIETTO	Toce-Melezzeo occ.	657													
Lago PAIONE Superiore	Toce-Bogna	2269	52	44	147	54	261	138	213	178	89	178	17	2	1373
PIZZANCO	Toce-Bogna	1142	66	72	143	69	248	138	202	122	70	167	14	5	1314
L. ALPE CAVALLI	Toce-Ovesca	1510	92	112	146	50	229	152	140	106	64	99	20	8	1218
ALPE CHEGGIO	Toce-Ovesca	1460	0	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
L. CAMPOSECCO	Toce-Ovesca	2281	43	39	122	37	195	120	156	153	61	84	20	12	1042
L. CINGINO	Toce-Ovesca	2281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
L. CAMPLICCIOLI	Toce-Ovesca	1320	77	81	183	44	234	118	184	194	47	85	22	13	1282
ROVESCA	Toce-Ovesca	760	59	35	137	58	216	88	150	89	62	87	18	0	999
MACUGNAGA -(P.sso Moro)	Toce-Anza	2820	26	15	62	22	69	97	100	65	35	25	14	14	.
MACUGNAGA (Fornarelli)	Toce-Anza	1185	49	65	167	61	188	112	146	108	75	70	22	1	1064
CEPPO MORELLI (Battigio)	Toce-Anza	540	52	48	128	28	147	87	154	129	47	83	17	1	920
BANNIO ANZINO	Toce-Anza	687													
FORNO PREIA	Toce-Strona	880													
SAMBUGHETTO	Toce-Strona	800	101	85	164	88	260	193	140	105	69	213	22	3	1442
OMEGNA	Toce-Strona	298	107	93	162	80	212	214	168	60	61	202	16	5	1380
BOLETO	Toce-L. d'Orta	695													
ORTA - Sacro Monte	Toce-L. d'Orta	380													
MONTE MESMA	Toce-L. d'Orta	575													
MOTTARONE (Baita CAI)	Toce-L. d'Orta	1302	18	78	102	95	78	259	194	88	77	216	20	1	1228
ROBIEI	Maggia	1898	181	213	363	143	363	385	302	227	237	238	40	31	2722
CEVIO	Maggia	418	139	96	188	84	139	146	270	140	90	141	15	1	1449
BOSCO GURIN	Maggia	1505	130	120	190	97	167	176	254	150	100	149	16	23	1571
MOSOGNO	Maggia	760	132	119	207	71	147	197	219	112	106	213	15	3	1540
CORTINO CAVAGNOLI	Maggia	2226	185	124	232	166	219	196	276	153	189	221	38	20	2019
CAVERGNO CENTRALE	Maggia	540	160	84	202	72	212	226	187	194	78	152	11	8	1585
PIANO DI PECCIA	Maggia	1020	154	115	222	113	214	271	340	192	104	151	8	3	1883
SAMBUCCO DIGA	Maggia	1471	130	89	167	71	142	212	251	155	89	115	7	13	1439
FUSIO	Maggia	1300	153	105	206	90	173	246	297	182	94	136	11	13	1706
MAGGIA	Maggia	327	121	122	196	76	139	180	231	130	99	274	11	0	1578
PALAGNEDRA	Maggia	498	135	104	214	78	137	260	226	145	111	276	16	2	1702
CAMEDO	Maggia	550	119	116	201	128	157	227	239	140	110	259	15	4	1715
SONOGNO	Verzasca	925	166	139	246	99	167	348	350	204	137	226	12	4	2099
FRASCO	Verzasca	890	188	103	222	92	153	294	306	157	122	194	12	2	1844
AROSIO	Tresa	860	159	113	240	105	123	279	255	230	82	115	16	0	1717
ISONE	Tresa	810	153	103	234	126	154	305	265	263	107	134	13	0	1856
LUGANO	Tresa	273	128	87	203	74	104	244	230	246	69	99	18	1	1500
CRANA TORRICELLA	Tresa	1002	194	140	221	154	177	404	309	219	123	195	19	0	2155
PONTE TRESA	Tresa	274	146	146	223	69	139	227	339	233	65	115	19	0	1720
STABIO	Tresa	353	140	106	243	54	92	81	103	257	101	47	27	0	1251
SOMAZZO	Tresa	580	157	104	250	63	91	105	179	215	122	135	26	0	1446
MENDRISIO	Tresa	290	147	98	240	50	89	109	165	262	89	152	21	0	1421
CREVA	Tresa	233													
GERMIGNAGA	Tresa	203	132	103	203	72	136	213	156	201	74	140	21	2	.
CADERO VEDDASCA	Giona	570													
FALMENTA	Cannobino	662													
CURSOLO O. (M.te Pradini)	Cannobino	940	113	106	238	76	167	236	187	168	106	301	18	4	1719
LUNECCO	Cannobino	415	/	/	/	/	/	/	171	158	114	306	19	5	772
CANNOBIO	Cannobino	220													
MOTTAC	S. Bernardino	1695	78	5	153	111	229	225	186	130	98	182	22	5	1423
IN LA PIANA	S. Bernardino	960	140	117	234	119	226	0	188	123	0
CICOGNA	S. Bernardino	770													
MAZZINA	S. Bernardino	721	81	72	116	20	102	231	161	96	51	325	9	3	1268
UNCHIO	S. Bernardino	283													
PIANCAVALLO	S. Giovanni	1240	169	115	245	114	172	325	228	260	116	271	20	5	2041
MERGOZZO	L. di Mergozzo	195	0	0	0	0	0	0	0	0
CANDOGLIA	Toce	201	6	2	4	8	92	96	88	82	12	85	1	0	0
PIAN DI SOLE	Lago Maggiore	920													
PALLANZA	Lago Maggiore	211	133	108	196	80	201	239	127	127	70	275	174	2	1733
CAMPO DEI FIORI	Bardello	1226													
S. MARIA DEL MONTE	Bardello	881													
GAVIRATE	Bardello	284													
VARESE (Ist. Geofisico)	Bardello	410													
AZZATE	Bardello	320													
SOMERARO	Lago Maggiore	470	533	94	194	85	123	252	127	161	64	254	19	1	1909
ISPRA	Lago Maggiore	200													
MOTTARONE VETTA	Erno	1491	18	78	102	95	78	259	194	88	77	217	20	1	1228
ARONA	Veveva	334	104	69	115	6	22	38	30	136	24	57	0	0	0
MIORINA	Ticino emissario	195	79	56	187	22	86	59	66	163	86	84	21	0	909
	2000		117	88	182	78	150	203	203	165	89	146	18	7	1446
	1978-99		80	59	105	189	208	167	132	150	206	220	116	75	1714
	1921 - 1977		63	75	103	163	199	168	142	172	180	183	178	83	1709

. dato mancante
dato ricostruito

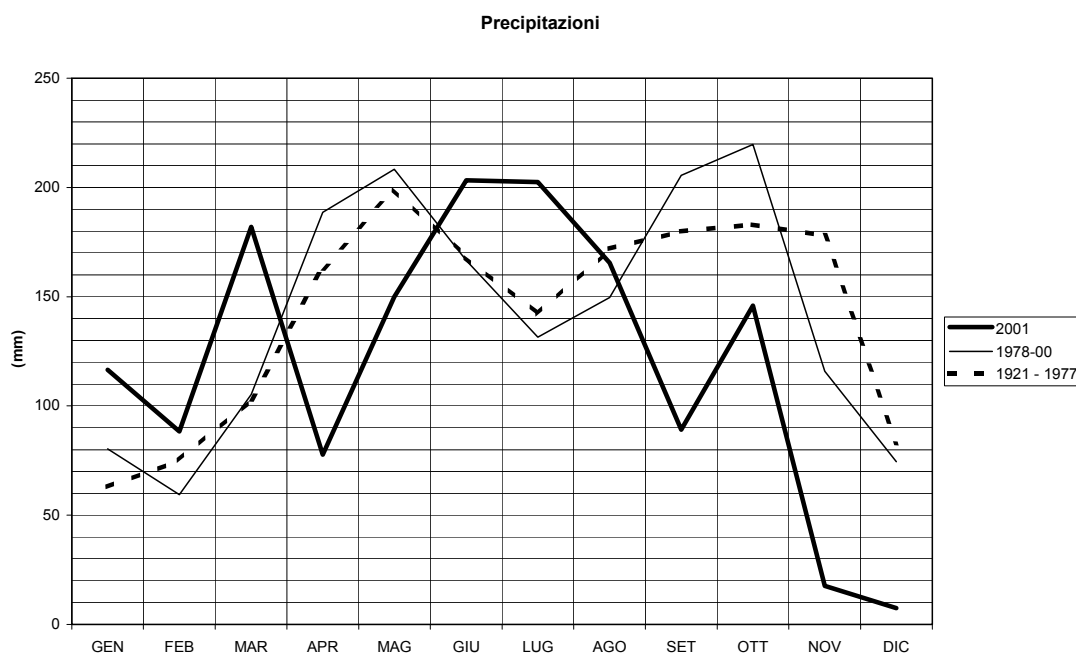


Fig. 2.1.1a. Lago Maggiore 2001. Regime delle precipitazioni dell'intero bacino.

L'andamento mensile delle precipitazioni sull'intero bacino nel 2001 è stato caratterizzato da tre picchi di piovosità dei quali uno all'inizio della primavera e precisamente a Marzo con 182 mm, il secondo, più marcato, in estate nei mesi di Giugno e Luglio con 203 mm e il terzo, di molto inferiore ai precedenti in autunno, ad Ottobre con 146 mm.

I mesi più siccitosi sono stati Aprile, Settembre e Novembre-Dicembre; in particolare va rilevato che il mese di Dicembre è stato il meno piovoso dal 1980 ad oggi con soli 7 mm di pioggia caduti mediamente su tutto il bacino.

Si può notare come nel 2001 il caratteristico picco di piovosità tardo primaverile dei periodi di riferimento si sia sdoppiato in un primo picco a Marzo seguito poi da un secondo picco estivo; inoltre nel 2001 da Ottobre a Dicembre si è avuta una piovosità notevolmente inferiore a quella dei periodi di riferimento.

L'andamento stagionale delle precipitazioni nel 2001 mostra una diversa distribuzione temporale delle piogge rispetto agli anni pregressi; in particolare, da valori pressoché uguali in inverno per tutti i periodi in esame si è passati a valori inferiori nella tarda primavera, superiori in estate e notevolmente inferiori in autunno.

Le precipitazioni durante il 2001 hanno raggiunto i 1446 mm, valore inferiore del 15% circa rispetto ai valori medi degli anni di riferimento. Per trovare, nella serie storica, un valore inferiore a quello registrato nel 2001, bisogna tornare al 1997 quando si registrarono 1405 mm.

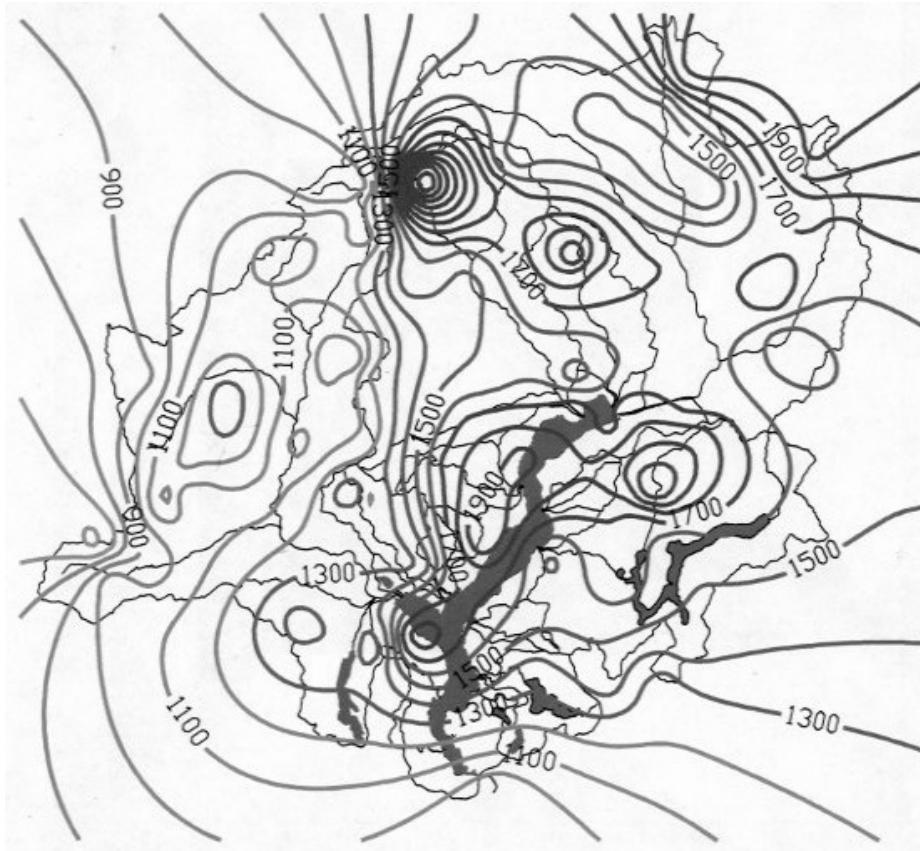


Fig. 2.1.1b. Lago Maggiore 2001. Carta delle isoiete annue (mm).

Rispetto all'andamento medio delle precipitazioni sull'intero bacino, quelle registrate nella valle Maggia sono risultate notevolmente superiori con picchi di 2722 mm a Robiei e alcune stazioni nell'areale del Ticino dove si sono misurati valori intorno ai 2000 mm.

La stazione pluviometrica che ha registrato il massimo valore di precipitazione è risultata proprio quella di Robiei nella valle Maggia.

Per contro la stazione che ha fatto registrare il minor afflusso meteorico è stata quella di Macugnaga Passo Moro con 544 mm.

La carta delle isoiete annue (Fig. 2.1.1b) mostra in complesso una zona ad elevate precipitazioni nell'alta valle Maggia e nella valle del Ticino e in misura minore, nella bassa valle Cannobina. I valori più bassi si sono registrati nel bacino del Toce e nella parte più meridionale del bacino del lago, verso Sesto Calende con una media di 1100 mm.

Sono presenti inoltre alcuni nuclei di precipitazione intorno ai 2000 mm nell'areale del San Giovanni (Piancavallo 2041 mm), della Tresa (Lugano 2155 mm) e della Verzasca (Sonogno 2099 mm).

2.1.2. Deflussi

Nella tabella 2.1.2a unitamente alle regioni amministrative di appartenenza sono espone le principali caratteristiche morfometriche dei bacini dei corsi d'acqua, presi in considerazione, sia per quanto attiene ai principali immissari che all'emissario del Lago Maggiore.

Tab. 2.1.2a. Lago Maggiore 2001. 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	1515,0	220	1616,21	3402	1720
Maggia	Ticino-Piemonte	926,0	202	926,10	2864	1550
Cannobino	Piemonte	107,0	215	110,42	2193	1057
S. Giovanni	Piemonte	55,0	226	60,71	2156	914
S. Bernardino	Piemonte	125,0	225	130,84	2301	1228
Toce	Piemonte	1532,0	198	1774,11	4633	1570
Niguglia	Piemonte	115,7	289	115,72	1643	595
Erno	Piemonte	25,0	220	25,64	1491	657
Vevera	Piemonte	21,0	196	21,43	912	449
Bardello	Lombardia	111,7	238	134,27	1227	284
Boesio	Lombardia	45,0	197	45,37	1235	501
Margorabbia	Lombardia	94,5	197	94,59	1226	490
Tresa	Ticino-Lomb.	615,0	271	754,20	2245	650
Ticino emissario	Lomb.-Piemonte	6599,0	191	6599,00	4633	1283

I dati relativi ai deflussi dei principali immissari e dell'emissario del Lago Maggiore, misurati nel 2001, attraverso le reti di rilevamento dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi CNR, del Servizio Idrologico Nazionale svizzero e dai Consorzi del Bardello e del Ticino sono riportati in tabella 2.1.2b.

Tab. 2.1.2b. Confronto delle portate medie [m³ s⁻¹] mensili ed annue del 2001 con le medie pluriennali.

Corso d'acqua	Periodo	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
TICINO IMM.	2001	* 54,64	51,58	63,48	54,07	160,3	189,7	155,3	95,75	49,68	63,54	40,00	28,54	84,16
	1978-00	32,40	31,27	36,55	55,99	109,0	120,5	96,56	64,43	75,42	87,48	54,46	35,04	66,81
	1921-74	28,00	27,30	31,00	52,30	108,0	140,0	107,0	82,90	80,00	70,90	61,10	35,80	68,70
CANNOBINO	2001	* 3,61	4,43	5,92	4,50	7,09	5,91	4,01	2,86	2,66	7,36	2,45	2,23	4,42
	1978-00	2,03	1,97	4,15	8,42	9,08	6,60	4,30	3,10	6,62	8,85	4,33	2,31	5,15
S. GIOVANNI	2001	* 0,93	1,12	1,45	1,39	1,35	1,57	<u>1,06</u>	<u>1,11</u>	<u>1,84</u>	<u>4,13</u>	<u>0,96</u>	<u>0,20</u>	1,43
	1978-00	1,34	1,09	2,05	4,04	3,93	3,21	2,22	1,30	3,16	4,55	2,39	1,25	2,54
S. BERNARDINO	2001	* 5,74	8,09	11,48	<u>9,96</u>	17,62	9,18	<u>5,61</u>	3,79	2,37	9,81	2,81	1,97	7,38
	1978-00	2,25	2,03	5,05	12,57	15,65	8,90	5,12	3,72	9,98	13,26	6,34	2,84	7,32
	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	2001	* 40,98	<u>33,27</u>	51,11	53,59	<u>144,5</u>	113,3	115,0	67,55	33,26	38,85	27,16	18,08	61,68
	1978-00	27,72	27,60	36,28	65,14	112,8	116,4	88,50	63,82	74,89	99,40	54,11	32,89	66,74
	1936-64	30,90	30,00	34,90	59,70	105,1	127,1	93,40	74,30	73,50	72,10	64,90	37,80	67,10
NIGUGLIA	2001	* 6,29	5,17	5,43	5,91	6,97	6,14	3,80	3,17	2,59	2,84	2,68	2,23	4,43
	1979-00	2,72	2,16	3,24	6,37	8,04	6,65	3,91	2,43	3,54	8,61	5,83	3,45	4,75
	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	2001	* 0,91	0,89	0,99	0,85	0,97	0,94	0,55	0,58	0,50	0,89	0,56	0,47	0,76
	1978-00	0,69	0,55	0,98	1,59	1,59	1,13	0,68	0,48	0,89	1,76	1,00	0,64	1,00
VEVERA	2001	* 0,63	0,57	0,60	0,54	0,55	0,47	0,40	0,40	0,39	0,39	<u>0,31</u>	<u>0,30</u>	0,46
	1978-00	0,55	0,47	0,62	0,85	0,99	0,78	0,44	0,32	0,43	1,07	0,69	0,49	0,64
BARDELLO	2001	* 2,28	3,18	1,58	3,34	2,40	1,83	1,99	0,92	2,91	2,00	1,59	0,99	2,32
	1978-00	2,75	2,57	3,15	3,51	4,52	4,28	2,82	1,40	2,39	3,46	3,11	2,31	3,02
	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	2001	* <u>1,88</u>	<u>1,87</u>	<u>3,07</u>	<u>1,38</u>	1,30	1,66	0,88	<u>0,71</u>	<u>0,63</u>	0,91	0,55	<u>0,41</u>	1,27
	1978-00	1,48	1,08	1,58	2,55	2,78	2,19	1,35	0,84	1,46	2,65	1,92	1,17	1,76
MARGORABBIA	2001	* 6,45	5,80	6,29	4,42	3,25	3,13	3,58	2,94	1,99	2,08	1,49	1,00	3,53
	1978-00	2,64	2,23	3,49	5,15	5,48	4,49	2,44	1,61	2,82	6,57	4,54	2,49	3,68
TRESA	2001	* 32,65	28,91	35,73	29,93	28,05	29,05	31,99	27,89	17,54	15,96	9,39	5,42	24,37
	1978-00	14,58	11,56	17,66	32,78	41,03	36,27	22,70	15,19	22,76	36,58	24,54	14,66	24,22
	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.	2001	* 255,4	262,7	319,3	291,4	514,5	543,4	458,8	304,1	215,9	198,3	176,1	127,5	306,0
	1978-00	150,9	143,9	182,7	309,5	468,3	440,4	357,5	259,0	279,4	459,5	233,7	160,7	289,3
	1921-77	145,0	147,0	159,0	263,0	435,0	495,0	384,0	295,0	316,0	318,0	327,0	193,0	290,0

Dati ricostruiti

(*) Dati in attesa di validazione

In essa i deflussi misurati nel 2001 sono posti a confronto con quelli medi del periodo 1978-00.

Come già visto in precedenza, l'anno in studio è stato caratterizzato da scarse precipitazioni soprattutto nella seconda parte dell'anno, raggiungendo valori minimi nei mesi di Novembre e Dicembre. Anche il regime dei deflussi ha seguito questo andamento, ad eccezione dei Torrenti San Giovanni, San Bernardino, Cannobino ed Erno che hanno visto il loro areale bagnato da forti precipitazioni, mediamente intorno ai 250 mm, nei primi giorni del mese di Ottobre tanto da far raggiungere il colmo annuale a San Giovanni e Cannobino, rispettivamente di 4,13 e 7,36 m³/s.

Il valore massimo di portata per l'anno in studio è situato a Marzo per la Tresa e l'Erno, a Gennaio per Vevera, Boesio e Margorabbia.

Per quanto riguarda il Toce, il San Bernardino e il Niguglia si è registrato il massimo a Maggio, mentre per il Bardello ad Aprile; il Ticino, Immissario ed Emissario, hanno raggiunto valori elevati, rispettivamente 189,70 e 543,40 m³/s nel mese di Giugno, mantenendosi molto superiori alla media pluriennale da Gennaio a Marzo e da Maggio ad Agosto e scendendo al di sotto di questa a partire dal mese di Settembre a causa delle scarse precipitazioni di questo periodo.

Tutti i torrenti, ad eccezione del San Giovanni e del Bardello, hanno un regime di deflusso caratterizzato da alti valori nella prima parte dell'anno da Gennaio a Marzo.

Per quanto riguarda i mesi da Aprile a Luglio il San Giovanni, la Vevera, il Niguglia, l'Erno, il Bardello e il Boesio hanno fatto registrare valori di portata inferiori a quelli del periodo di riferimento; tra Luglio e Agosto la Margorabbia e la Tresa si mantengono superiori a tali valori mentre il Toce solo a Luglio, l'Erno e la Vevera solo ad Agosto.

Nei restanti mesi dell'anno da Settembre a Dicembre tutti i torrenti, ad eccezione del Bardello, si mantengono al di sotto dei valori dei periodi di riferimento.

L'andamento annuale delle portate varia notevolmente da torrente a torrente, risultando simile tra quei corsi d'acqua facenti parte di uno stesso bacino idrologico o caratterizzati dallo stesso tipo di precipitazioni: la Margorabbia e la Tresa partono entrambe da valori di portata molto alti a Gennaio, raggiungendo un picco a Marzo dopo il quale hanno fatto registrare valori sempre minori; il Boesio segue molto da vicino questo andamento, come la Vevera, la quale però, è caratterizzata da valori molto più uniformi, soprattutto nella seconda parte dell'anno.

Le medie annuali sottolineano come il 2001 sia stato un anno caratterizzato da scarse precipitazioni, infatti, tutti i torrenti hanno registrato valori di portata inferiori a quelli dei periodi di riferimento, fatta eccezione per il San Bernardino e la Tresa, i cui valori sono rispettivamente di 7,38 m³/s contro 7,32 e 6,88 m³/s degli anni 1978-00 e 1955-69 e 24,37 m³/s contro 24,22 e 24,50 m³/s degli anni 1978-00 e 1923-74; il Ticino Immissario ed Emissario con valori rispettivamente di 84,16 m³/s contro 66,81 e 68,70 m³/s degli anni 1978-00 e 1921-74 e 306 m³/s contro 289,31 e 290 m³/s degli anni 1978-00 e 1921-77.

Il Ticino Immissario eccezionalmente ha fatto registrare una portata superiore rispetto a quelle del periodo di riferimento del 25%, a causa delle elevate precipitazioni che hanno investito il suo areale nella prima parte dell'anno.

Per quanto riguarda i valori minimi registrati sono tutti da collocarsi nel mese di Dicembre con un minimo pronunciato della Tresa di 5,42 m³/s inferiore di circa un terzo rispetto a quelli dei periodi di riferimento.

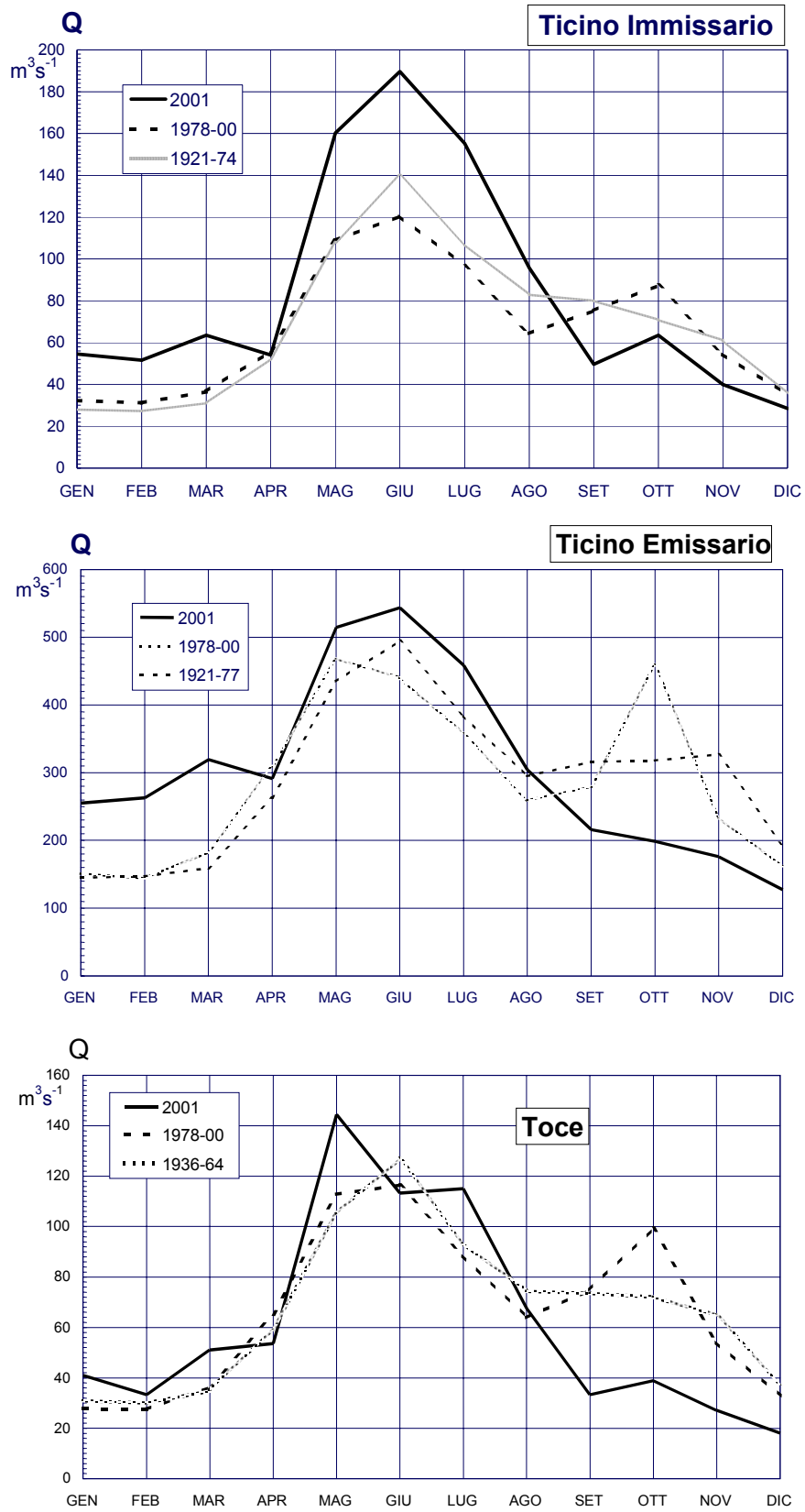


Fig. 2.1.2. Lago Maggiore 2001. Regime delle portate.

2.2. Meteorologia dell'areale lacustre

Gli elementi meteorologici qui analizzati si limitano a quelli che più direttamente influenzano le caratteristiche ecologiche di un grande corpo d'acqua come il Maggiore: si tratta di radiazione solare, temperatura dell'aria, evaporazione e vento nelle sue componenti di velocità e di direzione. I dati del 2001 sono, come di consueto, quelli registrati a Pallanza presso la stazione Meteorologica del C.N.R. - I.S.E. che sono posti a confronto con i corrispondenti valori medi relativi ad un lungo periodo pregresso.

Gli eventi che maggiormente hanno caratterizzato nel 2001 l'areale del Lago Maggiore possono essere così sintetizzati: una prima parte dell'anno piovosa, caratterizzata da un innevamento molto abbondante in montagna, i mesi di Maggio ed Agosto molto caldi, abbondanti precipitazioni in Giugno e Luglio, un Ottobre particolarmente mite e una fine dell'anno asciutta, con periodi molto freddi, che ha rappresentato l'inizio di un lungo periodo di siccità che si è protratto sino al Febbraio 2002.

2.2.1. Radiazione solare

	2001 (cal cm ⁻²)		1951-2000 (cal cm ⁻²)		
totale annuo	112.663		104.313		
totale invernale	11.310		11.844		
totale primaverile	33.025		31.927		
totale estivo	45.944		42.041		
totale autunnale	20.622		18.501		
mese con rad. minima	3.036	Gen	1.978	Dic	1951
mese con rad. massima	16.271	Giu	18.034	Lug	1984
giorno con rad. minima	3,9	8 Feb	0,6	6 Nov	1999
giorno con rad. massima	744,7	11 Giu	840	22 Giu	1956

La quantità totale di energia solare registrata nel corso del 2001 risulta sufficientemente elevata anche se con 112.663 cal cm⁻² si è ancora lontani dal massimo assoluto di 119.347 cal cm⁻² del 1961. Per quel che riguarda la regimazione stagionale, solo l'inverno si colloca leggermente al di sotto del valore medio del periodo di confronto, mentre le altre stagioni lo superano abbondantemente e si situano vicino ai valori massimi dei rispettivi periodi.

La distribuzione a livello mensile (Fig. 2.2.1.) mostra invece un andamento al di sotto della media nei soli mesi di Gennaio e Marzo mentre gli altri si pongono tutti al di sopra di essa: particolarmente elevati, appena sotto i massimi assoluti, sono quelli relativi ai mesi di Giugno (16.270 cal cm⁻²) Agosto (14.217 cal cm⁻²) e Novembre (4.427 cal cm⁻²).

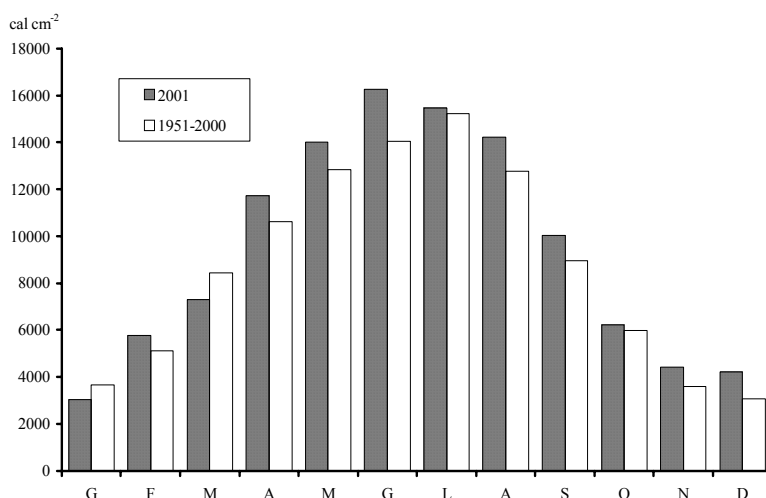


Fig. 2.2.1. Lago Maggiore 2001. Confronto tra i regimi mensili della radiazione solare a Pallanza nel 2001 e nel periodo 1951-2000.

2.2.2. Temperatura atmosferica

	2001 (°C)	1951-2000 (°C)
media annua	13,04	12,30
media invernale	4,79	3,59
media primaverile	13,05	11,80
media estiva	22,15	21,20
media autunnale	13,09	12,60
minima invernale	-2,8 24 Gen	-8,2 6 Gen 1985
minima primaverile	-0,8 2 Mar	-7,1 6 Mar 1971
minima estiva	9,0 4 Giu	7,0 18 Giu 1978
minima autunnale	0,6 24 Nov	-3,6 23 Nov 1998
massima invernale	21,0 22 Feb	20,8 17 Feb 1998
massima primaverile	32,7 22 Mag	31,1 21 Mag 1953
massima estiva	34,2 1 Ago	35,6 5 Ago 1994
massima autunnale	27,6 7 Set	32,6 23 Set 1962

Proseguendo la tendenza al rialzo, in atto dagli anni '80, la temperatura media annua di Pallanza si è ormai stabilizzata al di sopra dei 13,00 °C: nel 2001 è risultata superiore alla media del periodo pluriennale (12,30 °C per gli anni 1951-2000) registrando un valore medio di 13,04 °C.

L'incremento termico sulle medie pluriennali si è verificato in tutti i periodi stagionali, ma con più evidenza in primavera (+1,25 °C) e in inverno (+1,2 °C) e in misura minore nelle altre due stagioni, +0,95°C in estate e +0,49°C in autunno, sfiorando per altro i massimi assoluti del periodo.

Quanto al regime mensile (Fig. 2.2.2.), vi è da segnalare che soltanto Settembre e Dicembre si sono caratterizzati con uno scarto negativo rispetto alla media, mentre tutti

gli altri mesi si sono situati al di sopra di essa: particolarmente elevati i valori di Maggio (17,91°C) ed Agosto (23,58°C) che si collocano entrambi al terzo posto in ordine decrescente nella serie pluriennale 1951-2000. Va infine rilevato che il massimo giornaliero è stato registrato il 1° Agosto (34,2°C), mentre quello minimo (-4,2°C) riguarda il 25 Dicembre, quindi con un'escursione annua di 38,4°C, molto lontana dal valore assoluto del 1991 di 41,2°C.

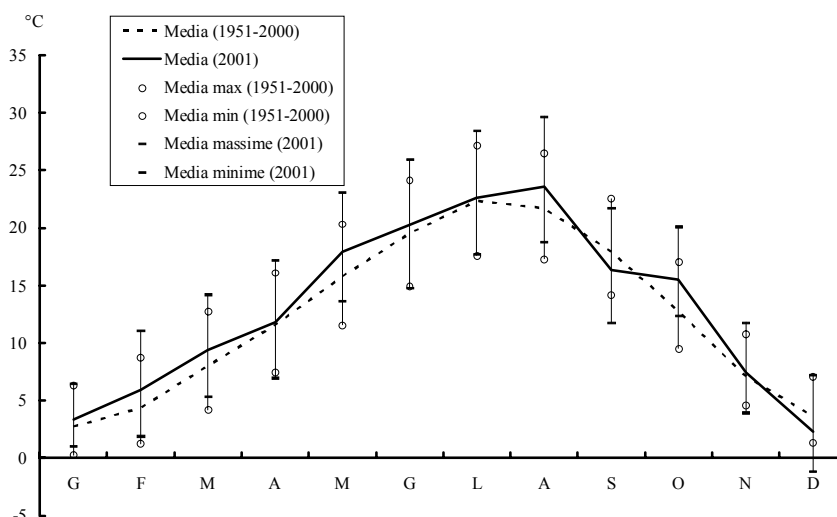


Fig. 2.2.2. Lago Maggiore 2001. Confronto tra i regimi mensili della temperatura a Pallanza nel 2001 e nel periodo 1951-2000.

2.2.3. Evaporazione

	2001 (mm)		1951-1999 (mm)	
totale annuo	1042,0		1107,9	
totale invernale	77,6		106,4	
totale primaverile	294,9		326,2	
totale estivo	461,8		491,5	
totale autunnale	181,8		183,8	
mese con evap. minima	19,2	Gen	9,9	Gen 1996
mese con evap. massima	168,8	Giu	258,0	Lug 1959
giorno con evap. massima	12,1	1 Giu	18,7	16 Lug 1984

Per questo parametro è necessaria una premessa: i dati presentati in questo paragrafo sono stati ricavati dalle misure effettuate a Pallanza con l'impiego dell'evaporigrafo Wild, Modello EV 63 della SIAP, che è uno strumento dalle capacità piuttosto limitate e, comunque, non in grado di garantire una soddisfacente estrapolazione alla superficie lacustre. Comunque alcune correlazioni fra dati strumentali e quelli ricavati attraverso il bilancio termico del lago [1] hanno dimostrato come i primi risultino mediamente superiori ai secondi del 30%, anche se questa differenza risulta estremamente variabile, pro-

tabilmente in rapporto alle diverse condizioni meteorologiche. Si deve pertanto dedurre che i dati evaporimetrici qui presentati hanno un valore puramente indicativo e che sono accettabili solo in termini relativi, ossia di confronto fra i singoli periodi stagionali e mensili, nonché come curva di regime. E' da ritenersi valido anche il confronto con i dati degli anni precedenti, tutti rilevati con lo stesso tipo di strumentazione.

Dal punto di vista evaporimetrico il 2001 deve essere annoverato tra quelli ad evaporazione medio bassa: il totale annuo (1042,0 mm) risulta, infatti, leggermente inferiore a quello medio degli anni di confronto (1107,9 mm) con una differenza che non supera il 6%.

Anche i totali stagionali rientrano nella media, con la sola eccezione del periodo invernale caratterizzato da una diminuzione della quantità di acqua evaporata piuttosto netta (77,6 mm contro 106,8 mm), una differenza di circa il 27%. Sul totale di questo periodo ha inciso, in modo negativo soprattutto il mese di Gennaio che con i suoi 19,2 mm si situa tra i valori più bassi del periodo 1957-2000.

Nel contesto della regimazione mensile (Fig. 2.2.3.) è da sottolineare anche la scarsa evaporazione di Luglio (153,0 mm contro una media di 183,9 mm) e di Ottobre (38,2 mm contro 55,1 mm) e pertanto i valori di questi mesi si collocano tra i più bassi del periodo di confronto; tutte le altre quantità mensili di acqua evaporata rientrano ampiamente nei limiti già registrati a Pallanza.

Quanto all'evaporazione giornaliera si deve rilevare che in ben 15 giorni nel corso del 2001 non è stata superata la soglia limite strumentale del parametro per cui essi sono da considerare ad evaporazione nulla; viceversa l'1 Giugno risulta il giorno di evaporazione massima dell'anno con 12,1 mm.

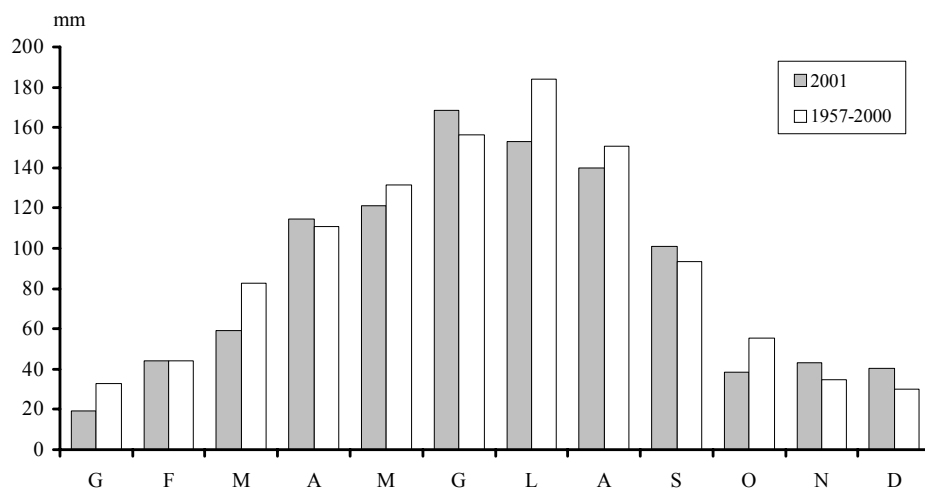


Fig. 2.2.3. Lago Maggiore 2001. Confronto tra i regimi mensili dell'evaporazione a Pallanza nel 2001 e nel periodo 1957-2000.

2.2.4. Intensità e direzione del vento

	2001 (km)		1997-2000 (km)	
percorso annuo	42.858,9		46.013,3	
percorso invernale	7.364,4		9.811,5	
percorso primaverile	12.975,7		13.099,8	
percorso estivo	12.204,2		12.237,1	
percorso autunnale	10.314,6		10.864,9	
direzione prevalente	NNE		SSE	
mese più ventoso	5.045,1	Apr	5.264,6	Mag 1997
giorno più ventoso	429,8	17 Ago	771	8 Ott 1997
raffica massima	89,0	7 Lug	110	17 Feb 1996

Il percorso del vento durante il 2001 è stato di complessivi 42.858,9 km ed è il valore più basso registrato dal 1997, da quando cioè lo strumento registratore che aveva operato sino al 1996 (del tipo autogeneratore ad elica Vt 140, quindi assai poco sensibile ai venti di debole intensità) è stato sostituito con un anemometro a coppe di Robinson con trasduttore di velocità a stato solido ad alta frequenza. Un confronto con la situazione pregressa, soprattutto per quanto riguarda l'intensità e la direzione del vento, può quindi essere fatto solo con gli ultimi quattro anni.

Il percorso del vento presenta, a livello stagionale, valori al di sotto della media, con un peso percentuale maggiore in inverno (-25%) rispetto alle altre stagioni. A livello mensile (Fig. 2.2.4a) si hanno nuovi massimi a Settembre (4169,7 contro 3644 km del 1998) e a Dicembre (4886 contro 4166 km del 2000) ed un nuovo minimo ad Ottobre con 2332,5 km (precedente 3128 km nel 1999); come normalmente accade, Aprile con 5.045,1 km è risultato il mese più ventoso.

Quanto alla direzione di provenienza la figura 2.2.4b indica che il vento prevalente è stato da NNE seguito da quello da W e ESE: questo ricalca quanto si è verificato a partire dal 1997 perché la situazione anemologica di Pallanza è solitamente dominato da brezze di debole intensità (che non venivano registrate dall'anemometro autogeneratore mentre lo sono da quello operante attualmente) condizionate dalla posizione geografica del sito e dalla morfologia locale.

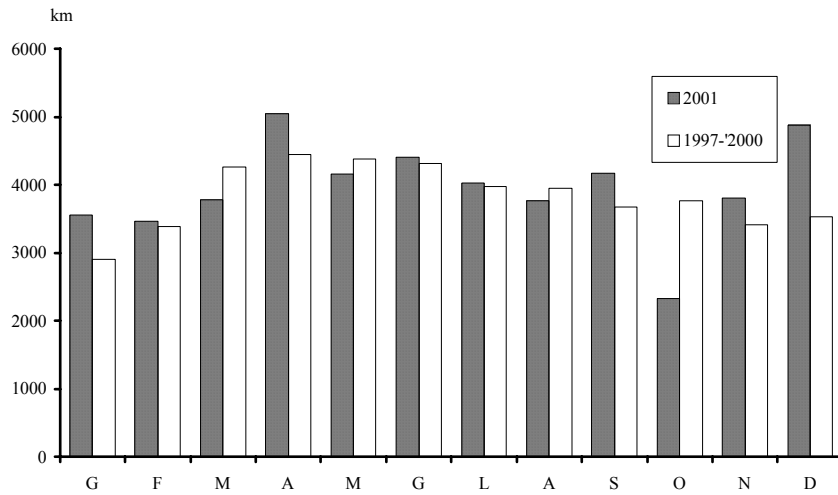


Fig. 2.2.4a. Lago Maggiore 2001. Regimi della quantità di vento filato a Pallanza nel 2001 e nel periodo 1997-2000.

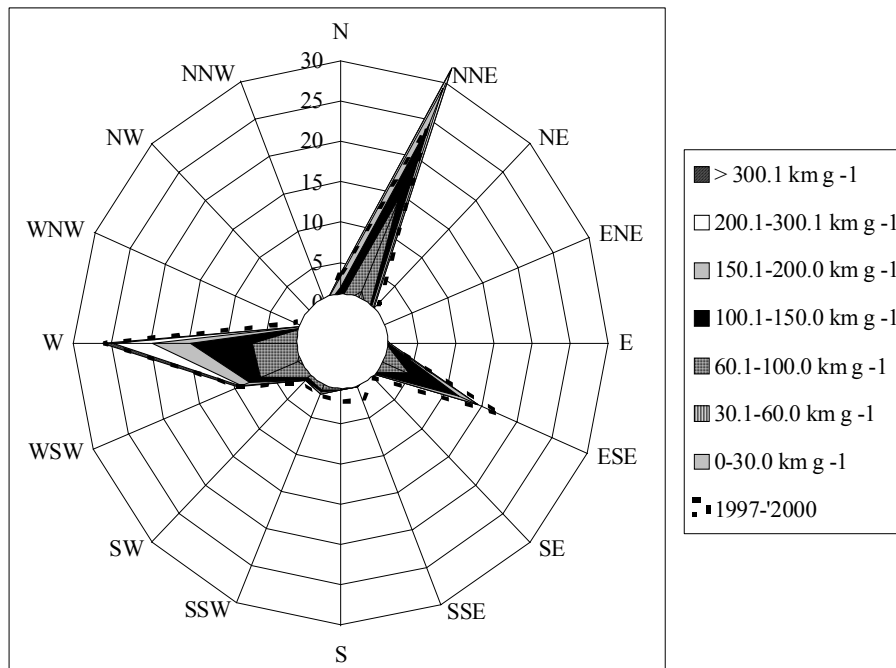


Fig. 2.2.4b. Lago Maggiore 2001. Rosa dei venti a Pallanza nel 2001 e per il periodo 1997-2000.

2.3. Apporti chimici dai tributari

2.3.1. Caratteristiche chimiche e chimico fisiche

Nel 2001 sui 14 corsi d'acqua oggetto d'indagine e sul Ticino emissario sono stati eseguiti 12 campionamenti distribuiti tra Febbraio e Novembre. In questo periodo si è mantenuta una frequenza mensile integrata da due prelievi addizionali rispettivamente in Giugno e Novembre. Inoltre alla foce del Bardello si è raccolto un campione aggiuntivo in Luglio per meglio valutare le eventuali modifiche dovute agli interventi di sottrazione di acque ipolimniche dal Lago di Varese con restituzione nell'emissario.

I valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche misurate sui tributari e sull'emissario nel corso del 2001 sono riportati in tabella 2.3.1., mentre in Figura 2.3.1a sono riportate le concentrazioni medie annuali dell'alcalinità totale dei tributari insieme con i pH medi annuali. Per quanto riguarda le caratteristiche chimiche di base si può osservare che i bacini impostati prevalentemente in rocce ignee (Verzasca, Maggia, Cannobino, San Giovanni, San Bernardino, Strona, Erno e Giona) mostrano pH medi compresi tra 7,00 (Verzasca) e 7,65 (Giona e Maggia) accompagnati da tenori di alcalinità totale e di conducibilità piuttosto limitati, rispettivamente compresi tra 0,21 meq l⁻¹ (Cannobino) e 0,48 meq l⁻¹ (Strona), nonché tra 39 μS cm⁻¹ (Cannobino) e 112 μS cm⁻¹ (Strona). I valori medi annuali più alti di pH (7,85 – 8,21), alcalinità totale (1,62 – 3,14 meq l⁻¹) e conducibilità (194 – 366 μS cm⁻¹) si sono riscontrati sui tributari che drenano areali in gran parte costituiti da rocce sedimentarie (Vevera, Bardello e Tresa). Anche il Boesio appartiene a questa categoria, ma le sue concentrazioni medie annuali di alcalinità totale (5,53 meq l⁻¹) e di contenuto ionico (conducibilità media pari a 691 μS cm⁻¹) risultano ben più elevate di quelle naturali per la presenza di scarichi industriali ad alto tenore di bicarbonati.

Tab. 2.3.1. Valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche sui tributari e sull'emissario del Lago Maggiore campionati nel 2001.

		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)	8,03	5,53	691	0,35	2,54	0,93	3,82	241	3,0
Bardello	(BAR)	8,04	3,14	366	0,31	1,34	0,73	2,38	249	2,0
Tresa (a)	(TRE)	8,21	1,74	194	0,08	0,95	0,37	1,40	29	1,0
Giona	(GIO)	7,65	0,35	75	0,03	1,24	0,12	1,39	29	4,2
Tributari piemontesi										
Vevera	(VEV)	7,87	1,62	207	0,13	2,96	0,32	3,41	51	5,4
Strona	(STR)	7,56	0,48	112	0,05	1,47	0,25	1,77	41	3,1
Toce Ossola	(TOC)	7,51	0,84	161	0,05	0,56	0,13	0,74	22	2,6
San Giovanni	(SGI)	7,36	0,26	59	0,02	1,48	0,20	1,71	21	4,7
Erno	(ERN)	7,34	0,34	100	0,01	1,72	0,17	1,89	20	4,6
San Bernardino	(SBE)	7,38	0,29	53	0,00	1,12	0,12	1,24	6	3,2
Cannobino	(CAN)	7,26	0,21	39	0,01	0,72	0,11	0,83	7	3,6
Tributari svizzeri										
Maggia	(MAG)	7,65	0,41	61	0,01	0,73	0,10	0,83	8	2,9
Ticino immissario	(TIM)	7,82	1,05	238	0,01	0,85	0,14	1,00	8	2,6
Verzasca	(VER)	7,00	0,26	43	0,01	0,71	0,10	0,82	5	2,6
Emissario										
Ticino emissario	(TEM)	8,01	0,81	135	0,01	0,71	0,17	0,89	12	0,9

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

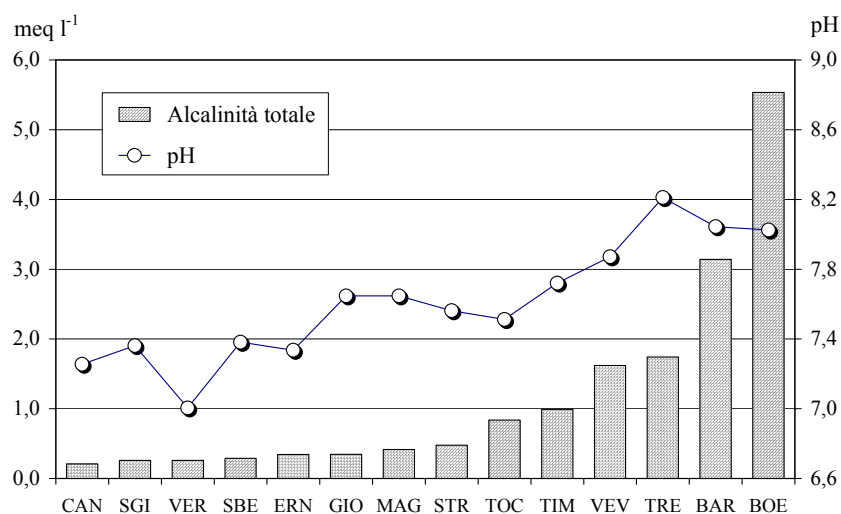


Fig. 2.3.1a. Valori medi annuali di pH e alcalinità totale nel 2001 sui tributari del Lago Maggiore.

I valori intermedi hanno riguardato i bacini del Ticino immissario e del Toce di maggior complessità e varietà litologica, sui quali sono stati rispettivamente misurati pH medi di 7,72 e 7,51 unità, nonché concentrazioni d'alcalinità totale pari a 0,99 e 0,84 meq l⁻¹ e di conducibilità di 201 e 161 μS cm⁻¹.

Infine, come negli anni precedenti, si è riconfermato l'effetto dei processi lacustri di sintesi algale delle acque emissarie di Tresa e Ticino emissario che hanno mostrato un marcato andamento stagionale del pH; ciò non si è invece verificato sull'emissario del Lago di Varese, il F. Bardello, dove il pH si è mantenuto stabilmente tra 7,9 e 8,3 unità (Fig. 2.3.1b).

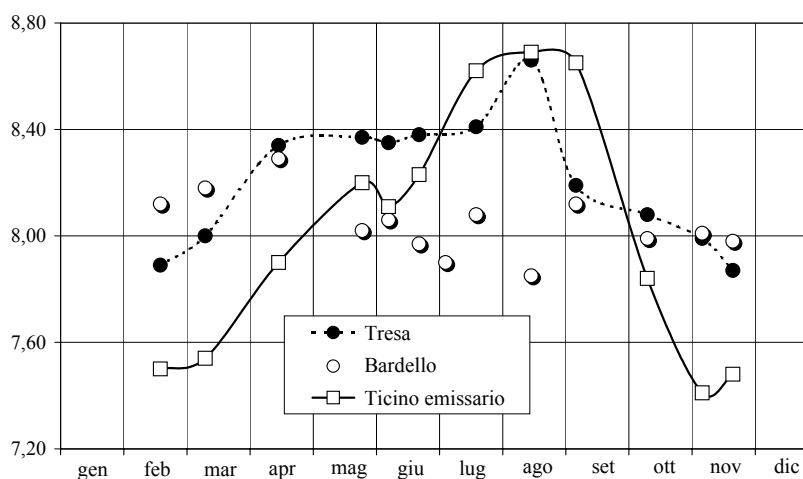


Fig. 2.3.1b. Valori di pH riscontrati nel 2001 nelle acque emissarie dei laghi di Lugano (Tresa), Varese (Bardello) e Maggiore (Ticino emissario).

La qualità delle acque tributarie, così come emerge dall'esame delle concentrazioni medie nel 2001 di fosforo totale, azoto ammoniacale ed organico (Tab. 2.3.1a e Fig.

2.3.1c), non si discosta dalle osservazioni degli ultimi anni, anche se si è evidenziato un leggero miglioramento per Tresa, Giona, Vevera e Toce.

La situazione di gran lunga più compromessa, come negli anni passati, ha riguardato il Boesio che però è stato affiancato in questa particolare classifica negativa dal Bardello. Infatti, mentre il primo ha riconfermato concentrazioni medie annuali assai elevate di fosforo ($241 \mu\text{g P l}^{-1}$), azoto organico ($0,93 \text{ mg N l}^{-1}$) e azoto ammoniacale ($0,35 \text{ mg N l}^{-1}$), il secondo ha mostrato un consistente peggioramento che tuttavia potrebbe essere transitorio perché è probabilmente legato agli interventi di sifonamento di acque ipolimniche del Lago di Varese finalizzati al suo risanamento. I cambiamenti sul Bardello hanno prevalentemente interessato i contenuti medi annuali di fosforo ($249 \mu\text{g P l}^{-1}$) che sono ritornati ai valori misurati nei primi anni '90, risultando superiori di oltre il 60% a quelli del quinquennio 1995-1999 (Fig. 2.3.1d). Anche l'azoto ammoniacale ($0,35 \text{ mg N l}^{-1}$) ha mostrato un leggero incremento, mentre l'azoto organico ($0,73 \text{ mg N l}^{-1}$) è rimasto praticamente invariato.

Le concentrazioni medie annuali di fosforo totale sugli altri tributari campionati evidenziano tenori compresi tra un minimo di $5 \mu\text{g P l}^{-1}$ e un massimo di $51 \mu\text{g P l}^{-1}$ (Fig. 2.3.1e). Dal grafico si può osservare che sette tributari (Verzasca, S. Bernardino, Cannobino, Ticino immissario, Maggia, Erno, S. Giovanni) presentano concentrazioni di fosforo al di sotto dei $21 \mu\text{g P l}^{-1}$, valore che può essere considerato l'obiettivo di qualità da rispettare per il mantenimento di stabili condizioni di oligotrofia nelle acque lacustri. Del resto le condizioni largamente accettabili di questi tributari sono confermate anche dai modestissimi contenuti medi di azoto ammoniacale ed organico, sempre inferiori rispettivamente a $0,02$ e $0,17 \text{ mg N l}^{-1}$ (Tab. 2.3.1a e Fig. 2.3.1b).

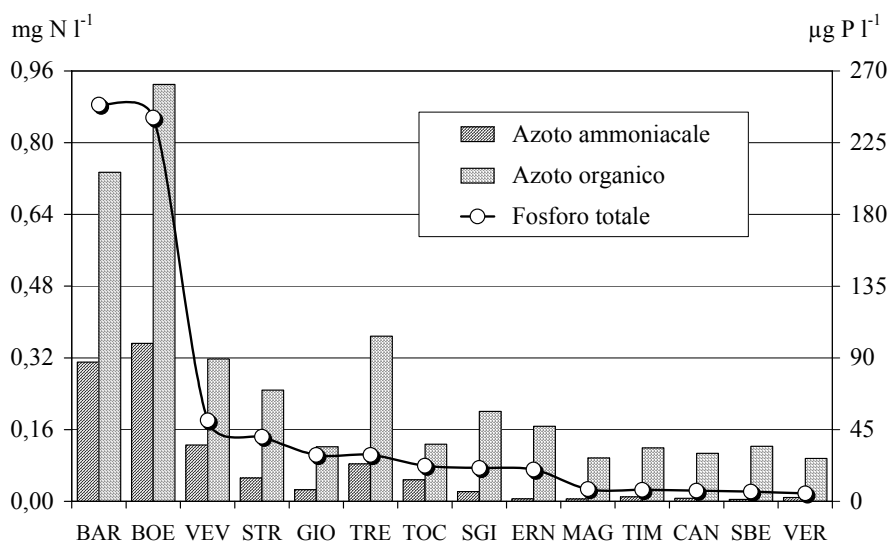


Fig. 2.3.1c. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate nel 2001 sui principali tributari del Lago Maggiore.

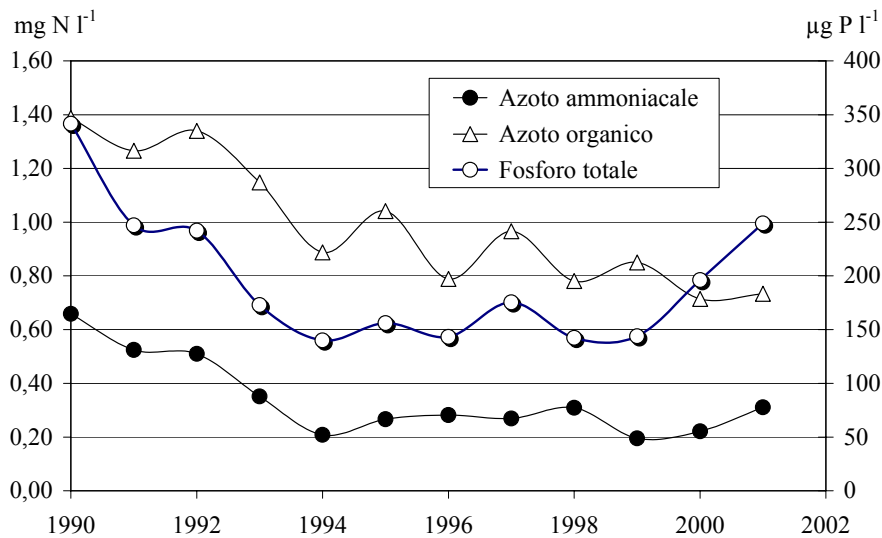


Fig. 2.3.1d. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate dal 1990 al 2001 alla foce del F. Bardello.

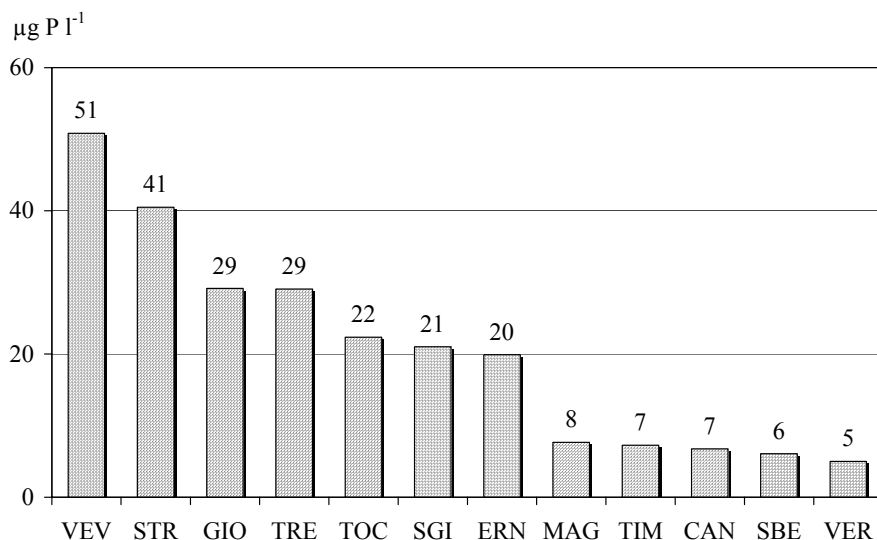


Fig. 2.3.1e. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel 2001 sui corsi d'acqua campionati ad esclusione di Boesio e Bardello.

Vevera e Strona mostrano condizioni di significativa alterazione dimostrata dai valori medi annuali di fosforo, pari rispettivamente a 51 e 41 $\mu\text{g P l}^{-1}$, nonché di azoto ammoniacale (0,13 e 0,5 mg N l^{-1}) e di azoto organico (0,32 e 0,25 mg N l^{-1}). Per i restanti tre tributari (Toce Ossola, Tresa e Giona) la situazione è assai meno compromessa anche se i tenori medi di fosforo totale, compresi tra 22 e 19 $\mu\text{g P l}^{-1}$, segnalano la presenza nei rispettivi bacini drenanti di scarichi ancora non sufficientemente depurati.

Gli andamenti delle concentrazioni medie annuali di fosforo dal 1997 al 2001 misurate su questi cinque corsi d'acqua (Fig. 2.3.1f) mostrano un generale miglioramento rispetto all'anno precedente. Tuttavia l'esame del grafico mette in luce condizioni di relativa stabilità dei valori osservati nel corso dell'intero quinquennio, con l'eccezione del

Tresa, che ha mostrato una rilevante riduzione nel 2001, e dello Strona, i cui valori medi annuali si sono stabilizzati a partire dal 1999, anno nel quale sono stati eliminati quasi completamente gli scompensi di funzionamento dell'impianto di depurazione consortile di Omegna.

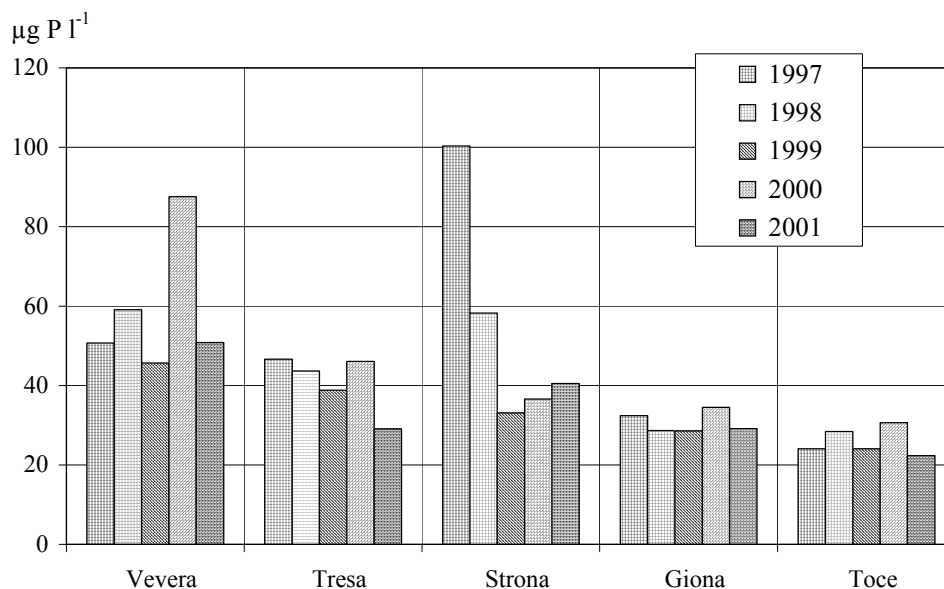


Fig. 2.3.1f. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel quinquennio 1997-2001 sui corsi d'acqua Vevera, Tresa, Strona, Giona e Toce (Ossola).

La qualità delle acque tributarie derivanti dalle porzioni piemontese, lombarda e svizzera del bacino del lago è evidenziata dalle concentrazioni areali rilevate nell'ultimo decennio di azoto ammoniacale (Fig. 2.3.1g), azoto organico (Fig. 2.3.1h) e fosforo totale (Fig. 2.3.1i). Come si vede dai grafici la situazione è rimasta praticamente invariata anche nel 2001: le acque tributarie ticinesi continuano a mostrare valori tipici di ambienti non contaminati; quelle piemontesi risultano mediamente in condizioni appena accettabili in termini di apporti eutrofizzanti; la qualità delle acque lombarde appare ancora troppo compromessa per la presenza nel bacino drenante di scarichi urbani ed industriali non sufficientemente depurati, nonché di importanti corpi idrici tuttora in condizioni alterate (laghi di Varese e Lugano).

La stabilità del quadro appena descritto si è particolarmente rafforzata negli anni successivi al 1993 durante i quali non si sono accertate riduzioni particolarmente significative delle concentrazioni di azoto ammoniacale ed organico e di fosforo totale. In effetti si è invece manifestata una sostanziale uniformità dei valori misurati dal 1994 al 2001 che appaiono raccolti intorno alle medie riportate nel seguente prospetto:

	Azoto ammoniacale (mg N l ⁻¹)	Azoto organico (mg N l ⁻¹)	Fosforo totale (µg P l ⁻¹)
Acque tributarie lombarde	0,14	0,48	70
Acque tributarie piemontesi	0,05	0,20	26
Acque tributarie svizzere	0,01	0,14	8
Acque tributarie totali	0,05	0,22	25

Nonostante le consistenti differenze di qualità tra le diverse acque tributarie messe in luce dallo specchio sovrastante, va osservato come le concentrazioni medie areali annuali risultanti per le acque tributarie totali siano compatibili con il raggiungimento di un soddisfacente stato di qualità trofica delle acque lacustri. Del resto, su scala storica, i contenuti medi di fosforo totale e azoto ammoniacale, riferiti all'insieme delle acque tributarie campionate (Fig. 2.3.11), hanno mostrato un andamento in forte diminuzione fino al 1993 seguito da un periodo di stabilità su valori consoni con il mantenimento di condizioni oligotrofe del lago.

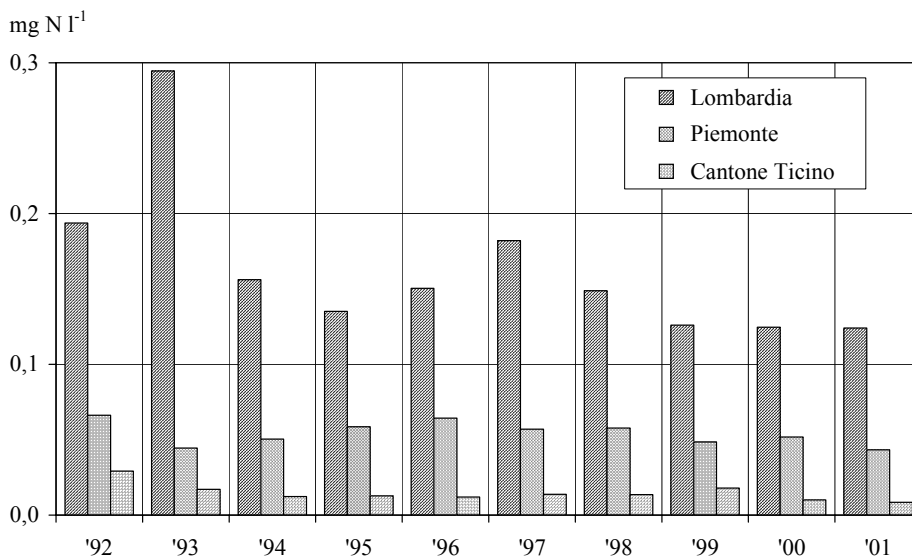


Fig. 2.3.1g. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale nel decennio 1992-2001 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

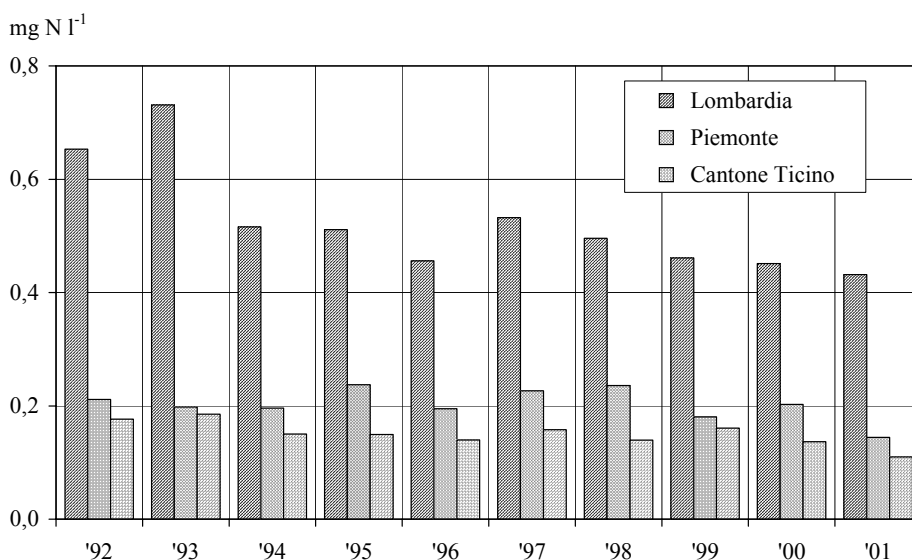


Fig. 2.3.1h. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto organico nel decennio 1992-2001 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

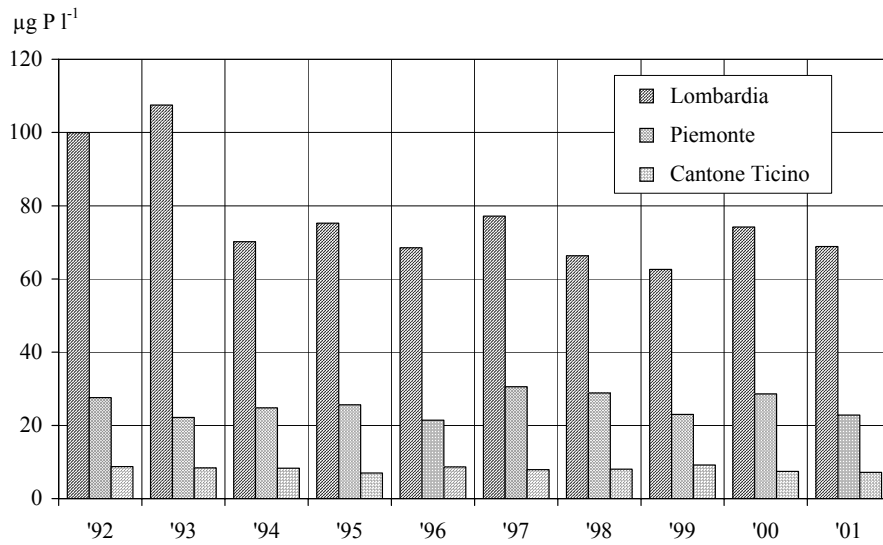


Fig. 2.3.1i. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di fosforo totale nel decennio 1992-2001 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

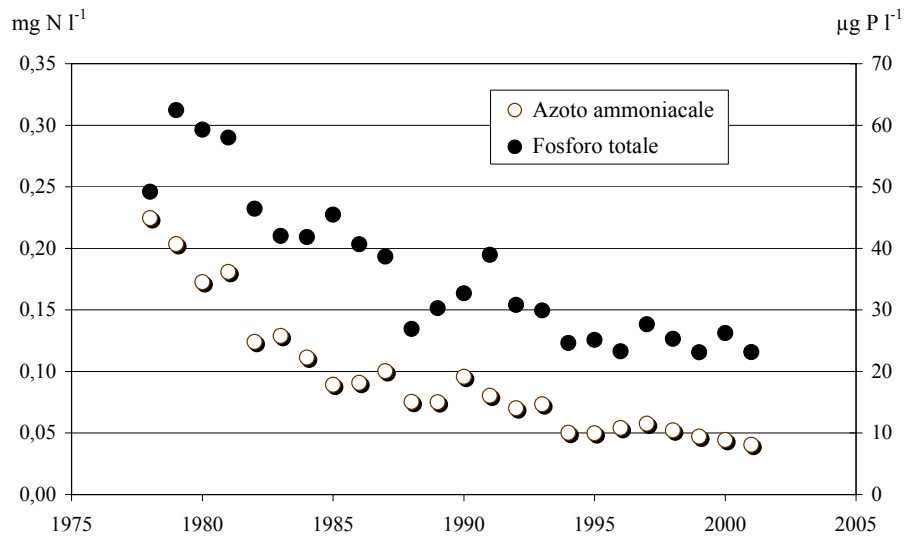


Fig. 2.3.1i. Lago Maggiore. Evoluzione delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale e azoto ammoniacale negli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

2.3.2. Carichi chimici

Per la valutazione dei carichi relativi al 2001 dei principali composti di azoto e fosforo in entrata ed in uscita dal lago si è fatto ricorso alle metodologie di calcolo già impiegate negli anni precedenti. Gli apporti derivanti dal Ticino emissario e da 10 corsi d'acqua drenanti complessivamente il 70% del bacino imbrifero (Ticino immissario, Cannobino, San Giovanni, San Bernardino, Toce Ossola, Erno, Vevera, Bardello, Boesio, Tresa) sono stati calcolati dai valori di concentrazione e dai deflussi giornalieri. Per Maggia, Verzasca e Giona, nonché per lo Strona che confluisce nel Toce a valle del bacino della Val d'Ossola, i carichi dei diversi nutrienti sono stati stimati dalla regressione lineare tra le concentrazioni medie annuali e i contributi areali. Prima della stesura del rapporto quinquennale 1998-2002 si procederà ad una verifica dei carichi annuali che eventualmente potranno essere corretti nel caso si accertassero errori di misura delle portate conseguenti agli eventi di piena dell'autunno 2000 e ai problemi di funzionamento di alcune stazioni idrometriche messi in luce nel 2001 e non ancora del tutto risolti.

Gli apporti di nutrienti algali misurati nell'ultimo biennio sulle acque tributarie ed in uscita dall'emissario sono riportati in tabella 2.3.2a, dove si evidenziano per il 2001 carichi decisamente più bassi rispetto l'anno precedente come diretta conseguenza di afflussi meteorici e deflussi annuali assai più moderati.

Gli apporti complessivi di azoto totale dalle acque tributarie mostrano riduzioni del 36% (7697 contro 12014 t N a⁻¹); cali analoghi, intorno al 33%, riguardano anche i carichi defluiti dal Ticino emissario (8600 contro 12900 t N a⁻¹). Per quanto attiene ai diversi composti di azoto, le diminuzioni più significative riguardano i nitrati, passati da 9779 t N a⁻¹ nel 2000 a 6221 t N a⁻¹ nel 2001, e l'azoto organico, sceso da 1913 a 1236 t N a⁻¹; la riduzione del carico di azoto ammoniacale, da 321 a 240 t N a⁻¹, è risultata più modesta essendo di circa il 25%.

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 2000-2001.

	N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Ticino Immissario ^(a)	35	38	2284	1882	385	296	2704	2216	22	27
Maggia ^(a,b)	12	14	1356	962	200	167	1568	1143	11	12
Verzasca ^(b)	3,5	4,0	365	244	67	43	435	291	4,0	2,6
Cannobino ^(a)	0,7	0,9	127	103	9	13	138	117	1,0	1,0
San Giovanni ^(a)	0,6	0,7	92	72	7	9,4	100	82	0,8	0,9
San Bernardino ^(a)	1,6	1,0	366	254	48	24	416	278	1,6	1,4
Toce Ossola ^(a)	122	74	2387	1111	538	155	3046	1339	89	43
Strona ^(b)	16	8,8	572	318	58	52	646	379	9,0	7,3
Erno ^(a)	0,3	0,2	81	41	5,4	3,9	86	45	0,6	0,5
Vevera ^(a)	2,2	1,5	99	44	5,4	4,6	107	50	1,4	0,7
Bardello ^(a)	27	28	166	138	88	75	281	240	20	23
Boesio ^(a)	17	7,1	175	101	42	26	233	134	8,8	6,3
Tresa ^(a)	82	61	1608	887	450	360	2141	1308	59	26
Giona ^(b)	1,1	1,3	101	65	11	8,9	112	75	1,9	1,3
Totale campionati	321	240	9779	6221	1913	1236	12014	7697	231	153
Ticino emissario ^(a)	179	143	9658	6877	3052	1623	12900	8600	171	114

(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 al lago nel 2001, comprensivo degli apporti derivanti dall'intero areale emerso (8400 t N a⁻¹), dalla popolazione rivierasca (700 t N a⁻¹) e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre (700 t N a⁻¹), è risultato pari a 9800 t N a⁻¹, a fronte di un'uscita attraverso l'emissario di 8600 t N a⁻¹ (Tab. 2.3.2b e Fig. 2.3.2a). La ripartizione dei suoi apporti dai tributari campionati mostra che i carichi più consistenti derivano dal Ticino immissario (28,8%), dal Toce comprensivo dello Strona (22,3%), dal Tresa e Margorabbia (17,0%) e dalla Maggia (14,9%), mentre i rimanenti tributari hanno contribuito al carico globale per il 17,0% (Fig. 2.3.2b). Rispetto agli anni precedenti, occorre osservare come gli apporti di azoto totale dal Ticino immissario (2200 t N a⁻¹) superino largamente quelli provenienti dal Toce (1700 t N a⁻¹). Ciò dipende dagli afflussi meteorici del 2001, abbondanti nella porzione svizzera del bacino imbrifero e più scarsi in quella piemontese, che hanno determinato differenze nei deflussi medi annuali dei due tributari (84,2 m³ s⁻¹ del Ticino a Bellinzona contro 61,7 m³ s⁻¹ del Toce a Candoglia) così notevoli da spiegare il maggior peso assunto dal Ticino tra i carichi di azoto veicolati al lago.

Come per l'azoto anche gli apporti di fosforo totale dai tributari (Tab. 2.3.2a) sono risultati decisamente più bassi rispetto all'anno precedente (153 t P a⁻¹ nel 2001 contro 231 t P a⁻¹ nel 2000), così come sono fortemente diminuiti i carichi in uscita dal Ticino emissario (114 t P a⁻¹ nel 2001 contro 171 t P a⁻¹ nel 2000). Le riduzioni più rilevanti hanno riguardato Toce Ossola (da 89 a 43 t P a⁻¹), Tresa (da 59 a 26 t P a⁻¹) nonché, in misura minore, Boesio (da 8,8 a 6,3 t P a⁻¹) e Strona (da 9,0 a 7,3 t P a⁻¹). Viceversa sono cresciuti gli apporti dal Ticino Immissario (da 22 a 27 t P a⁻¹), per le ragioni idrologiche precedentemente indicate, e dal Bardello (da 20 a 23 t P a⁻¹) in conseguenza delle operazioni di sottrazione di acque ipolimniche dal Lago di Varese esposte nel precedente capitolo. In termini complessivi, gli apporti totali al lago sono risultati pari a 224 t P a⁻¹, delle quali 166 t P a⁻¹ dal bacino emerso e 58 t P a⁻¹ dalla zona rivierasca (Tab. 2.3.2c e Fig. 2.3.2c). I contributi più importanti dalle acque tributarie (Fig. 2.3.2d) derivano dal bacino del Toce comprensivo dello Strona (33,1%), dal Ticino immissario (17,4%), dal Tresa e Margorabbia (17,1%) e Bardello (15,2%). Più limitati risultano i contributi dal Maggia (7,7%) e Boesio (4,1%), nonché dai restanti bacini che, insieme, rappresentano il 5,4%.

In termini di contributi areali, i maggiori apporti di fosforo per unità di superficie drenata (Tab. 2.3.2d) sono stati osservati sul Bardello (0,173 g m⁻² a⁻¹) e sul Boesio (0,139 g m⁻² a⁻¹). Anche se entrambi presentano contributi inaccettabili e di gran lunga superiori a quelli degli altri tributari, oggi sembrano aprirsi prospettive di miglioramento o quantomeno di attenuazione del loro stato di pesante compromissione ambientale. Il Boesio, perché ha presentato nell'ultimo biennio un significativo calo dei carichi inquinanti, mostrando i valori più bassi di fosforo e di azoto organico ed ammoniacale degli ultimi sette anni (Fig. 2.3.2e). Il Bardello, perché nonostante la forte crescita dei contributi areali di fosforo evidenziata nel 2000-2001 (Fig. 2.3.2f) è destinato a ricevere carichi di nutrienti sicuramente più bassi al termine degli interventi di risanamento del Lago di Varese.

I grafici degli andamenti nell'ultimo triennio dei contributi di fosforo totale (Fig. 2.3.2g), azoto ammoniacale (Fig. 2.3.2h), organico (Fig. 2.3.2i) e totale (Fig. 2.3.2l) confermano lo stato di parziale alterazione di Tresa, Vevera, Toce Ossola e Strona, nonché le condizioni accettabili degli altri tributari e inoltre evidenziano contributi medi areali dalle acque tributarie lombarde ancora troppo elevati rispetto a quelli calcolati per il Cantone Ticino e il Piemonte.

Tab. 2.3.2b. Lago Maggiore. Bilanci annuali dal 1978 al 2001 di azoto totale (t N a⁻¹). I totali parziali e complessivi sono approssimati alle centinaia.

<i>Tributari campionati</i>	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01
Ticino Immissario	1971	1576	1427	2050	2396	2232	1962	2022	2766	2897	2604	1843	1365	2314	2112	2449	2353	1522	1809	1760	2088	2658	2704	2216
Maggia	1050	1240	780	1411	1211	1280	1300	968	1200	1570	1784	1240	923	1250	1395	1404	1462	1153	1377	1010	1267	1203	1568	1143
Verzasca	373	406	251	403	320	327	354	247	299	416	456	310	197	319	376	353	365	277	356	217	300	293	435	291
Cannobino	140	126	105	131	144	152	136	85	137	182	165	136	99	146	148	130	159	114	129	107	134	134	138	117
San Giovanni	130	118	56	163	102	99	135	78	107	128	174	101	93	122	122	133	133	124	133	91	137	88	100	82
San Bernardino	307	224	226	431	256	324	271	181	299	345	333	326	407	470	326	281	322	297	315	203	273	257	416	278
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	3692	1718
Erno	65	65	32	44	49	35	57	34	48	60	86	52	38	62	75	74	74	52	70	48	64	50	86	45
Vevera	93	79	103	92	61	54	83	50	91	109	81	52	62	67	69	77	67	63	69	61	71	43	107	50
Bardello	364	410	302	259	270	273	385	447	380	338	323	395	360	365	427	363	366	347	371	333	291	250	281	240
Boesio	143	125	180	191	157	181	181	140	260	195	187	199	285	277	224	334	264	208	218	206	221	237	233	134
Tresa	1492	1158	955	1011	1328	1077	1377	1000	1352	1646	1562	1568	1294	1371	1885	1853	1613	1318	1328	1280	1344	1369	2141	1308
Giona	84	76	48	80	72	71	75	57	73	94	101	72	61	78	93	88	89	72	89	66	82	78	112	75
<i>Tributari campionati</i>	10400	8800	7400	9800	8900	8600	9100	7500	9800	10700	10700	8100	7300	9200	9400	10500	9700	7500	8500	7100	8500	9100	12000	7700
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	1028	660
<i>Totale bacino emerso</i>	11300	9600	8000	10600	9700	9300	9900	8100	10600	11600	11600	8800	7900	10000	10200	11400	10600	8400	9200	7700	9200	9900	13000	8400
Fascia rivierasca	700	700	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	800	700
<i>Totale apporti</i>	12700	10900	9100	12200	11000	10600	11000	9100	11800	12800	13000	10000	9100	11300	11600	12800	11900	9500	10500	8800	10500	11200	14500	9800
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	12900	8600
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%	11%	12%

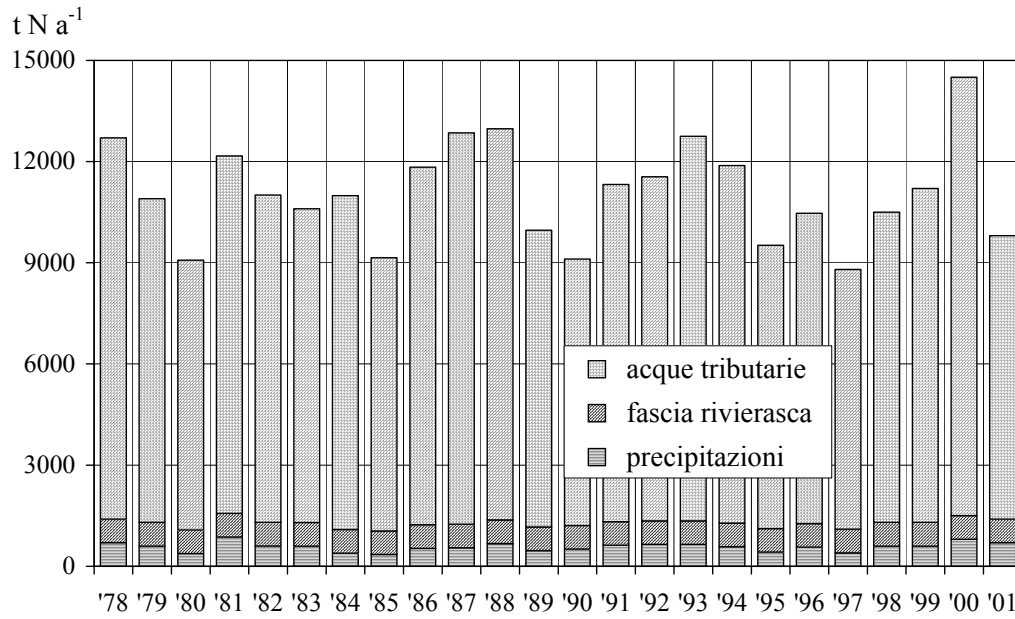


Fig. 2.3.2a. Lago Maggiore. Apporti annuali di azoto totale al lago dall'areale emerso, dalla zona rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre.

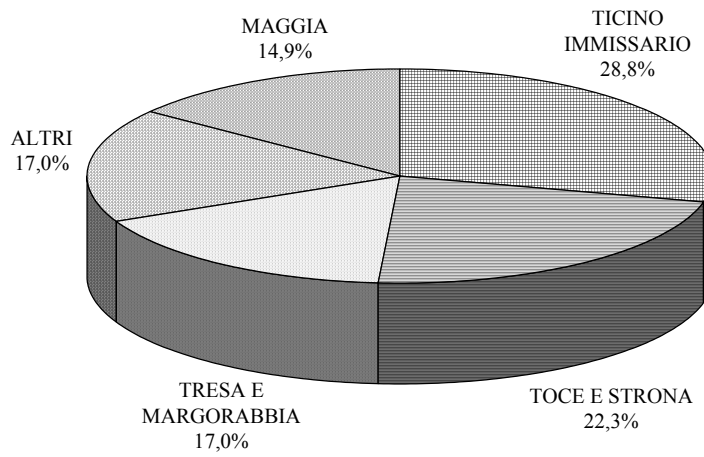


Fig. 2.3.2b. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di azoto totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2001.

Tab. 2.3.2c. Lago Maggiore. Bilanci annuali dal 1978 al 2001 del fosforo totale (t P a⁻¹).

<i>Tributari campionati</i>	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01
Ticino Immissario	50	84	66	59	66	37	33	43	48	51	31	17	10	16	25	28	21	13	20	20	21	30	22	27
Maggia	17	21	18	16	9	14	17	15	11	13	19	23	7	20	20	5	9	12	15	7	9	6	11	12
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	4	2,6
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	1	1,0
San Giovanni	5	3	2	3	3	3	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	0,9	0,7	1	0,9
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	2	1,4
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	99	51
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	1	0,5
Vevera	7	4	11	9	4	5	7	3	4	4	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1,2	0,6	1	0,7
Bardello	67	53	58	58	37	39	48	52	45	31	27	33	33	25	27	19	19	18	19	18	16	15	20	23
Boesio	8	8	22	11	9	8	9	7	14	10	8	14	21	11	13	19	10	10	11	12	12	13	9	6,3
Tresa	105	80	74	72	69	62	66	71	72	94	54	57	40	41	62	68	50	39	39	27	35	33	59	26
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	2	1,3
<i>Tributari campionati</i>	364	440	357	344	278	248	265	250	261	301	187	195	168	192	221	218	183	151	158	148	165	169	231	153
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	20	13
<i>Totale bacino emerso</i>	395	478	388	374	301	270	288	271	283	327	203	212	182	208	240	237	199	164	172	161	180	183	251	166
Fascia rivierasca	117	117	117	117	117	88	88	88	88	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
<i>Totale apporti</i>	512	595	505	491	418	357	376	359	371	386	262	271	241	266	298	295	257	222	230	219	238	241	309	224
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	171	114
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%	45%	49%

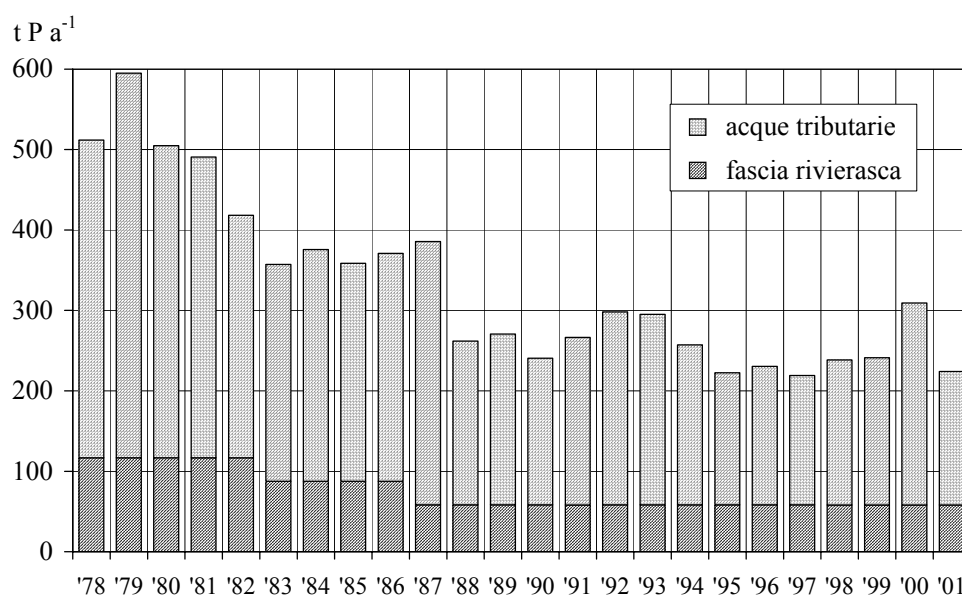


Fig. 2.3.2c. Lago Maggiore. Apporti annuali di fosforo totale al lago dall'areale emerso e dalla zona rivierasca.

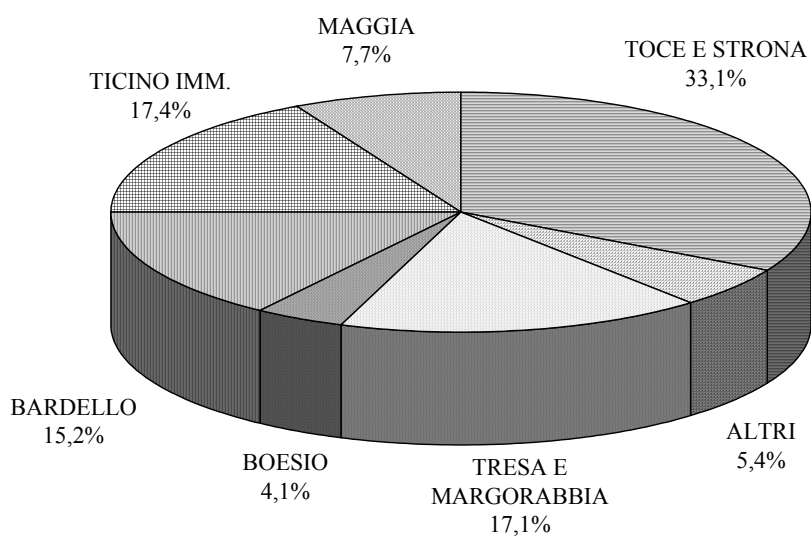


Fig. 2.3.2d. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di fosforo totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2001.

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 2000-2001 dai tributari campionati e dall'emissario.

		N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
		2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Ticino Immissario	TIM	0,022	0,024	1,413	1,165	0,238	0,183	1,673	1,371	0,014	0,016
Maggia	MAG	0,013	0,015	1,465	1,039	0,216	0,180	1,693	1,235	0,012	0,013
Verzasca	VER	0,015	0,017	1,540	1,031	0,281	0,180	1,836	1,228	0,017	0,011
Cannobino	CAN	0,007	0,008	1,154	0,934	0,085	0,116	1,246	1,058	0,009	0,009
San Giovanni	SGI	0,011	0,012	1,522	1,185	0,114	0,154	1,647	1,351	0,012	0,015
San Bernardino	SBE	0,012	0,008	2,798	1,938	0,370	0,183	3,180	2,128	0,012	0,011
Toce Ossola	TOC	0,079	0,048	1,543	0,718	0,348	0,100	1,969	0,866	0,058	0,028
Strona	STR	0,073	0,039	2,560	1,422	0,262	0,234	2,894	1,696	0,040	0,033
Erno	ERN	0,010	0,007	3,145	1,600	0,211	0,152	3,366	1,759	0,025	0,018
Vevera	VEV	0,101	0,071	4,639	2,032	0,254	0,216	4,993	2,319	0,065	0,032
Bardello	BAR	0,199	0,206	1,238	1,025	0,656	0,556	2,093	1,786	0,147	0,173
Boesio	BOE	0,368	0,156	3,855	2,221	0,918	0,578	5,141	2,955	0,194	0,139
Tresa	TRE	0,109	0,080	2,133	1,177	0,597	0,477	2,839	1,734	0,079	0,035
Giona	GIO	0,023	0,026	2,018	1,304	0,215	0,179	2,256	1,509	0,039	0,026
Totale campionati		0,055	0,041	1,663	1,058	0,325	0,210	2,042	1,309	0,039	0,026
Ticino emissario	TEM	0,027	0,022	1,464	1,042	0,463	0,246	1,953	1,310	0,026	0,017

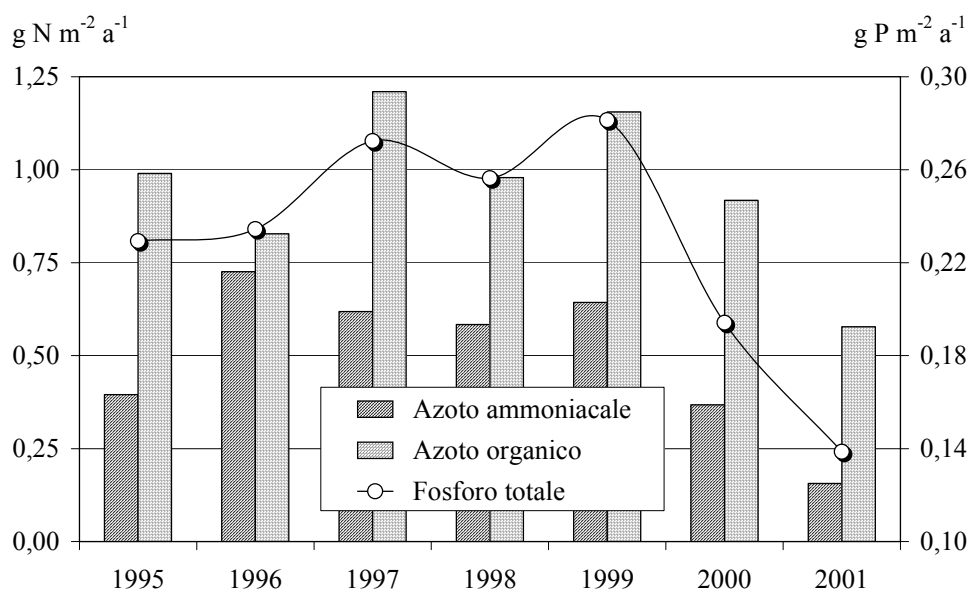


Fig. 2.3.2e. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Boesio dal 1995 al 2001.

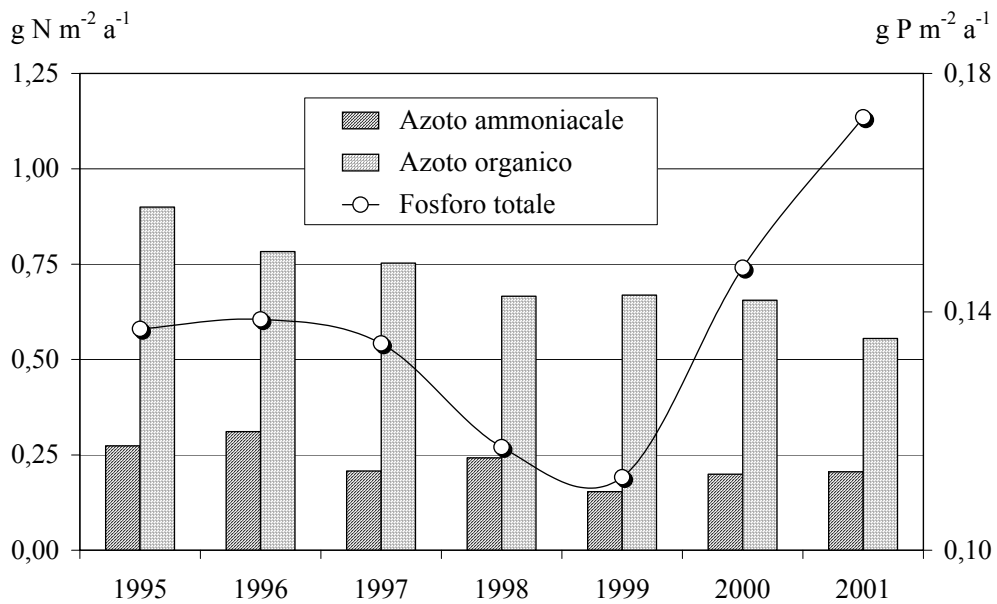


Fig. 2.3.2f. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Bardello dal 1995 al 2001.

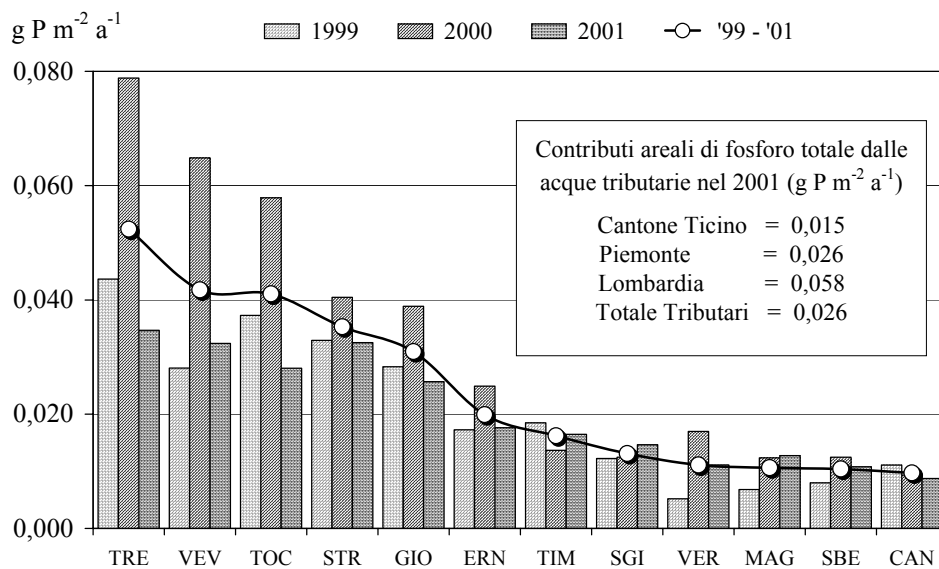


Fig. 2.3.2g. Lago Maggiore. Contributi areali di fosforo totale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 1999-2001 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

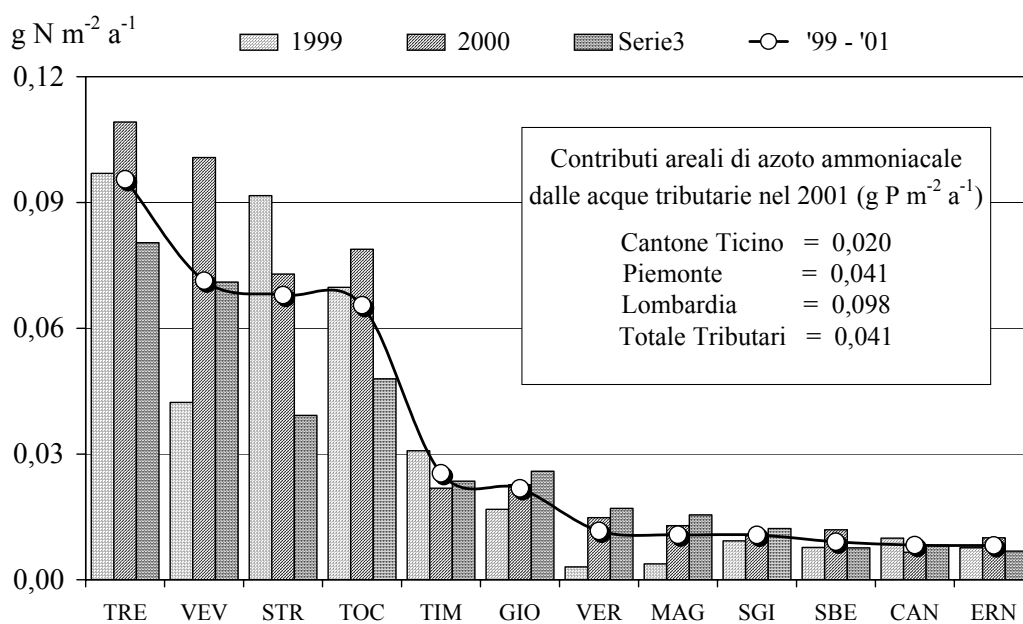


Fig. 2.3.2h. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto ammoniacale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 1999-2001 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

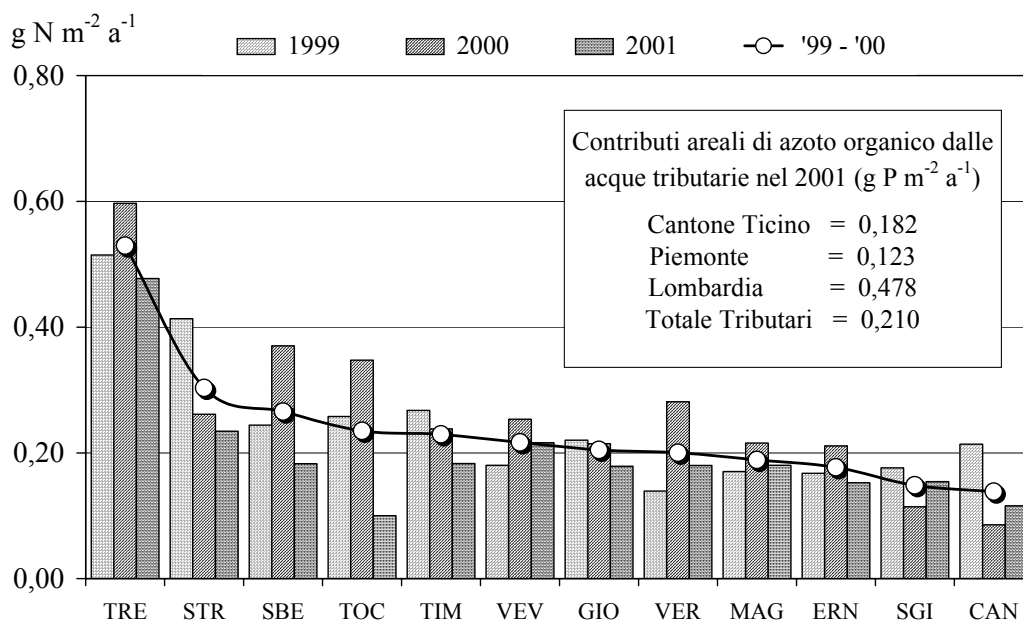


Fig. 2.3.2i. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto organico, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 1999-2001 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

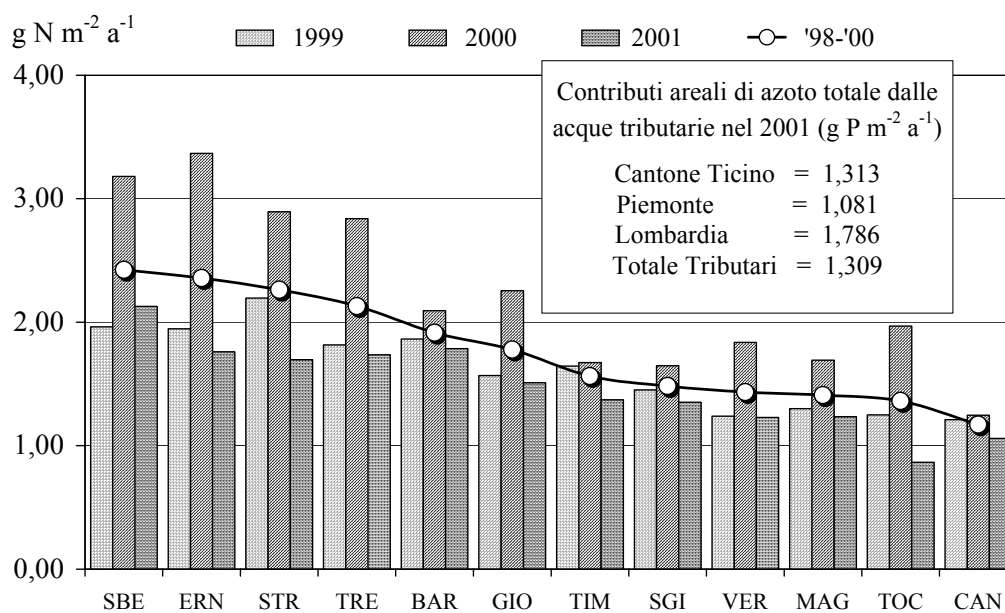


Fig. 2.3.21. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto totale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 1999-2001 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

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. Le acque dei fiumi Bardello e Boesio hanno avuto, come negli anni precedenti, concentrazioni di TOC più elevate di quelle delle acque pelagiche del Lago Maggiore. Le concentrazioni di TOC misurate nel corso del 2001 hanno in generale presentato valori vicini a quelli misurati nello stesso corso d'acqua nell'anno precedente, com'è evidente dal confronto delle concentrazioni medie annue del 2000 e del 2001. E' da sottolineare il fatto che nel Vevera si sono misurate concentrazioni di TOC inferiori a quelle dell'anno precedente, con un valore medio annuo quasi dimezzato rispetto al 2000.

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

	gen	19-feb	13-mar	18-apr	29-mag	11-giu	24-lug	ago	set	16-ott	14-nov	27-nov	av 01	av 00
Verzasca	/	0,83	0,80	0,51	0,43	0,23	0,40	0,90	0,35	0,49	0,67	0,63	0,6	0,6
Cannobino	/	0,68	0,89	0,44	0,56	0,37	0,44	1,41	0,35	0,60	0,93	0,79	0,6	0,7
Erno	/	0,63	0,99	0,54	0,76	0,56	0,61	1,14	1,19	0,87	1,09	1,03	0,7	0,9
Ticino E.	/	0,74	0,89	0,79	1,01	0,67	0,66	1,18	0,97	0,79	1,05	1,05	0,8	1,0
Giona	/	0,50	0,71	0,36	0,53	0,43	0,41	0,82	0,45	0,39	0,79	0,77	0,5	0,6
Maggia	/	0,51	0,89	0,39	0,40	0,30	0,39	0,84	0,27	0,43	0,63	0,77	0,5	0,6
Ticino I.	/	0,52	1,00	0,86	0,34	0,29	0,32	0,64	0,23	0,17	0,67	0,50	0,5	0,6
S. Giovanni	/	0,59	0,91	0,42	0,51	0,43	0,55	1,16	0,49	0,62	0,92	0,79	0,6	0,8
S. Bernardino	/	0,51	0,73	0,32	0,43	0,37	0,57	0,74	0,72	0,58	0,78	0,83	0,6	0,7
Toce	/	0,48	0,68	0,46	0,38	0,23	0,28	0,56	0,37	0,24	0,70	0,74	0,4	0,7
Strona	/	0,84	0,85	0,54	0,56	0,64	3,39	1,21	0,96	1,02	1,22	1,38	1,1	1,0
Tresa	/	1,28	1,13	1,01	1,26	1,40	1,15	2,42	2,00	1,90	2,13	1,85	1,5	1,7
Boesio	/	2,73	2,79	2,48	3,16	2,90	4,10	2,36	4,79	5,06	4,90	8,43	3,2	5,8
Bardello	/	3,48	3,47	3,01	3,08	3,90	3,75	3,90	3,74	4,52	4,36	3,89	3,5	4,0
Vevera	/	0,81	1,27	0,66	0,81	0,52	0,44	0,90	0,80	0,97	2,75	2,67	0,8	1,5

2.4. Utilizzo di bioindicatori per la valutazione del rischio potenziale dei tributari del Lago Maggiore

2.4.1. Introduzione

Le analisi chimiche dei tributari del Lago Maggiore prevedono la determinazione di routine dei parametri idrochimici e dei carichi che possono contribuire al chimismo generale ed all'eutrofizzazione del Lago Maggiore. Non vengono invece sistematicamente rilevati parametri quali metalli in traccia o microinquinanti organici. Risulta quindi ovviamente impossibile garantire che sia tempestivamente monitorata l'insorgenza di situazioni a rischio per le biocenosi lacustri.

Anche nel caso che sulle acque dei tributari del Lago Maggiore fosse possibile effettuare determinazioni estemporanee sulla presenza di inquinanti inorganici ed organici, eventuali picchi di concentrazione, legati a fenomeni di inquinamento acuto ma puntiforme, potrebbero facilmente sfuggire ai controlli periodici.

Ovviamente, per lo stesso motivo anche momenti di particolare tossicità delle acque potrebbero non essere rilevati dai test ecotossicologici, se il campionamento non coincide esattamente con l'episodio di contaminazione.

Per superare questa difficoltà, è stato deciso di ricorrere all'uso di muschi acquatici quali bioindicatori.

I bioaccumulatori sono organismi, generalmente resistenti all'inquinamento, che hanno la capacità di concentrare nei propri tessuti i vari composti chimici presenti nell'ambiente, facilitandone il rilevamento e la quantificazione, in particolare per quei tossici solitamente presenti in concentrazioni molto modeste nella fase acquosa (metalli in traccia, radionuclidi, microinquinanti organici).

Tra i bioaccumulatori, le briofite offrono numerosi vantaggi:

- non hanno vere radici, né un sistema vascolare sviluppato, quindi permettono di trascurare l'influenza del substrato e riflettono adeguatamente la qualità dell'acqua in cui vivono;
- sono ubiquitarie, quindi facilmente reperibili;
- sono bioindicatori attivi, che possono essere trasferiti da un luogo all'altro;
- tollerano elevate concentrazioni di inquinanti organici ed inorganici;
- la maggior parte degli inquinanti viene accumulato in un periodo di tempo di ore o giorni (mentre il rilascio richiede settimane o mesi);
- il fattore di concentrazione rispetto al mezzo acquoso spesso è molto più elevato rispetto ad altri bioaccumulatori (plancton, molluschi, pesci, ...);
- la variabilità tra esemplari della stessa popolazione è relativamente contenuta (inferiore al 20 % per metalli quali Cd, Cu, Hg, Pb e Zn);
- il campionamento è semplice, rapido e non prevede attrezzature particolari;
- la crescita è continua durante tutto l'anno.

Poiché le diverse specie di muschi operano il bioaccumulo in maniera differenziata [2] e negli ambienti da sottoporre ad indagine non è stato possibile confermare la presenza della stessa specie di muschio, in questa ricerca si è optato per il sistema dei trapianti, posizionando cioè la stessa specie di muschio, raccolto in una stazione incontaminata (Parco del Ticino), nei tributari da controllare.

La metodica è stata ampiamente utilizzata per questo tipo di monitoraggio in sistemi fluviali francesi, inglesi ed italiani [3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13].

Dopo un mese di esposizione, i muschi devono essere raccolti e sottoposti ad analisi chimica per misurare il bioaccumulo dei tossici ed eventualmente osservarne gli effetti sugli organismi.

La ricerca svolta nel 2001, che continuerà nel 2002, si è basata sull'esposizione e raccolta stagionale (4 volte/anno) dei muschi nei 10 tributari principali del L. Maggiore: Ticino immissario, Maggia, Cannobino, S. Giovanni, S. Bernardino, Toce, Vevera, Bardello, Boesio, Tresa.

2.4.2. Materiali e metodi

Per tutti i tributari prescelti, è stata innanzi tutto identificata una stazione, immediatamente a monte della confluenza a lago, sufficientemente nascosta da prevenire la rimozione e/o distruzione accidentale dei muschi da parte di curiosi, e tale da assicurare che, nonostante le possibili escursioni di livello, i muschi fossero costantemente immersi in acqua ma recuperabili anche in periodi di piena.

2.4.2.1. 1^a esposizione

Il 14 e 15 Febbraio 2001 dei campioni di muschio (*Bryum* sp.), raccolti in un fontanile del Parco del Ticino, sono stati posizionati nelle stazioni selezionate nei 10 tributari del Lago Maggiore e successivamente recuperati il 12 e 13 Marzo 2001.

In tutte le stazioni il muschio era apparentemente cresciuto e si presentava in buone condizioni; nel caso del Tresa, tuttavia, la rete che li conteneva risultava completamente insabbiata (a causa delle piogge dei giorni precedenti il recupero).

2.4.2.2. 2^a esposizione

Effettuata il 2 Maggio 2001, utilizzando però campioni di un diverso muschio (*Fontinalis antipyretica* Hedw.), sempre raccolto in un fontanile del Parco del Ticino, poiché non è stato possibile rinvenire una quantità adeguata del muschio impiegato nella precedente esposizione. I muschi sono stati successivamente recuperati il 6 Giugno 2001.

In 4 stazioni (Vevera, Bardello, Boesio e Tresa) il muschio era apparentemente sofferente e di colore marrone; la crescita era invece buona nel Cannobino, molto buona nel Ticino e nel S. Giovanni ed ancora superiore nel Maggia, S. Bernardino e Toce.

2.4.2.3. 3^a esposizione

Effettuata l'8 Agosto 2001, con *Fontinalis antipyretica* (stessa provenienza), con raccolta il 5 Settembre 2001.

Il muschio era apparentemente sofferente e di colore marrone nel S. Bernardino, senza crescita nel Tresa, con crescita modesta nel Vevera, S. Giovanni, Toce e Boesio, migliore nel Ticino e molto buona nel Maggia. Le reti di Bardello e Cannobino risultavano invece vuote (vandalismo e/o onda di piena).

2.4.2.4. 4^a esposizione

Effettuata il 12 Novembre 2001, con *Fontinalis antipyretica* (stessa provenienza), con raccolta il 12 Dicembre 2001.

Il muschio era apparentemente senza crescita nel Bardello e nel Ticino, con crescita modesta negli altri tributari; per il Tresa, la rete risultava completamente all'asciutto.

2.4.3. Analisi

Tutti i campioni di muschio sono stati essiccati in stufa a 55 °C per 10 giorni, macinati in mortaio e suddivisi in aliquote da destinare all'analisi per:

- ✓ elementi maggiori ed in traccia (Si, Al, Fe, Ti, Mn, Ca, Mg, Na, K, P, S, Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, Na, Cl) mediante spettrometria di fluorescenza ai raggi X;
- ✓ C e N mediante CHN Elemental Analyzer;
- ✓ Hg mediante Spettrometria di Assorbimento Atomico (AAS);
- ✓ Al, Ti, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Pb, Tl, Bi mediante ICP-MS;
- ✓ Ag, As, Au, Br, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hf, Hg, La, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Th, Ti, U, V, W, Zn mediante NAA.

Accuratezza e precisione delle tecniche analitiche sono state verificate analizzando in parallelo campioni di Materiali di Riferimento Certificati NTIS e/o BCR.

2.4.4. **Risultati preliminari**

I risultati analitici finora ottenuti (alcune analisi sono attualmente in corso) sono riportati in appendice.

Un primo esame dei dati conferma, come atteso, che:

- esistono delle differenze di uptake tra le due specie di muschi (*Bryum* sp. e *Fontinalis antipyretica* Hedw.);
- esistono delle differenze stagionali nell'accumulo degli elementi analizzati, in funzione del ciclo vitale dei muschi, delle condizioni meteorologiche ed idrologiche e, possibilmente, della variabilità temporale della contaminazione dei corsi d'acqua.

In attesa di una più dettagliata analisi statistica dei risultati, è comunque possibile ricavare alcune informazioni che, se confermate dalle indagini in corso nel 2002, evidenzerebbero la potenziale contaminazione dei tributari da diversi inquinanti.

Il primo approccio consiste nel calcolare il rapporto tra le concentrazioni nei muschi alla fine dell'esposizione e quelle negli stessi muschi prima della deposizione. In questo modo, è possibile verificare se, nel mese intercorso, tali concentrazioni sono aumentate (per adsorbimento ed assorbimento) o, eventualmente, sono diminuite per una "depurazione" dei muschi stessi, se esposti a concentrazioni inferiori a quelle presenti nella zona di raccolta (Parco del Ticino).

Tuttavia, questi rapporti da soli potrebbero portare a conclusioni fuorvianti, nel caso ad esempio le concentrazioni "naturali" degli elementi considerati fossero particolarmente elevate semplicemente in funzione della differente geochimica dei bacini imbriferi dei diversi tributari.

Pertanto, i risultati sono stati prima normalizzati con riferimento alla concentrazione nei muschi di un tracciante geochimico, lo scandio, elemento per il quale non è ipotizzabile un significativo contributo antropico. Elementi per i quali il contributo prevalente è legato al normale dilavamento del bacino imbrifero non dovrebbero quindi portare ad un rapporto:

$$\frac{[\text{elemento X}]/[\text{Sc}] \text{ muschio prima dell'esposizione}}{[\text{elemento X}]/[\text{Sc}] \text{ muschio dopo l'esposizione}}$$

$$[\text{elemento X}]/[\text{Sc}] \text{ muschio dopo l'esposizione}$$

sostanzialmente differente da 1; al contrario, in presenza di fenomeni di contaminazione, verosimilmente il rapporto si scosterà dall'unità.

Inoltre, per elementi quali Al, Ti, K, Fe, ecc., cioè i normali costituenti del materiale particellato minerale naturalmente trasportato dai fiumi, sarà necessaria una ulteriore correzione, se una analisi dei cluster lascerà ipotizzare una incompleta rimozione del particellato intrappolato nel tallo durante la fase di lavaggio e preparazione dei campioni.

In via preliminare, utilizzando questo tipo di approccio, si rileva che, mediamente, nei vari tributari si registra un accumulo pari ad almeno il doppio di quello dei traccianti geochimici per gli elementi elencati in tabella 2.4.4.

Ovviamente, questi dati non possono assolutamente essere considerati definitivi ma suggeriscono la necessità di approfondire l'indagine per confermare l'ipotesi di una possibile contaminazione di questi tributari da parte degli elementi che risultano particolarmente bioaccumulati dai muschi acquatici.

Tab. 2.4.4. Elementi bioaccumulati nei campioni di muschio.

Tributario	Elementi
Vevera	As Bi Cd Cr Co Cu Ni Pb Tl Zn
Bardello	Ag As Au Bi Cd Cr Co Cu Ni Pb Zn
Boesio	Au As Bi Ca Cd Co Cr Cu Mg Na Ni Pb Sb Tl V Zn
Tresa	As Bi Cd Cr Co Na Ni Pb Tl
Ticino	As Bi Cd Co Mg Ni
Maggia	Bi Cd Co Ni
Cannobino	As Cd Au Co Ni Pb
S. Giovanni	As Bi Cd Co Ni Pb
S. Bernardino	As Bi Cd Co Cu Ni Pb V
Toce	As Pb

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO

3.1. Limnologia fisica

L'analisi dei principali parametri fisici che hanno caratterizzato le acque del Lago Maggiore durante il 2001 consentirà, in prosecuzione ed in continuità con quanto svolto negli anni precedenti, di verificare gli aspetti più importanti dell'idrodinamica lacustre. In particolare sarà possibile accertare la profondità raggiunta dalla circolazione tardo-invernale, di definire i meccanismi di stratificazione e destratificazione termica dell'anno e di valutare il riscaldamento delle acque profonde, soggette in questi ultimi anni un notevole incremento termico.

Tutte queste problematiche hanno potuto essere affrontate grazie alla disponibilità di serie complete di dati, relative al ciclo stagionale, riguardanti le caratteristiche fisiche e chimico fisiche delle acque lacustri, con riferimento particolare alle variazioni di temperatura lungo l'intera colonna d'acqua, alla distribuzione verticale della concentrazione di ossigeno disciolto ed alla variazione nel tempo del livello del lago; quest'ultimo è stato usato come parametro di sintesi idrologica. In particolare saranno trattati:

- fluttuazione del livello del lago;
- trasparenza delle acque, quale indice fisico del grado di produttività algale;
- andamento stagionale della temperatura delle acque lacustri, con riferimento sia a quelle più superficiali che a quelle più profonde;
- distribuzione lungo tutta la colonna d'acqua dell'ossigeno disciolto;
- bilancio calorico della massa lacustre e flussi di calore tra i diversi strati del lago;
- profondità raggiunta dal mescolamento tardo-invernale.

3.1.1. Livello del Lago

Come per i parametri meteorologici trattati nel precedente capitolo si riportano, per il livello del Lago Maggiore, i dati caratteristici relativi all'ultimo anno confrontati con i corrispondenti valori medi del periodo precedente (1952-2000); da rilevare che le altezze idrometriche sono espresse in valore assoluto, ossia si riferiscono allo zero rappresentato dal livello del mare.

	2001 (m s.l.m.)		1952-2000 (m s.l.m.)	
livello medio annuo	193,85		193,88	
livello minimo	192,82	g.d. Dic	192,38	18 Mar 1956
livello massimo	194,82	11 Giu	197,86	17 Ott 2000
livello medio invernale	194,39		193,90	
livello medio primaverile	194,02		193,85	
livello medio estivo	194,05		193,91	
livello medio autunnale	193,42		193,86	
escursione massima giornaliera	0,49	15-16 Lug	1,57	2-3 Nov 1968
escursione massima mensile	0,96	Giu	4,04	Set 1981
escursione massima annua	2,00		5,14	2000

Il confronto tra i dati dell'ultimo anno e quelli del periodo pregresso evidenzia come la quota idrometrica del 2001 (193,85 m s.l.m.) sia risultata quasi identica al corrispondente valore degli anni 1952-2000 (193,88 m s.l.m.); ma già a livello stagionale le due serie di dati mostrano differenze evidenti, particolarmente per quanto riguarda i periodi iniziali e finale dell'anno (+49 in inverno e -44 in autunno) mentre nelle altre stagioni la differenza è minima. L'analisi del regime idrometrico mensile (Fig. 3.1.1.) evidenzia un quasi continuo aumento del livello del lago dall'inizio del 2001 sino ad Agosto (l'unica irregolarità la troviamo a Maggio, -0,01) ed una graduale diminuzione ad iniziare da Settembre seppure con limitate riprese in Ottobre e Novembre. Questo andamento si sostituisce alla curva a doppia ciclicità che caratterizza il regime medio pluriennale. Le anomalie a livello mensile delle altezze idrometriche, per i valori sopra la media, si riscontrano soprattutto in Gennaio (194,41 m s.l.m.) e Febbraio (194,31 m s.l.m.) che costituiscono rispettivamente il terzo ed il quarto valore più alto registrato in questi mesi in tutti gli anni considerati. Per contro al di sotto della media troviamo il mese di Dicembre che con 192,95 m s.l.m. è superiore solo ai valori registrati nello stesso mese nel 1986 (192,66 m s.l.m.) e 1965 (192,75 m s.l.m.). Tutte le altre altezze medie mensili misurate sono rimaste contenute entro i limiti estremi già riscontrati negli anni precedenti. Quanto ai valori delle escursioni dei livelli lacustri, come si può vedere nella tabella iniziale, esse sono rimaste molto al sotto di quelle estreme, collocandosi per altro tra i valori più bassi dell'intero periodo.

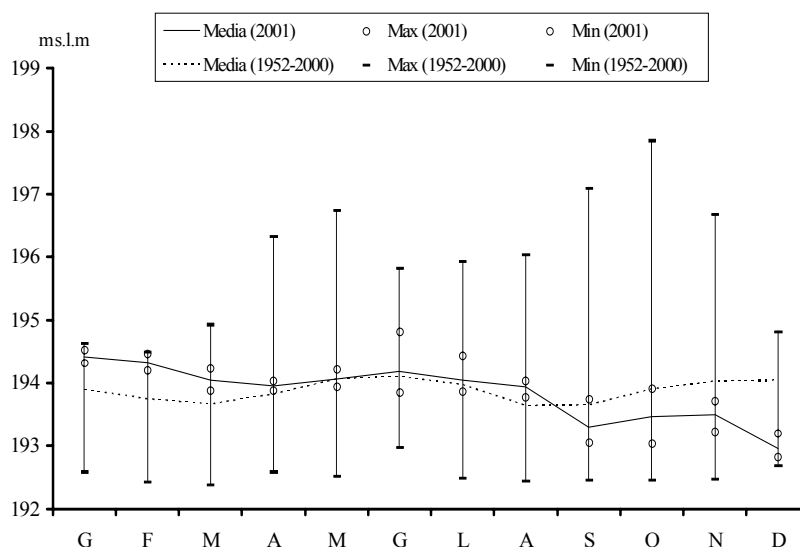


Fig. 3.1.1. Lago Maggiore 2001. Regimi mensili dei livelli, valori estremi registrati in ciascun mese e confronto con il periodo 1952-2000.

3.1.2. Trasparenza delle acque lacustri

Nel corso del 2001 il regime di questo parametro è stato misurato, come di consueto sulla base della profondità di scomparsa del disco di Secchi, misure effettuate con cadenza circa decadica nella stazione di Ghiffa (Fig. 3.1.2.). La figura ne illustra l'andamento annuale che risulta essere quasi perfettamente in linea con la norma: un progressivo approfondimento nei mesi invernali fino a superare i 13 metri in Febbraio è

seguito da una repentina diminuzione a circa 4,5 metri in Marzo, profondità di trasparenza che si mantiene tra i 4,5 e i 6,5 sino a Luglio. Regolare l'approfondimento da Settembre a Dicembre quando con 10,5 m si ritrovano valori normali del periodo, in linea con quelli riscontrati negli anni precedenti.

I bassi valori di Marzo, sono probabilmente dovuti a materiale di provenienza fluviale in seguito ad un precoce disgelo primaverile, verificatosi in anticipo rispetto al normale ciclo stagionale, in quanto favorito dalle condizioni climatiche che hanno caratterizzato le ultime due decadi di questo mese: vedi il capitolo riguardante la meteorologia (temperatura atmosferica e radiazione solare sopra la norma).

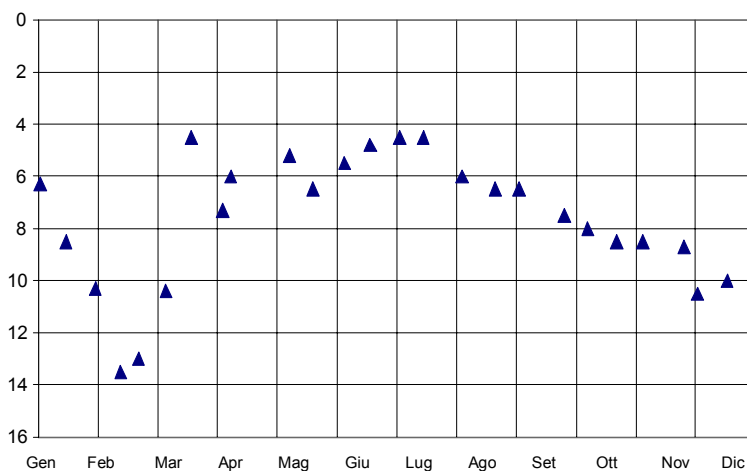


Fig. 3.1.2. Lago Maggiore 2001. Andamento della trasparenza (disco di Secchi).

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 con cadenza decadica nella stazione di Ghiffa anziché a quelli della boa di Pallanza in quanto i primi risultano più significativi della situazione termica pelagica dell'intero lago. Il confronto tra le figure 3.1.3.1a e 3.1.3.1b consente di rilevare un generale riscaldamento nel 2001 dello strato superficiale rispetto a quello medio del periodo 1962-2000. L'incremento termico, già visibile nei primi tre mesi dell'anno, è evidenziato dall'andamento di alcune isoterme: infatti tra Gennaio e Marzo di questo anno sono assenti le isolinee con temperatura sotto i 6,9°C e compaiono la 7,5 e la 8,0°C che normalmente si presentano in Aprile; anche le curve comprese tra 9 e 12°C anticipano di un mese il loro approfondimento sotto i 20 metri. Nel periodo estivo troviamo le isoterme comprese tra 16 e 20°C più profonde di 3-4 metri rispetto a quelle di confronto. Da segnalare infine che nel periodo autunno - invernale la presenza delle isoterme sotto i 14°C si protrae per un periodo più lungo rispetto a quello medio e a Dicembre l'isoterma 8°C è sostituita dalla 9°C.

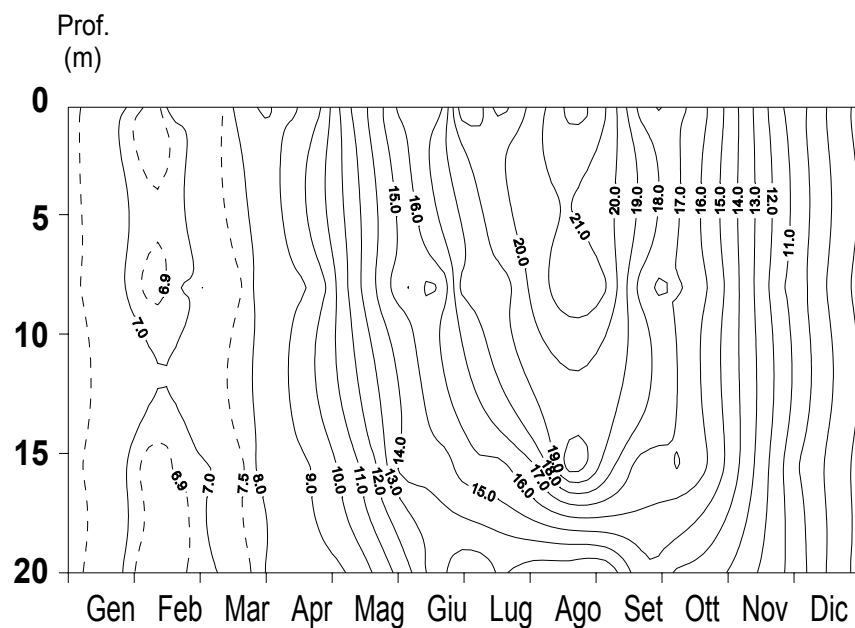


Fig. 3.1.3.1a. Lago Maggiore 2001. Isotherme nello strato superficiale (°C).

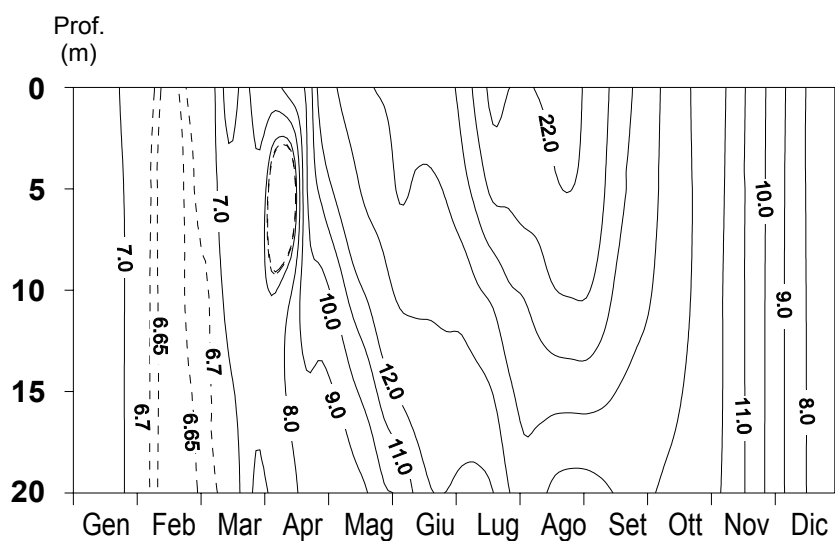


Fig. 3.1.3.1b. Lago Maggiore 1962-2000. Isotherme nello strato superficiale (°C).

3.1.3.2. Acque profonde

L'elaborazione grafica dei dati di termica lacustre raccolti nel corso dei sopralluoghi effettuati con frequenza all'incirca decadica nella porzione centrale del lago, in località Ghiffa dove il fondale raggiunge i 370 m è rappresentata in figura 3.1.3.2.

La considerazione più importante che si ricava dal suo esame riguarda il netto riscaldamento della massa ipolimnica rispetto all'anno precedente [14]. Infatti non si hanno tracce nel 2001 dell'isoterma 6,5°C (sotto i 250 m da Febbraio a Giugno nel 2000) che

viene sostituita dalla 6,55°C presente da Gennaio a Giugno e da Dicembre sotto i 200 m. La stessa tendenza è rilevabile per l'isoterma 6,6°C che nel 2000 raggiungeva la superficie lacustre mentre nel corrente anno si mantiene in tutti i mesi al di sotto dei 150 m di profondità; lo stesso si verifica per quelle quotate 6,7 e 6,8°C rispettivamente sotto la profondità di 100 e i di 50 m. Tutto ciò indica un incremento calorico della massa lacustre nello strato al di sotto di -100 m, accentuato anche dalla modesta profondità raggiunta dalla circolazione verticale invernale. Si deve quindi concludere che nel 2001 riprende il riscaldamento delle acque profonde interrotto dal mescolamento totale del 1999 e dalla cospicua discesa di acqua fredda in profondità nel 2000.

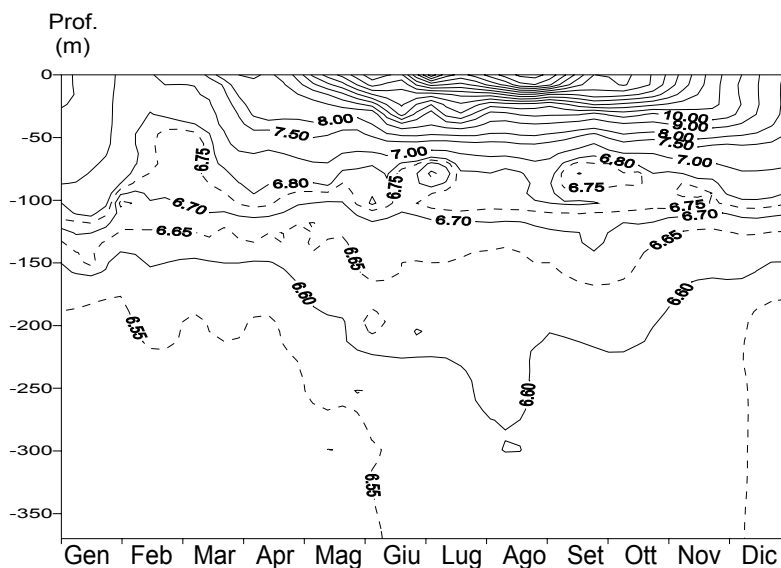


Fig. 3.1.3.2. Lago Maggiore 2001. Isotherme lungo l'intera colonna (°C).

3.1.4. Ossigenazione delle acque lacustri

I dati relativi alle concentrazioni di ossigeno, che interessano la massa lacustre, qui utilizzati esclusivamente come indicatori di processi relativi all'idrodinamica lacustre, in particolare quelli riguardanti il mescolamento verticale tardo invernale, sono stati raccolti nel corso delle operazioni di campagna condotte al largo di Ghiffa.

Prescindendo dagli strati superficiali, ove le fluttuazioni sono legate per lo più alla produzioni algali, le concentrazioni di ossigeno mostrano negli strati più profondi un'evidente diminuzione rispetto ai due anni precedenti (Fig. 3.1.4.).

Nel 2000 ad esempio il volume di acqua sotto i 300 m di profondità fu interessato, a seguito di discesa di acqua fredda in profondità, da una concentrazione media di O_2 al di sopra degli $8,5 \text{ mg l}^{-1}$ mentre nel 2001 questa porzione di lago, a seguito del mancato mescolamento totale (vedi paragrafo 3.1.6.) presenta una concentrazione di ossigeno sotto gli $8,0 \text{ mg l}^{-1}$.

In particolare l'isolinea $9,0 \text{ mg l}^{-1}$ che nel 2000 occupava, da Febbraio e Marzo, una porzione di lago compresa tra 200 a 370 metri di profondità, nel 2001 la stessa non supera i 100 m; anche la $8,5 \text{ mg l}^{-1}$ che nell'anno precedente, da Maggio a Novembre, raggiungeva il fondo del lago, nel 2001 si situa intorno a -150 m. Ricompaiono la $7,5$ e la $8,0 \text{ mg l}^{-1}$, assenti nell'anno precedente e vanno ad occupare per tutto l'anno la massa

d'acqua sotto i 200 metri di profondità. La situazione del 2001 è la conseguenza del fatto che la circolazione invernale, legata ai moti convettivi, ha interessato soltanto gli strati più superficiali del lago, nonché dall'elevata deossigenazione delle acque ipolimniche alla quale ha contribuito anche la presenza del particolato organico a granulometria fine e a lenta sedimentazione derivante dalla piena autunnale del 2000.

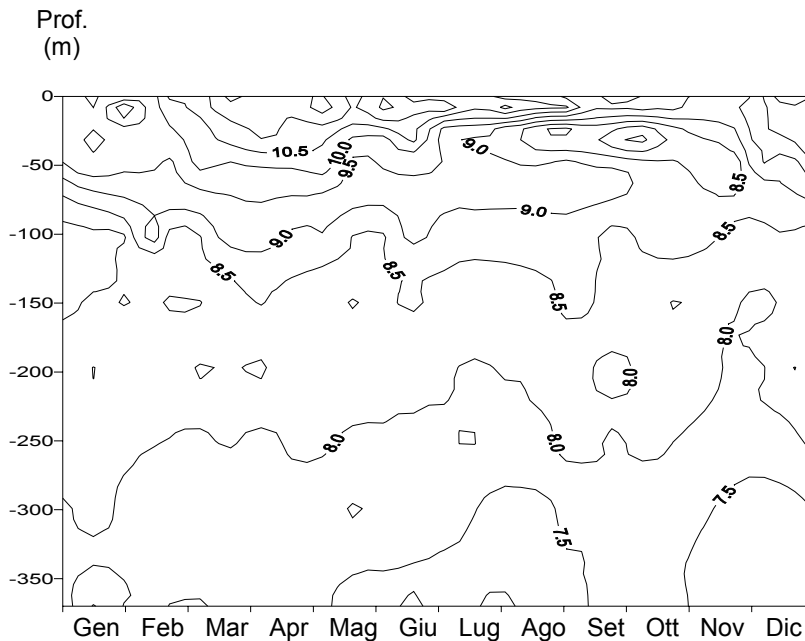


Fig. 3.1.4. Lago Maggiore 2001. Andamento delle concentrazioni di ossigeno disciolto lungo l'intera colonna (mg l^{-1}).

3.1.5. Bilancio termico

Il bilancio del contenuto calorico del Lago Maggiore è stato valutato su base mensile con la metodica già adottata in passato [15] e con le singole componenti che vengono espresse in $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$. Com'è noto, l'equazione del bilancio può essere così espressa:

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

Dove:

- 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 per il 2001 unitamente a quelli relativi alla radiazione solare effettiva $Q_{se} = Q_s - Q_r$, alla radiazione netta $Q_N = Q_s - Q_r - Q_b$ ed a $R = Q_h / Q_e$ (rapporto di Bowen) sono riportati, nella tabella che segue.

Tab. 3.1.5. Lago Maggiore 2001. 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	98	14	84	165	-68	-231	101	62	0,62
Feb	206	23	183	133	73	-80	129	24	0,18
Mar	236	21	214	87	149	37	332	-221	-0,67
Apr	391	31	359	115	276	193	163	-80	-0,49
Mag	452	32	420	72	380	297	203	-120	-0,59
Giu	542	38	504	84	458	267	369	-177	-0,48
Lug	499	35	464	100	398	86	437	-125	-0,29
Ago	459	32	427	101	358	121	301	-64	-0,21
Set	334	30	304	158	176	-81	210	47	0,22
Ott	200	20	180	140	60	-30	76	14	0,18
Nov	148	19	128	194	-46	-178	89	43	0,49
Dic	136	20	116	201	-65	-375	147	164	1,12

Nella tabella 3.1.5. sono riportati i valori delle singole componenti del bilancio calorico del Lago Maggiore per l'anno 2001. Il confronto con i corrispondenti valori degli anni precedenti (1963-2000) rende conto di alcune anomalie rilevate nell'ultimo anno.

La radiazione solare effettiva (Q_{se}) presenta un nuovo massimo in Dicembre quando con 116 cal cm^{-2} , si supera quello del 1974 di 111 cal cm^{-2} . Valori elevati si riscontrano anche da Maggio ad Agosto; particolarmente alto è il valore di Giugno (504 cal cm^{-2}) che sfiora il massimo assoluto dello stesso mese verificatosi nel 2000 (505 cal cm^{-2}).

Q_b presenta un nuovo minimo assoluto in Agosto (101 contro 102 cal cm^{-2} del 1994), altri valori bassi si presentano in Marzo, Maggio e Giugno, mentre valori elevati li troviamo in Novembre e Dicembre, tutti però compresi entro i limiti già verificatisi in precedenza. Per quanto riguarda Q_N si hanno nuovi massimi in Marzo (149 contro 147 cal cm^{-2} del 2000), Giugno (458 contro 403 cal cm^{-2} del 1986) e Agosto (358 contro 330 cal cm^{-2} nel 1991). Relativamente a Q_e e Q_h , valori al di sopra della norma si hanno da Maggio ad Agosto a seguito dei bassi valori di temperatura dell'acqua superficiale del lago rispetto a quelli dell'atmosfera, il che determina valori negativi dei rapporti di Bowen.

Anche Q_t presenta un nuovo minimo in Dicembre (-375 contro -291 cal cm^{-2} del 1999) ed in Luglio (86 contro 102 cal cm^{-2} del 2000), inoltre troviamo valori al di sotto della media in Febbraio e al di sopra in Aprile, Giugno ed Ottobre, ma sempre entro i limiti già trovati negli anni precedenti.

La rappresentazione grafica del regime del bilancio termico del Lago Maggiore è riportata in figura 3.1.5a. In essa la quantità di calore assorbita dalla massa d'acqua assume valore positivo già verso la fine di Febbraio con una quantità totale che a Marzo si stabilisce a $120.756 \text{ cal cm}^{-2}$, il che significa quasi 2000 cal cm^{-2} superiori al valore dello stesso mese del 2000; ciò riporta il contenuto energetico del lago appena sotto i livelli del 1998 e 1997, quando si erano raggiunti i valori massimi della serie pluriennale. L'incremento energetico è proseguito molto intenso in Marzo, Aprile e Maggio e in questo periodo si sono accumulate entro la colonna, rispetto allo scorso anno, 4000 cal cm^{-2} in più. Il basso immagazzinamento di calore in Luglio ed in Agosto, unito alle elevate perdite autunnali, e soprattutto a quelle di Dicembre, hanno contribuito a mantenere il contenuto calorico del lago alla fine dell'anno su un livello di $129.839 \text{ cal cm}^{-2}$, superiore soltanto di circa $1.000 \text{ cal cm}^{-2}$ a quello del Dicembre 2000. Da rilevare infine, come siano state importanti le quantità energetiche utilizzate nei processi evaporativi e quelli conduttivi nel periodo Marzo-Agosto, che hanno determinato un minore imma-

gazzinamento di calore nel periodo estivo. Il contenuto minimo è risultato quello di Febbraio con $119.598 \text{ cal cm}^{-2}$, mentre quello massimo si è avuto in Agosto ($150.152 \text{ cal cm}^{-2}$), valore quest'ultimo molto elevato: era infatti dal 1998 che non si superavano le 150.000.

Il bilancio termico è stato conseguentemente di $30.554 \text{ cal cm}^{-2}$, valore leggermente superiore alla media del periodo di confronto.

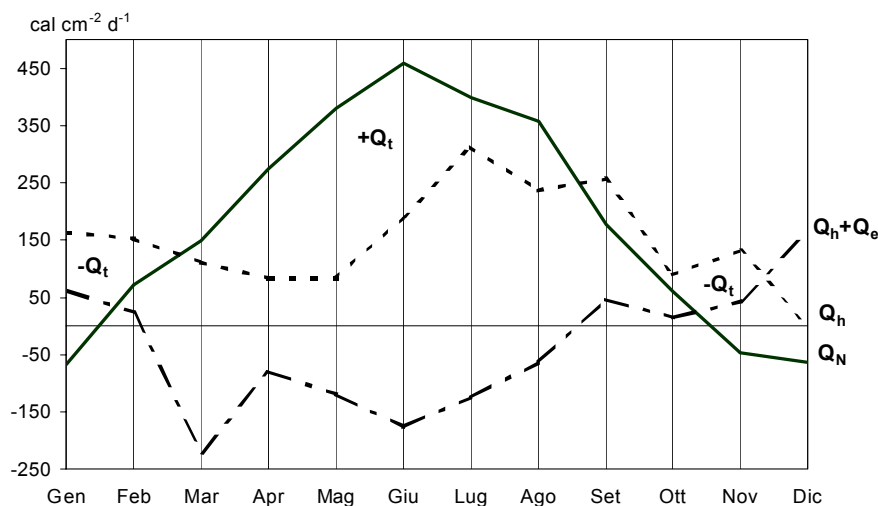


Fig. 3.1.5a. Lago Maggiore 2001. Bilancio termico.

Attraverso le dettagliate misure di temperatura dell'acqua effettuate durante il ciclo stagionale è stato possibile calcolare anche i flussi energetici che attraversano ciascun piano batimetrico; tali valori, espressi $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ sono rappresentati in figura 3.1.5b mediante isolinee che delimitano aree a fondo scuro o chiare indicanti rispettivamente le perdite e i guadagni di calore.

Dalla figura appare con molta evidenza che durante il 2001, a differenza dell'anno 2000 nel quale le perdite di calore proseguivano in maniera consistente sino ad Aprile, si verifica invece un riscaldamento delle acque sotto i 100 m di profondità già a Febbraio, in anticipo rispetto al normale ciclo stagionale, ed un successivo raffreddamento ad Aprile dovuto probabilmente alla discesa di acqua più fredda di provenienza fluviale. Da rilevare però che in questo periodo i flussi negativi e positivi al di sotto di 100 m sono di debole intensità (compresi tra -2 e $+2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e incidono in maniera limitata sulla perdita totale di calore invernale che avviene quasi esclusivamente negli strati superiori: tuttavia essi sono significativi nell'indicare che il processo di mescolamento verticale per moti convettivi si interrompe già a metà Febbraio. Un elevato immagazzinamento di calore lo troviamo in Giugno quando l'isolinea $10 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ scende sino a 150 m, mentre quella quotata $20 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ sino a -100 . L'elevato accumulo di calore dei primi 8 mesi dell'anno è fortunatamente controbilanciato dalle elevate perdite di Novembre e Dicembre quando ricompare in superficie l'isolinea $-350 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, assente da molti anni, riportando il contenuto totale entro colonna d'acqua (0-370 m), come abbiamo visto a proposito del bilancio termico, su valori appena sopra a quelli dell'anno precedente.

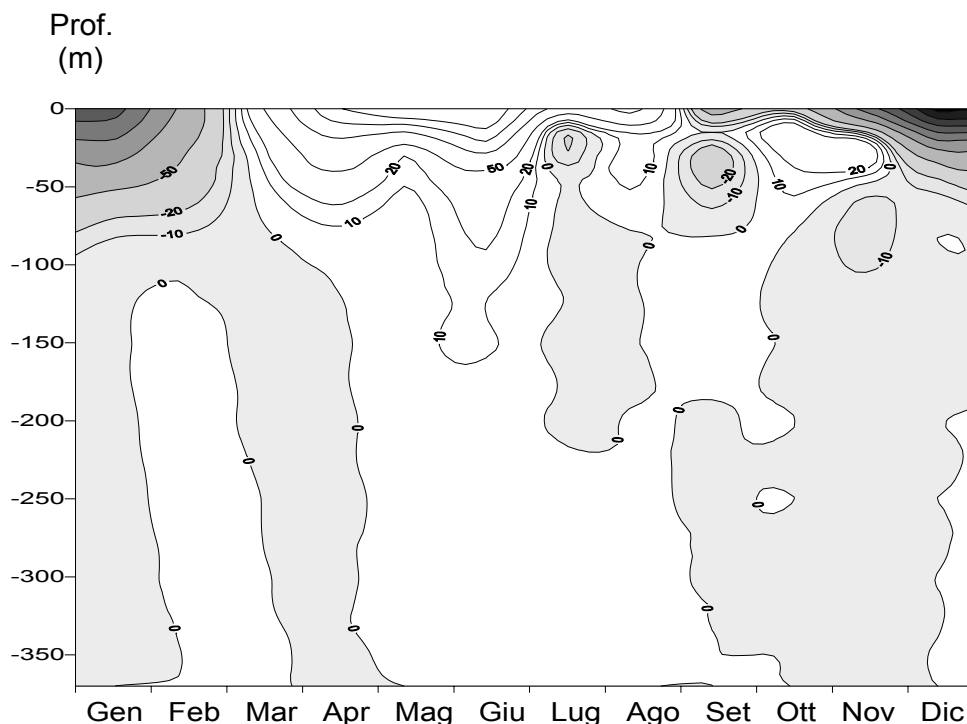


Fig. 3.1.5b. Lago Maggiore 2001. Flussi di calore. Isolinee quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$.

3.1.6. Profondità di mescolamento

Analogamente a quanto avveniva negli anni antecedenti al 1999 la profondità raggiunta dal mescolamento convettivo tardo invernale nel 2001, è risultata molto modesta. La determinazione di tale profondità, confermata anche dall'analisi dei flussi di calore, è stata effettuata, come di consueto, con una duplice modalità, valutandola cioè sia sulla base dei dati limnologici, quali la temperatura dell'acqua e ossigeno misurati lungo l'intera colonna d'acqua, sia applicando la formulazione proposta da Ambrosetti, Barbanti e Rolla [16] che facendo uso di alcuni dati meteorologici relativi ai mesi invernali consente di valutare indirettamente la profondità di mescolamento. Entrambe le procedure hanno permesso di stabilire che la profondità dello strato mescolato è stata di poco inferiore agli 80 metri, valore molto basso, ma abbastanza usuale per il Lago Maggiore nel ventennio precedente al 1999. Le cause di questa limitata circolazione vanno ricercate nella scarsa ventosità, soprattutto nel Dicembre 1999 e in Gennaio e nella temperatura atmosferica relativamente alta di tutto il periodo invernale. Ne è conseguita una riduzione delle perdite di calore da parte del lago, con conseguente formazione dentro la massa d'acqua di uno strato mescolato di limitato spessore.

3.2. Chimica lacustre

3.2.1. Chimismo di base

Nel 2001 le indagini sull'idrochimica del Lago Maggiore sono state effettuate con frequenza mensile nella zona di massima profondità (bacino di Ghiffa) alle seguenti quote: superficie, -5, -10, -20, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 metri.

Il bilancio ionico, il pH e la conducibilità a 20 °C sono riportati nella tabella 3.2.1. I rispettivi valori, calcolati come medie ponderate sui volumi dalla superficie al fondo, riguardano il decennio 1992–2001 e sono relativi a campioni raccolti annualmente tra Febbraio e Marzo, vale a dire nel periodo stagionale di massima estensione verticale del mescolamento tardo invernale. Come si vede dalla tabella, le concentrazioni medie nell'intera massa lacustre delle principali specie ioniche sono risultate leggermente diverse da quelle misurate in anni precedenti. In particolare, rispetto ai valori del 2000, si è accertato un leggero incremento della concentrazione media di alcalinità totale (0,82 contro 0,80 meq l⁻¹) accompagnato da una lieve diminuzione dei tenori medi di solfati (0,59 contro 0,63 meq l⁻¹), mentre sono rimasti praticamente invariati il contenuto ionico totale (3,07 contro 3,06 meq l⁻¹) e la conducibilità (147 contro 148 μS cm⁻¹).

Tali modeste variazioni sono state probabilmente generate dagli eventi di piena autunnali del 2000, ai quali era associata una rilevante quantità di particolato inorganico e organico che in parte si è laminato sulla superficie lacustre e in parte si è infiltrato al di sotto del termoclinio fino a strati compatibili per temperatura e densità. La persistenza in lago di questi materiali si è prolungata nel tempo, interessando dapprima gli strati più superficiali per poi trasmettersi lentamente nei mesi successivi verso le zone più profonde.

Il pH e la saturazione di ossigeno in epilimnio non ne hanno però risentito, tanto è vero che queste variabili mostrano andamenti simili a quelli dell'anno precedente e dell'intero decennio considerato: in effetti, i minimi si verificano al termine della stagione invernale, mentre i massimi riguardano i mesi estivi e risultano in stretta connessione con gli effetti della fotosintesi (Fig. 3.2.1a). In particolare i valori medi epilimnetici più alti di saturazione di ossigeno persistono dall'inizio di Maggio fino alla prima decade di Settembre e risultano compresi tra 101 e 109%; quelli di pH seguono lo stesso andamento mostrando da Giugno a Settembre valori tra 7,9 e 8,4 unità. Dallo stesso grafico si osserva inoltre che i tenori ipolimnetici di pH sono risultati pressoché identici a quelli degli anni precedenti mostrando un modestissimo calo, dalla primavera all'inverno, legato all'evolversi dei processi di mineralizzazione della sostanza organica e alla conseguente produzione di anidride carbonica.

Anche la situazione accertata nello strato più superficiale, fino a 5 metri di profondità, evidenzia nel decennio considerato andamenti del tutto analoghi per pH e saturazione di ossigeno. Ma in questo caso i massimi si riscontrano tra Luglio e la prima settimana di Settembre con saturazioni di ossigeno comprese tra 116 e 118% cui corrispondono tenori di pH tra 8,6 e 9,0 (Fig. 3.2.1b).

Per quanto riguarda l'alcalinità totale e la conducibilità, anche nel corso del 2001 si è osservata da Maggio a Giugno una modestissima diminuzione dei rispettivi contenuti medi nell'intera massa lacustre, seguita da una successiva ripresa da Settembre a Novembre (Fig. 3.2.1c). Queste variazioni risultano assai più evidenti nello strato epilimnico, dove la fase di netto calo delle due variabili è stata precipuamente indotta dalla precipitazione di carbonato di calcio durante i processi di sintesi algale. I minimi si sono mantenuti pressoché costanti nei mesi estivi fino alla seconda metà di Settembre,

quando, a fronte del forte rallentamento della crescita algale, è iniziato il recupero dei tenori epilimnetici di alcalinità e conducibilità dovuto principalmente agli apporti dai tributari.

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 1992 al 2001 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

<i>specie ioniche</i>	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
HCO ₃ ⁻	0,78	0,78	0,79	0,79	0,81	0,78	0,79	0,79	0,80	0,82
SO ₄ ⁻	0,61	0,62	0,62	0,61	0,62	0,61	0,63	0,63	0,63	0,59
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	1,51	1,52	1,53	1,52	1,55	1,51	1,54	1,54	1,55	1,54
Ca ⁺⁺	1,09	1,10	1,09	1,06	1,08	1,09	1,08	1,08	1,06	1,08
Mg ⁺⁺	0,30	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,30
Na ⁺	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
K ⁺	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Σ cationi	1,53	1,55	1,54	1,49	1,53	1,54	1,53	1,53	1,50	1,53
Σ ioni	3,04	3,07	3,07	3,01	3,08	3,05	3,07	3,07	3,05	3,07
pH	7,43	7,34	7,38	7,36	7,39	7,32	7,37	7,15	7,40	7,41
Conducibilità	145	146	146	146	146	145	147	149	148	147

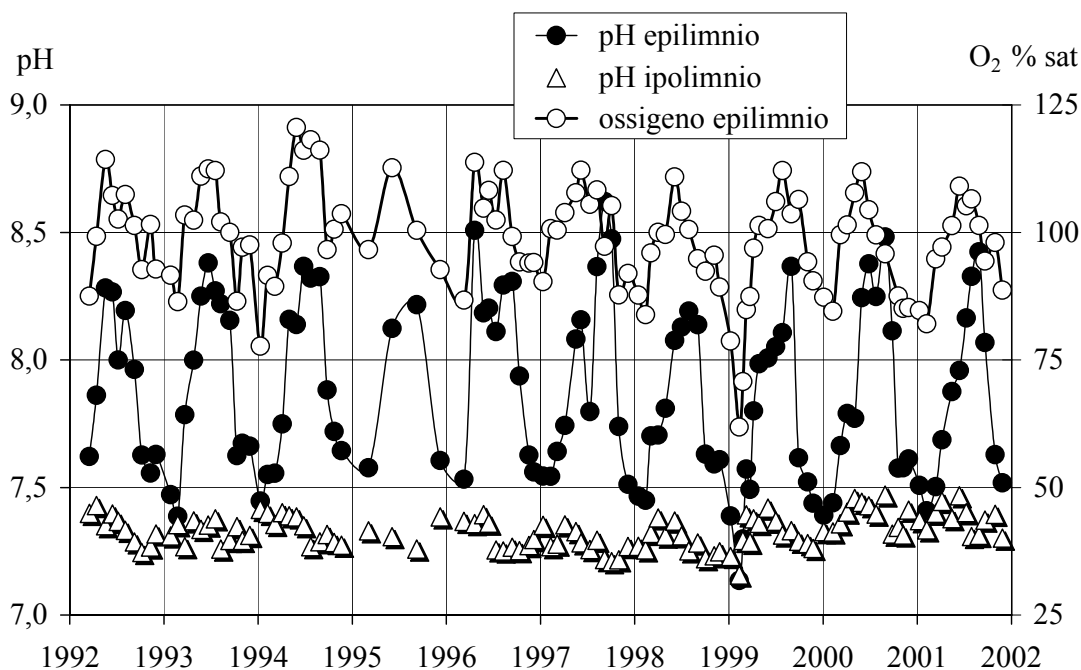


Fig. 3.2.1a. Lago Maggiore nel periodo 1992-2001: pH nello strato epilimnico (0-25 m) ed ipolimnico (25-370 m) e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

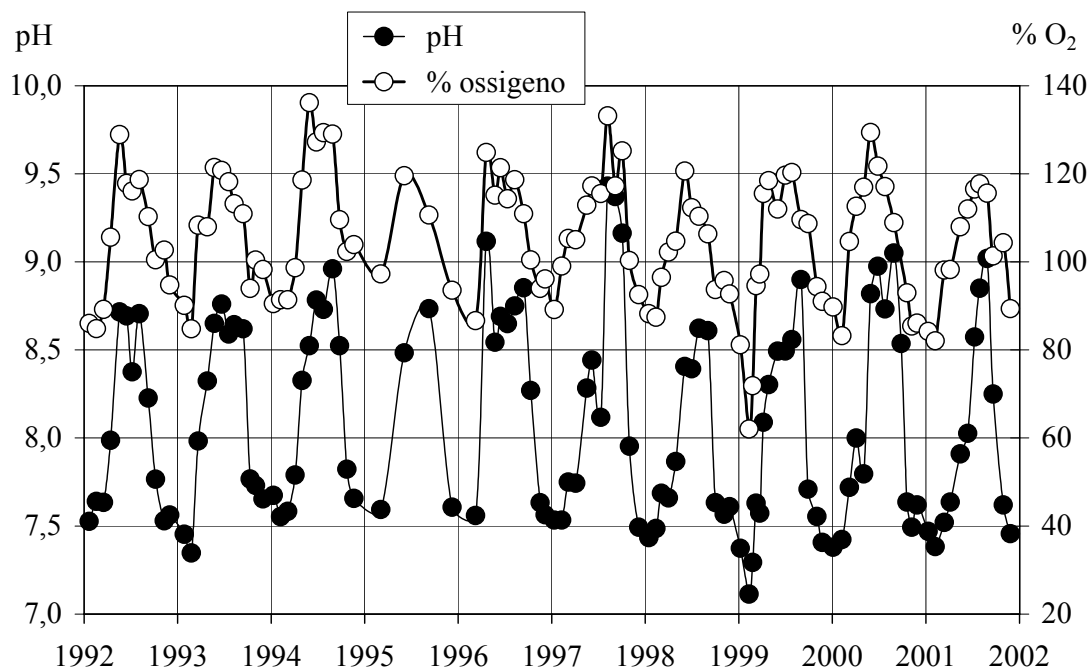


Fig. 3.2.1b. Lago Maggiore nel periodo 1992-2001: pH e saturazione d'ossigeno nello strato d'acqua compreso tra la superficie ed i 5 metri di profondità (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

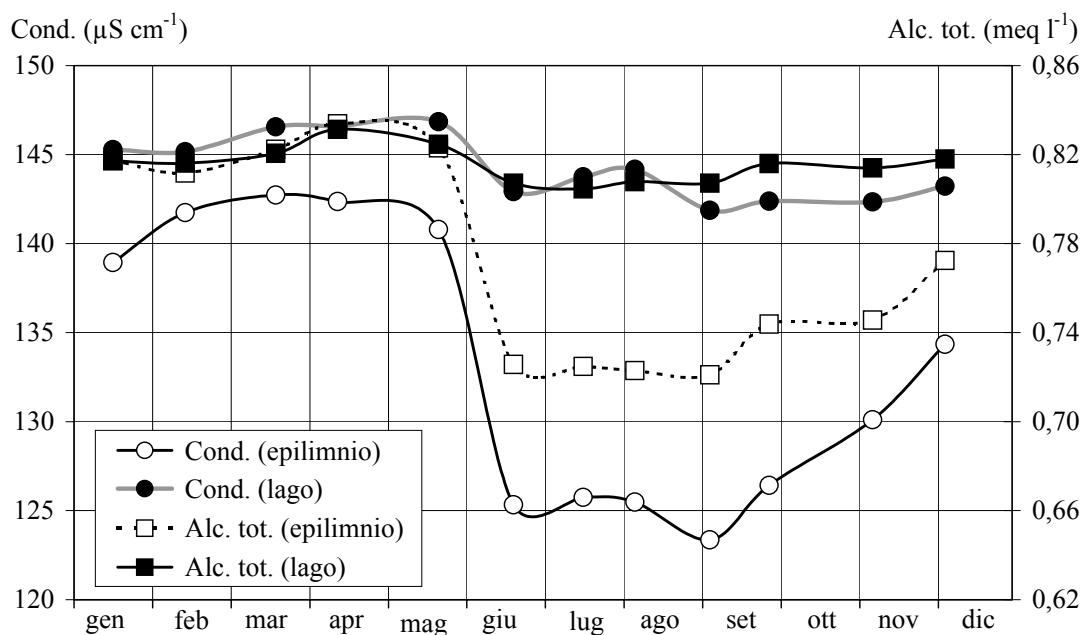


Fig. 3.2.1c. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento stagionale nel corso del 2001 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale e di conducibilità a 20 °C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

3.2.2. Composti dell'azoto

Come negli anni passati, sono risultate del tutto trascurabili le concentrazioni di azoto nitroso e di azoto ammoniacale. Il primo mostra una presenza saltuaria e limitata alle acque superficiali, con livelli estremamente bassi ($0,006 \text{ mg N l}^{-1}$). Il secondo non ha mai superato contenuti medi di $0,004 \text{ mg N l}^{-1}$ nell'intera massa lacustre e di $0,07 \text{ mg N l}^{-1}$ nello strato epilimnico.

Nel caso dell'azoto nitrico e dell'azoto totale, i tenori medi nell'intera massa lacustre sono risultati simili a quelli accertati negli ultimi anni rimanendo compresi rispettivamente tra $0,81$ e $0,86 \text{ mg N-NO}_3 \text{ l}^{-1}$ e tra $0,87$ e $1,01 \text{ mg N l}^{-1}$. Ciò si è verificato anche per i contenuti medi di azoto organico che nel corso dell'anno in studio si sono mantenuti al di sotto di $0,2 \text{ mg N l}^{-1}$. L'evoluzione storica di queste tre variabili è presentata nel grafico di figura 3.2.2a dal quale è possibile osservare come nell'ultimo decennio si sia raggiunta una marcata stabilità delle concentrazioni probabilmente perché, in assenza di significativi carichi interni di composti di azoto, si è molto vicini allo stato stazionario di equilibrio tra le quantità annuali in ingresso dal bacino e dalle precipitazioni atmosferiche che sono ormai pressoché costanti e quelle perse attraverso l'emissario e i consumi legati alla produzione algale.

Gli andamenti stagionali nelle acque epilimniche si sono riconfermate le osservazioni degli anni precedenti (Fig. 3.2.2b): mentre l'azoto organico presenta i massimi durante la stagione estiva ($0,22$ – $0,28 \text{ mg N l}^{-1}$) e i minimi in quella invernale ($0,01 \text{ mg N l}^{-1}$), i nitrati e l'azoto totale mostrano massimi invernali (rispettivamente $0,86$ – $0,90$ e $0,90$ – $1,01 \text{ mg N l}^{-1}$) seguiti da cali primaverili, con minimi tardo estivi (rispettivamente $0,58$ – $0,68$ e $0,71$ – $0,77 \text{ mg N l}^{-1}$) 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.

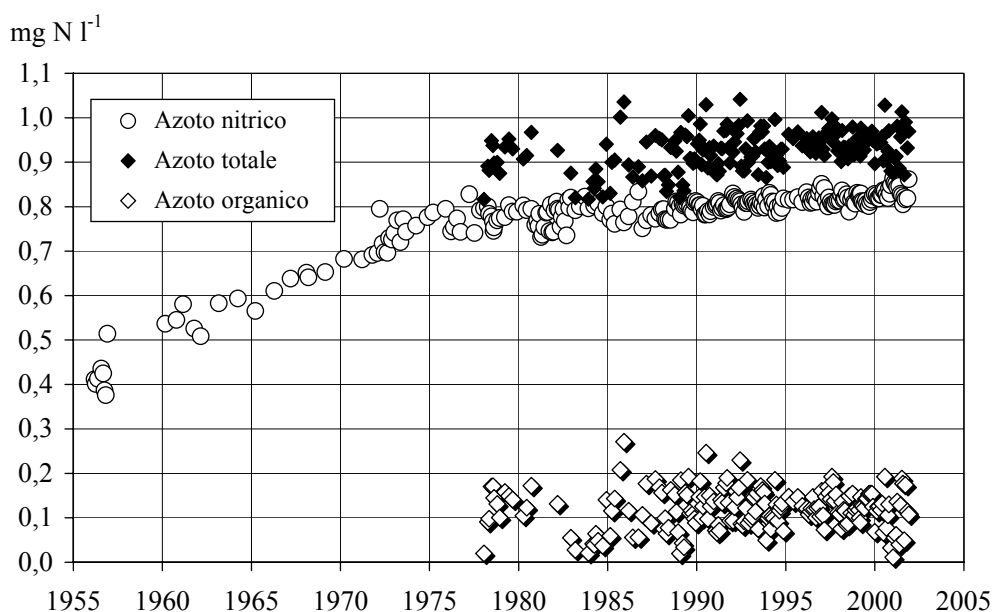


Fig. 3.2.2a. Lago Maggiore: evoluzione delle concentrazioni di azoto totale, nitrico e organico (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

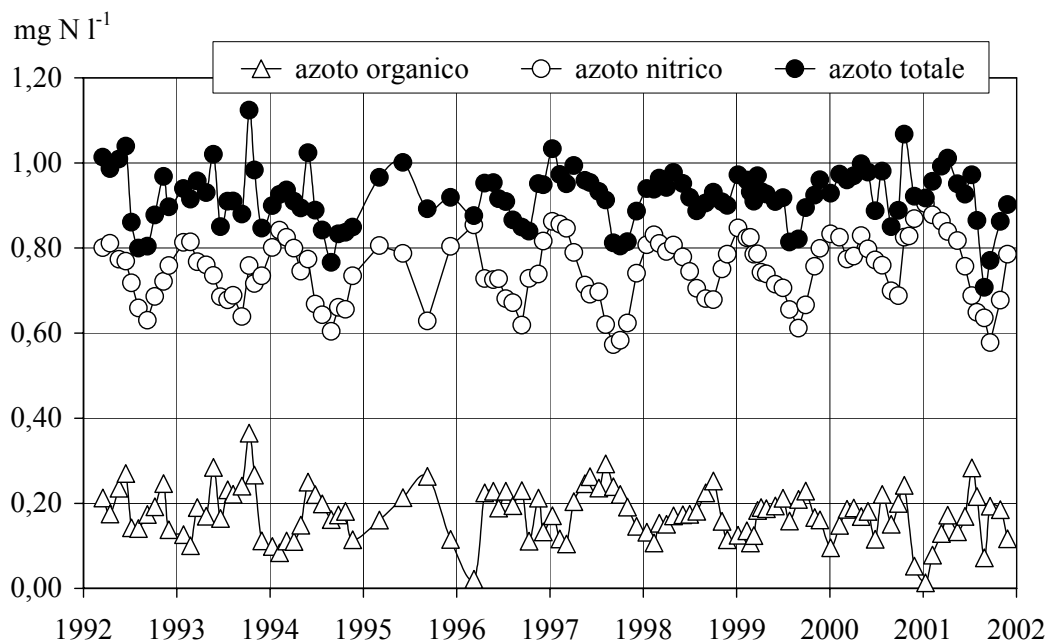


Fig. 3.2.2b. Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel periodo 1992-2001 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa)

3.2.3. Composti del fosforo

Se dal 1978 al 2000 l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale poteva essere idealmente suddiviso in tre periodi rispettivamente corrispondenti alla fase di riduzione dei contenuti in lago (1978-1992), alla loro stabilizzazione su livelli compresi tra 8 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (1993-1997) e alla successiva leggera crescita verso tenori compresi tra 10 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (1998-2000), l'anno in studio si è invece caratterizzato per una tendenza alla diminuzione messa in luce soprattutto da Agosto a Novembre (Fig. 3.2.3.).

In effetti, da Gennaio a Luglio i tenori medi nell'intera massa lacustre si sono mantenuti su valori di 11 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$, mentre da Agosto a Novembre i contenuti sono scesi fino a 9-10 $\mu\text{g P l}^{-1}$.

Le ragioni non sono chiare, ma a livello di ipotesi appare probabile che l'osservata riduzione dei carichi dal bacino (224 t P a^{-1} contro le 309 t P a^{-1} del 2000 al § 2.3.2.) abbia impedito un rifornimento di fosforo quantomeno pari a quello sequestrato dalle alghe sedimentate e a quello che è stato trasferito nei fondali lacustri inglobato nelle frazioni fini della torbida rimasta in lago per diversi mesi dopo gli eventi alluvionali dell'Ottobre 2000.

Il grafico di figura 3.2.3. evidenzia invece che l'andamento di fosforo reattivo non ha mostrato particolari variazioni rispetto agli anni precedenti, perché i suoi contenuti medi si sono mantenuti tra 6 e 8 $\mu\text{g P l}^{-1}$.

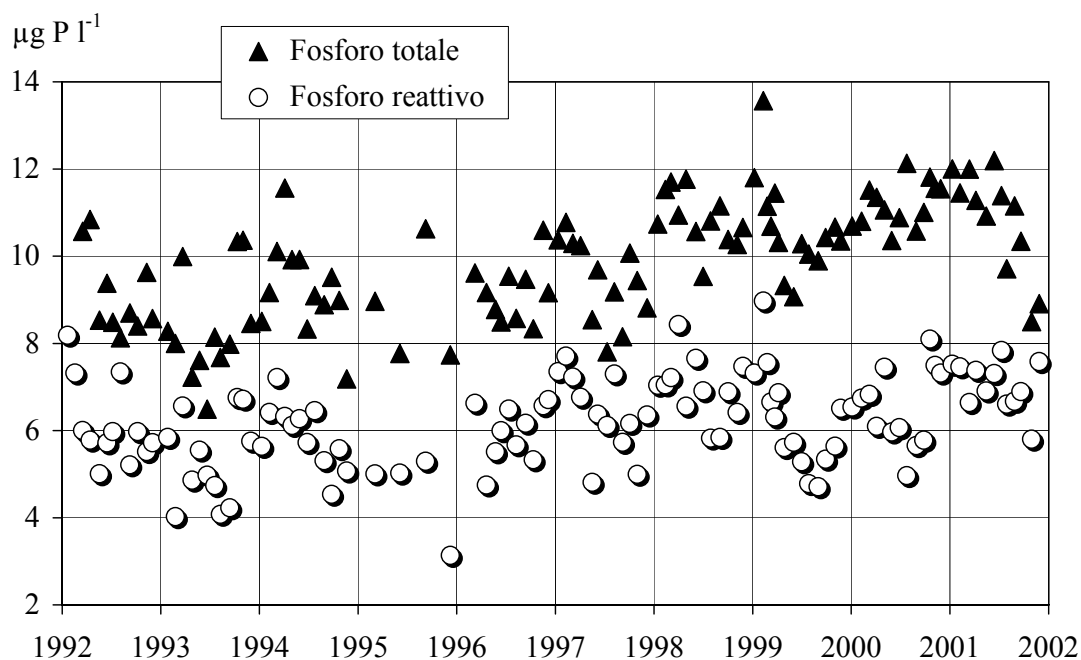


Fig. 3.2.3. Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel periodo 1992-2001 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

3.2.4. Ossigeno disciolto

Come si visto precedentemente, l'andamento stagionale nel 2001 dei contenuti medi di ossigeno in epilimnio (Fig. 3.2.1a) e nelle acque più superficiali (Fig. 3.2.1b) è risultato analogo a quello dell'anno precedente.

Per quanto riguarda l'evoluzione storica delle sue concentrazioni medie nello strato al di sotto dei 200 di profondità (Fig. 3.2.4.), nell'ultimo biennio si è evidenziato un progressivo calo di ossigeno che segnala come le acque più profonde siano rimaste segregate senza possibilità di scambi con le quote superiori per l'assenza di processi di mescolamento verticale o di infiltrazioni di acque tributarie fredde ed aerate.

Il minimo, pari a $7,25 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$, si riscontrato nel Dicembre 2001. Esso corrisponde al 61% di saturazione e indica una buona ossigenazione delle acque più profonde, confermata anche in modo significativo dai valori medi storici di saturazione nell'intero ipolimnio (strato 30-370 m) che si sono mantenuti dopo gli anni '70 tra il 60 e l'80% e che nel 2001 sono risultati compresi tra il 70 e il 75% (Fig. 3.2.4.)

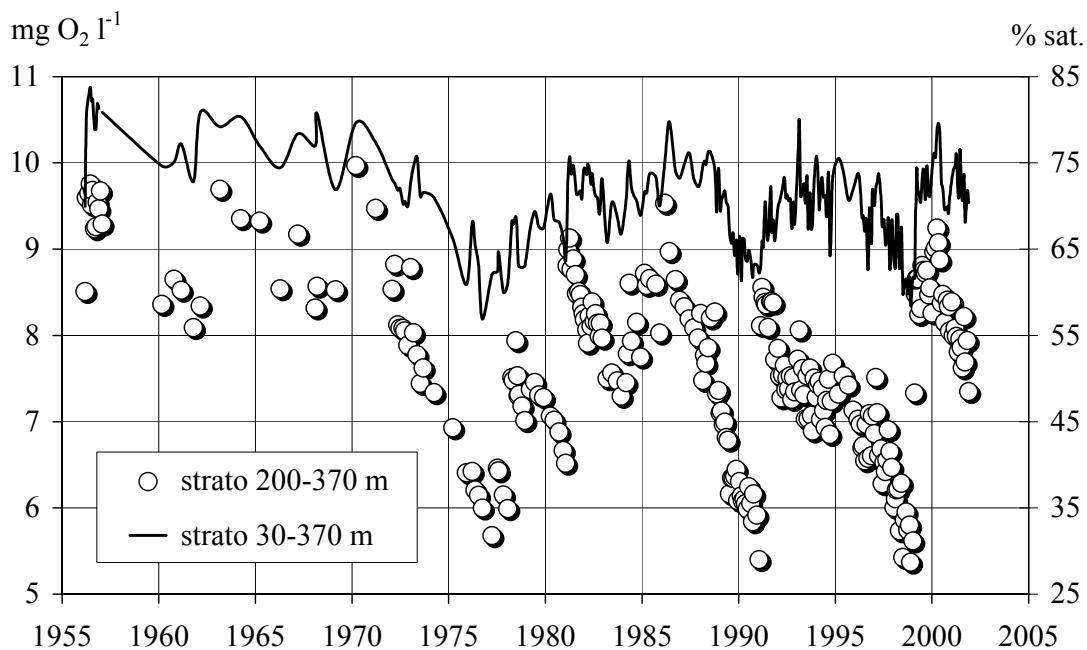


Fig. 3.2.4. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento storico della concentrazione media di ossigeno nello strato 200-370 m e dei valori medi di saturazione nello strato ipolimnico 30-370 m (valori ponderati sui volumi).

3.2.5. Silicati reattivi

Nel 2001, le concentrazioni medie di silicati reattivi nell'intero lago, pur mostrando lo stesso andamento stagionale dell'ultimo decennio, sono risultate nettamente più alte a causa della piena già menzionata, presentando valori compresi tra 1,6 e 1,8 mg Si l⁻¹ (Fig. 3.2.5.).

Aumenti superiori si sono osservati nell'ultimo trimestre del 2001 nell'ipolimnio, dove i contenuti medi sono risultati dell'ordine di 1,8 mg Si l⁻¹ contro tenori decisamente più bassi dell'anno precedente (1,5–1,6 mg Si l⁻¹). Questo incremento ritardato rispetto alla causa che lo ha generato è da mettere in relazione con la ridottissima sedimentabilità del particolato inorganico fine veicolato in lago in grandi quantità durante gli eventi alluvionali.

Nello strato epilimnico si è invece constatato un deciso aumento nei mesi immediatamente successivi alla piena fino al Marzo 2001 (Fig. 3.2.5.); da allora i contenuti medi di silicati, per effetto delle fioriture di diatomee solitamente riscontrate in primavera e alla fine della stagione estiva, hanno raggiunto i livelli stagionali registrati nell'ultimo periodo caratterizzato da consumi in linea con il completamento del processo di oligotrofizzazione del lago.

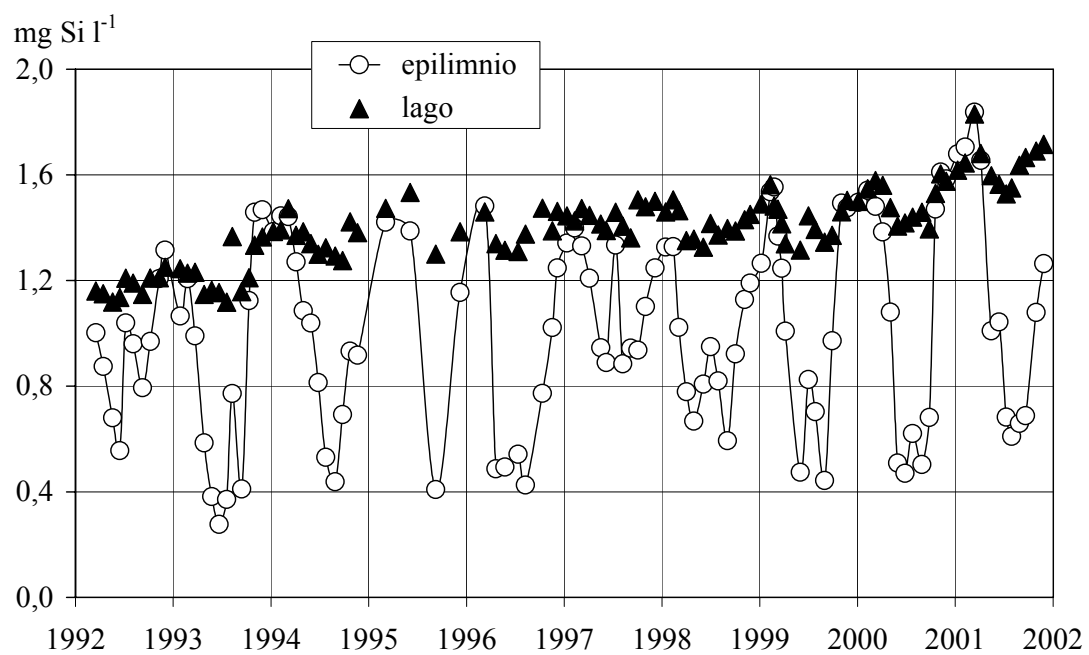


Fig. 3.2.5. Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 1991-2000.

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 2001, alla serie storica dei campionamenti sul Lago Maggiore. Nella stazione al largo di Ghiffa sono stati effettuati, tra il 17 Gennaio e il 12 Dicembre, 20 sopralluoghi con prelievamento di campioni d'acqua nello strato 0-20 m, con frequenza mensile nei mesi di Gennaio, Febbraio, Novembre e Dicembre, all'incirca quindicinale nella restante parte dell'anno.

I campioni sono stati analizzati in laboratorio seguendo le tecniche standard utilizzate negli anni passati, per quanto riguarda i conteggi, l'identificazione delle specie e il calcolo della biomassa (biovolume). Per la determinazione della concentrazione della clorofilla *a* e dei feopigmenti si è seguita, nella maggior parte dei casi la metodica di estrazione e lettura spettrometrica utilizzata solitamente. Tuttavia bisogna rilevare che, a causa di malfunzionamenti dello spettrometro, le misure effettuate tra il 4 Luglio ed il 4 Settembre sono state scartate e le concentrazioni di clorofilla corrispondenti a quelle date sono state ricalcolate attraverso un modello di regressione ottenuto interpolando le medie ponderate mensili di clorofilla (Chl-*a*) e biovolume (*BV*) relative al periodo 1981-2000. Dopo aver valutato la validità statistica (valore di R^2) di alcuni modelli di equazione, è stato scelto il seguente:

$$\text{Chl-}a = 3,0609 \times \text{BV}^{0,683} \quad (R^2 = 0,736; n = 239)$$

Il numero totale dei *taxa* censiti durante il 2001 è stato di 87 unità, dato che rappresenta il valore più alto registrato dal 1986 (Fig. 3.3.1.1.). La relativa stabilità, osservata tra il 1987 ed il 2000, del numero complessivo di specie algali censite, sembrava indicare che la tendenza all'aumento costante del numero di *taxa* algali, iniziata dalla fine degli anni '80, fosse giunta ad esaurimento. Invece questo ulteriore ed importante incremento sembrerebbe indicare che il limite superiore del numero di specie che il Lago Maggiore può ospitare non sia ancora stato raggiunto. Solo l'andamento di questo parametro nei prossimi anni permetterà tuttavia di valutare correttamente il fenomeno alla luce delle modificazioni cui l'ecosistema è andato incontro nella sua recente evoluzione trofica. Nel 2001 anche il numero medio di specie per campione ha mostrato un incremento rispetto al 2000 (34 contro 32), collocandosi tra i valori più alti registrati dal 1995 (Fig. 3.3.1.1.). In contrasto con gli altri due indici, il numero di specie significative (dominanti in quanto concorrenti a formare almeno l'80% del biovolume totale almeno una volta nel corso dell'anno) risulta il secondo più basso degli ultimi cinque anni (29; Fig. 3.3.1.1.), sebbene rientri nell'ambito dei valori tipici della seconda metà degli anni '90, valori significativamente più elevati di quelli osservati nel decennio precedente, quando lo stato trofico del lago era più elevato. Un grande numero di specie dominanti è indicativo di una ripartizione decisamente omogenea degli individui tra le specie presenti di volta in volta nel corso della successione stagionale e testimonia un'alta biodiversità dell'ambiente.

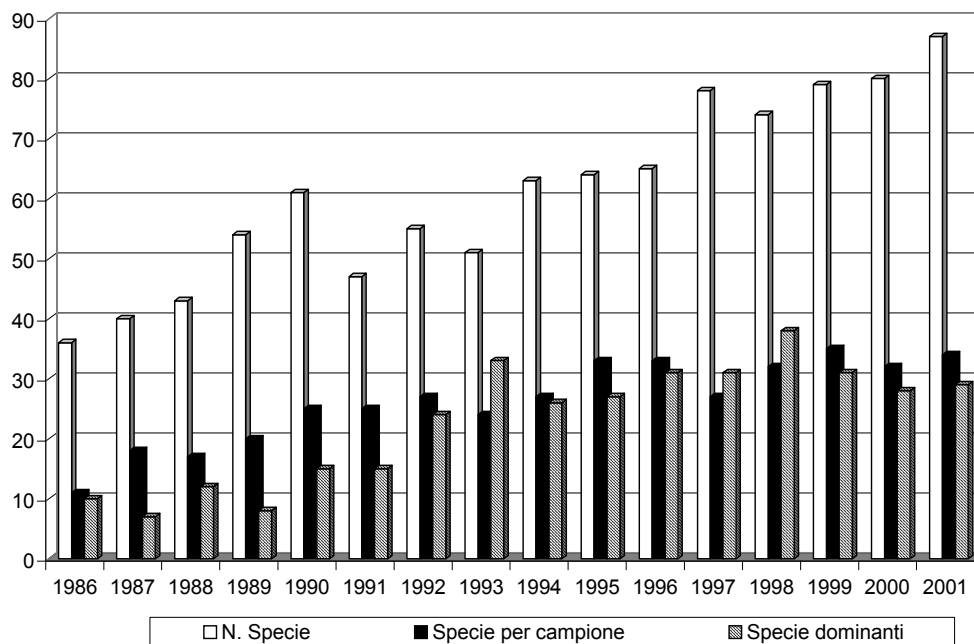


Fig. 3.3.1.1. Evoluzione del numero totale di specie censite, del numero medio di specie per campione e del numero di specie significative (v. testo).

Le specie o generi censiti globalmente durante l'anno mostrano alcune differenze rispetto al 2000 nella loro ripartizione numerica tra le categorie sistematiche maggiori. La classe con il maggior numero di *taxa* è quella delle diatomee, che contano nel 2001 ben 26 unità tassonomiche (6 in più rispetto al 2000), seguite dalle cloroficee (24 contro 22 nel 2000), quindi dalle crisoficee, passate da 11 a 12 unità, dai cianobatteri, il cui numero di specie è invece sceso da 15 a 12 *taxa*, dalle criptoficee e dalle dinoficee, che con 8 e 6 unità tassonomiche rispettivamente, sono, come di consueto, i gruppi meno rappresentati nella flora pelagica del Lago Maggiore.

La successione stagionale si è svolta, nel 2001, con una dinamica alquanto differente rispetto all'anno precedente. Lo sviluppo primaverile dei popolamenti algali ha inizio, nel 2001, solamente verso la fine di Aprile (Fig. 3.3.1.2a), essendo stata estremamente ridotta la crescita delle diatomee, che tipicamente mostrano un primo significativo picco di sviluppo nel mese di Marzo. Inoltre, a differenza dell'anno passato, la crescita delle diatomee prosegue pressoché ininterrotta sino alla fine dell'estate, con i picchi di sviluppo concentrati tra Luglio ed Agosto. Quindi, per quanto riguarda la dinamica delle diatomee, lo sfasamento temporale di circa un mese registrato alla fine dell'inverno si riflette sullo sviluppo di questo gruppo anche nelle altre stagioni. E', come sempre, difficile trovare una spiegazione a questi eventi, sebbene sia possibile fare alcune ipotesi. Per esempio, l'inverno del 2001 è stato significativamente meno ventoso rispetto al periodo 1997-2000 (si veda il capitolo sulla meteorologia di Ambrosetti, Barbanti, Ferrari e Rolla nel presente rapporto): questo potrebbe avere determinato un minore rimescolamento della colonna d'acqua, inibendo lo sviluppo delle diatomee, notoriamente favorite da condizioni di elevata turbolenza. Per contro, la piena dell'Ottobre 2000 ha portato a lago quantità eccezionalmente elevate di silicati (Calderoni, Pranzo e Tartari, rapporto presente): questa disponibilità di silice, accentuata dal minor consumo primaverile, ha probabilmente sostenuto la crescita di queste alghe fino alla tarda estate. A sostegno di questa ipotesi si può osservare che durante la primavera del 2001 non si è os-

servato il crollo del popolamento a diatomee, fenomeno consueto nel Lago Maggiore, usualmente legato all'esaurimento della silice reattiva.

A seguito del forte sviluppo estivo delle diatomee, la crescita dei cianobatteri nel periodo Giugno - Ottobre risulta alquanto ridimensionata rispetto al 2000: nel 2001 questo gruppo è prevalente, in termini di biovolume, solamente nel mese di Settembre (Fig. 3.3.1.2a). *Planktothrix* (*Oscillatoria*) *rubescens*, *Oscillatoria limnetica* e *Limnothrix* sp. sono i cianobatteri dominanti in termini di biovolume (Fig. 3.3.1.2b), mentre per quanto riguarda la densità sono risultate estremamente abbondanti alcune Chroococcales di piccole dimensioni, appartenenti al genere *Aphanothece* (*A. chlathrata*, *A. floccosa* e *A. smithii*), le quali da qualche anno caratterizzano il popolamento algale estivo del Lago Maggiore.

Come accennato, il gruppo più importante, sono state le diatomee (Bacillariophyceae), che hanno dominato, come biomassa, per gran parte dell'anno, dando, durante i mesi primaverili, anche un contributo significativo in termini di densità di popolazione. Tra questi organismi si osserva la forte riduzione di *Tabellaria flocculosa*, elemento caratteristico del popolamento a diatomee degli anni più recenti e si conferma il declino di *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*, analogamente a quanto osservato nel 2000. Nel complesso, nonostante l'abbondanza di specie di diatomee presenti, solamente quattro danno un contributo significativo alla biomassa di questo gruppo, vale a dire *Asterionella formosa*, *Diatoma tenuis*, *Fragilaria crotonensis* e *Cyclotella comensis*.

3.3.1.2. Variazioni della biomassa

Dal 1981, cioè dall'inizio del processo di oligotrofizzazione del Lago Maggiore si è osservata una diminuzione costante dei valori medi annui del biovolume complessivo del fitoplancton e della concentrazione della clorofilla *a*: nel 2001 si è registrato un ulteriore calo della media annua di entrambi i parametri rispetto al 2000, col biovolume che ha raggiunto $0,80 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ e la clorofilla a $2,57 \text{ mg m}^{-3}$.

Nel rapporto precedente è stata discussa l'ipotesi secondo cui la diminuzione del biovolume e della clorofilla osservata nei due anni precedenti poteva essere il risultato di una sottostima del biovolume nella zona eufotica, provocata dal trascinarsi profondo dei popolamenti algali e dalla loro conseguente diluizione nello strato 0-20 a seguito dell'evento di completa circolazione e di un fenomeno di approfondimento di masse d'acqua fredda originatesi dal disgelo, che hanno interessato il Lago Maggiore rispettivamente nei due inverni 1998-'99 e 1999-'00. Le medie annue di biovolume e clorofilla misurate nel 2001 sembrano tuttavia indicare che la diminuzione osservata negli anni più recenti non sia stata legata ad eventi eccezionali, ma rappresenti la prosecuzione di un fenomeno iniziato nei primi anni '80, in relazione al processo di oligotrofizzazione del lago e non ancora giunto alla sua conclusione.

Nel corso del 2001 il picco massimo di biovolume totale è stato registrato alla metà di Luglio (circa $3150 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$), ma è stato preceduto da altri due picchi primaverili di minore entità, verificatisi rispettivamente il 23 Aprile ($1370 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$) ed il 6 Giugno ($1680 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$) e seguito da un altro picco estivo (22 Agosto; $2445 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$), dopo il quale si osserva il declino tipico dei mesi della tarda estate – autunno (Fig. 3.3.1.2a).

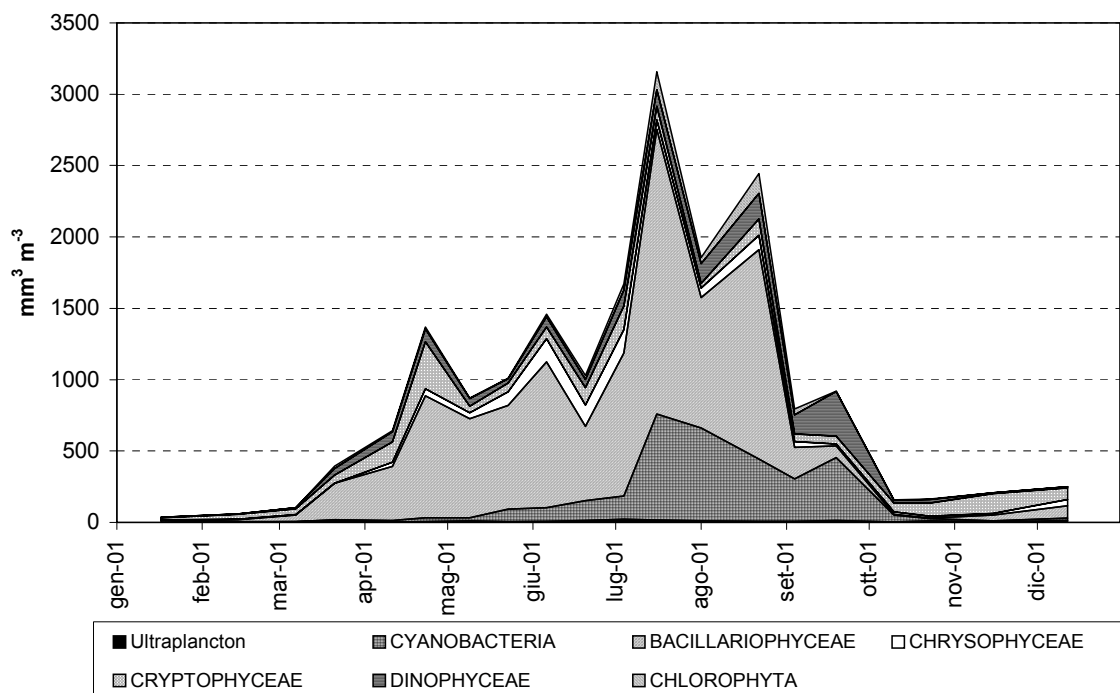


Fig. 3.3.1.2a. Biovolumi cumulati dei principali raggruppamenti sistematici per il 2001.

L'andamento della successione nella prima metà dell'anno è stato caratterizzato dalle modificazioni del popolamento a diatomee. Infatti, verso la metà di Aprile si assiste allo sviluppo di *Asterionella formosa* e *Fragilaria crotonensis*, insieme a *Stephanocostis chantaicus* come specie co-dominante (Fig. 3.3.1.2b). Mentre la crescita di *Asterionella formosa* prosegue fino all'inizio di Agosto, quella di *Fragilaria crotonensis* volge al termine dalla fine di Giugno e questa specie viene sostituita da *Diatoma tenuis*, principale responsabile dei picchi estivi del popolamento a diatomee. Tra Luglio ed Agosto un contributo significativo al biovolume delle diatomee si deve anche a *Cyclotella comensis*. Oltre alla diversa periodicità di sviluppo delle diatomee rispetto al 2000, di cui si è discusso nel paragrafo precedente, è da notare la ricomparsa tra le dominanti di *Diatoma tenuis* (nei precedenti rapporti *Diatoma elongatum*): questa specie, caratteristica delle associazioni fitoplanctoniche del periodo primaverile nel Lago Maggiore (si veda per es. [17]) si era fortemente ridotta tra il 1998 ed il 2000, tanto da non essere più inclusa tra le specie dominanti. La ricomparsa di questa specie, comunemente associata ([18]; [19]) a condizioni di trofia medio-alta, potrebbe essere indice di nuove modificazioni trofiche in atto: tuttavia bisogna ricordare che gli eventi meteorologici dell'Ottobre 2000, culminati con la piena eccezionale del Lago Maggiore, hanno avuto pesanti ripercussioni sul chimismo delle acque lacustri, che hanno interessato anche le concentrazioni dei principali nutrienti algali (in particolare fosforo e silice), con effetti misurabili fino alla primavera del 2001 (vedi Calderoni, Pranzo e Tartari, rapporto presente). La ricomparsa significativa di *Diatoma* potrebbe dunque essere legata a modificazioni occasionali della disponibilità di nutrienti.

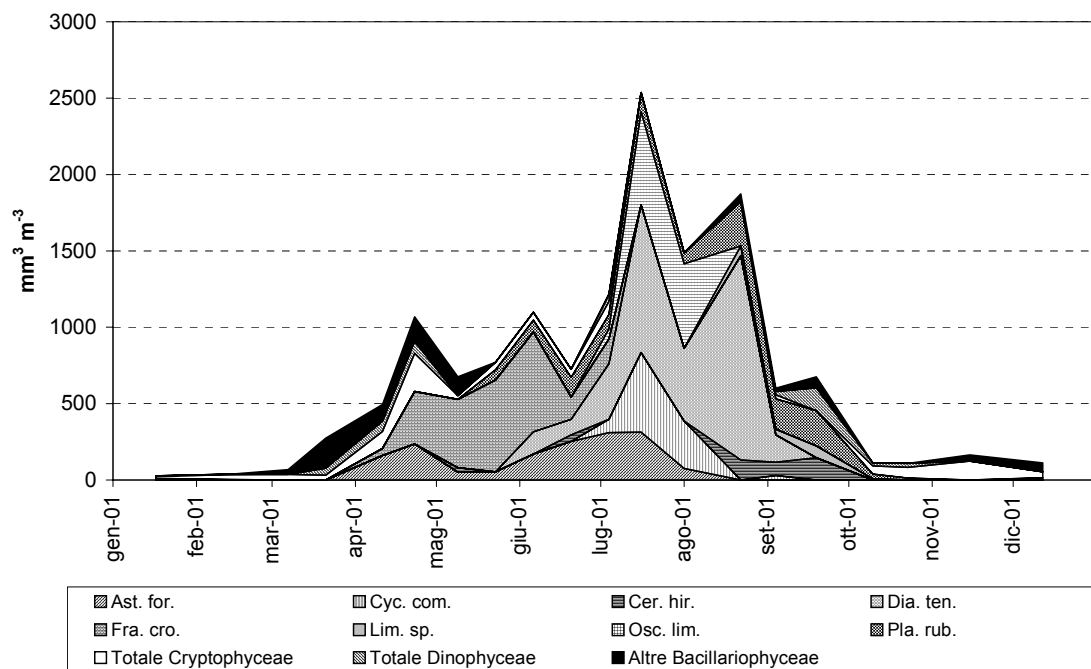


Fig. 3.3.1.2b. Biovolumi cumulati di entità sistematiche particolarmente significative. Ast. for.: *Asterionella formosa*; Fra. cro.: *Fragilaria crotonensis*; Cyc. com.: *Cyclotella comensis*; Lim. sp.: *Limnithrix* sp.; Cer. hir.: *Ceratium hirundinella*; Osc. lim.: *Oscillatoria limnetica*; Dia. ten.: *Diatoma tenuis*; Pla. rub.: *Planktothrix rubescens*.

La fase estiva della successione è caratterizzata, come di consueto, dallo sviluppo dei cianobatteri, tra cui prevalgono *Oscillatoria limnetica* e *Planktothrix rubescens* (*Oscillatoria rubescens* nei precedenti rapporti). Quest'ultima specie compare comunque tra le dominanti anche nelle associazioni primaverile ed autunnale (Fig. 3.3.1.2b). Tra Settembre ed Ottobre si registra anche un certo sviluppo di *Limnithrix* sp.

Per quanto riguarda gli altri gruppi, i dinoflagellati assumono un'importanza rilevante alla fine dell'estate, grazie allo sviluppo di *Ceratium hirundinella*, mentre le Cryptophyta danno un consistente contributo percentuale al biovolume complessivo durante i mesi più freddi dell'anno (Fig. 3.3.1.2b), con *Rhodomonas minuta* e *Rhodomonas lacustris*, specie caratteristiche delle associazioni fitoplanctoniche invernale ed autunnale nel Lago Maggiore [17].

La serie dei dati relativi alla concentrazione della clorofilla *a* mostra i valori mediamente più alti nel periodo della tarda primavera - estate, con il massimo assoluto registrato il 16 Luglio ($6,71 \text{ mg m}^{-3}$). I valori estivi, mediamente intorno a 5 mg m^{-3} , sono allineati con quelli misurati negli ultimi due anni e non evidenziano sviluppi eccezionali di biomasse fitoplanctoniche.

Delle relazioni tra il biovolume e il contenuto cellulare di clorofilla, e del significato che queste assumono nel contesto complessivo dell'evoluzione pluriennale dei popolamenti algali del Lago Maggiore si è discusso in rapporti precedenti: in questa occasione ci interessa sottolineare come il contenuto in clorofilla medio della comunità sia ulteriormente aumentato nel 2001, proseguendo nella tendenza in atto ormai da alcuni anni (Fig. 3.3.1.2c).

In conclusione, le osservazioni compiute nell'anno 2001 confermano, in generale, le tendenze evolutive delle comunità algali che hanno accompagnato l'oligotrofizzazione

del Lago Maggiore nell'arco dell'ultimo decennio, ma, allo stesso tempo, evidenziano, una volta di più, come la dinamica del fitoplancton nel Lago Maggiore sia strettamente dipendente dalle vicende meteorologiche, molto probabilmente responsabili della variabilità interannuale osservata a carico di alcune componenti della biocenosi algale. Di conseguenza, si sottolinea l'importanza degli studi di lungo termine, in quanto permettono, da un lato, di discriminare gli effetti di fenomeni occasionali e, dall'altro, di valutare se le modificazioni osservate siano il risultato di cambiamenti profondi dell'ecosistema.

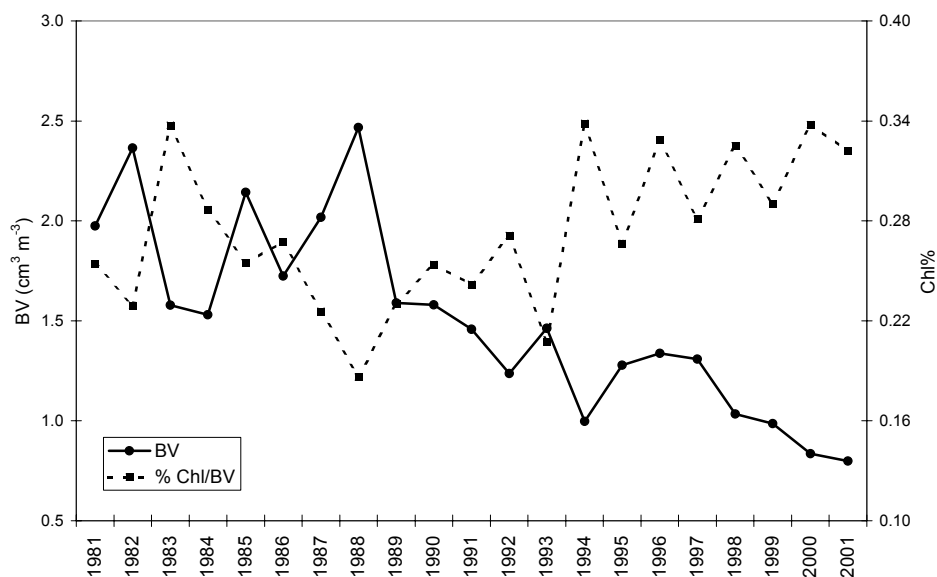


Fig. 3.3.1.2c. Evoluzione pluriennale del biovolume medio annuo e del rapporto percentuale medio annuo tra clorofilla e biovolume.

3.3.2. Indagini sullo zooplancton

3.3.2.1. Dinamica stagionale

Anche per l'anno 2001 sono stati effettuati prelievi di materiale zooplanctonico con cadenza all'incirca mensile presso la stazione ubicata nel punto di massima profondità del Lago (Ghiffa), e rappresentativa della situazione del pelago.

Nel complesso, il popolamento mesozooplanctonico ha raggiunto valori di densità numerica molto elevati, circa doppi di quelli dell'anno precedente. Tale incremento ha interessato i mesi da Aprile a Giugno, durante i quali gli organismi maggiormente rappresentati sono stati, come di consueto, i rotiferi: in particolare, nel mese di Giugno essi hanno costituito una frazione pari all'80% del totale del popolamento (Fig. 3.3.2.1a).

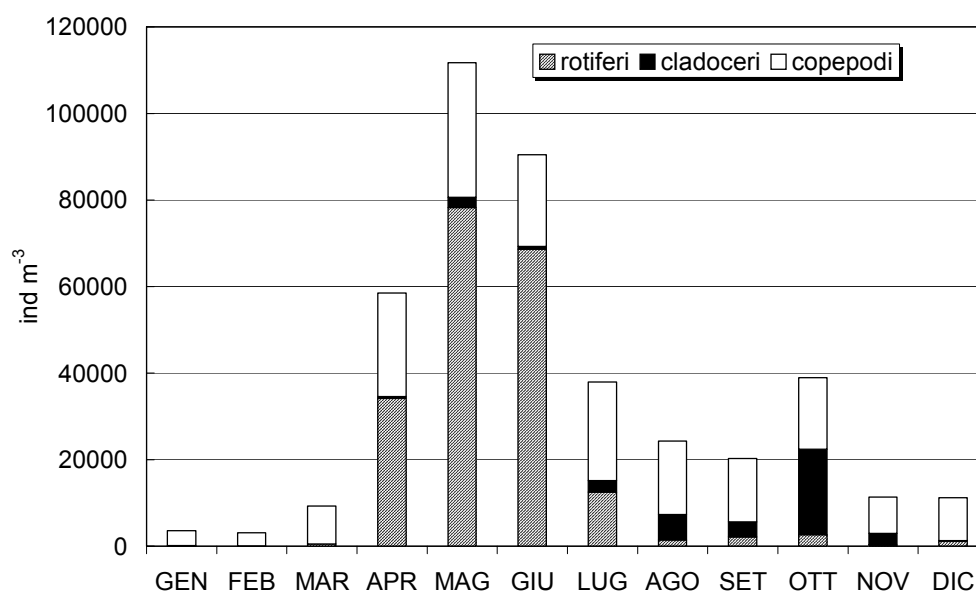


Fig. 3.3.2.1a. Densità di popolazione dello zooplancton durante il 2001.

Nel periodo di massimo sviluppo, la densità numerica dei rotiferi è risultata nel 2001 circa tripla di quella del 2000 (Fig. 3.3.2.1b).

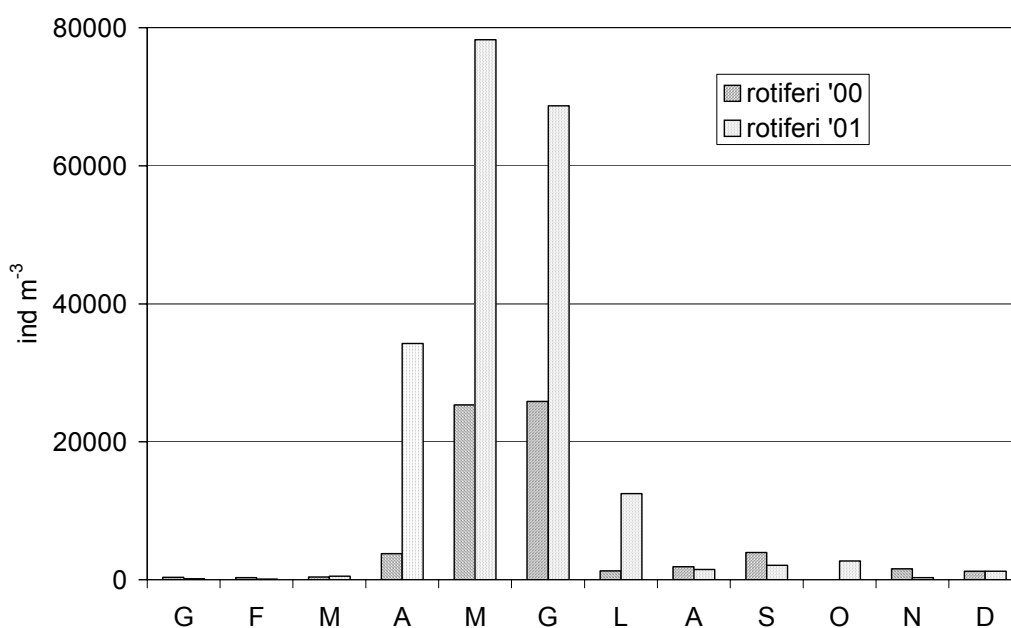


Fig. 3.3.2.1b. Densità di popolazione dei rotiferi: raffronto tra la situazione del 2000 e quella del 2001.

In massima parte, tale crescita numerica è stata determinata da un organismo coloniale, *Conochilus unicornis-hippocrepis*, che è risultato abbondare con numerose colonie di ragguardevoli dimensioni sia a Maggio sia a Giugno (Fig. 3.3.2.1c).

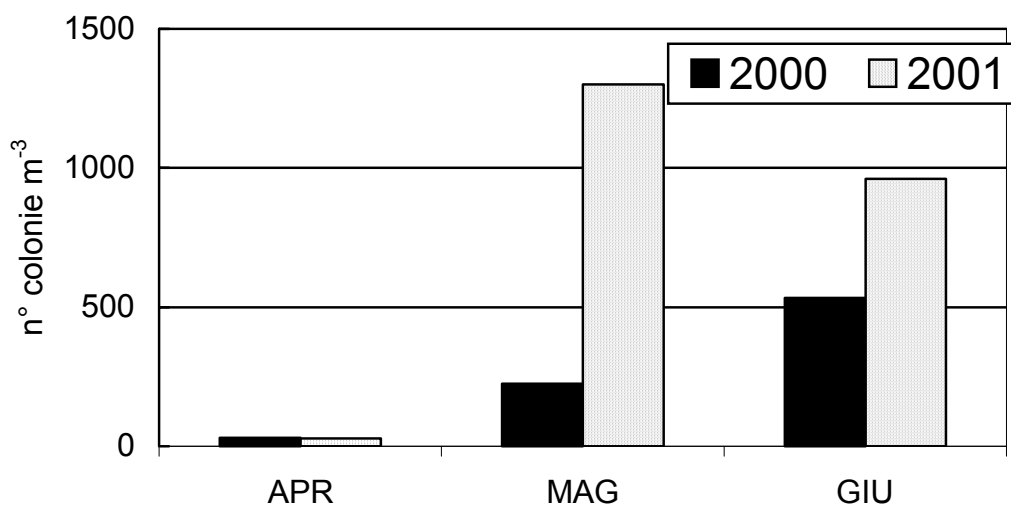


Fig. 3.3.2.1c. Presenza numerica di *Conochilus*: raffronto tra la situazione del 2000 e quella del 2001.

Nei mesi centrali dell'anno anche i copepodi sono risultati più abbondanti (da Aprile ad Agosto) che non nell'anno passato, soprattutto a Maggio, quando la loro densità di popolazione è risultata circa doppia di quella del 2000. L'incremento è stato in massima parte determinato dalla componente naupliare, quella normalmente numericamente predominante (Fig. 3.3.2.1d).

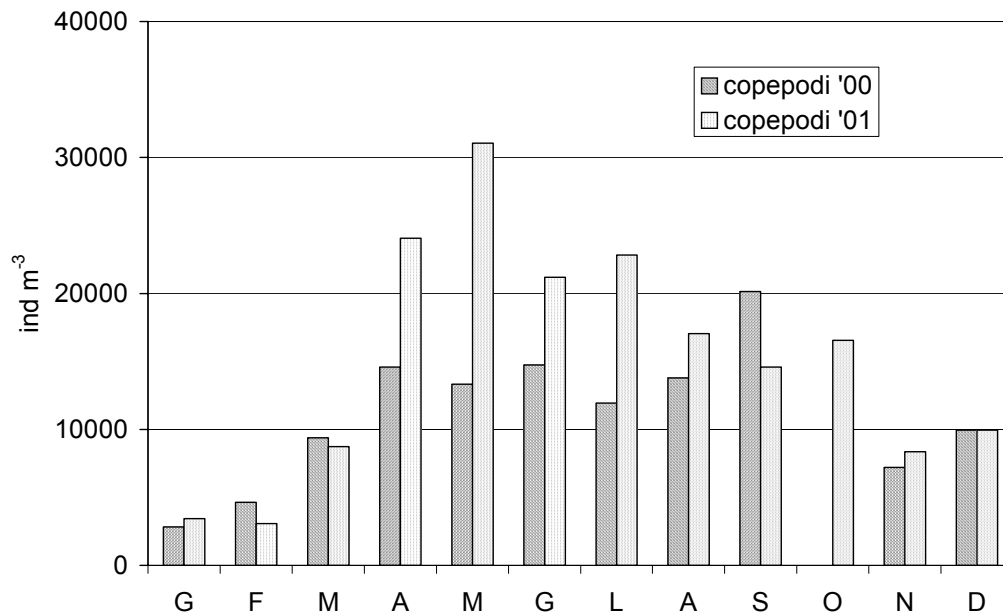


Fig. 3.3.2.1d. Densità di popolazione dei copepodi: raffronto tra la situazione del 2001 e quella del 2000.

Un dato singolare dell'anno 2001 è rappresentato dalla predominanza dei cladoceri ad Ottobre, mese nel quale essi costituivano l'80% del totale del mesozooplankton. Tale considerevole contributo è stato in massima parte dovuto a *Diaphanosoma brachyurum*, specie che ha dominato il popolamento fino ad Ottobre (Fig. 3.3.2.1e), mentre nel periodo Aprile-Giugno è risultata maggiormente presente *Daphnia*. I due cladoceri differiscono anche per taglia corporea e per lo spettro dimensionale delle particelle alimentari, inferiori nel primo.

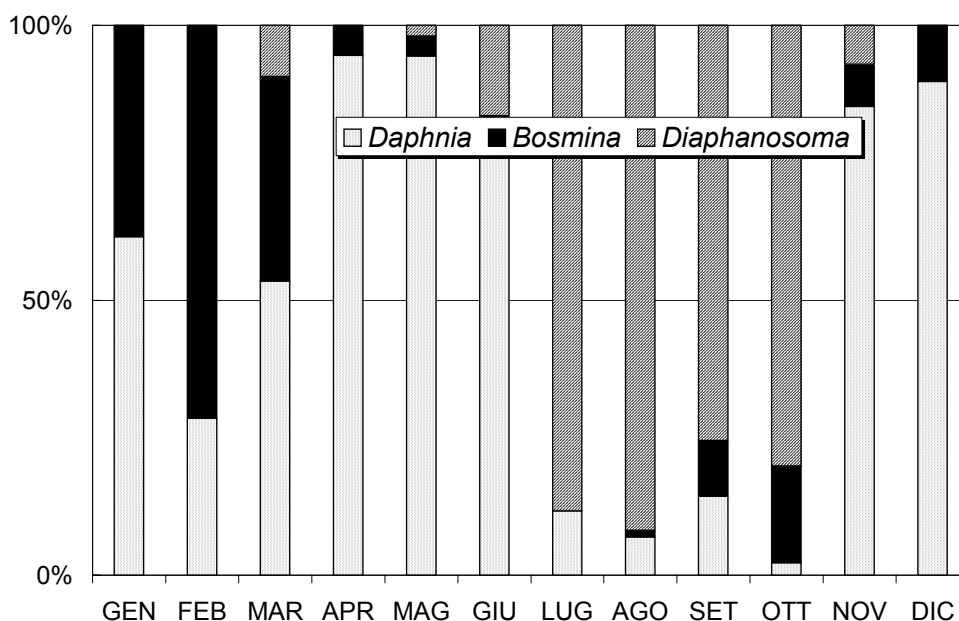


Fig. 3.3.2.1e. Ripartizione percentuale della presenza numerica all'interno dei cladoceri non predatori.

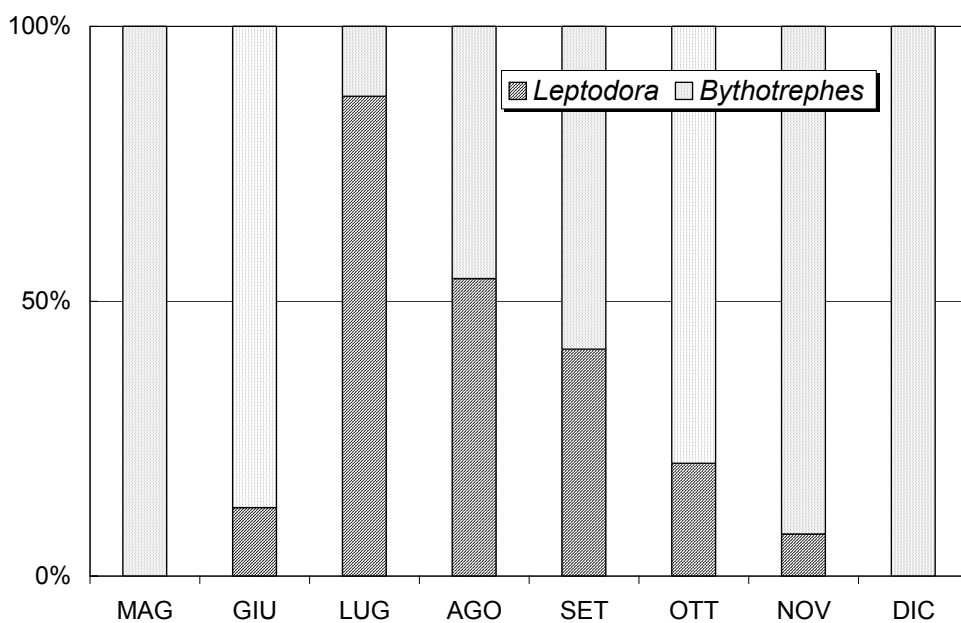


Fig. 3.3.2.1f. Ripartizione percentuale dell'abbondanza numerica dei due cladoceri predatori *Leptodora kindtii* e *Bythotrephes longimanus* nel corso del 2001.

Delle due specie di predatori *Leptodora kindtii* e *Bythotrephes longimanus*, è stata la prima a dominare nei mesi più caldi, soprattutto a Luglio.

3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi

Le concentrazioni di carbonio organico totale misurate lungo la colonna d'acqua nel corso dell'anno sono presentate nella tabella 3.4. insieme ai valori medi relativi alla zona eufotica (0-20 m) ed afotica (20-350 m). Da essa si può costatare che anche nel 2001 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 detto è evidente in figura 3.4a dove è presentata l'evoluzione delle concentrazioni del TOC negli anni 2000 e 2001 nella zona eufotica del Lago Maggiore. Nella figura è pure presentata l'evoluzione della densità del popolamento batterico nello stesso periodo. Entrambe le variabili non hanno mostrato, dal punto di vista quantitativo, variazioni significativamente diverse da un anno all'altro pur essendo caratterizzate da un'evoluzione stagionale diversa nei due anni. In particolare, i valori massimi di TOC nel 2001 sono stati misurati a fine estate e la densità del popolamento batterico è rimasta elevata per tutto il periodo produttivo, senza presentare il trend bimodale evidenziatosi nel 2000.

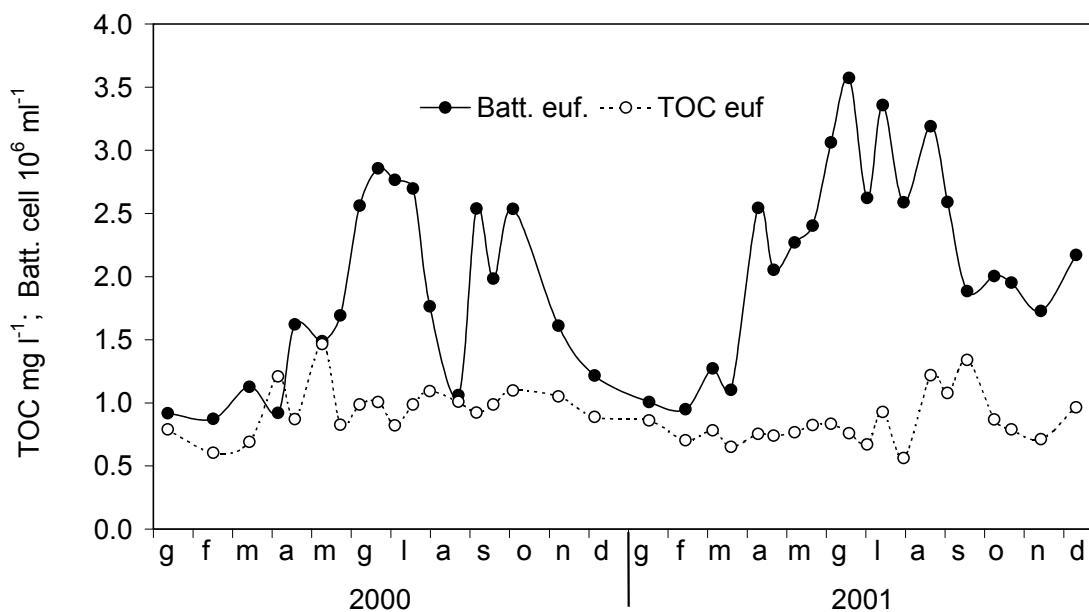


Fig. 3.4a. Valori della concentrazione di carbonio organico totale (TOC: mg l⁻¹) e della densità dei popolamenti batterici eterotrofi (cell 10⁶ ml⁻¹): confronto tra gli anni 2000 e 2001.

Per quanto riguarda l'evento di piena dell'Ottobre 2000 sul carbonio organico e sui popolamenti batterici, il fenomeno non sembra aver avuto un effetto rilevante su queste variabili. Forse il fatto che la densità del popolamento batterico sia rimasta elevata per tutto il periodo produttivo, senza presentare il trend bimodale evidenziatosi nel 2000, potrebbe essere in relazione all'imput di substrato legato alla piena ma si tratta di un'ipotesi eventualmente verificabile soltanto analizzando una serie temporale lunga. Si tratta comunque di densità batteriche non eccezionalmente elevate e forse anche impu- tabili all'elevata variabilità di questo parametro.

Al contrario è ben evidente, dal confronto biennale, l'influenza del fenomeno di piena sulla concentrazione del particolato totale (seston) (Tab. 3.4.). Questa ha raggiunto valori assai elevati in concomitanza con l'evento di piena del mese di Ottobre 2000 per poi scendere rapidamente nei mesi seguenti l'evento. Questa evoluzione temporale è ben visibile nella figura 3.4b dove sono confrontati i trend stagionali del TOC e del seston nella zona eufotica del Lago Maggiore. La rapida diminuzione della concentrazione di seston dopo l'evento di piena e la scarsa influenza di questo evento sulla concentrazione di TOC fa ritenere che l'apporto alloctono attribuibile alla piena sia stato prevalentemente costituito da materiale inorganico particellato, con densità specifica maggiore rispetto alla componente organica e quindi caratterizzato da velocità di sedimentazione elevata, almeno nell'intervallo dimensionale da noi considerato (dal disciolto alle particelle con dimensioni fino a 126 μm).

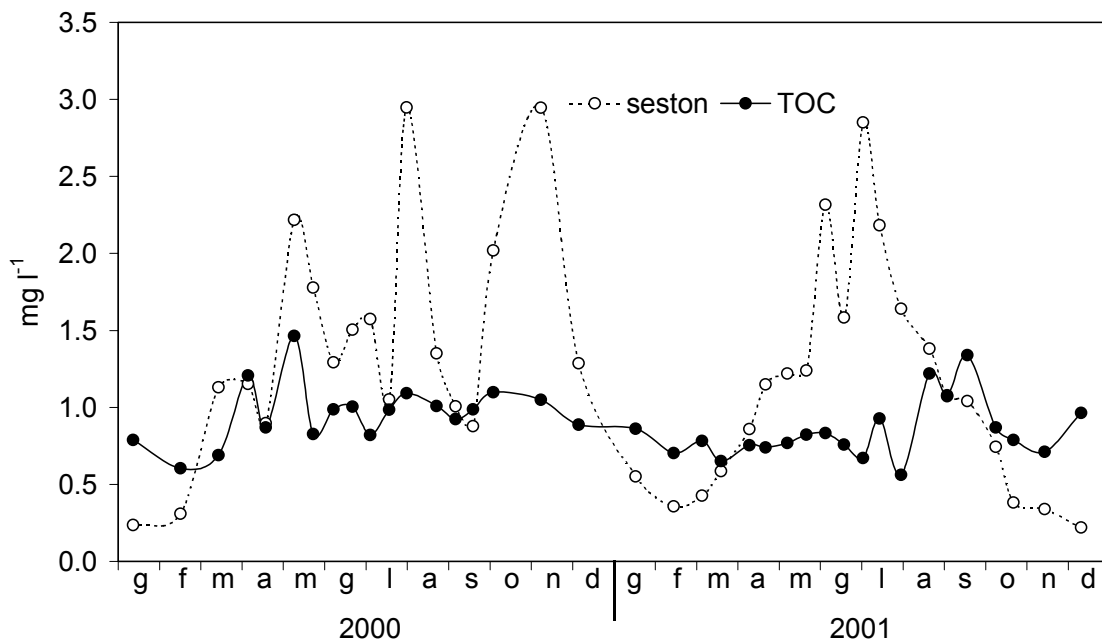


Fig. 3.4b. Valori della concentrazione del carbonio organico totale (TOC: carbonio disciolto e particellato con dimensioni > 1,2 μm ; linea continua) e del seston (particellato organico ed inorganico con dimensioni > 1,2 μm ; linea tratteggiata) nella zona eufotica del Lago Maggiore nel 2000 e nel 2001.

Tab. 3.4. 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: cell 10^6 ml^{-1}) misurate nel 2001.

2001	17-gen	14-feb	07-mar	21-mar	11-apr	23-apr	09-mag	23-mag	06-giu	20-giu	04-lug	16-lug	01-ago	22-ago	04-set	19-set	10-ott	23-ott	15-nov	12-dic
Seston mg l^{-1}																				
zona eufotica	0,552	0,359	0,426	0,586	0,86	1,15	1,22	1,241	2,317	1,585	2,851	2,183	1,641	1,382	1,072	1,042	0,745	0,383	0,340	0,221
zona afotica	0,349	0,266	0,26	0,187	0,278	0,331	0,326	0,255	0,362	0,337	0,298	0,135	0,451	0,345	0,241	0,253	0,178	0,202	0,149	0,176
POC $\mu\text{g l}^{-1}$																				
zona eufotica	97	95	145	223	290	380	274	230	422	377	452	677	366	408	378	412	186	167	125	146
zona afotica	45	43	58	50	75	113	175	69	81	76	83	87	101	103	88	91	72	61	51	56
TOC mg l^{-1}																				
20 m	0,716	0,619	0,731	0,574	0,648	0,646	0,914	0,678	0,645	0,569	0,448	0,914	0,577	0,952	0,824	0,844	0,729	0,575	0,685	0,861
50 m	0,733	0,731	0,668	0,504	0,621	0,613	0,87	0,608	0,799	0,537	0,462	0,608	0,387	0,838	0,811	0,774	0,549	0,55	0,594	0,776
100 m	0,656	0,655	0,66	0,556	0,607	0,611	0,833	0,598	0,626	0,562	0,421	0,625	0,931	0,768	0,741	0,773	0,613	0,498	0,632	0,767
200 m	0,663	0,568	0,662	0,482	0,589	0,606	0,82	0,55	0,601	0,533	0,355	0,585	0,302	0,764	0,69	0,697	0,451	0,367	0,701	0,711
300 m	0,603	0,56	0,683	0,467	0,53	0,579	0,828	0,524	0,632	0,525	0,357	0,536	0,645	0,864	0,729	0,705	0,662	0,387	0,667	0,719
350 m	0,608	0,538	0,694	0,47	0,549	0,565	0,806	0,55	0,59	0,520	0,341	0,557	0,336	0,864	0,695	0,691	0,526	0,409	0,686	0,741
zona eufotica	0,861	0,704	0,783	0,651	0,754	0,741	0,768	0,823	0,833	0,759	0,672	0,929	0,562	1,220	1,079	1,34	0,869	0,79	0,713	0,965
zona afotica	0,626	0,594	0,654	0,473	0,594	0,536	1,022	0,613	0,549	0,495	0,433	0,766	0,469	0,955	0,703	0,725	0,617	0,421	0,575	0,766
CMD cell 10^6 ml^{-1}																				
zona eufotica	0,84	0,95	1,27	1,10	2,55	2,05	2,27	2,40	3,06	3,57	2,62	3,36	2,59	3,19	2,59	1,89	2,00	1,95	1,73	2,17
zona afotica	0,56	0,73	0,62	0,54	0,63	0,70	0,55	0,56	0,80	1,04	0,89	0,85	0,67	0,90	0,71	0,77	1,05	0,76	0,87	0,98

3.5. Distribuzione orizzontale del Carbonio Organico e delle variabili ad esso associate nel Lago Maggiore

Nel corso del 2001 si sono effettuate altre 4 campagne di campionamento (in primavera, estate, autunno ed inverno) prelevando campioni integrati da 0 a 20 metri nella zona eufotica del Lago Maggiore. Come già nell'anno precedente, i campioni sono stati prelevati con un campionatore integratore (Bertoni, brevetto num. MI 96/A 000121) in 18 stazioni collocate lungo transetti (Fig. 3.5a) appositamente scelti in modo da campionare zone significative della superficie del Lago Maggiore.

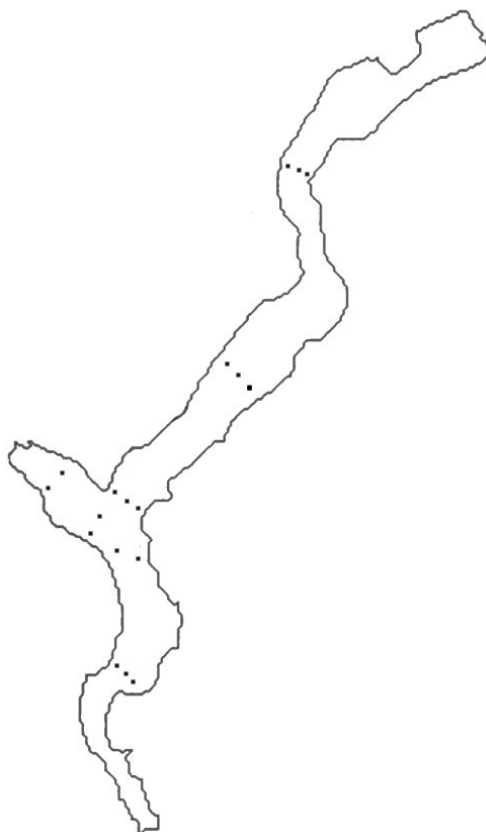


Fig. 3.5a. Stazioni di campionamento per lo studio della distribuzione orizzontale.

Obiettivo della ricerca era di pervenire ad una valutazione della variabilità spaziale e temporale, nella zona fotica del Lago Maggiore, dei parametri caratterizzanti il carbonio organico presente nelle acque. E' una zona importante perché rappresenta circa 1/7 del volume totale del lago e perché in essa è prodotta la maggior parte del carbonio organico e, soprattutto, della frazione particellata (POC). Il POC può risiedere a lungo nella zona fotica, incorporando per fenomeni biologici (bioaccumulo) o puramente fisici (adsorbimento, adesione) eventuali contaminanti che possono venire trasferiti in località diverse dai movimenti delle masse d'acqua per essere, alla fine, trasportati al fondo quando il particellato abbandona, per sedimentazione, la zona di produzione.

Per esprimere graficamente l'eterogeneità spaziale dei diversi parametri si sono costruite mappe delle isolinee delle concentrazioni per ciascuna variabile e ciascun cam-

pionamento. Si è utilizzato il programma Surfer 7 (Golden Software Inc.) e per produrre la necessaria serie di valori regolarmente spaziatati di Z a partire da dati XYZ irregolarmente spaziatati si è impiegato il metodo Kriging, un metodo di grigliatura geostatistica ampiamente utilizzato in molti campi che produce mappe realistiche in quanto tiene conto del trend spaziale dei dati.

Nel valutare la consistenza della differenza tra le aree identificate dalle isolinee, si deve considerare che le classi sono state individuate in modo da essere notevolmente più ampie del CV% tipico di ciascun parametro, riportato in tabella 3.5. Le classi proposte risultano quindi ben differenziate e comunque tali da individuare zone di lago significativamente diverse.

Tab. 3.5. Dimensione delle classi e CV% tipico per ciascuna variabile misurata.

parametro	unità	CV %	dimensione classi	±
seston	mg l ⁻¹	4:	0,25	0,01
POC	µg l ⁻¹	4:	50	2
DOC	µg l ⁻¹	2:	100	4
clorofilla	µg l ⁻¹	4:	1	0,04
batteri	cell. 10 ⁶	10:	0,3	0,03

Passando in rassegna i parametri misurati, il seston (Fig. 3.5c), cioè il materiale particellato sospeso nelle acque, organico ed inorganico, vivente e non vivente, nei periodi invernali 2000 e 2001 appare in mappa con valori bassi e con due classi di valori (0-0,3 e 0,3-0,5 mg l⁻¹) che da sole coprono oltre il 98% dell'intera area del lago. Col progredire della stagione (campionamenti primaverili ed estivi) i valori di concentrazione si alzano e l'area del lago arriva a ripartirsi in almeno tre classi di concentrazione. Nel 2000 in particolare si instaura un gradiente di densità del seston con concentrazioni crescenti da est ad ovest. La distribuzione autunnale nel 2000, valutata il 22-11-00 cioè quasi un mese dopo il fenomeno di piena dell'Ottobre, risente ancora degli effetti di tale evento. Le concentrazioni di seston sono, infatti, superiori a quelle estive. Si tratta però principalmente di materiale di origine alloctona, legato all'apporto di particellato fine di origine minerale dal bacino imbrifero. Questo risulta evidente dal confronto con la distribuzione orizzontale del POC che nello stesso campionamento ha presentato concentrazioni modeste e comparabili con quelle misurate nel periodo invernale (Fig. 3.5d). L'autunno 2001, meno anomalo di quello del precedente anno, mostra un lago dove due sole classi di concentrazione sono rappresentative dell'intera superficie lacustre.

La distribuzione orizzontale del carbonio organico particellato (POC: Fig. 3.5d) risulta essa pure tale che, in autunno ed inverno, l'intera superficie lacustre è totalmente rappresentata da due classi di concentrazione soltanto. Le situazioni primaverili ed estive sono, invece, caratterizzate, oltre che da valori più elevati, con un ripartizione in classi più variabile. Nella primavera 2000 e nell'estate 2001, in particolare, si è evidenziata una situazione di concentrazioni di POC crescenti da est ad ovest. Il campionamento autunnale del 2000, effettuato a circa un mese dalla piena, mostra una distribuzione orizzontale del POC simile a quella invernale anche se con concentrazioni di poco più elevate. L'input di POC a seguito dell'evento di piena non sembrerebbe, quindi, essere stato particolarmente rilevante. Il carbonio organico disciolto (DOC: Fig. 3.5e), determinato per differenza a partire da misure del carbonio organico totale e particellato, ha presentato una distribuzione orizzontale relativamente omogenea nell'ambito di

ciascun campionamento stagionale anche se con valori crescenti dall'inverno all'estate. Nel campionamento tardo autunnale del 2000 la concentrazione del DOC è risultata in tutto il lago particolarmente elevata rispetto agli altri campionamenti dello stesso anno. Si può ipotizzare che questa situazione sia dovuta alla diversa "memoria" del lago per gli apporti dovuti alla piena di Ottobre. Infatti, mentre il particolato viene rapidamente segregato al fondo per sedimentazione, la componente disciolta, rapidamente diffusibile e poco sedimentabile, deve rimanere nelle acque lacustri fino alla sua mineralizzazione o alla sua progressiva diluizione e/o esportazione attraverso l'emissario. Nonostante la sostanziale omogeneità di distribuzione del DOC, nell'Agosto del 2001 anche questa variabile presenta valori piuttosto elevati ed un evidente gradiente di concentrazione decrescente da est ad ovest.

Per quanto riguarda la clorofilla (Fig. 3.5f), parametro che, dipendendo dalla densità del popolamento algale rispecchia direttamente la produttività delle masse d'acqua, la sua elevata eterogeneità spaziale mette in evidenza un chiaro gradiente di concentrazione decrescente da est ad ovest nei periodi primaverili ed estivi del 2000 e del 2001. Il quadro, illustrato per seston e POC, di eterogeneità invernale ed autunnale elevata ma confinata in un range ristretto di valori, non vale per la distribuzione orizzontale della clorofilla nell'inverno 2001. Infatti, i valori bassi, "invernali", di clorofilla misurati in tale campionamento, risultano comunque sufficientemente elevati da far emergere un'area a concentrazione elevata nel bacino borromeo. Questa situazione potrebbe avere le sue radici nel fenomeno di piena dell'autunno precedente. Infatti, le eccezionali condizioni idrologiche legate al fenomeno di piena possono aver apportato nutrienti biodisponibili o fattori di crescita non utilizzati immediatamente dopo la piena (la clorofilla risulta omogeneamente distribuita nel Novembre 2000) ma ancora presenti nel Febbraio 2001 in concentrazioni tali da permettere un certo sviluppo di popolazioni algali nonostante le condizioni climatiche limitanti.

Anche i popolamenti batterici (Fig. 3.5g) hanno presentato i valori massimi di densità nei campionamenti primaverili ed estivi, senza però il manifestarsi di una qualche regolarità nella distribuzione orizzontale. Costituiscono un'eccezione i campionamenti autunnali quando, con maggior evidenza nel 2001, il popolamento batterico è presente con densità crescenti da nord a sud.

Per esprimere quantitativamente l'eterogeneità spaziale caratteristica di ciascuna variabile, si è misurata, con un software di Image Analysis (Image Pro Plus), l'area di lago coperta da ciascuna classe nei diversi campionamenti, facendo uguale a 100 l'area totale del lago. A partire da questi valori si è calcolato e messo in grafico come istogrammi (Fig. 3.5b) il numero di classi necessarie per descrivere l'intera superficie lacustre. E' ovvio più tale numero si avvicina all'unità più il lago è omogeneo per una certa variabile.

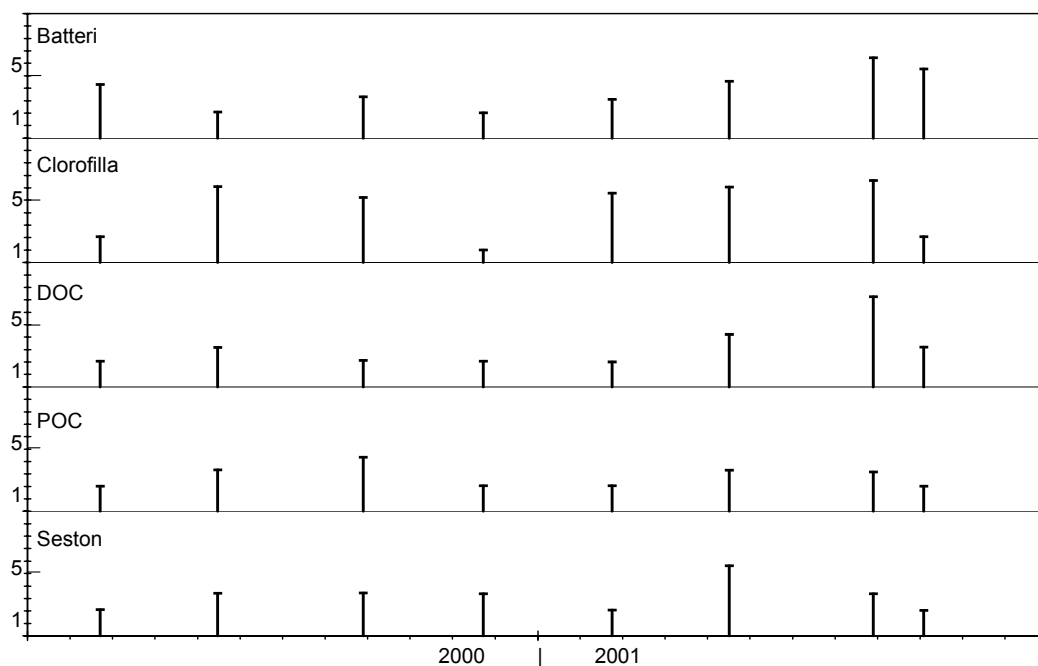


Fig. 3.5b. Variazione temporale, per ciascuna variabile, del numero di classi (in ascisse) necessario per descrivere l'intera superficie lacustre.

Dal confronto dei grafici di figura 3.5b e da quanto detto precedentemente si può concludere che la sostanza organica disciolta risulta piuttosto omogeneamente distribuita nella zona eufotica del Lago Maggiore sia nello spazio che nel tempo.

Al contrario, il materiale particellato totale e le sue diverse componenti non appaiono omogeneamente distribuite. Di questo si deve tener conto instaurando bilanci di massa o valutazioni della diffusione orizzontale di sostanze associate al particellato. Inoltre l'eterogeneità spaziale del particellato è caratterizzata da un'ampia variabilità stagionale e presenta un andamento bimodale con massima eterogeneità spaziale nei periodi produttivi evidente nonostante la perturbazione determinata dall'imput alloctono eccezionale legato alla piena del 2000.

Infine la clorofilla, indice dell'abbondanza del popolamento fitoplanctonico, ha presentato per due anni una più elevata eterogeneità spaziale nelle stagioni produttive insieme ad un evidente gradiente di concentrazione decrescente da est ad ovest. Questo indica l'esistenza di condizioni più favorevoli allo sviluppo algale a ridosso della sponda orientale del Lago Maggiore.

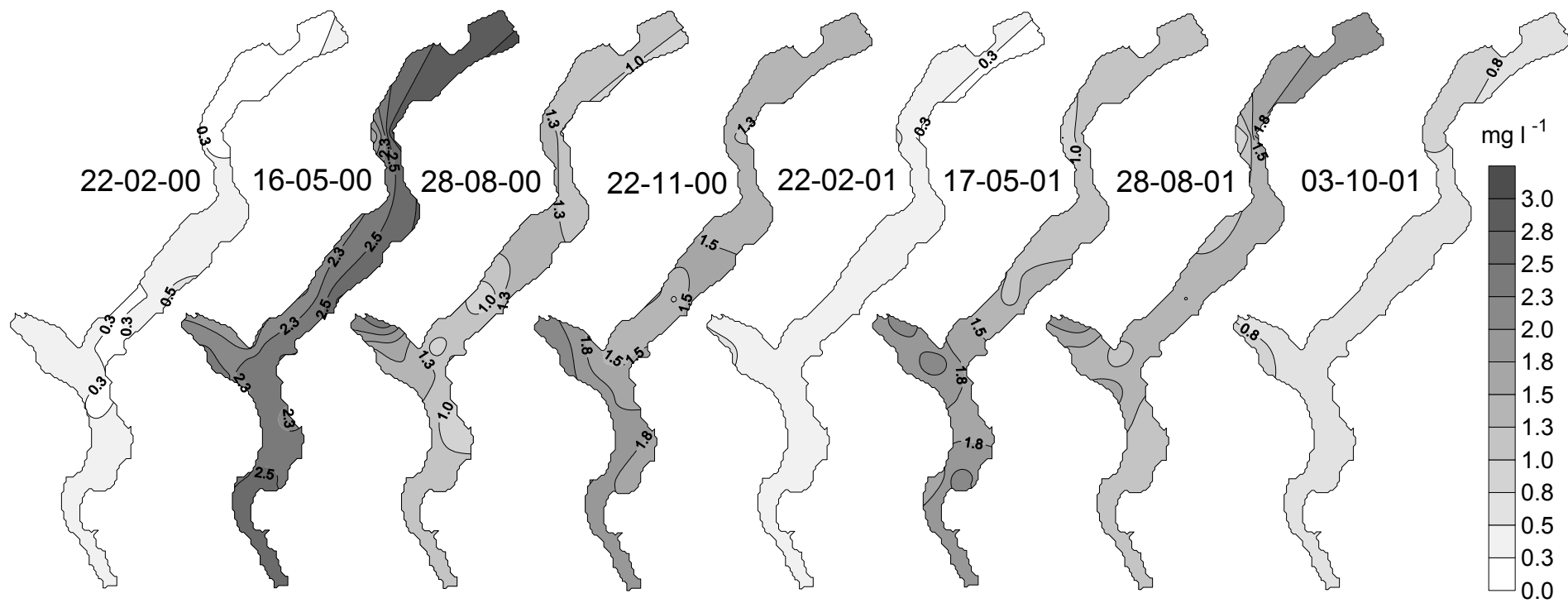


Fig. 3.5c. Distribuzione orizzontale del seston nel 2000 e nel 2001.

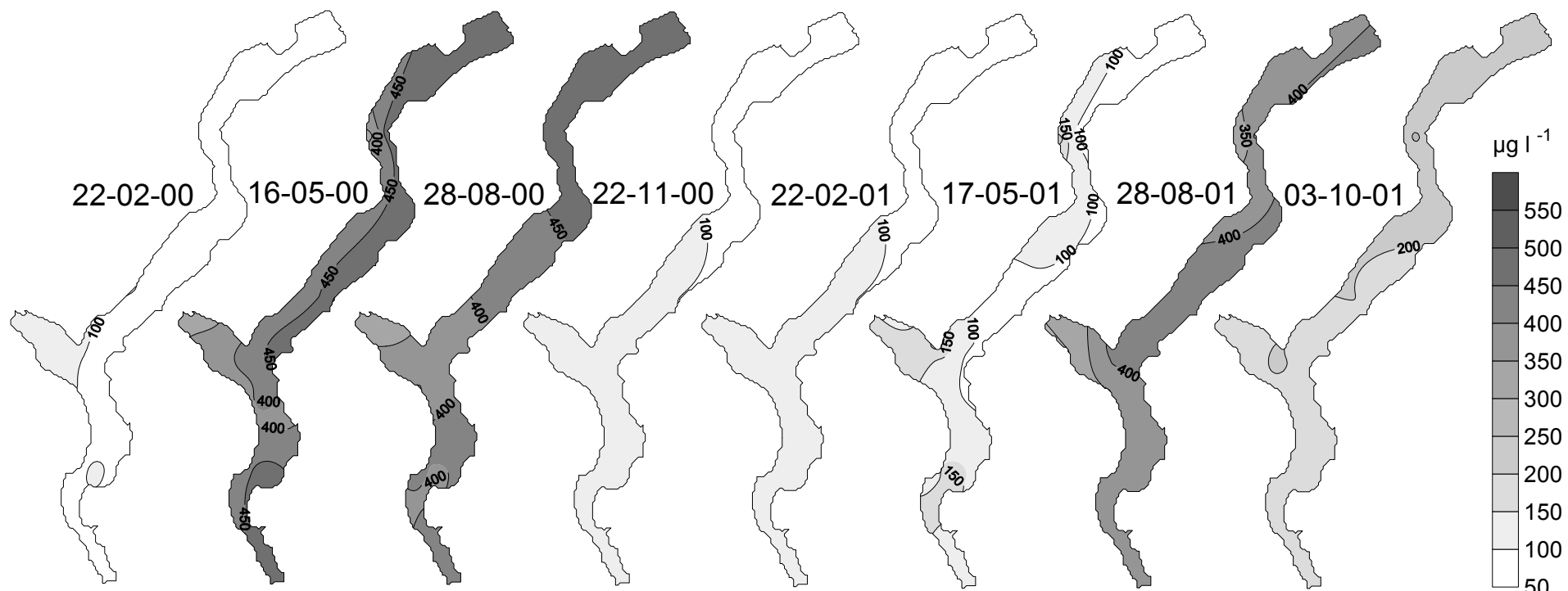


Fig. 3.5d. Distribuzione orizzontale del POC (carbonio organico particellato con dimensioni > 1,2 µm) nel 2000 e nel 2001.

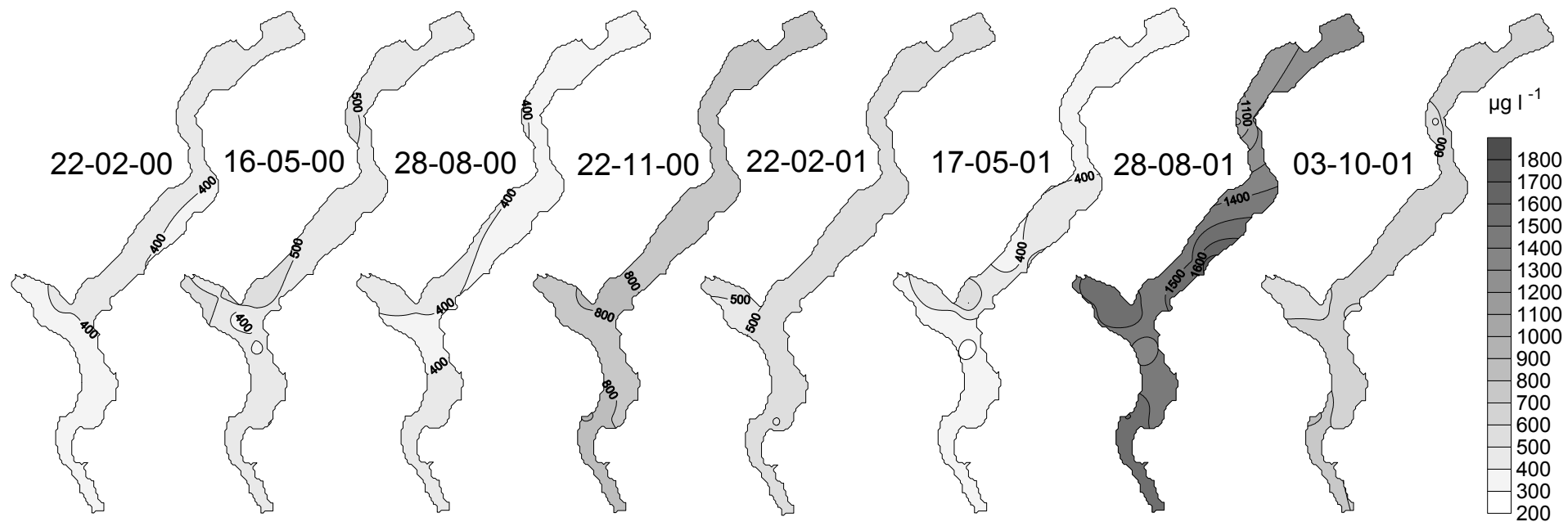


Fig. 3.5e. Distribuzione orizzontale del DOC (carbonio organico disciolto) nel 2000 e nel 2001.

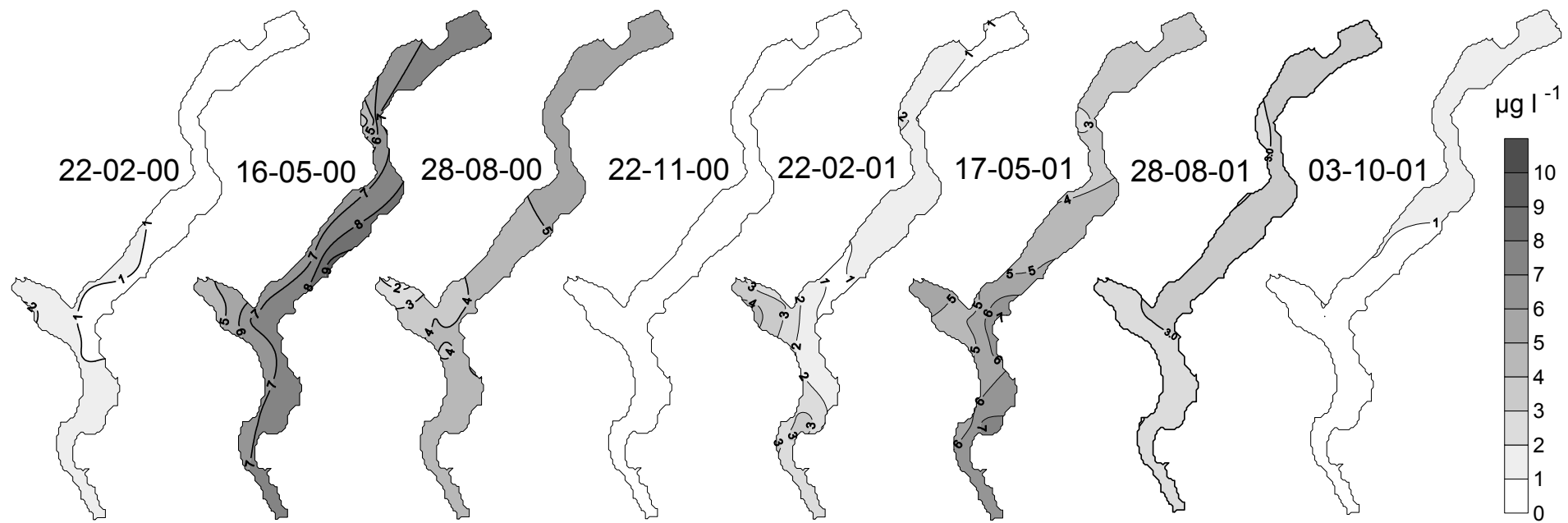


Fig. 3.5f. Distribuzione orizzontale della clorofilla nel 2000 e nel 2001.

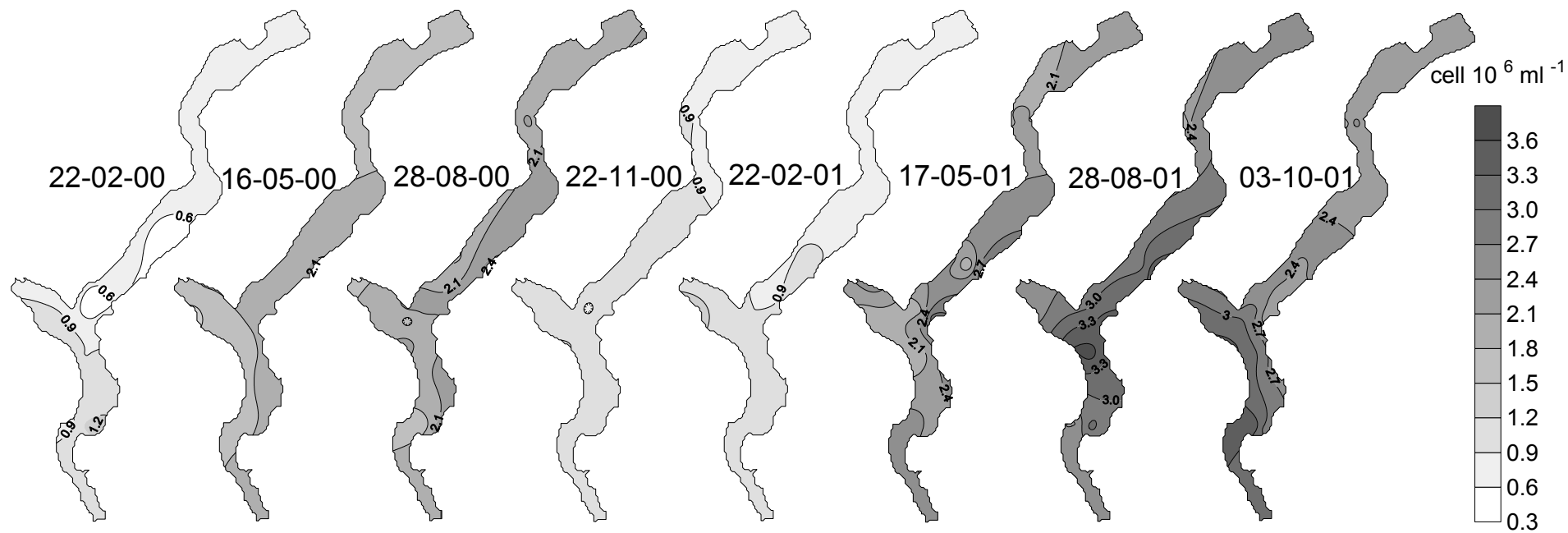


Fig. 3.5g. Distribuzione orizzontale della microflora batterica totale nel 2000 e nel 2001.

4. CONCLUSIONI

Dal confronto dei risultati ottenuti nel corso del 2001 con quelli che si stanno raccogliendo con continuità dal 1978 emerge che il Lago Maggiore permane attestato su livelli trofici che lo collocano in posizione di oligotrofia. In effetti, ci si poteva attendere, nel corso del 2001, qualche deviazione dal trend consueto degli ultimi anni in conseguenza della piena dell'autunno 2000, la più importante nell'ultimo secolo. Era, infatti, ipotizzabile che le enormi quantità d'acqua affluite al lago, ricche in soluti ed in materiale in sospensione, potessero alterare il corretto funzionamento dell'ecosistema.

In realtà la piena del 2000 sembra aver indotto alterazioni modeste dello stato trofico del lago, almeno nel breve termine, che saranno di seguito illustrate insieme ai principali risultati scaturiti durante il 2001.

Gli eventi meteorici che hanno caratterizzato nel 2001 l'areale del Lago Maggiore possono essere così sintetizzati: a una prima parte dell'anno piovosa, caratterizzata da un innevamento molto abbondante in montagna, sono seguiti mesi di Maggio ed Agosto molto caldi, abbondanti precipitazioni in Giugno e Luglio, un Ottobre particolarmente mite e una fine dell'anno asciutta, con periodi molto freddi, che ha rappresentato l'inizio di un lungo periodo di siccità che si è protratto sino al Febbraio 2002. Le precipitazioni durante il 2001 hanno raggiunto i 1446 mm, valore inferiore del 15% circa rispetto ai valori medi degli anni di riferimento. Per trovare, nella serie storica, un valore inferiore a quello registrato nel 2001, bisogna tornare al 1997 quando si registrarono 1405 mm.

Nel 2001 è proseguito il netto riscaldamento della massa lacustre. Si è infatti osservato un incremento calorico della massa lacustre nello strato al di sotto di -100 m, accentuato anche dalla modesta profondità raggiunta dalla circolazione verticale invernale che è stata di poco inferiore agli 80 metri, valore molto basso, ma abbastanza usuale per il Lago Maggiore nel ventennio precedente al 1999. Si deve quindi concludere che nel 2001 è ripreso il riscaldamento delle acque profonde interrotto dal mescolamento totale del 1999 e dalla cospicua discesa di acqua fredda in profondità nel 2000.

Per quanto riguarda le concentrazioni di ossigeno nelle acque del Lago Maggiore, prescindendo dagli strati superficiali ove le fluttuazioni sono legate per lo più alla produzione algale, negli strati più profondi esse hanno presentato nel 2001 un'evidente diminuzione rispetto ai due anni precedenti. La situazione del 2001 è la conseguenza del fatto che la circolazione invernale, legata ai moti convettivi, ha interessato soltanto gli strati più superficiali del lago, nonché dall'elevata deossigenazione delle acque ipolimniche alla quale ha contribuito anche la presenza del particolato organico fine e a lenta sedimentazione derivante dalla piena autunnale del 2000.

Le concentrazioni medie delle principali specie ioniche nell'intera massa lacustre sono risultate leggermente diverse da quelle misurate in anni precedenti. In particolare, rispetto ai valori del 2000, si è accertato un leggero incremento della concentrazione media di alcalinità totale (0,82 contro 0,80 meq l⁻¹) accompagnato da una lieve diminuzione dei tenori medi di solfati (0,59 contro 0,63 meq l⁻¹), mentre sono rimasti praticamente invariati il contenuto ionico totale (3,07 contro 3,06 meq l⁻¹) e la conducibilità (147 contro 148 μ S cm⁻¹). Si tratta di variazioni modeste, probabilmente originate dall'evento di piena autunnale del 2000 al quale era associata una rilevante quantità di particolato inorganico e organico, in parte laminato sulla superficie lacustre ed in parte infiltrato al di sotto del termoclinio fino a strati compatibili per temperatura e densità. La persistenza in lago di questi materiali si è prolungata nel tempo, interessando dapprima gli strati più superficiali per poi trasferirsi lentamente nei mesi successivi verso le zone

più profonde. Ciò non ha, tuttavia, influenzato pH e saturazione epilimnetica di ossigeno poiché queste variabili mostrano andamenti simili a quelli dell'anno precedente e dell'intero decennio considerato.

Nel 2001, le concentrazioni medie di silicati reattivi nell'intero lago, pur mostrando lo stesso andamento stagionale dell'ultimo decennio, sono risultate nettamente più alte a causa della piena già menzionata, presentando valori compresi tra 1,6 e 1,8 mg Si l⁻¹. Nello strato epilimnico si è invece constatato un deciso aumento nei mesi immediatamente successivi alla piena fino al Marzo 2001; da allora i contenuti medi di silicati, per effetto delle fioriture primaverili e tardo estive di diatomee, hanno raggiunto i livelli stagionali registrati nell'ultimo periodo caratterizzato da consumi in linea con il completamento del processo di oligotrofizzazione del lago.

Per quanto riguarda i nutrienti, come negli anni passati sono risultate del tutto trascurabili le concentrazioni di azoto nitroso e di azoto ammoniacale. Nel caso dell'azoto nitrico e dell'azoto totale, i tenori medi nell'intera massa lacustre sono risultati simili a quelli accertati negli ultimi anni rimanendo compresi rispettivamente tra 0,81 e 0,86 mg N-NO₃ l⁻¹ e tra 0,87 e 1,01 mg N l⁻¹.

A riguardo del fosforo c'è da dire che, se dal 1978 al 2000 l'andamento delle concentrazioni di fosforo totale poteva essere idealmente suddiviso in tre periodi corrispondenti alla fase di riduzione dei contenuti in lago (1978–1992), alla loro stabilizzazione su livelli compresi tra 8 e 10 µg P l⁻¹ (1993–1997) e alla successiva leggera crescita verso tenori compresi tra 10 e 12 µg P l⁻¹ (1998–2000), l'anno in studio si è invece caratterizzato per una tendenza alla diminuzione emersa soprattutto da Agosto a Novembre. In effetti, da Gennaio a Luglio i tenori medi nell'intera massa lacustre si sono mantenuti su valori di 11 e 12 µg P l⁻¹, mentre da Agosto a Novembre i contenuti sono scesi fino a 9–10 µg P l⁻¹. Le ragioni di questa evoluzione temporale non sono chiare, ma si può ipotizzare che l'osservata riduzione dei carichi dal bacino (224 t P a⁻¹ contro le 309 t P a⁻¹ del 2000 al § 2.3.2.) abbia impedito un rifornimento di fosforo tale da compensare la massa di questo elemento sequestrata dalle alghe sedimentate e/o trasferita al fondo lacustre associata alle frazioni fini della torbida rimasta in lago per qualche mese dopo gli eventi alluvionali dell'Ottobre 2000.

Per quanto riguarda il popolamento algale, la successione stagionale si è svolta, nel 2001, con una dinamica alquanto differente rispetto all'anno precedente. Lo sviluppo primaverile dei popolamenti algali ha inizio, nel 2001, solamente verso la fine di Aprile essendo stata estremamente ridotta la crescita delle diatomee, che tipicamente mostrano un primo significativo picco di sviluppo nel mese di Marzo. Inoltre la crescita delle diatomee è proseguita sino alla fine dell'estate: lo sfasamento temporale di circa un mese registrato alla fine dell'inverno si è ripercosso sullo sviluppo di questo gruppo anche nelle altre stagioni. E', come sempre, difficile trovare una spiegazione a questi eventi, sebbene sia possibile fare alcune ipotesi. Per esempio, l'inverno del 2001 è stato significativamente meno ventoso rispetto al periodo 1997–2000; questo potrebbe avere determinato un minore rimescolamento della colonna d'acqua, inibendo lo sviluppo delle diatomee, notoriamente favorite da condizioni di elevata turbolenza. Per contro, la piena dell'Ottobre 2000 ha portato a lago quantità eccezionalmente elevate di silicati: questa disponibilità di silice, accentuata dal minor consumo primaverile, ha probabilmente sostenuto la crescita di queste alghe fino alla tarda estate. A sostegno di questa ipotesi si può osservare che durante la primavera del 2001 non si è osservato il crollo del popolamento a diatomee, fenomeno consueto nel Lago Maggiore, usualmente legato all'esaurimento della silice reattiva. Il forte sviluppo estivo delle diatomee può aver in-

fluenzato negativamente la crescita dei cianobatteri nel periodo Giugno – Ottobre, che è risultata alquanto ridimensionata rispetto al 2000. Infatti nel 2001 questo gruppo diviene prevalente, per biovolume, solamente in Settembre. *Planktothrix* (*Oscillatoria*) *rubescens*, *Oscillatoria limnetica* e *Limnothrix* sp. sono i cianobatteri dominanti in termini di biovolume, mentre per quanto riguarda la densità sono risultate estremamente abbondanti alcune Chroococcales di piccole dimensioni, appartenenti al genere *Aphanothece* (*A. chlathrata*, *A. floccosa* e *A. smithii*), le quali da qualche anno caratterizzano il popolamento algale estivo del lago. E' da notare la ricomparsa tra le dominanti di *Diatoma tenuis* (nei precedenti rapporti *Diatoma elongatum*): questa specie, nel Lago Maggiore caratteristica delle associazioni fitoplanctoniche primaverili, si era fortemente ridotta tra il 1998 ed il 2000. La ricomparsa di questa specie, comunemente associata a condizioni di trofia medioalta, potrebbe essere indice di nuove modificazioni trofiche in atto. Bisogna però ricordare che la piena del 2000 ha avuto ripercussioni sul chimismo delle acque lacustri che hanno in qualche misura interessato le concentrazioni dei principali nutrienti algali (in particolare fosforo e silice), con effetti misurabili fino alla primavera del 2001. La ricomparsa significativa di *Diatoma* potrebbe dunque essere legata a modificazioni occasionali della disponibilità di nutrienti. C'è ancora da sottolineare come il contenuto in clorofilla medio della comunità sia ulteriormente aumentato nel 2001, proseguendo nella tendenza in atto ormai da alcuni anni.

In conclusione, le osservazioni compiute nell'anno 2001 confermano, in generale, le tendenze evolutive delle comunità algali che hanno accompagnato l'oligotrofizzazione del Lago Maggiore nell'arco dell'ultimo decennio, ma, allo stesso tempo, evidenziano, una volta di più, come la dinamica del fitoplancton nel Lago Maggiore sia strettamente dipendente dalle vicende meteorologiche, molto probabilmente responsabili della variabilità interannuale osservata a carico di alcune componenti della biocenosi algale. Di conseguenza, si sottolinea l'importanza degli studi di lungo termine, in quanto permettono, da un lato, di discriminare gli effetti di fenomeni occasionali e, dall'altro, di valutare se le modificazioni osservate siano il risultato di cambiamenti profondi dell'ecosistema.

Il popolamento mesozooplanctonico ha raggiunto, nel 2001, valori di densità numerica molto elevati, circa doppi di quelli dell'anno precedente. Tale incremento ha interessato i mesi da Aprile a Giugno, durante i quali gli organismi maggiormente rappresentati sono stati, come di consueto, i rotiferi. Nei mesi centrali dell'anno anche i copepodi sono risultati più abbondanti (da Aprile ad Agosto) che non nell'anno passato, soprattutto a Maggio, quando la loro densità di popolazione è risultata circa doppia di quella del 2000. Se la situazione evidenziatasi nel corso dell'anno possa essere messa in relazione alle modificazioni dei popolamenti algali potrà però emergere soltanto dall'analisi di serie pluriennali.

La ricerca, iniziata nel 2001, sui bioaccumulatori, organismi resistenti all'inquinamento e capaci di concentrare nei propri tessuti i composti chimici presenti nell'ambiente facilitandone il rilevamento e la quantificazione, è tuttora in corso ed è quindi possibile derivarne soltanto alcune osservazioni del tutto iniziali. In particolare si è accertata l'esistenza di differenze di uptake tra le due specie di muschi utilizzate (*Bryum* sp. e *Fontinalis antipyretica* Hedw.). Sono pure emerse differenze stagionali nell'accumulo degli elementi analizzati, in funzione del ciclo vitale dei muschi, delle condizioni meteorologiche ed idrologiche e, possibilmente, della variabilità temporale della contaminazione dei corsi d'acqua.

Per quanto riguarda l'eventuale influenza della piena dell'Ottobre 2000 sul carbonio organico totale (TOC) e sui popolamenti batterici, il fenomeno non sembra aver avuto un effetto rilevante su queste variabili. Forse il fatto che la densità del popolamento batterico sia rimasta elevata per tutto il periodo produttivo, senza presentare il trend bimodale evidenziatosi nel 2000, potrebbe essere in relazione all'imput di substrato legato alla piena ma si tratta di un'ipotesi eventualmente verificabile soltanto analizzando una serie temporale lunga. Si tratta comunque di densità batteriche non eccezionalmente elevate e forse anche legate all'elevata variabilità di questo parametro. E' al contrario ben evidente, dal confronto biennale, l'influenza del fenomeno di piena sulla concentrazione del particolato totale (seston), che ha raggiunto valori assai elevati in concomitanza con l'evento di piena del mese di Ottobre 2000 per poi scendere rapidamente nei mesi seguenti l'evento. La rapida diminuzione della concentrazione di seston, che già al terzo mese dopo la piena scende ai valori tipici per il periodo stagionale, insieme alla scarsa influenza dell'evento sulla concentrazione di TOC fanno ritenere che l'apporto alloctono attribuibile alla piena sia stato prevalentemente costituito da materiale inorganico particolato, con densità specifica maggiore rispetto alla componente organica e quindi caratterizzato da velocità di sedimentazione elevata, almeno nell'intervallo dimensionale da noi considerato (dal disciolto alle particelle con dimensioni fino a 126 μm).

E' poi terminata nel 2001 la campagna biennale di studio della distribuzione orizzontale, nel Lago Maggiore, del carbonio organico e delle variabili ad esso associate. L'analisi dei dati ottenuti ha permesso di concludere che la sostanza organica disciolta risulta piuttosto omogeneamente distribuita nella zona eufotica sia nello spazio che nel tempo. Al contrario, il materiale particolato totale e le sue diverse componenti non appaiono omogeneamente distribuite. Questo risultato è importante e se ne deve tener conto instaurando bilanci di massa o valutazioni della diffusione orizzontale di sostanze associate al particolato. Inoltre l'eterogeneità spaziale del particolato è caratterizzata da un'ampia variabilità stagionale e presenta un andamento bimodale con massima eterogeneità spaziale nei periodi produttivi. Questa struttura della distribuzione orizzontale è rimasta evidente anche nel 2001 nonostante la perturbazione determinata dall'imput alloctono eccezionale legato alla piena del 2000.

Infine la clorofilla, indice dell'abbondanza del popolamento fitoplanctonico, ha presentato per due anni una più elevata eterogeneità spaziale nelle stagioni produttive insieme ad un evidente gradiente di concentrazione decrescente da est ad ovest. Questo indica l'esistenza di condizioni più favorevoli allo sviluppo algale a ridosso della sponda orientale del Lago Maggiore.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barbanti, L. & W. Ambrosetti. 1987. Confronto tra i metodi di stima dell'evaporazione del Lago Maggiore. *Atti del 7° congresso A.I.O.L.*, 29-45.
- [2] Kelly, M.G. & B.A. Whitton. 1989. Interspecific differences in Zn, Cd and Pb accumulation by freshwater algae and bryophytes. *Hydrobiologia*, 175: 1-11.
- [3] Empain, A. 1977. Ecologie des populations bryophytiques aquatiques de la Meuse, de la Sambre et de la Somme. Relations avec la qualité des eaux, écophysiologie comparée et étude de la contamination par métaux lourds. *Mém. Doct. Sci. Bot.*, Univ. Liege: 179 pp.
- [4] Empain, A., J. Lambinon, C. Mouvet & R. Kirchmann. 1980. Utilisation des bryophytes aquatiques et subaquatiques comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes. In: P. Pesson (Ed.). *La pollution des eaux continentales*. Gauthier-Villars, Paris, 2^e Ed.: 195-223.
- [5] Say, P.J. & B.A. Whitton. 1983. Accumulation of heavy metals by aquatic mosses. 1: *Fontinalis antipyretica* Hedw. *Hydrobiologia*, 100: 246-260.
- [6] Wehr, J.D. 1983. *Accumulation of heavy metals by aquatic bryophytes in streams and rivers in Northern England*. Dept. Botany, Univ. Durham: 432 pp.
- [7] Mouvet, C. 1984. Accumulation of chromium and copper by the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw. Transplanted in a metal-contaminated river. *Environ. Technol. Letters*, 5: 541-548.
- [8] Mouvet, C. 1985. The use of aquatic bryophytes to monitor heavy metals pollution of freshwaters as illustrated by case studies. *Verein. Limnol.*, 22: 2420-2425.
- [9] Mouvet, C. 1986. Métaux lourds et mousses aquatiques. Synthèse méthodologique. *Laboratoire d'Ecologie*, Univ. Metz: 110 pp.
- [10] André, B. & C. Lascombe. 1985. Comparaison de deux traceurs de la pollution métallique des cours d'eau: les bryophytes et les sédiments. *Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse*: 63 pp.
- [11] Benyania, M. 1985. Cinétique d'accumulation et de relargage de métaux lourds (plomb, zinc) par des bryophytes aquatiques en laboratoire. *Mém. D.E.A. Toxicologie*, Univ. Metz: 49 pp.
- [12] Kelly, M.G. & B.A. Whitton. 1987. Use of moss-bags for monitoring heavy metals in rivers. *Water Research*, 21: 1429-1435.
- [13] Mouvet, C. 1989. Utilisation des mousses aquatiques pour la surveillance de la pollution des milieux aquatiques par les métaux lourds et les micropolluants organiques. *Laboratoire d'Ecologie*, Univ. Metz: 149 pp.
- [14] Ambrosetti, W., L. Barbanti, A. Ferrari & A. Rolla. 2001. Indagini sull'ambiente pelagico. Limnologia Fisica. In: Istituto Italiano di Idrobiologia - C.N.R. "Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore: Aspetti limnologici: Campagna 2000. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzeri.(Ed.): 35-44.
- [15] 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.
- [16] Ambrosetti, W., L. Barbanti & A. Rolla. 1979. Mescolamento parziale o totale nel Lago Maggiore nell'ultimo trentennio. *Mem Ist. Ital. Idrobiol.*, 37: 197-208.
- [17] Morabito, G., D. Ruggiu & P. Panzani. 2002. Recent dynamics (1995-1999) of the phytoplankton assemblages in Lago Maggiore as a basic tool for defining association patterns in the Italian deep lakes. *J. Limnol.*, 61(1): 129-145.

- [18] Reynolds, C.S. 1984. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*. Cambridge University Press: 384 pp.
- [19] Reynolds, C.S. 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. *Excellence in Ecology*, 9: 371 pp.

Elenco degli autori e dei collaboratori

RESPONSABILE DELLA RICERCA

Dr. Riccardo de Bernardi Direttore Istituto per lo Studio degli Ecosistemi

COORDINATORE DELLA RICERCA

Dr. Roberto Bertoni Responsabile Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle
Acque interne

ELENCO DEGLI AUTORI

Dr. Walter Ambrosetti	Limnologo fisico
Prof. Luigi Barbanti	Limnologo fisico
Dr. Renato Baudo	Ecotossicologo
Sig.ra Monica Beltrami	Tecnico in Ecotossicologia
Dr. Roberto Bertoni	Microbiologo Acquatico
Dr. Alcide Calderoni	Idrochimico
Dr. Cristiana Callieri	Microbiologo Acquatico
Dr. Marzia Ciampittiello	Limnologo fisico
Per. Ind. Mario Contesini	Tecnico in Microbiologia
Sig.re Andrea Ferrari	Tecnico in limnologia fisica
Dr. Sara Gallibariggio	Idrobiologo
Dr. Marina Manca	Idrobiologo
Dr. Giuseppe Morabito	Idrobiologo
Dr. Alessandro Oggioni	Idrobiologo
Sig.ra Pierisa Panzani	Tecnico in Idrobiologia
Dr. Roberta Piscia	Microbiologo Acquatico
Per. Ind. Alfredo Pranzo	Tecnico in Idrochimica
Dr. Angelo Rolla	Informatico
Per. Chim. Gabriele Tartari	Tecnico in Idrochimica

ELENCO DEI COLLABORATORI

Dr. Gianluigi Giussani
Rag. Stefano Vanetti

INDIRIZZO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi
Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque interne
Largo V. Tonolli 50/52
28922 – VERBANIA PALLANZA

APPENDICE

Repertorio bibliografico delle pubblicazioni sul Lago Maggiore (aggiornato a tutto il 2001).

- Callieri, C., 2000. Carbon flux from picocyanobacteria to ciliates in a subalpine lake. *Verh. internat. Verein. Limnol.* 27: 2840- 2844
- de Bernardi, R. 2001. Lago Maggiore: una risorsa ritrovata. Contributo alla conoscenza delle Bolle di Magadino, Ed. Fondazione Bolle di Magadino: 211-222 pp.
- Jorgensen, S.E., de Bernardi R., Ballatore T., Muhandiki U. 2001. Lake watch 25. In: 9th Int. Conf. on the Conservation and Management of Lakes (ILEC), Otsu: 64pp.
- Marchetto, A., Musazzi S. 2001 Comparison between sedimentary and living diatoms in Lago Maggiore (N. Italy): implications of using transfer functions. *Journal of Limnology*, 60(1): 19-26
- Morabito, G., Pugnetti A. 2000 Primary productivity and related variables in the course of the trophic evolution of Lake Maggiore. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 27: 2934-2937
- Mosello, R., Barbieri A., Brizzio M.C. , Calderoni A., Marchetto A., Passera S., Rogora M., Tartari G. 2001 Nitrogen budget of Lago Maggiore: the relative importance of atmospheric deposition and catchment sources *Journal of Limnology*, 60(1): 27- 40
- Passoni, S., Callieri C. 2000. Picocyanobacteria single forms, aggregates and micro-colonies: survival strategies or species succession? *Verh. internat. Verein. Limnol.*, 27: 1879- 1883
- Rogora, M., Marchetto A., Mosello R. 2001. Trends in the chemistry of atmospheric deposition and surface waters in the Lake Maggiore catchment. *Hydrol. Earth System Sci.*, 5(3): 379-390