



ISSN: 1013-8099

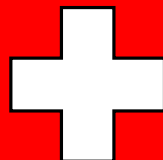
Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore
Aspetti limnologici

Programma quinquennale 1998 – 2002
Campagna 2000

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto Italiano di Idrobiologia
Verbania Pallanza



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

Ist. Ital. Idrobiol. - C.N.R. 2001. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 2000.* Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 77 pp.

ISSN: 1013-8099

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore
Aspetti limnologici

Programma quinquennale 1998 - 2002
Campagna 2000

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto Italiano di Idrobiologia
Verbania Pallanza

RIASSUNTO

Questo volume riporta i risultati ottenuti con le ricerche limnologiche condotte nel 2000 sul Lago Maggiore dall'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 the relevant limnological data obtained on Lago Maggiore by the C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia in the framework of an agreement with the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere are presented compared with the longterm series and discussed in term of ecosystem evolution.

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
<i>(R. de Bernardi)</i>	
1.1. Inquadramento geografico	2
1.2. Modalità di campionamento e metodi di analisi	3
1.3. 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	13
<i>(W. Ambrosetti, L. Barbanti, A. Ferrari e A. Rolla)</i>	
2.2.1. <u>Radiazione solare</u>	13
2.2.2. <u>Temperatura atmosferica</u>	14
2.2.3. <u>Evaporazione</u>	15
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>	34
<i>(R. Bertoni, C. Callieri e M. Contesini)</i>	
3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO	35
3.1. Limnologia fisica	35
<i>(W. Ambrosetti, L. Barbanti, A. Ferrari e A. Rolla)</i>	
3.1.1. <u>Livello del lago</u>	35
3.1.2. <u>Trasparenza delle acque lacustri</u>	37
3.1.3. <u>Temperatura delle acque lacustri</u>	38
3.1.3.1. <u>Acque superficiali</u>	38
3.1.3.2. <u>Acque profonde</u>	39
3.1.4. <u>Ossigenazione delle acque lacustri</u>	40
3.1.5. <u>Bilancio termico</u>	41
3.1.6. <u>Profondità di mescolamento</u>	44
3.2. Chimica lacustre	45
<i>(A. Calderoni, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
3.2.1. <u>Chimismo di base</u>	45
3.2.2. <u>Composti dell'azoto</u>	48
3.2.3. <u>Composti del fosforo</u>	49
3.2.4. <u>Ossigeno disciolto</u>	50
3.2.5. <u>Silicati reattivi</u>	51
3.3. Popolamenti planctonici	52
3.3.1. <u>Indagini sul fitoplancton</u>	52
<i>(G. Morabito, D. Ruggiu e P. Panzani)</i>	
3.3.1.1. <u>Struttura dei popolamenti</u>	52
3.3.1.2. <u>Variazioni della biomassa</u>	53
3.3.2. <u>Indagini sullo zooplancton</u>	57
<i>(M. Manca, R. Rondo)</i>	
3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi	60
<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 Maggiore	63
<i>(R. Bertoni, C. Callieri, M. Contesini e R. Piscia)</i>	
4. CONCLUSIONI	71
<i>(R. de Bernardi)</i>	
BIBLIOGRAFIA	75
ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI	76
APPENDICE	77

1. INTRODUZIONE

Anche nel 2000 sono proseguite le ricerche limnologiche sul Lago Maggiore condotte dal C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia per conto della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere.

Lo scopo di queste ricerche, che vengono realizzate con continuità temporale sin dal 1978, prendendo in esame i principali parametri fisici, chimici e biologici che caratterizzano l'ecosistema, è quello di fornire un quadro di dettaglio sull'evoluzione ambientale in atto anche a seguito degli interventi di depurazione realizzati nel bacino imbrifero. Al tempo stesso queste ricerche permettono di ottenere informazioni scientificamente corrette quale base conoscitiva indispensabile per la pianificazione di ulteriori interventi di recupero ambientale eventualmente necessari per un completo risanamento di questo importante corpo idrico. In questa ottica, durante il 2000, oltre alla attività di base prima citata, si è ritenuto opportuno dare avvio ad una ricerca specifica sulla distribuzione orizzontale del carbonio organico e delle variabili ad esso associate finalizzata a render conto di disuniformità nella distribuzione spaziale di questo importante descrittore della qualità ambientale da porre in relazione alla disuniformità di distribuzione delle opere di risanamento realizzate all'interno del bacino imbrifero. I risultati ottenuti con questa campagna di indagini sono analiticamente riportati nelle pagine seguenti e discussi anche alla luce dei *trends* evolutivi in atto nella qualità dell'ecosistema lago. Una loro disamina permette di verificare come anche durante il 2000 il Lago Maggiore abbia mantenuto quei livelli di oligotrofia che lo caratterizzano da alcuni anni, anche se le ricerche prima ricordate sulla distribuzione orizzontale del carbonio organico evidenziano come nella parte di lago prospiciente la sponda lombarda la qualità delle acque è inferiore a quella riscontrata nella parte restante. Da segnalare, infine, che durante l'autunno del 2000 si è verificata per il lago la piena più importante degli ultimi 100 anni. È evidente che tale fenomeno, che ha comportato un ingresso a lago di enormi quantità di acque ricche in soluti e materiale in sospensione, potrà avere significative ripercussioni sul funzionamento ecosistemico che potranno essere evidenziate con il prosieguo nel 2001 delle ricerche.

1.1. 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.

1.2. Modalità di campionamento e metodi di analisi

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

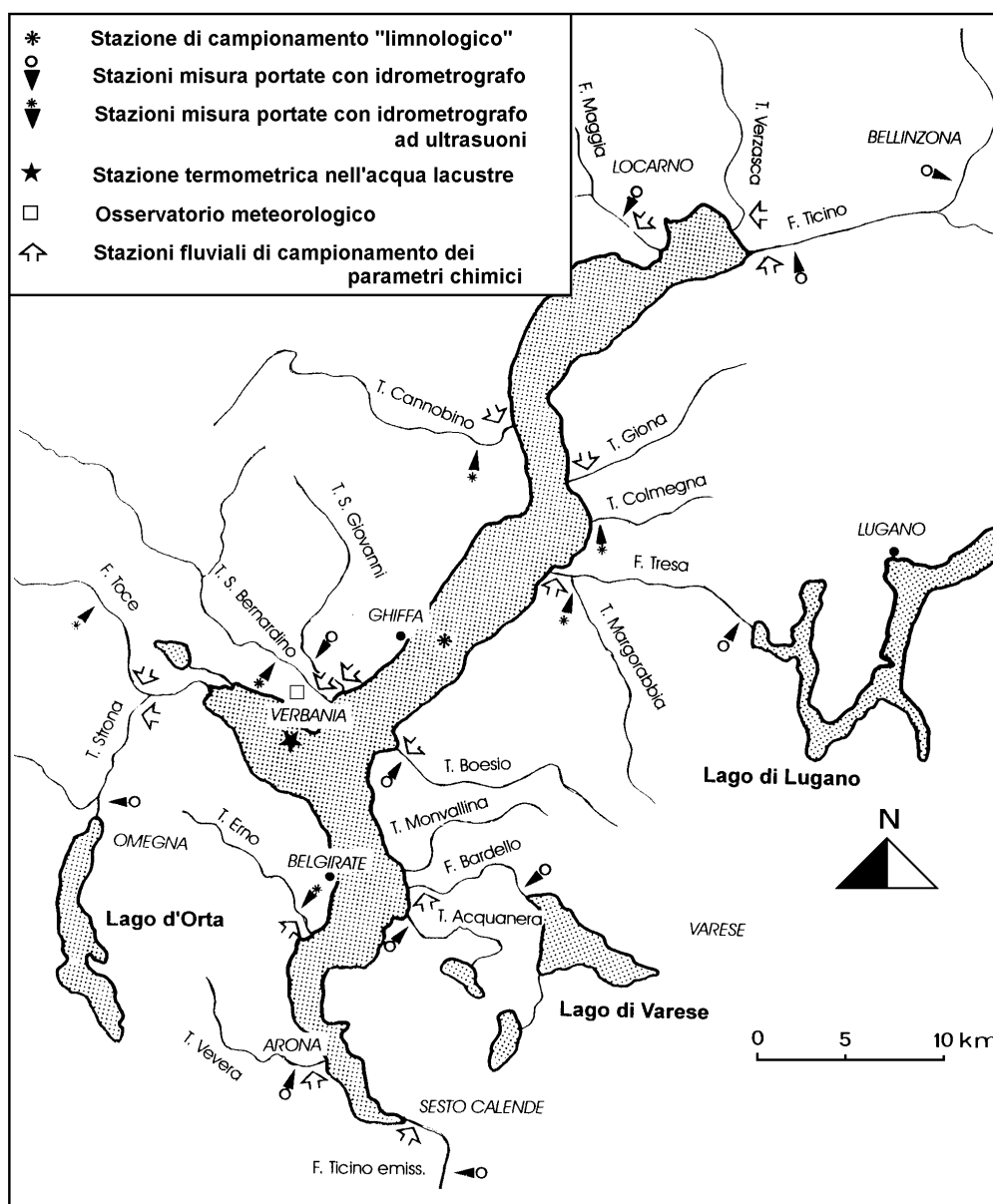


Fig. 1.3. Lago Maggiore, 2000. Ubicazione delle stazioni di campionamento.

1.3. 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 2000 sono stati raccolti nelle stazioni pluviometriche dell'Istituto Italiano di Idrobiologia CNR, del Servizio Meteorologico Svizzero, della Società Blennio e Maggia (Ofima), dell'ENEL, del Servizio Idrografico del Cantone Ticino, del Servizio Meteorologico della Regione Piemonte, della Società Sisma Elettrica, del Centro Geofisico Prealpino, del CCR Euratom, dell'Istituto di Scienze della Terra (TI, CH), della Montedison e del Consorzio del Ticino.

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 2000 e nei periodi 1978-99 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 2000. Totali pluviometrici mensili e annuali nel bacino imbrifero (mm).

Stazione	Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
AIROLO	Ticino immissario	1139	68	68	81	319	99	54	174	101	267	600	434	118	2382
PIOTTA	Ticino immissario	1007	34	43	80	245	82	61	153	78	251	415	348	63	1853
FAIDO	Ticino immissario	760	17	40	88	265	68	84	120	113	255	512	435	90	2085
COMPROVASCO	Ticino imm.-Brenno	575	12	17	61	231	85	120	140	112	107	315	384	100	1684
BIASCA	Ticino immissario	291	7	10	72	298	108	76	235	116	141	387	551	138	2138
S. BERNARDINO (Tunnel)	Ticino imm.-Moesa	1639	20	33	111	322	176	120	307	155	141	444	528	159	2516
MESOCCO	Ticino imm.-Moesa	815	10	29	90	218	182	98	264	127	135	323	375	121	1973
BRAGGIO	Ticino imm.-Moesa	1320	5	13	80	284	226	90	328	193	132	306	414	110	2181
GRONO	Ticino imm.-Moesa	350	2	10	74	219	186	102	255	127	145	301	393	92	1907
BELLINZONA	Ticino immissario	225	0	11	78	272	179	107	275	135	143	366	423	99	2087
MAGADINO (Aeroporto)	Lago Maggiore	197	0	9	81	360	172	74	287	132	170	514	574	122	2494
VIRA GAMBAROGNO	Lago Maggiore	210	0	8	69	372	173	86	289	129	213	480	489	117	2426
CIMETTA	Lago Maggiore	1672	0	11	49	279	185	151	214	107	173	393	352	100	2012
LOCARNO MONTI	Lago Maggiore	366	0	17	87	444	212	186	295	107	215	429	492	139	2623
BRISSAGO	Lago Maggiore	280	0	9	91	458	184	153	327	118	227	545	530	135	2777
MALVAGLIA	Ticino imm.-Brenno	923	13	12	67	248	104	96	202	160	104	344	381	85	1813
LODRINO	Ticino immissario	275	8	9	73	249	128	69	217	131	107	310	418	118	1836
GNOSCA	Ticino immissario	247	3	10	75	235	192	130	273	148	105	272	405	104	1951
GIUBIASCO	Ticino immissario	215	0	7	71	270	182	72	278	105	149	368	433	115	2049
ALPE PREDASCA	Ticino imm.-Brenno	1735													
LUZZONE DIGA	Ticino imm.-Brenno	1617	38	63	113	430	162	158	235	222	161	588	574	142	2881
ACQUACALDA	Ticino imm.-Brenno	1775	34	52	99	154	135	75	160	120	244	401	335	115	1924
PASSO MUAZ	Ticino imm.-Brenno	1698	2	51	97	321	118	24	190	175	154	445	407	89	2071
OLIVONE	Ticino imm.-Brenno	905	19	34	69	231	86	84	154	147	106	318	407	97	1751
COPERA	Lago Maggiore	665													
VERBANO CENTRALE	Lago Maggiore	202	0	11	99	513	186	162	325	106	256	495	568	163	2884
LAGO DELIO	Lago Maggiore	835													
PIANO DEI CAMOSCI	Toce	2450	5	7	16	81	91	118	168	86	274	434	21	5	1305
L. TOGGIA	Toce	2170	24	47	53	156	73	105	90	70	310	411	228	33	1600
L. SABBIONE	Toce	2462	0	36	51	136	85	127	160	84	276	345	164	13	1477
L. MORASCO	Toce	1820	34	29	33	185	121	137	206	134	393	441	225	26	1964
L. VANNINO	Toce	2175	5	29	48	222	95	108	149	108	316	477	264	44	1865
PONTE FORMAZZA	Toce	1300	25	37	43	218	75	90	96	49	370	500	285	31	1819
CRODO (Ist. Agrario)	Toce	560	1	8	44	293	93	116	84	67	399	491	325	48	1968
CREVOLADOSSOLA	Toce	303	1	0	47	388	78	141	89	27	397	561	388	85	2202
DOMODOSSOLA (Nosere)	Toce	252	0	3	57	354	96	109	86	64	587	534	273	48	2210
DOMODOSSOLA-CALICE	Toce	240													
PALLANZENO	Toce	240	0	0	53	168	106	118	91	51	653	619	368	57	2284
CODELAGO	Toce-Devero	1885	18	36	37	252	100	115	139	70	358	489	293	55	1962
DEVERO (Reg. Piem.)	Toce-Devero	1640	17	26	39	287	94	97	92	78	345	601	327	67	2070
L. D'AGARO	Toce-Devero	1600	22	19	38	268	97	122	89	87	333	454	368	50	1947
SIMPLON DORF	Toce-Diveria	1495	26	27	44	273	76	108	72	69	285	731	264	59	2033
LAGO D'AVINO	Toce-Diveria	2240	0	0	0	0	0	110	148	93	354	752	120	21	1598
S. DOMENICO	Toce-Diveria	1300	35	39	49	280	107	100	109	102	330	751	295	57	2254
AGRASINA	Toce-Isorno	1370	7	8	55	373	113	157	60	65	527	519	402	47	2333
L. LARECCHIO	Toce-Isorno	1840	4	12	75	431	135	169	130	106	502	605	358	57	2584

Tab. 2.1.1. Continuazione.

Stazione	Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
CIPATA	Toce-Isorno	937													
PONNETTO	Toce-Isorno	348	2	4	44	333	82	126	87	52	250	441	124	34	1577
DRUOGNO	Toce-Melezzo occ.	831	0	2	70	378	114	122	126	86	521	543	343	42	2347
MAGLIETTO	Toce-Melezzo occ.	657													
Lago PAIONE Superiore	Toce-Bogna	2269	0	2	24	204	150	116	142	137	484	949	77	52	2338
PIZZANCO	Toce-Bogna	1142	1	8	48	361	122	120	124	111	427	963	363	86	2732
L. ALPE CAVALLI	Toce-Ovesca	1510	0	10	53	333	102	149	116	126	463	830	350	80	2612
ALPE CHEGGIO	Toce-Ovesca	1460	17	2	49	394	109	138	115	126	360	786	239	75	2409
L. CAMPOSECCO	Toce-Ovesca	2281	0	9	58	298	89	149	91	97	318	556	254	52	1971
L. CINGINO	Toce-Ovesca	2281	0	0	0	0	54	220	115	124	334	602	119	45	1613
L. CAMPLICCIOLI	Toce-Ovesca	1320	0	21	62	405	114	152	113	109	400	898	304	62	2640
ROVESCA	Toce-Ovesca	760	0	4	33	150	70	89	47	24	249	466	329	37	1498
MACUGNAGA (P.sso Moro)	Toce-Anza	2820	2	15	8	42	102	140	108	112	94	266	7	13	.
MACUGNAGA (Fornarelli)	Toce-Anza	1185	47	12	46	332	118	134	137	80	339	698	232	78	2254
CEPPO MORELLI (Battigio)	Toce-Anza	540	2	5	54	264	89	129	119	56	295	836	202	46	2096
BANNIO ANZINO	Toce-Anza	687													
FORNO PREIA	Toce-Strona	880													
SAMBUGHETTO	Toce-Strona	800	2	4	97	462	162	156	288	71	554	727	446	72	3040
OMEGNA	Toce-Strona	298	0	2	102	338	162	93	264	134	292	468	395	96	2345
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	2	3	93	395	223	116	319	132	383	591	116	15	2388
ROBIEI	Maggia	1898	31	79	154	387	212	155	262	153	472	989	583	198	3674
CEVIO	Maggia	418	9	17	103	358	112	83	114	144	483	504	445	100	2473
BOSCO GURIN	Maggia	1505	18	49	83	386	142	130	131	102	518	658	431	93	2740
MOSOGNO	Maggia	760	1	8	119	399	152	158	183	119	469	544	491	110	2751
CORTINO CAVAGNOLI	Maggia	2226	9	111	117	293	271	123	245	117	215	514	404	184	2605
CAVERGNO CENTRALE	Maggia	540	16	23	101	382	120	99	146	120	479	595	538	101	2720
PIANO DI PECCIA	Maggia	1020	28	39	86	389	137	96	143	130	434	680	508	98	2765
SAMBUCO DIGA	Maggia	1471	27	60	89	279	177	103	138	103	228	533	482	100	2319
FUSIO	Maggia	1300	23	43	96	317	108	94	127	88	341	485	416	87	2225
MAGGIA	Maggia	327	2	8	106	350	122	107	180	114	348	577	488	106	2507
PALAGNEDRA	Maggia	498	3	9	119	465	149	200	198	110	471	746	522	72	3060
CAMEDO	Maggia	550	1	7	123	505	143	210	195	127	516	702	612	109	3251
SONOGNO	Verzasca	925	10	26	85	418	140	108	235	145	332	542	563	157	2760
FRASCO	Verzasca	890	7	12	90	373	134	108	202	123	271	477	444	143	2383
AROSIO	Tresa	860	1	13	89	358	246	147	326	93	218	452	515	143	2600
ISONE	Tresa	810	0	11	69	358	247	97	371	112	196	443	496	125	2525
LUGANO	Tresa	273	0	13	79	260	251	75	368	89	211	331	368	104	2149
CRANA TORRICELLA	Tresa	1002	1	11	112	422	265	112	369	132	257	604	578	155	3017
PONTE TRESA	Tresa	274	0	7	85	301	187	108	270	116	232	498	500	101	2406
STABIO	Tresa	353	0	14	104	261	232	81	273	146	268	393	450	114	2336
SOMAZZO	Tresa	580	0	11	103	268	240	58	318	163	191	366	452	132	2303
MENDRISIO	Tresa	290	0	9	115	258	223	50	309	149	190	351	414	125	2194
CREVA	Tresa	233													
GERMIGNAGA	Tresa	203	0	9	1	82	153	121	84	56	208	414	410	109	.
CADERO VEDDASCA	Giona	570													
FALMENTA	Cannobino	662													
CURSOLO O. (M.te Pratini)	Cannobino	940	0	2	114	521	156	188	234	139	407	678	552	103	3096
LUNECCO	Cannobino	415	0	6	122	476	197	218	262	117	276	627	554	110	2966
CANNOBIO	Cannobino	220													
MOTTAC	S. Bernardino	1695	8	3	37	370	166	129	180	103	561	725	128	53	2463
IN LA PIANA	S. Bernardino	960	1	6	106	621	164	142	192	105	339
CICOGNA	S. Bernardino	770													
MAZZINA	S. Bernardino	721	0	5	65	251	101	119	216	106	203	440	455	58	2019
UNCHIO	S. Bernardino	283													
PIANCAVALLO	S. Giovanni	1240	1	4	94	454	194	175	314	131	241	526	526	123	2785
MERGOZZO	L. di Mergozzo	195	0	3	131	396	119	166	210	41
CANDOGGLIA	Toce	201	0	0	3	422	150	140	306	115	396	642	575	104	2853
PIAN DI SOLE	Lago Maggiore	920													
PALLANZA	Lago Maggiore	211	0	6	105	388	141	107	255	112	260	449	490	110	2424
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	0	5	105	390	119	114	251	111	245	481	471	111	2404
ISPRA	Lago Maggiore	200													
MOTTARONE VETTA	Erno	1491	0	0	57	204	218	100	295	122	250	401	137	6	1790
ARONA	Vevera	334	0	7	56	262	184	84	170	78	139	304	48	68	1399
MIORINA	Ticino emissario	195	0	0	54	213	145	100	152	35	93	351	358	55	1556
	2000		8	18	73	310	142	118	195	109	299	524	380	88	2263
	1978-99		84	61	107	183	211	169	129	151	201	206	104	74	1689
	1921 - 1977		63	75	103	163	199	168	142	172	180	183	178	83	1709

. dato mancante
dato ricostruito

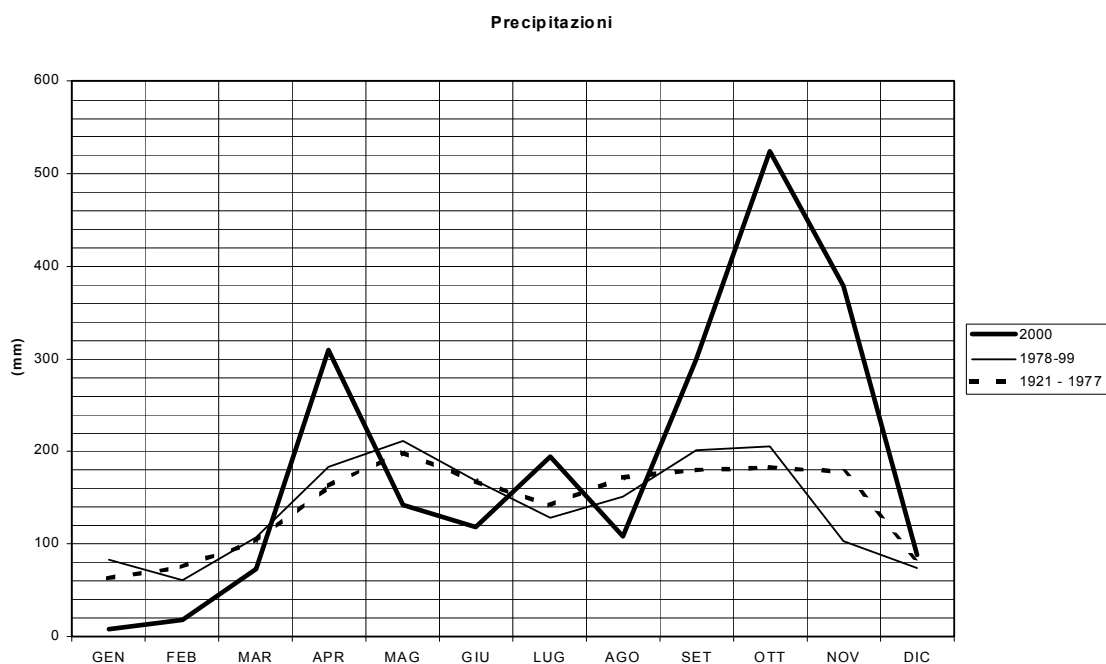


Fig. 2.1.1a. Lago Maggiore 2000. Regime delle precipitazioni dell'intero bacino.

Dal confronto tra l'andamento mensile delle precipitazioni sull'intero bacino nel 2000 e quello dei periodi precedenti, si evidenzia nell'anno in studio un doppio ciclo con il primo massimo che cade ad Aprile, in anticipo di un mese rispetto ai periodi di confronto, ed un secondo molto più elevato in Ottobre. Contrariamente agli andamenti medi degli anni precedenti si presenta un leggero picco anche nel mese di Luglio con 195 mm che non supera però il massimo assoluto del 1987 con 312 mm.

Il massimo più elevato, come detto in precedenza, si manifesta in Ottobre con 524 mm, superato nella serie storica solo da quello del 1993 (586 mm) mentre i minimi si osservano, come di consueto, nei primi tre mesi dell'anno e a Dicembre: Gennaio con 8 mm risulta il mese meno piovoso dell'anno.

Da rilevare che le precipitazioni durante il 2000 hanno raggiunto i 2263 mm superando di circa il 25% il valore medio degli anni di riferimento; per trovare, nella serie storica, un valore superiore a quello registrato nel 2000, bisogna tornare al 1977 quando si registrarono 2474 mm e che determinarono tra l'altro tre fenomeni di esondazione del Lago Maggiore, in Maggio, Agosto e Ottobre.

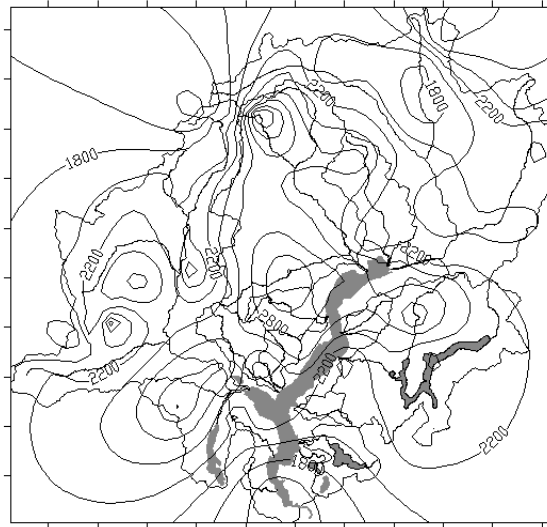


Fig. 2.1.1b. Lago Maggiore 2000. Carta delle isoiete annue (mm).

A livello stagionale si pongono in evidenza le elevate precipitazioni dell'autunno con 1203 mm, superate nella serie storica solo da quelle del 1976 (1241 mm) quando nel solo mese di Ottobre caddero 620 mm; basse invece quelle invernali che sono risultate poco più della metà rispetto a quelle dei periodi di riferimento (114 mm).

La stazione pluviometrica che ha registrato il massimo valore è risultata Robiei nella valle Maggia con 3674 mm, occorre segnalare però che in 5 stazioni si superano i 3000 mm, 4 delle quali in Svizzera situate tre nella Valle Maggia e una in quella della Tresa.

La carta delle isoiete annue (Fig.2.1.1b) mostra in complesso una fascia di elevate precipitazioni nell'alta Valle Cannobina (Cursolo 3096 mm) e nell'alta Valle Maggia (Robiei 3674 mm) intorno a valori di 3000 mm e diversi nuclei di precipitazioni intorno ai 2800 mm, nella Valle della Tresa (Crana Torricella 3017 mm), nell'Alta Val d'Ossola (Sambughetto 3040 mm, Pizzanco 2732 mm, Alpe Cavalli 2612 mm e Campliccioli 2640 mm) e uno nel basso corso del Toce. I valori più bassi si sono registrati nella parte più meridionale del bacino, verso Sesto Calende con 1600 mm (Miorina 1556 mm).

Come si evidenzia dalla carta delle isoiete, l'intero areale del Lago Maggiore è stato interessato da notevoli precipitazioni, superiori ai 2000 mm, distribuite pressoché uniformemente su tutto il territorio, da qui l'evento alluvionale di notevole intensità registrato nell'Autunno 2000.

2.1.2. Deflussi

Nella tabella 2.1.2a unitamente alle regioni amministrative di appartenenza sono esposte 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 2000. Bacini idrografici dei principali immissari e dell'emissario: 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 2000, attraverso le reti di rilevamento dell'Istituto Italiano di Idrobiologia, del Servizio Idrologico e Geologico Nazionale svizzero e dai Consorzi del Bardello e del Ticino sono riportati in tabella 2.1.2b.

In essa i deflussi misurati nel 2000 sono posti a confronto con quelli medi del periodo 1978-99. Tutti i grandi bacini (Ticino Immissario, Emissario, Toce e Tresa) presentano, nell'anno in studio, una portata superiore del 30% circa rispetto a quella media del periodo precedente; nei piccoli bacini invece le portate, pur presentando valori sempre superiori a quelli del ventennio precedente, variano tra il +2% del Cannobino e il +50% della Margorabbia. Ciò è evidentemente da ricercare nel fatto che le precipitazioni di Ottobre hanno avuto una diversa localizzazione nell'intero bacino, colpendo areali ben definiti di alcuni torrenti, causando così fenomeni di esondazione più accentuati in alcune zone del territorio.

Da rilevare che per motivi tecnici gli strumenti di misura sui torrenti San Bernardino, Niguglia, Erno, Boesio e Margorabbia hanno interrotto, per periodi più o meno lunghi, la registrazione dei livelli idrometrici per cui si è resa necessaria una loro ricostruzione; a tale scopo sono state utilizzate le portate e le precipitazioni rilevate anche negli anni precedenti ed effettuate correlazioni di tipo statistico: i dati ricostruiti sono opportunamente segnalati con asterischi.

Tab. 2.1.2b. Portate media mensili e annue del 2000 e dei periodi pluriennali di confronto.

Corso d'acqua	Periodo	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
TICINO IMM.	2000	37,20	30,10	27,40	73,90	128,00	81,00	71,60	46,20	42,50	166,00	158,00	75,70	78,27
	1978-99	32,18	31,32	36,97	55,18	108,15	122,29	97,70	65,26	76,92	83,90	49,76	33,19	66,29
	1921-74	28,00	27,30	31,00	52,30	108,00	140,00	107,00	82,90	80,00	70,90	61,10	35,80	68,70
CANNOBINO	2000 *	0,45	0,36	0,52	11,11	4,29	2,77	2,58	0,98	4,90	17,21	14,91	2,80	5,24
	1978-99	2,11	2,05	4,33	8,29	9,32	6,79	4,39	3,21	6,71	8,43	3,80	2,29	5,15
S. GIOVANNI	2000 *	1,13	0,41	0,41	2,35	1,45	0,57	0,78	0,77	0,94	4,70	3,70	1,38	1,55
	1978-99	1,40	1,18	2,18	4,22	4,12	3,46	2,36	1,32	3,23	4,58	2,33	1,28	2,59
S. BERNARDINO	2000 *	1,34	1,10	1,89	17,24	10,29	5,68	4,21	2,01	12,63	32,75	21,55	6,24	9,74
	1978-99	2,34	2,13	5,23	12,52	16,01	9,23	5,28	3,80	9,43	12,29	5,57	2,72	7,21
	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	2000 *	31,90	25,00	21,20	84,60	120,60	99,60	52,30	39,10	135,30	451,40	163,50	71,30	108,52
	1978-99	27,32	27,49	36,69	64,10	115,84	116,28	92,14	67,03	69,36	89,96	47,87	30,90	64,86
	1936-64	30,90	30,00	34,90	59,70	105,10	127,10	93,40	74,30	73,50	72,10	64,90	37,80	67,10
NIGUGLIA	2000 *	1,61	1,02	0,92	5,08	9,63	3,61	2,63	3,01	1,58	17,79	15,99	8,93	6,00
	1979-99	2,82	2,25	3,38	6,41	7,92	6,80	4,00	2,43	3,58	8,25	5,22	3,20	4,69
	1941-60	3,57	3,71	3,53	4,98	6,93	6,45	4,51	3,67	4,38	5,57	7,68	4,70	4,97
ERNO	2000 *	0,31	0,21	0,28	1,87	1,54	0,59	0,54	0,39	0,62	3,46	3,49	1,14	1,20
	1978-99	0,72	0,58	1,02	1,60	1,60	1,18	0,70	0,50	0,90	1,70	0,86	0,63	1,00
VEVERA	2000 *	0,17	0,14	0,13	0,66	0,66	0,23	0,19	0,12	0,17	6,22	2,40	0,84	1,00
	1978-99	0,58	0,50	0,65	0,88	1,01	0,83	0,45	0,33	0,46	0,86	0,62	0,49	0,64
BARDELLO	2000 *	2,28	1,78	1,58	2,20	4,70	2,30	1,77	0,60	2,19	6,66	8,19	6,07	3,37
	1978-99	2,84	2,61	3,29	3,64	4,78	4,33	2,77	1,43	2,36	3,54	3,07	2,37	3,05
	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	2000	1,32	0,78	0,83	2,26	2,14	0,62	1,15	0,33	0,98	6,42	5,29	1,04	1,93
	1978-99	1,50	1,11	1,62	2,58	2,83	2,30	1,37	0,86	1,46	2,40	1,71	1,18	1,75
MARGORABBIA	2000	1,66	1,33	1,57	10,37	7,51	2,60	2,12	1,66	1,94	21,52	25,55	6,83	7,09
	1978-99	2,73	2,32	3,67	5,21	5,45	4,63	2,52	1,61	2,80	5,61	3,45	2,29	3,55
TRESA	2000	8,16	6,58	6,65	43,08	48,05	16,61	37,67	18,50	16,47	82,52	116,13	38,35	36,60
	1978-99	15,27	12,12	18,32	32,43	40,84	37,51	22,12	14,13	22,67	32,84	19,52	13,58	23,63
	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.	2000	169,80	119,60	100,60	309,20	537,90	331,90	259,70	241,30	168,30	1170,30	811,80	341,70	381,30
	1978-99	152,18	147,18	188,87	311,30	463,57	445,46	365,63	258,99	276,49	417,30	202,12	150,74	282,15
	1921-77	145,00	147,00	159,00	263,00	435,00	495,00	384,00	295,00	316,00	318,00	327,00	193,00	290,00

(°)Dati ricostruiti

(*)Dati da validare

Come visibile nella tabella 2.1.2b i valori massimi delle portate medie mensili dei principali immissari situati nel versante piemontese del Lago Maggiore si sono registrati ad Ottobre, mentre per Erno, Bardello, Margorabbia e Tresa si sono verificati nel mese di Novembre: questo in seguito al fatto che le precipitazioni in questi areali sono risultate notevoli anche in quest'ultimo mese e tali da mantenere o incrementare i livelli idrometrici dei torrenti drenanti dopo l'evento di Ottobre.

Va comunque rilevato che la portata massima assoluta per ciascun corso d'acqua si è registrato nel mese di Ottobre, in coincidenza con l'evento alluvionale, ad eccezione di quello del San Bernardino e del San Giovanni (Tab 2.1.2c).

Tab. 2.1.2c. Valori di portata al colmo per l'evento alluvionale Ottobre 2000.

Corso d'Acqua	Data	Portata al colmo (m ³ s ⁻¹)
Ticino Immissario	13 Ottobre	800
Cannobino	13 Ottobre	123
San Giovanni	24 Luglio	28
San Bernardino	20 Settembre	198
Toce	15 Ottobre	2700 – 4200**
Niguglia	17 - 18 Ottobre	35,5
Erno	24 Luglio e 15 Ottobre	26,5
Vevera	16 - 17 Ottobre	39,1
Bardello	16 Ottobre	10,56*
Boesio	3 Ottobre	36
Margorabbia	16 Ottobre	100
Tresa	17 Ottobre	185
Ticino Emissario	17 Ottobre	2552*

* portata massima delle medie giornaliere.

** il primo valore deriva da misure effettuate all'idrometro di Candoglia ed è da considerare una sottostima perché il Toce ha esondato. Il secondo valore, probabilmente sovrastimato, è proposto da IST-SUPS [9].

Per quanto riguarda il valore al colmo del San Giovanni e dell'Erno registrati entrambi a Luglio, sono da porre in relazione con le precipitazioni a carattere temporalesco che hanno interessato i loro areali durante questo mese.

Tutti i valori minimi di portata si sono registrati, ad eccezione della Vevera, del Bardello e del Boesio (Agosto), nei mesi di Febbraio e Marzo.

Nella figura 2.1.2. sono confrontati gli andamenti dei deflussi del 2000 e quelli dei periodi di riferimento del Ticino Immissario, del Toce e del Ticino Emissario; essi presentano in quest'ultimo anno valori inferiori o uguali alle medie fino a Marzo, superiori nei due mesi successivi, nuovamente al di sotto della media fino ad Agosto o Settembre e successivamente valori molto più elevati nei restanti mesi dell'anno.

Gli altri corsi d'acqua studiati hanno seguito un andamento molto simile a quello sopra descritto ad eccezione del Boesio, del San Giovanni e della Vevera che si sono mantenuti sempre al di sotto dei valori del periodo di riferimento nei mesi dell'anno fino a Settembre. Il Bardello invece, sempre rispetto al periodo di riferimento, ha fatto registrare valori di poco superiori a Maggio, così come la Tresa che si presenta con valori elevati anche a Luglio.

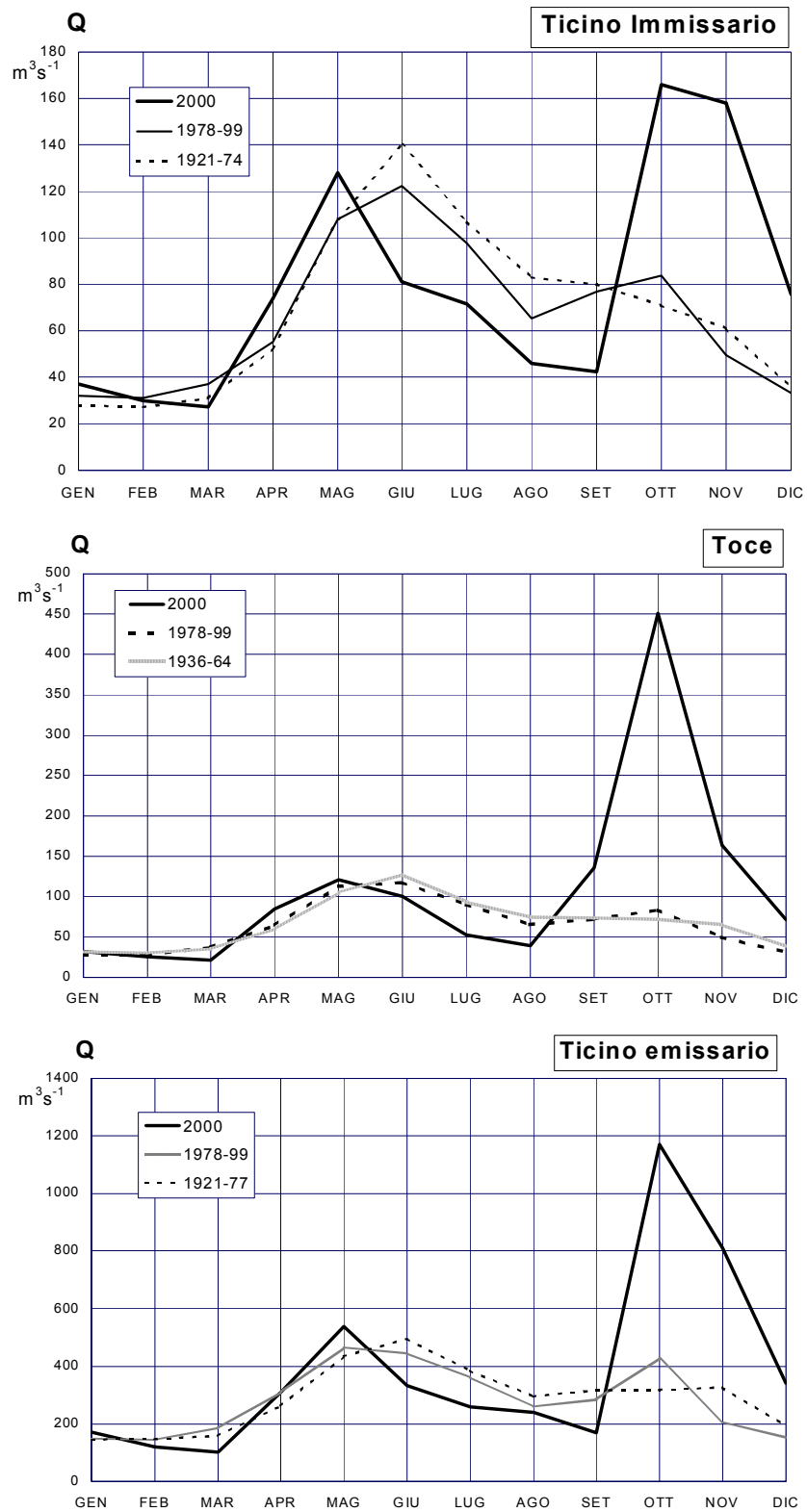


Fig. 2.1.2. Lago Maggiore 2000. Regime delle portate.

2.2. Meteorologia dell'areale lacustre

Il quadro sintetico attinente alle caratteristiche meteorologiche rilevate durante il 2000 alla stazione di Pallanza (C.N.R.-Istituto Italiano di Idrobiologia) che qui viene presentato, ha lo scopo di fornire dati di base per l'interpretazione dei fenomeni fisici, chimici e biologici che interessano l'ecosistema lacustre. A tal fine saranno presentati quei parametri, quali radiazione solare incidente, temperatura atmosferica, evaporazione e direzione ed intensità del vento, che più direttamente intervengono nel controllo dell'idrodinamica lacustre e che maggiormente concorrono a definire le quantità energetiche in grado di attivare i processi di stratificazione e di destratificazione termica, di mescolamento verticale tardo-invernale e di circolazione innescati dagli apporti advettivi.

Gli eventi meteorologici che maggiormente hanno caratterizzato il 2000 nell'areale del Lago Maggiore possono essere sintetizzati come segue:

1. precipitazioni scarse o ridotte nei primi tre mesi dell'anno, in particolare a Pallanza e nelle zone rivierasche del lago dove la penuria idrica si è protratta per più di 70 giorni, risultando uno dei 5-6 eventi più importanti del secolo (vedi capitolo sulle caratteristiche idrologiche);

2. nuovo massimo assoluto di temperatura media dell'atmosfera nel mese di Giugno (quantomeno a partire dal 1951);

3. precipitazioni intense (particolarmente sul bacino del Toce) negli ultimi tre mesi dell'anno; le piogge alluvionali in Ottobre hanno portato il giorno 17 il livello del Lago Maggiore a quota 197,94 m s.l.m., generando la più importante esondazione del Verbano dal 1868.

2.2.1. Radiazione solare

	2000 (cal cm ⁻²)		1951-1999 (cal cm ⁻²)	
totale annuo	106.692		104.250	
totale invernale	13.540		11.810	
totale primaverile	31.240		31.941	
totale estivo	44.913		41.982	
totale autunnale	17.714		18.517	
mese con rad. minima	2.503	Dic	1.978	Dic 1951
mese con rad. massima	16.292	Giu	18.034	Lug 1984
giorno con rad. minima	0,8	6 Nov	0,6	6 Nov 1999
giorno con rad. massima	711,9	16 Lug	840	22 Giu 1956

Con un totale annuo di 106.692 cal cm⁻², il 2000 si colloca fra quelli a radiazione solare globale medio-alta nella serie degli anni del periodo di confronto (1951-1999). Per quel che riguarda invece la regimazione stagionale, l'inverno (+12,7%) e l'estate (+6,52) si sono posti al di sopra della media, mentre un leggero decremento si è registrato in primavera (-2,24%) e in autunno (-4,53%). La distribuzione a livello mensile (Fig. 2.2.1.) mostra invece un andamento al di sotto della media di circa il 20% in Aprile e negli ultimi tre mesi dell'anno collocandoli tra i valori più bassi del periodo di confronto. Al di sopra della norma troviamo Gennaio, con +24%, nonché Marzo, Giugno e Settembre, tutti con un incremento di circa il 15%; vicini alla media sono i

valori degli altri mesi con una certa tendenza a superare quelli pluriennali. Da rilevare infine che il giorno con radiazione minima è stato il 6 Novembre con $0,8 \text{ cal cm}^{-2}$ mentre la massima si è avuta il 16 Luglio con $711,9 \text{ cal cm}^{-2}$, valore quest'ultimo molto lontano dal massimo assoluto del 1956 (840 cal cm^{-2}).

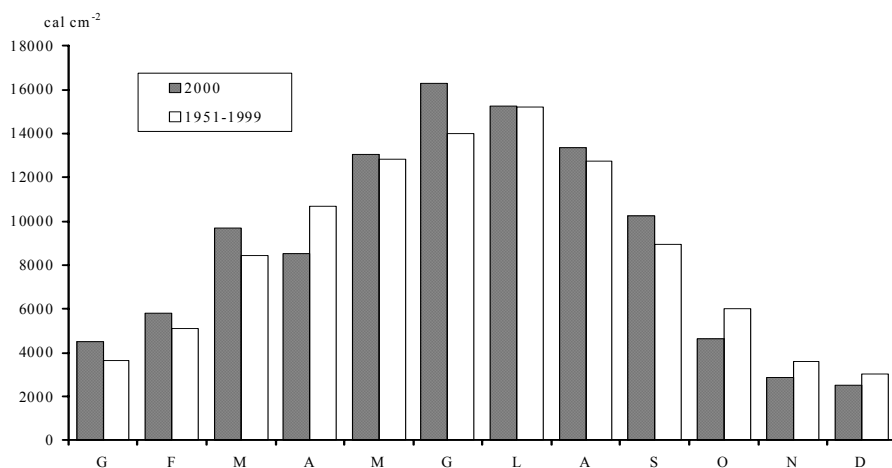


Fig. 2.2.1. Lago Maggiore 2000. Confronto tra i regimi mensili della radiazione solare a Pallanza nel 2000 e nel periodo 1957-1999.

2.2.2. Temperatura atmosferica

	2000 (°C)		1951-1999 (°C)	
media annua	13,20		12,28	
media invernale	3,86		3,58	
media primaverile	13,08		11,77	
media estiva	22,11		21,18	
media autunnale	13,13		12,59	
minima invernale	- 4,4	26 Gen	- 8,2	6 Gen 1985
minima primaverile	1,0	3 Mar	- 7,1	6 Mar 1971
minima estiva	11,3	12 Lug	7,0	18 Giu 1978
minima autunnale	1,6	19 Nov	- 3,6	23 Nov 1998
massima invernale	19,2	18 Gen	20,8	
massima primaverile	26,7	16 Mag	31,1	21 Mag 1953
massima estiva	33,4	25 Ago	35,6	5 Ago 1994
massima autunnale	27,8	15 Set	32,6	23 Set 1962

Da qualche anno ormai la temperatura media annua di Pallanza presenta valori superiori alla media del periodo pluriennale; anche nel 2000 l'aumento è stato assai consistente con un valore che, a fronte di una media del periodo 1951-1999 di $12,28^{\circ}\text{C}$, è stato di $13,2^{\circ}\text{C}$: si tratta della quarta temperatura media annua più alta registrata dall'inizio dell'attività dell'Osservatorio di Pallanza.

L'incremento termico sulle medie pluriennali si è verificato in ogni periodo stagionale, ma con più evidenza in primavera ($+1,31^{\circ}\text{C}$) in estate ($+0,93^{\circ}\text{C}$) e in misura minore nelle altre due stagioni ($+0,54^{\circ}\text{C}$ in autunno e $+0,28^{\circ}\text{C}$ in inverno), senza per altro che siano stati raggiunti i massimi assoluti del periodo.

Quanto al regime mensile (Fig. 2.2.2.), vi è da segnalare che solo in Gennaio, Luglio e Novembre si sono registrati valori leggermente al di sotto della media pluriennale, mentre negli altri mesi la temperatura ha superato, in qualche caso di gran lunga, i valori medi: è stato, infatti, raggiunto il nuovo massimo assoluto dell'intera serie in Giugno con 21,98°C (precedente 21,83°C nel 1976 e 1996) e in Maggio si è stabilito, con 18,0°C, il secondo valore più alto del periodo 1951-1999 per questo mese, dopo quello registrato nel 1953 con 19,71°C.

Va infine rilevato che il massimo giornaliero è stato registrato il 25 Agosto (33,4°C), mentre quello minimo (-4,4°C) risale al 26 Gennaio con un'escursione annua massima assoluta di 37,8°C, molto lontana però dal valore del 1991 di 41,2°C.

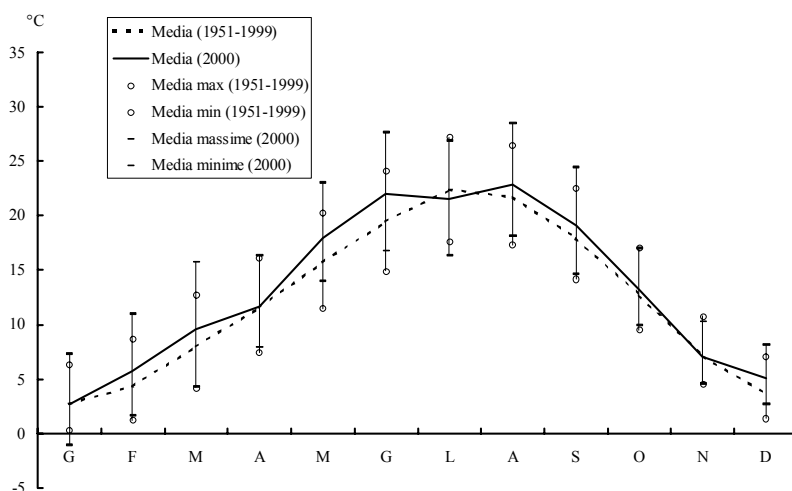


Fig. 2.2.2. Lago Maggiore 2000. Confronto tra i regimi mensili della temperatura a Pallanza nel 2000 e nel periodo 1957-1999.

2.2.3. Evaporazione

	2000 (mm)		1951-1999 (mm)	
totale annuo	959,6		1107,9	
totale invernale	123,4		106,4	
totale primaverile	257,2		326,2	
totale estivo	458,7		491,5	
totale autunnale	144,0		183,8	
mese con evap. minima	13,7	Nov	9,9	Gen 1996
mese con evap. massima	164,6	Giu	258,0	Lug 1959
giorno con evap. massima	9,4	15 Lug	18,7	16 Lug 1984

La quantità d'acqua passata all'atmosfera attraverso l'evaporazione nel 2000 (959,6 mm) pur non rappresentando il minimo assoluto di Pallanza (879 mm, nel 1972) costituisce indubbiamente un valore molto basso risultando il quarto, in senso crescente nella serie ultraquarantennale degli anni di confronto. La variazione negativa sul totale annuo risulta di circa il 14% in meno e stagionalmente è riscontrabile in estate (-7%) ma

soprattutto in primavera ed autunno, entrambi con -21% ; da rilevare che l'evaporazione di quest'ultimo periodo (144 mm) è il terzo valore più basso mai verificato ed è evidentemente una conseguenza dell'evento alluvionale iniziato a Settembre. Per quanto riguarda la regimazione evaporimetrica mensile, gli istogrammi in figura 2.2.3. consentono un confronto tra i dati del 2000 e quelli medi degli anni della serie pregressa. Da essa si rileva che solo da Gennaio a Marzo ed in Giugno l'acqua evaporata nell'ultimo anno supera, anche se di poco, il valore dei mesi corrispondenti del periodo di riferimento, mentre sono basse quelle registrate in tutti gli altri mesi: in particolare quella di Novembre che con 13,7 mm costituisce il nuovo minimo assoluto per questo mese, il precedente risaliva al 1994 con 16,1 mm. Quanto all'evaporazione giornaliera si deve rilevare che in 31 giorni non è stata superata la soglia limite strumentale del parametro per cui sono da considerare ad evaporazione nulla; viceversa il 15 Luglio risulta il giorno con evaporazione massima con 9,4 mm.

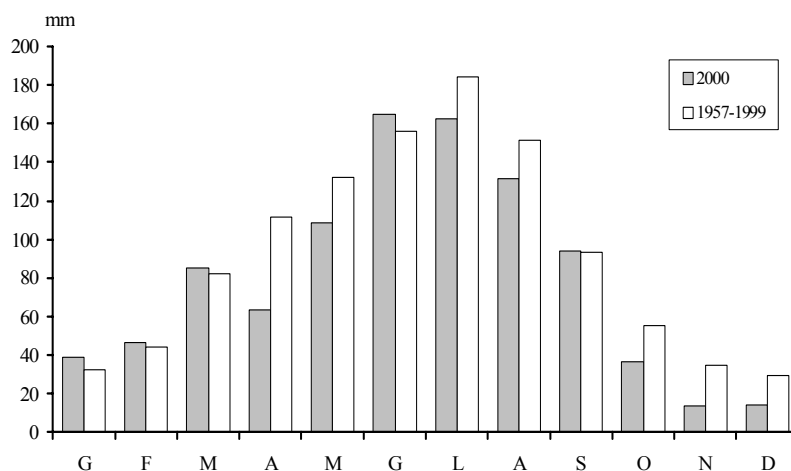


Fig. 2.2.3. Lago Maggiore 2000. Confronto tra i regimi mensili dell'evaporazione a Pallanza nel 2000 e nel periodo 1957-1999.

2.2.4. Intensità e direzione del vento

	2000 (km)		1997-1999 (km)	
percorso annuo	48.740		45.104	
percorso invernale	9.913		9.442	
percorso primaverile	13.401		12.786	
percorso estivo	12.904		12.372	
percorso autunnale	12.523		10.502	
direzione prevalente	W		SSE	
mese più ventoso	5.264,6	Apr	4910	Mag 1997
giorno più ventoso	534,8	28 Apr	574	8 Ott 1997

Il percorso del vento durante il 2000 è stato di 48.870 km ed è il valore più elevato registrato dal 1997, da quando 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 con gli ultimi tre anni. Anche in tutte le stagioni il percorso del vento presenta valori al di sopra della media degli anni precedenti, con una distribuzione che risulta del 29% in primavera, 28% in estate, 27% in autunno e 5% in inverno. Il mese più ventoso (Fig. 2.2.4a) è stato, come normalmente accade, Aprile con 5.265 km seguito da Giugno (4.711 km): viceversa i valori più bassi si sono registrati nei mesi invernali e precisamente in Dicembre (3.068 km) e Febbraio (3.109 km).

Quanto alla direzione di provenienza la figura 2.2.4b indica che il vento prevalente è stato da W seguito da quello da NNE e ESE. Questo è quanto risulta a partire dal 1997 perché il regime anemometrico di Pallanza è solitamente dominato da brezze di debole intensità che non venivano registrate dall'anemometro autogeneratore mentre lo sono da quello operante attualmente.

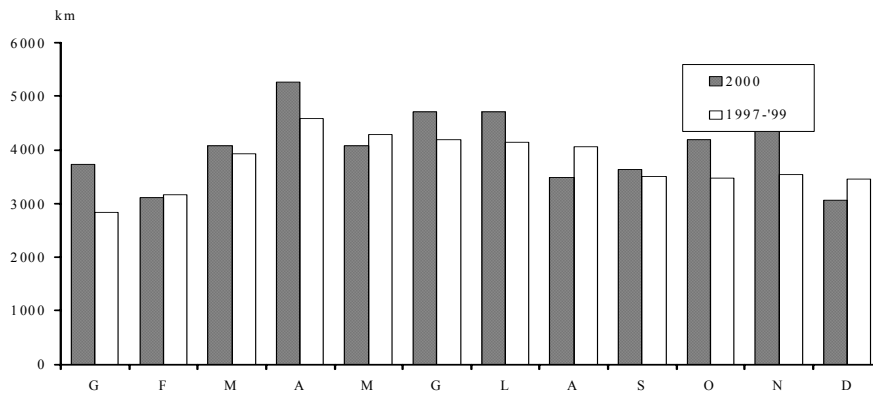


Fig. 2.2.4a. Lago Maggiore 2000. Regimi della quantità di vento filato a Pallanza nel 2000 e nel periodo 1957-1999.

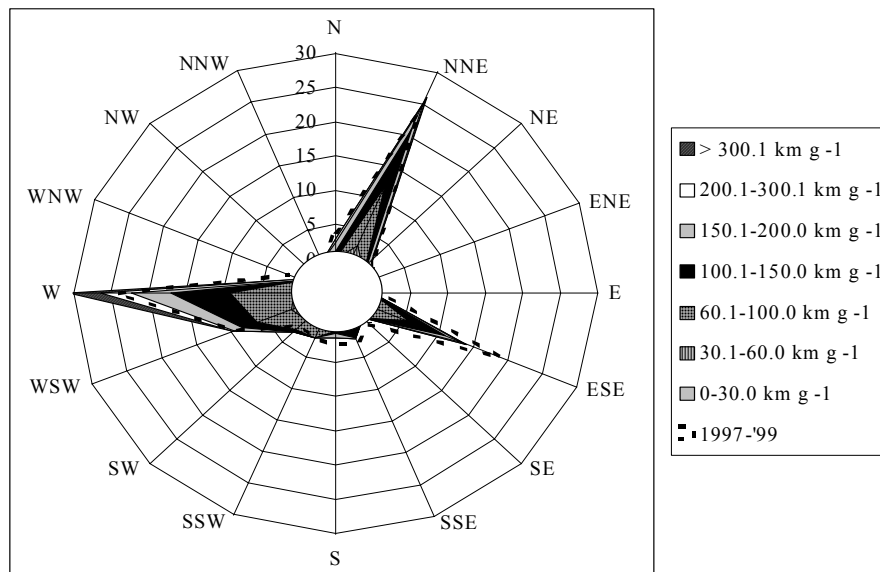


Fig. 2.2.4b. Lago Maggiore 2000. Rosa dei venti a Pallanza nel 2000 e per il periodo 1957-1999.

2.3. Apporti chimici dai tributari

2.3.1. Caratteristiche chimiche e chimico fisiche

Nel corso del 2000 sui 14 corsi d'acqua oggetto d'indagine e sul Ticino emissario sono stati eseguiti 12 campionamenti con frequenza mensile da Gennaio a Ottobre, mentre nel mese di Novembre sono stati effettuati 2 prelievi. Inoltre alla foce del Bardello sono stati raccolti cinque campioni aggiuntivi tra Agosto e Dicembre, al fine di valutare le eventuali modifiche dovute agli interventi di sottrazione di acque ipolimniche dal Lago di Varese nel periodo di massima stratificazione termica, con restituzione nell'emissario.

I valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche misurate sui tributari e sull'emissario nel corso del 2000 sono presentati in (Tab. 2.3.1). Inoltre in figura 2.3.1a sono riportate le concentrazioni medie annuali dell'alcalinità totale dei tributari insieme con i pH medi annuali. Questi ultimi sono rimasti pressoché invariati rispetto a quelli misurati 1999 sui singoli tributari e sull'emissario, risultando compresi tra un minimo di 7,00 (Verzasca) e un massimo di 8,25 (Tresa). I valori più bassi di pH, inferiori a 7,81 unità, e di alcalinità totale, inferiori a 0,5 meq l⁻¹, hanno riguardato i bacini impostati prevalentemente in rocce ignee (Verzasca, Maggia, Cannobino, San Giovanni, San Bernardino, Strona, Erno e Giona). Gli stessi tributari hanno presentato anche valori di conducibilità piuttosto limitati, compresi tra 41 (Cannobino) e 110 μS cm⁻¹ (Strona). I pH medi annuali superiori a 8,0 e i tenori di alcalinità maggiori di 1,5 meq l⁻¹, accompagnati da conducibilità comprese tra 196 e 344 μS cm⁻¹, si sono riscontrati sui tributari che drenano areali in gran parte costituiti da rocce sedimentarie (Vevera, Bardello e Tresa).

Tab. 2.3.1. Valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche sui tributari e sull'emissario del Lago Maggiore campionati nel 2000.

		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)	8,23	5,30	609	0,46	2,77	1,02	4,26	224	3,3
Bardello	(BAR)	8,09	2,91	344	0,22	1,33	0,71	2,27	196	1,8
Tresa (a)	(TRE)	8,25	1,69	196	0,09	1,05	0,39	1,53	46	0,9
Giona	(GIO)	7,65	0,40	87	0,02	1,30	0,15	1,47	35	4,4
Tributari piemontesi										
Vevera	(VEV)	8,05	1,50	202	0,19	3,25	0,39	3,82	88	5,4
Strona	(STR)	7,54	0,41	110	0,08	1,74	0,27	2,09	37	3,3
Toce Ossola	(TOC)	7,51	0,84	170	0,05	0,64	0,20	0,90	31	2,7
San Giovanni	(SGI)	7,46	0,27	65	0,02	1,64	0,15	1,81	18	4,7
Erno	(ERN)	7,35	0,33	107	0,01	2,10	0,16	2,26	21	4,5
San Bernardino	(SBE)	7,52	0,30	58	0,01	1,23	0,14	1,37	5	3,2
Cannobino	(CAN)	7,37	0,22	44	0,01	0,79	0,12	0,92	7	3,8
Tributari svizzeri										
Maggia	(MAG)	7,81	0,47	72	0,01	0,88	0,14	1,03	6	3,2
Ticino immissario	(TIM)	7,82	1,05	238	0,01	0,85	0,14	1,00	8	2,6
Verzasca	(VER)	7,00	0,31	53	0,01	0,91	0,14	1,06	6	3,1
Emissario										
Ticino emissario	(TEM)	8,01	0,82	140	0,02	0,74	0,23	0,99	13	1,0

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

Anche il bacino del Boesio è impostato in rocce carbonatiche, ma le concentrazioni di alcalinità totale delle sue acque (media annuale $5,3 \text{ meq l}^{-1}$, con massimi fino a $6,5 \text{ meq l}^{-1}$) risultano ben più elevate di quelle naturali per la presenza di scarichi industriali ad alto tenore di bicarbonati. I valori intermedi hanno riguardato i bacini di maggior complessità e varietà litologica, vale a dire il Ticino immissario e il Toce, sui quali sono stati rispettivamente misurati pH medi di 7,82 e 7,51 unità, nonché concentrazioni d'alcalinità totale pari a $1,05$ e $0,84 \text{ meq l}^{-1}$ e di conducibilità di 238 e $170 \mu\text{S cm}^{-1}$. Infine, come negli anni precedenti, si è riconfermato l'effetto dei processi lacustri di sintesi algale sul pH delle acque emissarie di Tresa e Ticino emissario che hanno mostrato un marcato andamento stagionale del pH, con massimi primaverili ed estivi compresi tra 8,7 e 8,9 unità; ciò non si è invece verificato sull'emissario del Lago di Varese, il F. Bardello, dove il pH si è mantenuto stabilmente tra 8,0 e 8,2 unità.

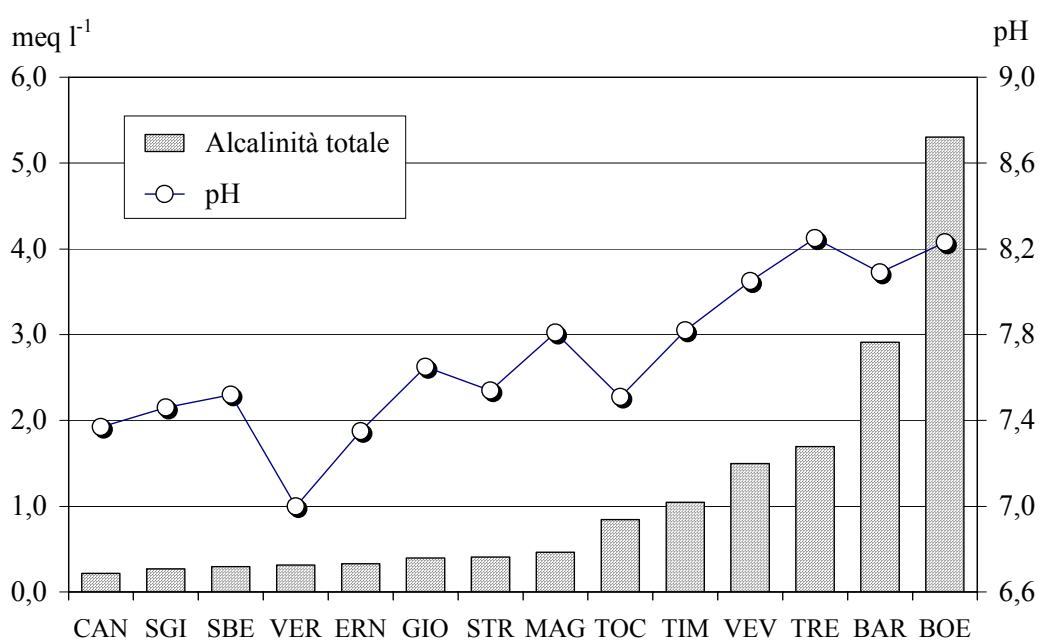


Fig. 2.3.1a. Valori medi annuali di pH e alcalinità totale sui principali tributari del Lago Maggiore.

Per quanto riguarda le variabili più direttamente influenzate da scarichi urbani e/o industriali, si è riconfermato che la situazione peggiore è quella del Boesio. Questo torrente ha presentato concentrazioni elevatissime di nutrienti algali (Tab. 2.3.1a e Fig. 2.3.1b); infatti, i tenori medi annuali di fosforo totale ($224 \mu\text{g P l}^{-1}$), azoto organico ($1,02 \text{ mg N l}^{-1}$) e azoto ammoniacale ($0,46 \text{ mg N l}^{-1}$) ne dimostrano la pesantissima compromissione ambientale, aggravata oltre tutto dall'assenza di qualsiasi segnale di miglioramento rispetto agli anni precedenti.

Anche il Bardello ha evidenziato concentrazioni medie annuali troppo elevate sia di fosforo totale ($196 \mu\text{g P l}^{-1}$) che di azoto ammoniacale ($0,22 \text{ mg N l}^{-1}$) ed organico ($0,71 \text{ mg N l}^{-1}$). La qualità delle sue acque, già condizionata negativamente dall'eutrofia del Lago di Varese, presenta un progressivo deterioramento lungo il suo corso per le successive immissioni di scarichi non sufficientemente depurati.

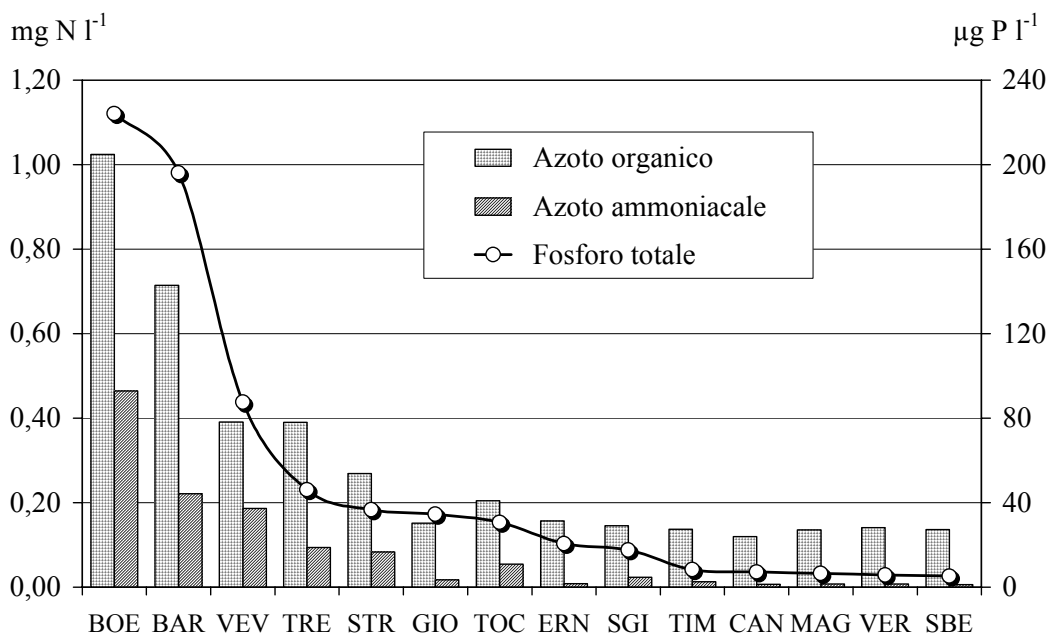


Fig. 2.3.1b. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate nel 2000 sui principali tributari del Lago Maggiore.

Inoltre, la situazione che si è riscontrata appare leggermente più compromessa rispetto all'anno precedente per il carico aggiuntivo di nutrienti che si è verificato da metà Maggio alla prima settimana di Ottobre come diretta conseguenza degli interventi di sifonamento di acque ipolimniche del lago finalizzati al suo risanamento. Il confronto tra le concentrazioni medie riscontrate tra il 15 Maggio e il 15 Ottobre 2000 con quelle misurate nello stesso periodo del 1999, quando tali interventi non erano ancora in funzione, mette in evidenza incrementi di circa il 63% per il fosforo totale (da 145 a 236 $\mu\text{g P l}^{-1}$) e per l'azoto ammoniacale (da 0,11 a 0,18 mg N l^{-1}), mentre nel caso delle altre variabili le differenze risultano assai meno pronunciate. Gli aumenti osservati non sembrano tuttavia tali da costituire un peggioramento eccessivo ed inaccettabile per il Lago Maggiore e per il fiume stesso, anche perché, nell'ultimo decennio, si sono riscontrati contenuti medi annuali di fosforo totale e di azoto ammoniacale superiori o dello stesso ordine di grandezza di quelli del periodo in esame (Fig. 2.3.1c).

Esaminando le concentrazioni di fosforo totale sugli altri tributari campionati, si evidenziano tenori medi annuali compresi tra un minimo di 5 $\mu\text{g P l}^{-1}$ e un massimo di 88 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (Fig. 2.3.1d). Se si tiene conto della concentrazione di 21 $\mu\text{g P l}^{-1}$ come obiettivo di qualità da rispettare per il mantenimento di stabili condizioni di oligotrofia nelle acque lacustri, sette tributari (S. Bernardino, Verzasca, Maggia, Cannobino, Ticino immissario, S. Giovanni ed Erno) risultano in condizioni largamente accettabili, testimoniate anche da modesti contenuti medi di azoto ammoniacale ed organico, rispettivamente inferiori a 0,02 e 0,16 mg N l^{-1} (Fig. 2.3.1b).

La situazione è invece negativa per Vevera e Tresa, le cui concentrazioni si sono accresciute rispetto al 1999, passando rispettivamente da 46 a 88 $\mu\text{g P l}^{-1}$ e da 39 a 46 $\mu\text{g P l}^{-1}$. Così pure i tenori medi di fosforo totale di Toce Ossola, Giona e Strona, compresi tra 31 e 37 $\mu\text{g P l}^{-1}$, segnalano la presenza nei rispettivi bacini drenanti di scarichi ancora non sufficientemente depurati.

Per questi cinque corsi d'acqua gli andamenti nell'ultimo quinquennio sono però risultati diversi (Fig. 2.3.1e): rispetto al 1996-1997, i tenori medi annuali di fosforo totale misurati nel 2000 hanno mostrato una crescita considerevole nel Vevera, mentre si sono mantenuti pressoché costanti nel Tresa; anche le concentrazioni di Giona e Toce evidenziano un significativo incremento finì a livelli simili a quelli dello Strona, che ha invece riconfermato i valori del 1999, anno nel quale sono stati eliminati quasi completamente gli scompensi di funzionamento dell'impianto di depurazione consortile di Ome-gna.

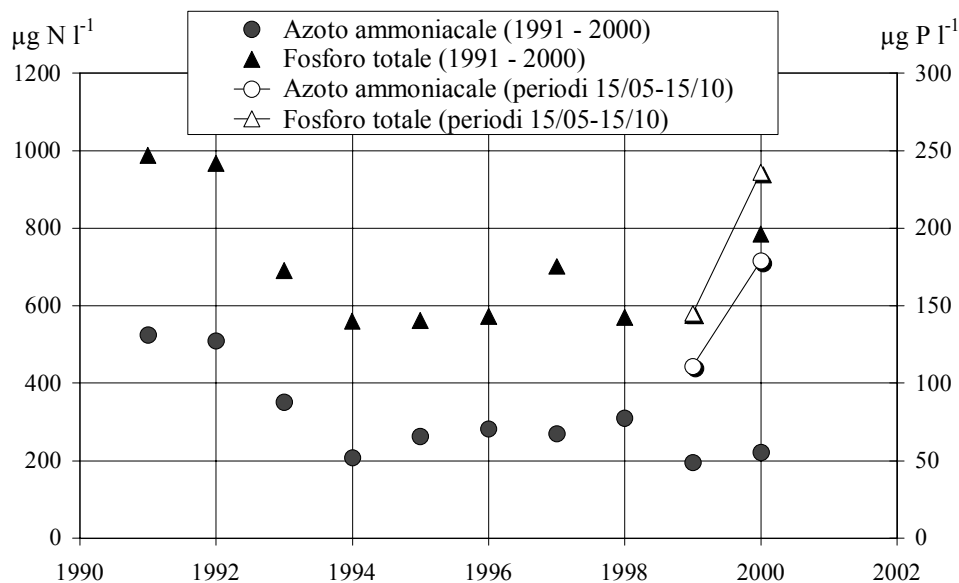


Fig. 2.3.1c. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale misurate nel decennio 1991-2000 alla foce del F. Bardello in riferimento a quelle del periodo 15 Maggio – 15 Ottobre del biennio 1999-2000.

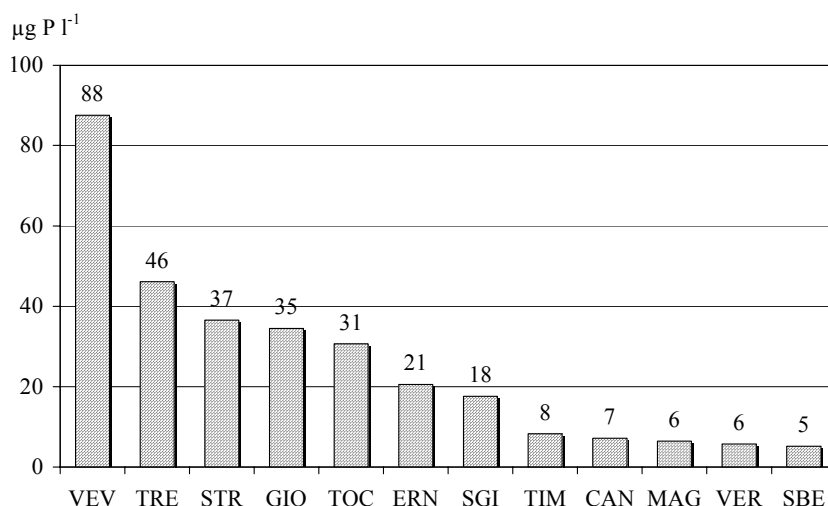


Fig. 2.3.1d. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel 2000 sui corsi d'acqua campionati ad esclusione di Boesio e Bardello.

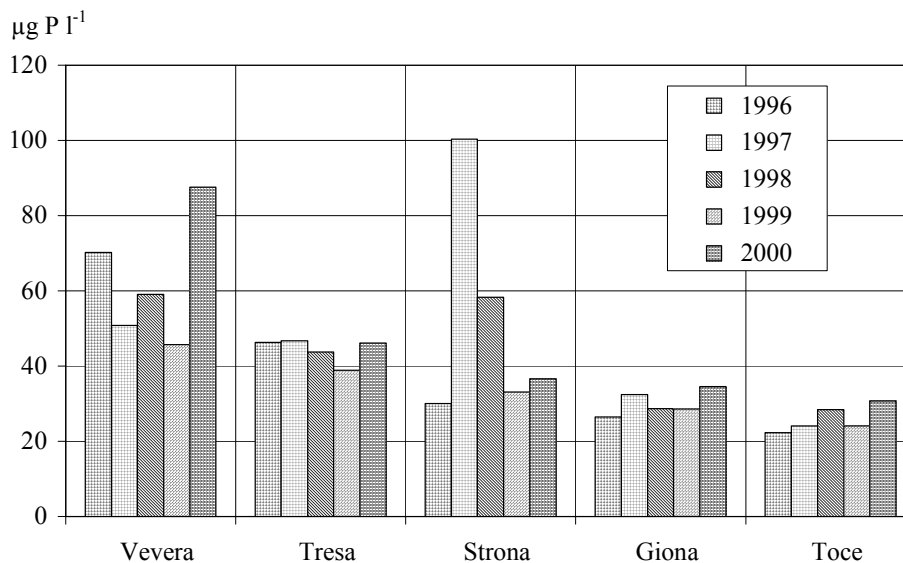


Fig. 2.3.1e. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel quinquennio 1996-2000 sui corsi d'acqua Vevera, Tresa, Strona, Giona e Toce (Ossola).

Il confronto esteso all'ultimo decennio delle concentrazioni areali di azoto ammoniacale (Fig. 2.3.1f), azoto organico (Fig. 2.3.1g) e fosforo totale (Fig. 2.3.1h), calcolate come valori medi ponderati dal rapporto tra le concentrazioni medie annuali misurate sui singoli tributari e l'area dei rispettivi bacini imbriferi, permette di verificare la qualità delle acque tributarie che raggiungono il Lago Maggiore dagli areali piemontese, lombardo e svizzero. Le prime, che comprendono attraverso il Tresa anche la porzione svizzera del bacino del Lago di Lugano, presentano tenori significativamente più alti di quelli riscontrati nei tributari piemontesi e ticinesi. Tuttavia il raffronto dei valori annuali mostra una sensibile diminuzione nelle acque lombarde dopo il 1993 ed una relativa stabilità in quelle piemontesi e ticinesi. Il calo è particolarmente evidente per l'azoto ammoniacale (da massimi di 0,29 a 0,12 mg N l⁻¹) e l'azoto organico (da massimi di 0,73 a 0,45 mg N l⁻¹), mentre per il fosforo totale si è accertata un'inversione di tendenza nel corso del 2000, con un incremento rispetto all'anno precedente da 63 a 74 µg P l⁻¹ da imputare soprattutto a Bardello e Tresa.

Lo stesso andamento riguarda anche le acque tributarie piemontesi per le quali si sono riscontrati aumenti da 23 a 29 µg P l⁻¹ essenzialmente dovuti al Toce e al Vevera, mentre le concentrazioni medie areali di azoto ammoniacale (0,05 mg N l⁻¹) ed organico (0,20 mg N l⁻¹) sono risultate praticamente identiche a quelle dell'anno precedente.

Nello stesso periodo le acque tributarie ticinesi mostrano invece una sostanziale stabilità su valori particolarmente bassi e tipici di ambienti non contaminati: le concentrazioni di azoto ammoniacale ed organico restano attestate rispettivamente intorno a 0,01 e 0,14 mg N l⁻¹, mentre quelle di fosforo totale variano tra 6 e 8 µg P l⁻¹.

Infine, per quanto riguarda i contenuti medi annuali di tutte le acque campionate che afferiscono al lago, si può osservare come l'andamento storico dei tenori medi di fosforo totale e azoto ammoniacale (Fig. 2.3.1i) dimostri l'indubbio miglioramento degli afflussi nel periodo 1978 – 1994, seguito negli anni successivi da una lunga fase di stabilità su valori che confermano l'avvicinamento a stabili condizioni di oligotrofia del lago.

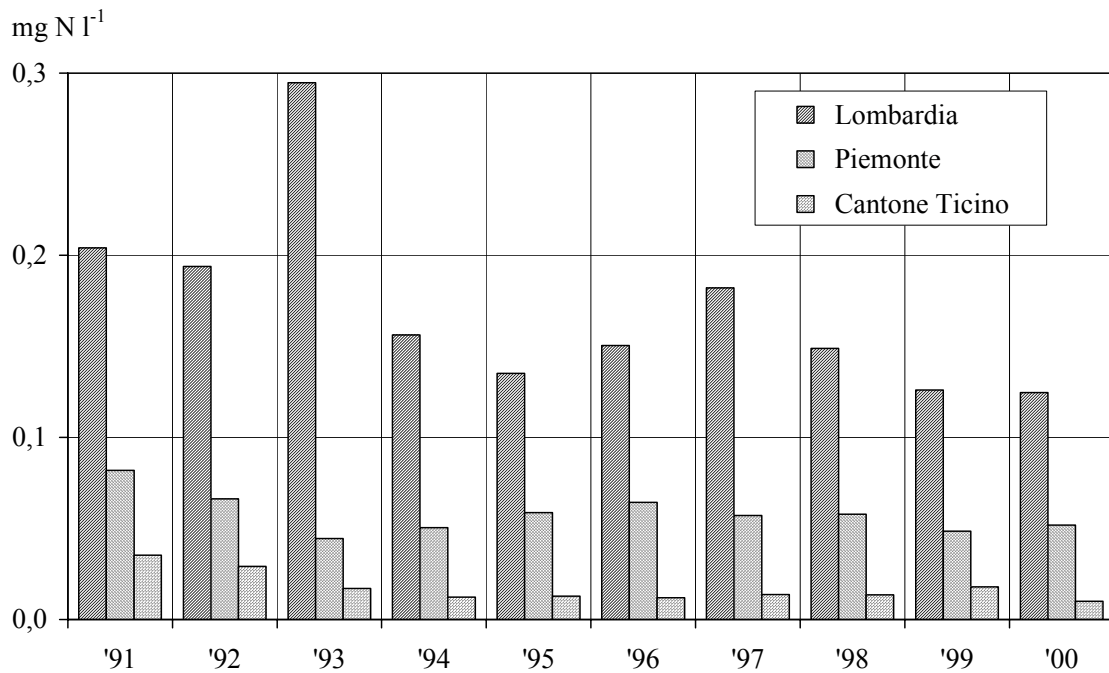


Fig. 2.3.1f. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale nel decennio 1991-2000 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

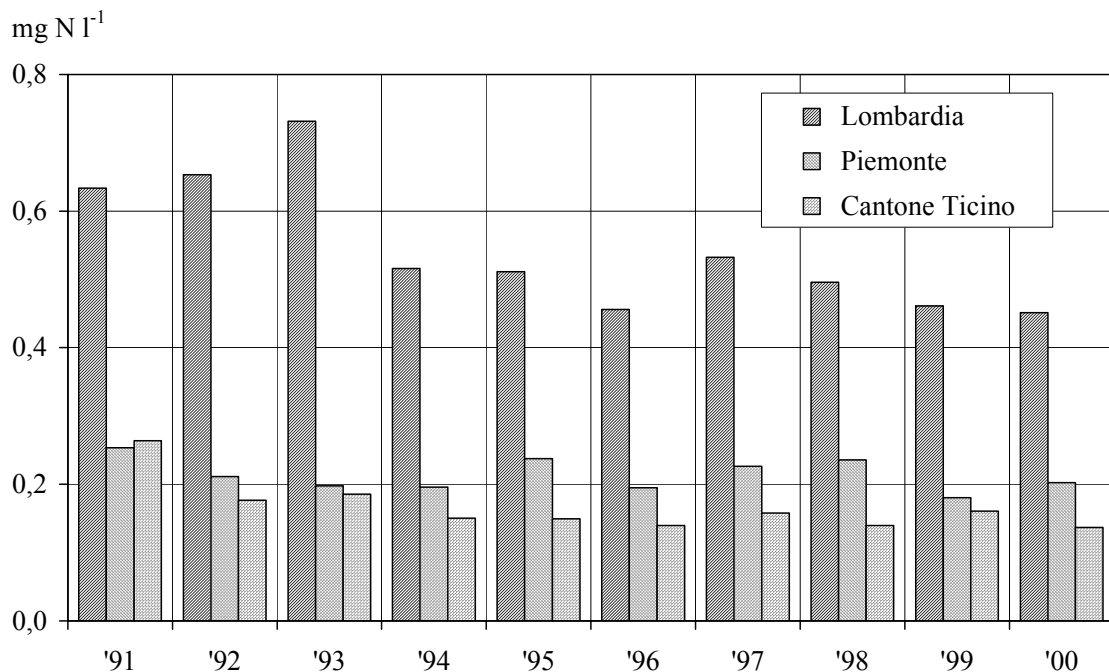


Fig. 2.3.1g. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto organico nel decennio 1991-2000 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

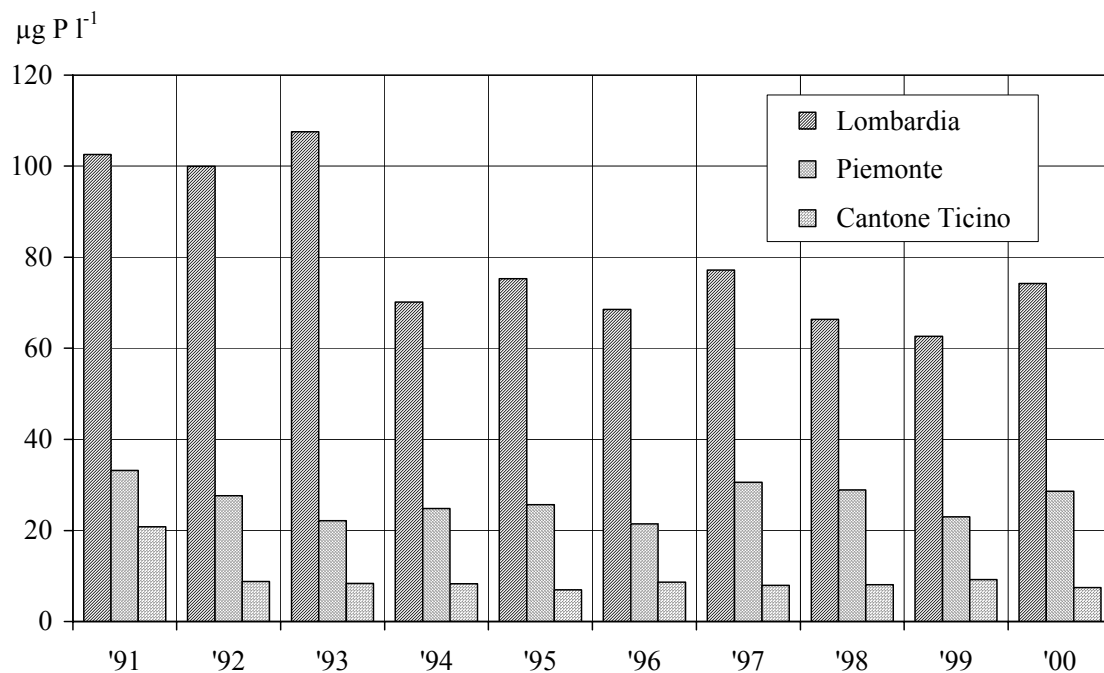


Fig. 2.3.1h. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di fosforo totale nel decennio 1991-2000 nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

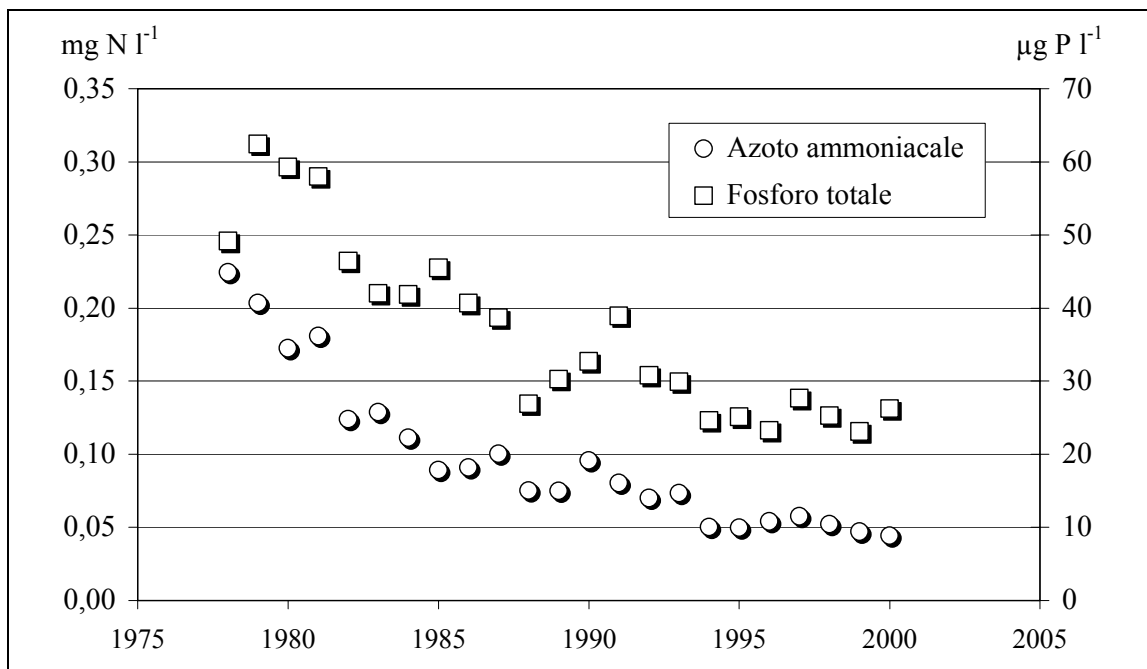


Fig. 2.3.1i. Lago Maggiore. Evoluzione delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale e azoto ammoniacale negli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

2.3.2. Carichi chimici

Gli apporti relativi al 2000 di azoto ammoniacale, nitrico, organico e totale, nonché di fosforo totale dai principali tributari e in uscita dall'emissario sono stati misurati utilizzando le metodologie di calcolo già impiegate negli anni precedenti. Per il Ticino emissario e 10 corsi d'acqua, drenanti complessivamente il 70% del bacino imbrifero, i carichi sono stati calcolati dai valori di concentrazione e dai deflussi giornalieri. Per due tributari (Verzasca e Giona) e per lo Strona, che confluisce nel Toce a valle del bacino della Val d'Ossola, i carichi sono stati stimati dalla regressione lineare tra i contributi areali e le concentrazioni medie annuali. Nel caso della Maggia, tale metodologia è stata adottata soltanto per gli apporti derivanti dai contributi idrici sottratti a scopo idroelettrico nella parte alta del suo bacino e restituiti in lago a Brissago, mentre la quota rimanente del carico è stata stimata dalle concentrazioni e dai deflussi giornalieri misurati a Solduno (Locarno). Infine va ricordato che il 2000 è stato caratterizzato da deflussi di gran lunga superiori rispetto agli anni precedenti soprattutto per le precipitazioni intense che, tra la fine di Settembre e il mese di Novembre, hanno essenzialmente riguardato il bacino del Toce e la porzione occidentale del bacino imbrifero del lago. Proprio in conseguenza degli eventi alluvionali dell'autunno, le portate di molti tributari sono da considerarsi provvisorie, in quanto dovranno essere riviste alla luce dei controlli sulla stabilità delle sezioni di misura nonché della taratura delle curve di livello/portata. Il ricalcolo e l'eventuale correzione degli apporti annuali verranno effettuati in occasione della stesura del rapporto per quinquennio 1998-2002.

I carichi dei nutrienti in arrivo al lago ed in uscita dall'emissario nell'ultimo biennio, sono riportati in tabella 2.3.2a. Rispetto al 1999, gli apporti di azoto totale e di fosforo totale nell'anno in studio sono rispettivamente risultati più alti di circa il 32% (12014 contro 9082 t N a⁻¹) e il 37% (231 contro 169 t P a⁻¹). Tali differenze risultano ancor più elevate per i carichi defluiti dal Ticino emissario: circa il 42% per l'azoto (12900 contro 9052 t N a⁻¹) e il 37% per il fosforo (171 contro 109 t P a⁻¹).

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 1999-2000.

	N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Ticino Immissario ^(a)	50	35	2176	2284	432	385	2658	2704	29,9	22
Maggia ^(a,b)	4	12	1042	1356	158	200	1203	1568	6,3	11
Verzasca ^(b)	0,7	3,5	260	365	33	67	293	435	1,2	4,0
Cannobino ^(a)	1,1	0,7	109	127	24	9	134	138	1,2	1,0
San Giovanni ^(a)	0,6	0,6	77	92	11	7	88	100	0,7	0,8
San Bernardino ^(a)	1,0	1,6	224	366	32	48	257	416	1,0	1,6
Toce Ossola ^(a)	108	122	1425	2387	399	538	1931	3046	57,7	89
Strona ^(b)	21	16	377	572	92	58	490	646	7,3	9,0
Erno ^(a)	0,2	0,3	45	81	4,3	5,4	50	86	0,4	0,6
Vevera ^(a)	0,9	2,2	38	99	3,9	5,4	43	107	0,6	1,4
Bardello ^(a)	21	27	140	166	90	88	250	281	15,1	20
Boesio ^(a)	29	17	155	175	52	42	237	233	12,8	8,8
Tresa ^(a)	73	82	908	1608	388	450	1369	2141	32,9	59
Giona ^(b)	0,8	1,1	66	101	11	10,7	78	112	1,4	1,9
Totale campionati	310	321	7042	9779	1730	1913	9082	12014	169	231
Ticino emissario ^(a)	160	179	6756	9658	2136	3052	9052	12889	109	171

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

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

Gli incrementi degli apporti di azoto delle acque tributarie sono essenzialmente dovuti ai nitrati (9779 contro 7042 t N a⁻¹), mentre il carico di azoto organico ha mostrato un aumento decisamente inferiore, dell'ordine dell'11%, e quello di azoto ammoniacale è rimasto pressoché costante (321 contro 310 t N a⁻¹).

Il carico di azoto totale del 2000, comprensivo degli apporti derivanti dall'areale emerso, dalla popolazione rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre, è risultato pari a 14500 t N a⁻¹, a fronte di un'uscita di 12900 t N a⁻¹ (Tabella 2.3.2b e Fig. 2.3.2a). Su scala storica, entrambi questi valori rappresentano i massimi misurati dal 1978 al 2000. Essi non dipendono da improvvisi e consistenti incrementi di emissioni inquinanti, ma sono la riprova che l'azoto deriva essenzialmente da sorgenti diffuse quali le precipitazioni atmosferiche sul bacino emerso e il dilavamento superficiale. Infatti, essi coincidono con i massimi registrati nello stesso periodo di osservazione sia degli afflussi meteorici sul bacino imbrifero del lago (2078 mm a⁻¹) che dei deflussi annuali dal Ticino emissario. Nel 2000, la ripartizione degli apporti di azoto totale dai tributari campionati è ritornata del tutto simile a quella degli anni anteriori al 1999; i carichi più consistenti derivano dall'intero bacino del Toce comprensivo dello Strona (30,7%) dal Ticino (22,5%), Tresa (17,8%) e Maggia (13,1%), mentre i rimanenti tributari hanno contribuito al carico globale per il 15,9% (Fig. 2.3.2b).

Anche nel caso del fosforo totale, per il quale la componente dovuta agli scarichi puntuali è largamente prevalente rispetto a quella derivante da sorgenti diffuse, si sono riscontrati carichi in arrivo al lago ed in uscita dall'emissario molto elevati (Tabella 2.3.2a). Gli incrementi più rilevanti rispetto all'anno precedente hanno riguardato Toce Ossola (da 58 a 89 t P a⁻¹), Maggia (da 6,3 a 11 t P a⁻¹), Bardello (da 15 a 20 t P a⁻¹), Tresa (da 33 a 59 t P a⁻¹) e Ticino emissario (da 109 a 171 t P a⁻¹). Le variazioni in diminuzione sono state osservate per Ticino immissario (da 30 a 22 t P a⁻¹) e Boesio (da 13 a 9 t P a⁻¹), mentre i carichi dagli altri corsi d'acqua sono risultati pressoché invariati o hanno presentato un leggero incremento.

Gli apporti totali dall'intero bacino (309 t P a⁻¹), che comprendono i carichi dai tributari campionati (231 t P a⁻¹), dall'areale non campionato (20 t P a⁻¹) e dalla zona rivierasca (58 t P a⁻¹), sono i più alti degli ultimi 14 anni (Tabella 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 (42,6%), dal Tresa (25,7%) e dal Ticino immissario (9,5%). Più limitati risultano i contributi dal Bardello (8,6%), Maggia (4,9%), Boesio (3,8%), mentre i restanti bacini rappresentano soltanto il 4,9%.

Nel 2000, i maggiori apporti di fosforo per unità di superficie drenata (Tabella 2.3.2d) sono stati osservati, come nel passato, sul Boesio (0,194 g m⁻² a⁻¹) che tuttavia ha presentato i valori più bassi degli ultimi sei anni (Fig. 2.3.2e). Il lieve miglioramento non è però sufficiente per modificare il giudizio negativo sullo stato di pesante compromissione ambientale di questo corso d'acqua, anche perché i suoi contributi areali di azoto ammoniacale ed organico sono rimasti elevati. Gli andamenti nell'ultimo triennio dei contributi di fosforo totale (Fig. 2.3.2f), azoto ammoniacale (Fig. 2.3.2g), organico (Fig. 2.3.2h) e totale (Fig. 2.3.2i) confermano lo stato di alterazione di Bardello, Tresa e Verera, mentre appare migliorata la situazione dello Strona. Gli stessi dati mettono però in luce un significativo incremento nel 2000 di apporti dal Toce Ossola, che sono probabilmente legati agli eventi di piena precedentemente menzionati.

Infine, la necessità di ulteriori interventi di risanamento nella parte lombarda del bacino si evidenzia dai contributi medi areali delle sue acque tributarie che continuano ad essere molto più elevati di quelli calcolati per il Cantone Ticino e il Piemonte.

Tab. 2.3.2b. Lago Maggiore. Bilanci annuali dal 1978 al 2000 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
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
Maggia	1050	1240	780	1411	1211	1280	1300	968	1200	1570	1784	1240	923	1250	1395	1404	1462	1153	1377	1010	1267	1203	1568
Verzasca	373	406	251	403	320	327	354	247	299	416	456	310	197	319	376	353	365	277	356	217	300	293	435
Cannobino	140	126	105	131	144	152	136	85	137	182	165	136	99	146	148	130	159	114	129	107	134	134	138
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
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
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
Erno	65	65	32	44	49	35	57	34	48	60	86	52	38	62	75	74	74	52	70	48	64	50	86
Veveia	93	79	103	92	61	54	83	50	91	109	81	52	62	67	69	77	67	63	69	61	71	43	107
Bardello	364	410	302	259	270	273	385	447	380	338	323	395	360	365	427	363	366	347	371	333	291	250	281
Boesio	143	125	180	191	157	181	140	140	260	195	187	199	285	277	224	334	264	208	218	206	221	237	233
Tresa	1492	1158	955	1011	1328	1077	1377	1000	1352	1646	1562	1568	1294	1371	1885	1853	1613	1318	1328	1280	1344	1369	2141
Giona	84	76	48	80	72	71	75	57	73	94	101	72	61	78	93	88	89	72	89	66	82	78	112
Tributari campionati	10400	8800	7400	9800	8900	8600	9100	7500	9800	10700	10700	8100	7300	9200	9400	10500	9700	7500	8500	7100	8500	9100	12000
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
Totale bacino emerso	11300	9600	8000	10600	9700	9300	9900	8100	10600	11600	11600	8800	7900	10000	10200	11400	10600	8400	9200	7700	9200	9900	13000
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
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
Totale apporti	12700	10900	9100	12200	11000	10600	11000	9100	11800	12800	13000	10000	9100	11300	11600	12800	11900	9500	10500	8800	10500	11200	14500
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
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%

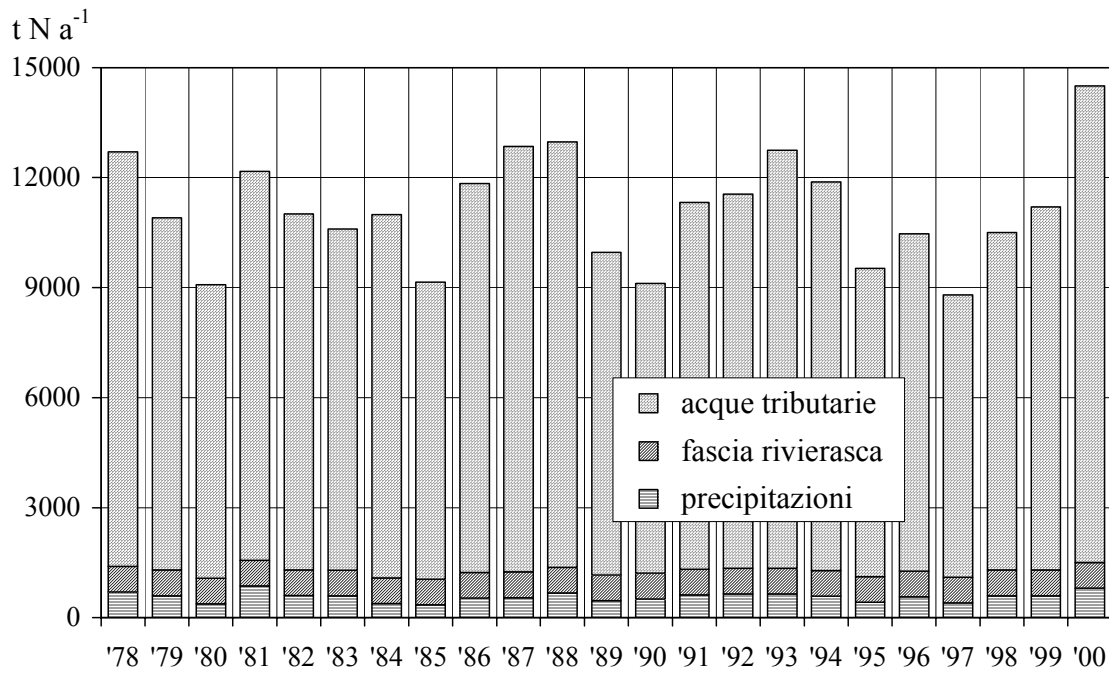


Fig. 2.3.2a. Lago Maggiore. Apporti annuali di azoto totale al lago dall'areale emerso, dalla zona rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre.

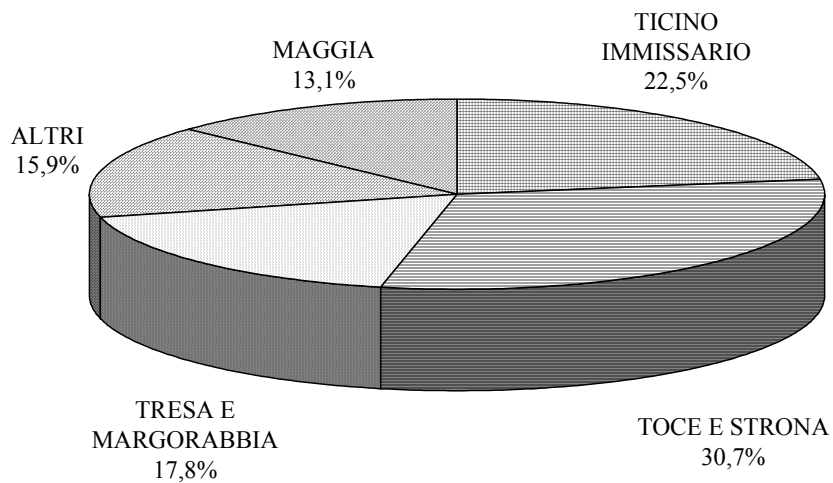


Fig. 2.3.2b. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di azoto totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2000.

Tab. 2.3.2c. Lago Maggiore. Bilanci annuali dal 1978 al 2000 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
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
Maggia	17	21	18	16	9	14	17	15	11	13	19	23	7	20	20	5	9	12	15	7	9	6	11
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
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
San Giovanni	5	3	2	3	3	3	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	0,9	0,7	1
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
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
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
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
Bardello	67	53	58	58	37	39	48	52	45	31	27	33	33	25	27	19	19	18	19	18	16	15	20
Boesio	8	8	22	11	9	8	9	7	14	10	8	14	21	11	13	19	10	10	11	12	12	13	9
Tresa	105	80	74	72	69	62	66	71	72	94	54	57	40	41	62	68	50	39	39	27	35	33	59
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
<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
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
<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
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
<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
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
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%

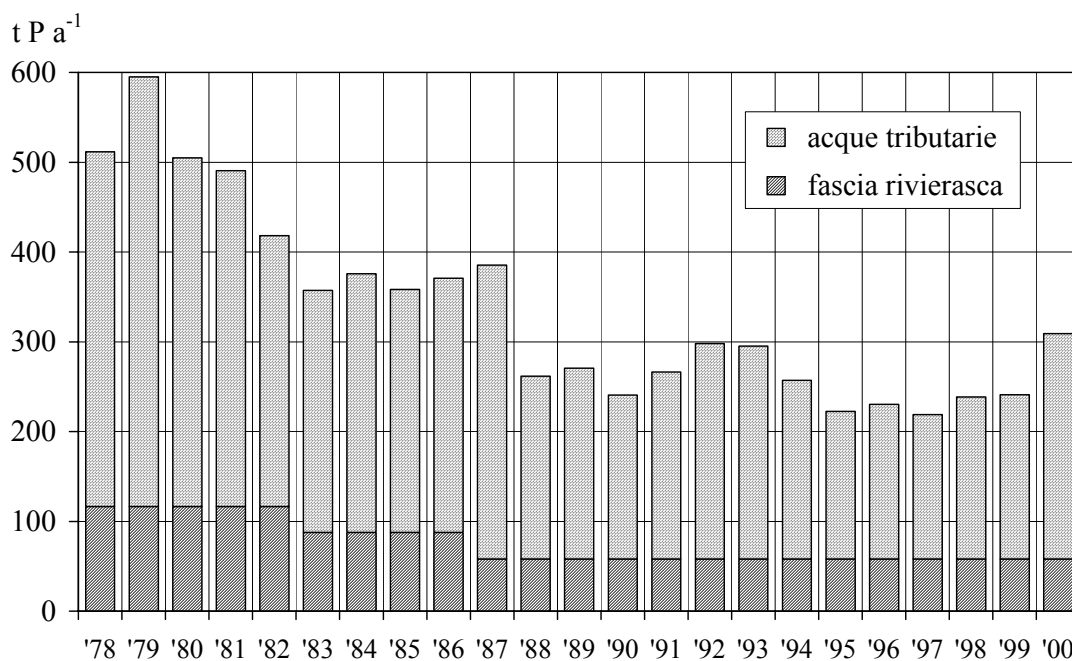


Fig. 2.3.2c. Lago Maggiore. Apporti annuali di fosforo totale al lago dall'areale emerso e dalla zona rivierasca.

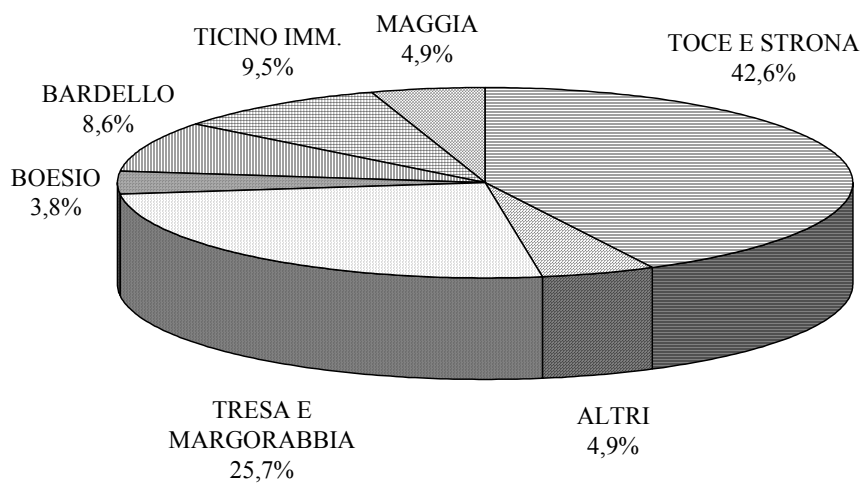


Fig. 2.3.2d. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di fosforo totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2000.

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 1999-2000 dai tributari campionati e dall'emissario.

		N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
		1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Ticino Immissario	TIM	0,031	0,022	1,346	1,413	0,268	0,238	1,645	1,673	0,018	0,014
Maggia	MAG	0,004	0,013	1,125	1,465	0,170	0,216	1,299	1,693	0,007	0,012
Verzasca	VER	0,003	0,015	1,096	1,540	0,139	0,281	1,239	1,836	0,005	0,017
Cannobino	CAN	0,010	0,007	0,986	1,154	0,214	0,085	1,210	1,246	0,011	0,009
San Giovanni	SGI	0,009	0,011	1,266	1,522	0,176	0,114	1,451	1,647	0,012	0,012
San Bernardino	SBE	0,008	0,012	1,710	2,798	0,244	0,370	1,962	3,180	0,008	0,012
Toce Ossola	TOC	0,070	0,079	0,921	1,543	0,258	0,348	1,249	1,969	0,037	0,058
Strona	STR	0,092	0,073	1,690	2,560	0,414	0,262	2,196	2,894	0,033	0,040
Erno	ERN	0,008	0,010	1,771	3,145	0,168	0,211	1,947	3,366	0,017	0,025
Vevera	VEV	0,042	0,101	1,794	4,639	0,180	0,254	2,017	4,993	0,028	0,065
Bardello	BAR	0,153	0,199	1,041	1,238	0,669	0,656	1,863	2,093	0,112	0,147
Boesio	BOE	0,643	0,368	3,415	3,855	1,155	0,918	5,213	5,141	0,281	0,194
Tresa	TRE	0,097	0,109	1,204	2,133	0,515	0,597	1,816	2,839	0,044	0,079
Giona	GIO	0,017	0,023	1,331	2,018	0,220	0,215	1,568	2,256	0,028	0,039
Totale campionati		0,053	0,055	1,197	1,663	0,294	0,325	1,544	2,042	0,029	0,039
Ticino emissario	TEM	0,024	0,027	1,024	1,464	0,324	0,463	1,372	1,953	0,016	0,026

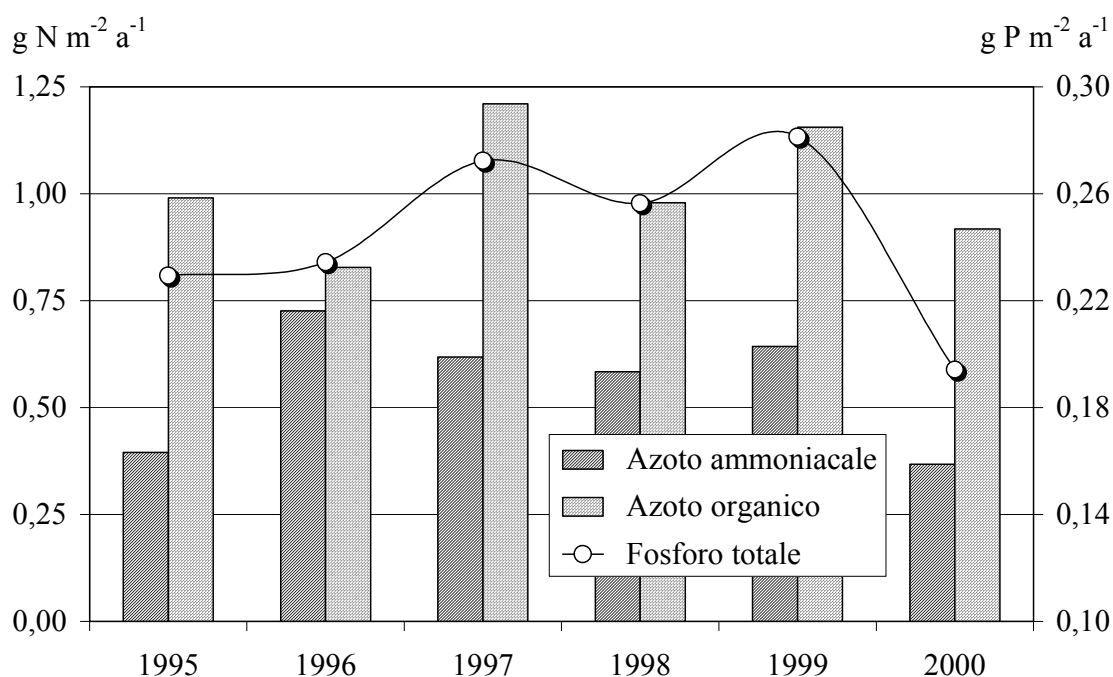


Fig. 2.3.2e. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal T. Boesio dal 1995 al 2000.

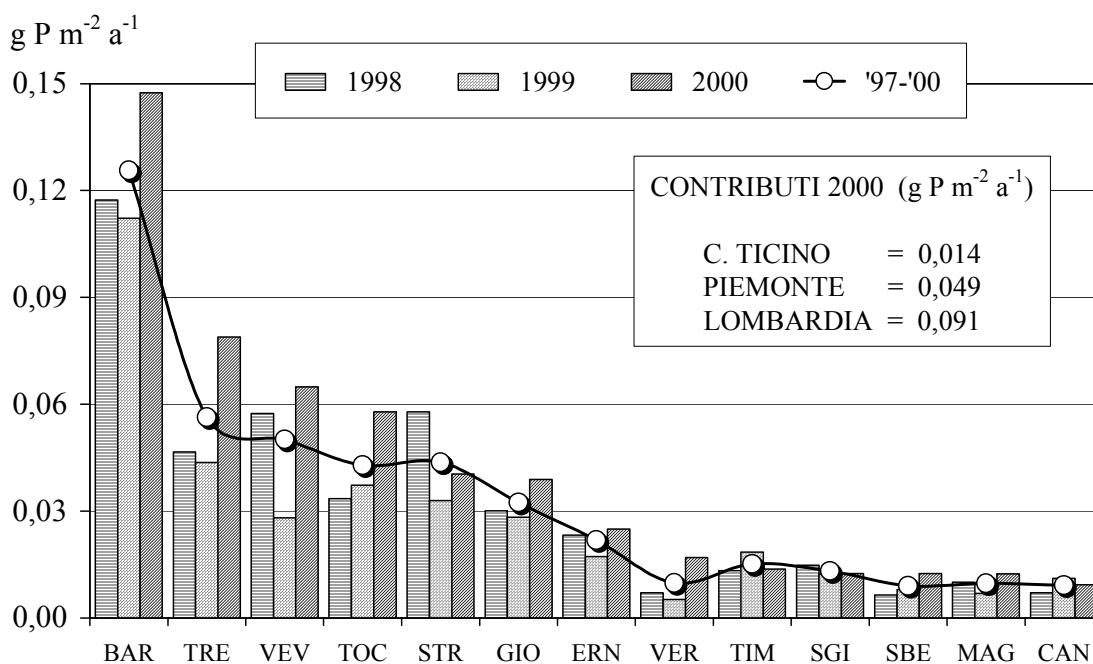


Fig. 2.3.2f. Lago Maggiore. Contributi areali di fosforo totale, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1998-2000 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

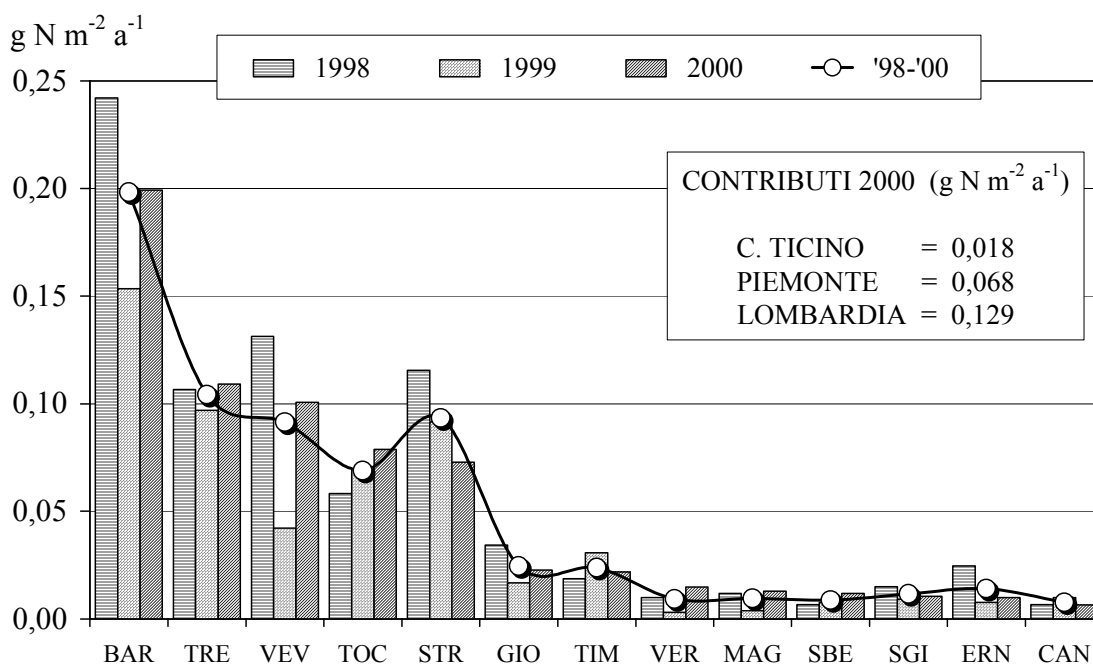


Fig. 2.3.2g. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto ammoniacale, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1998-2000 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

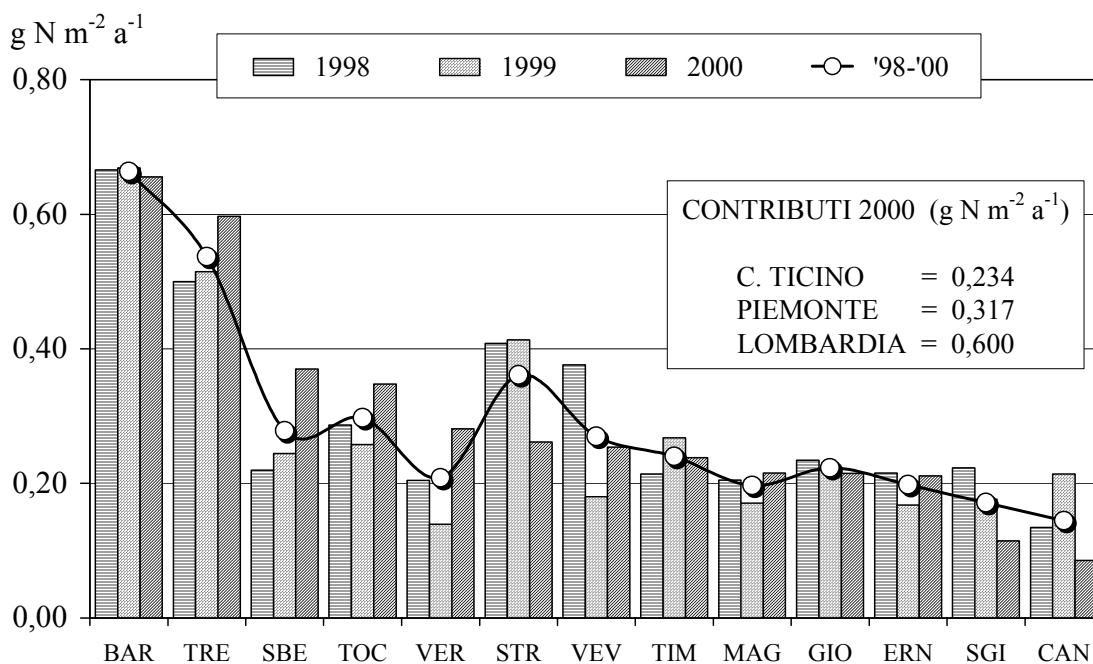


Fig. 2.3.2h. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto organico, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1998-2000 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

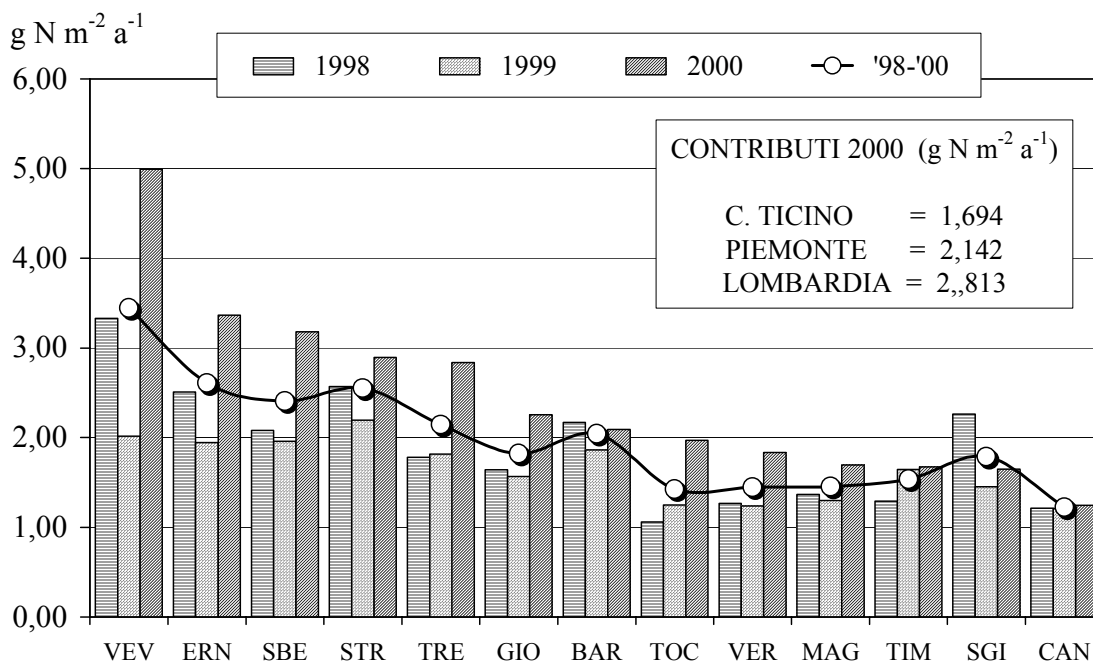


Fig. 2.3.2i. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto totale, annuali e medi, dai singoli tributari (escluso il Boesio) nel triennio 1998-2000 (le sigle sono riportate in Tab. 2.3.2d).

2.3.3. Carbonio Organico Totale (TOC)

Gli apporti di sostanza organica alloctona al Lago Maggiore sono stati misurati come carbonio organico totale presente nei tributari già presi in considerazione per la stima degli apporti inorganici. Le concentrazioni di TOC, in mg l⁻¹, misurate in ciascun campionamento sono presentate nella tabella 2.3.3. Come in passato, i fiumi Bardello e Boesio (e in misura minore il Tresa) sono stati caratterizzati da concentrazioni di TOC più elevate di quelle delle acque pelagiche del Lago Maggiore. Le concentrazioni di TOC misurate nel corso del 2000 hanno in generale presentato valori prossimi a quelli misurati nello stesso corso d'acqua nell'anno precedente, come è evidente dal confronto delle concentrazioni medie annue del '99 e del '00. E' da sottolineare il fatto che il Boesio ha presentato cospicue fluttuazioni della concentrazione di TOC da un mese all'altro.

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

	18-gen	08-feb	28-mar	14-apr	29-mag	19-giu	18-lug	21-ago	19-set	10-ott	23-ott	20-nov	av 00	av 99
Bardello	4,88	4,17	3,97	4,78	3,98	3,38	3,44	3,41	4,14	3,99	4,25	3,12	4,0	4,3
Boesio	6,30	13,64	3,74	10,1	2,93	3,72	4,91	1,94	12,7	4,98	2,49	2,04	5,8	5,1
Cannobino	0,80	0,62	1,09	1,03	0,90	0,58	0,54	0,77	0,57	0,69	0,78	0,50	0,7	1,0
Erno	0,84	0,54	1,33	0,85	1,35	0,93	0,60	0,79	0,69	0,90	1,25	0,62	0,9	1,3
Giona	0,47	0,47	0,97	0,36	1,12	0,58	0,57	0,53	0,50	0,81	0,70	0,68	0,6	0,9
Maggia	0,74	0,37	0,61	0,67	1,07	0,59	0,45	0,56	0,59	0,69	0,77	0,53	0,6	1,0
S. Bernardino	0,57	0,37	0,70	1,29	1,28	0,45	0,54	0,62	0,68	0,51	0,63	0,49	0,7	0,9
S. Giovanni	0,77	0,61	1,08	1,53	1,38	0,53	0,67	0,81	0,58	0,62	0,91	0,62	0,8	1,0
Strona	0,87	0,63	1,09	3,03	1,26	0,51	1,06	0,85	0,93	0,51	0,86	0,63	1,0	1,3
Ticino E.	0,96	0,66	1,07	0,56	1,46	1,19	1,10	0,98	0,95	1,02	1,19	1,06	1,0	1,3
Ticino I.	0,47	0,38	0,83	0,46	1,27	0,29	0,58	0,45	0,47	0,52	0,67	0,62	0,6	0,9
Toce	1,03	0,44	0,64	0,42	1,36	0,32	0,47	0,43	0,42	0,47	0,82	1,07	0,7	1,1
Tresa	2,10	1,30	1,70	1,54	1,76	1,53	1,83	1,52	1,59	1,69	2,07	1,17	1,7	2,1
Verzasca	0,75	0,29	0,81	0,30	0,83	0,46	0,39	0,51	0,54	0,65	0,80	0,76	0,6	1,0
Vevera	1,08	0,61	1,16	0,73	1,63	0,62	0,71	0,50	0,79	7,78	2,22	0,75	1,5	1,3

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO

3.1. Limnologia fisica

Le caratteristiche fisiche dell'ecosistema lacustre del Lago Maggiore sono state analizzate attraverso l'esame di una serie di parametri scelti tra quelli che consentono di definirne soprattutto gli aspetti idrodinamici e, in particolare, le condizioni che si attuano al momento della circolazione tardo-invernale: il verificarsi, o meno, di un mescolamento verticale entro tutta la massa d'acqua rappresenta, infatti, un evento di assoluta importanza per il lago.

Con l'indispensabile riferimento all'evolversi durante l'anno delle condizioni idrometeorologiche, sono stati raccolti, elaborati ed analizzati informazioni e dati che ci consentono ora di fare il punto sull'andamento della situazione limnologica generale del 2000, con particolare riferimento alle seguenti variabili:

- 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

Il 2000 sarà ricordato senza alcun dubbio come l'anno della grande piena del lago, seconda soltanto, fra quelle storiche sicuramente documentate, all'evento del 1868; si è trattato di una piena che ha portato la superficie lacustre a quota 197,94 m s.l.m.

Nonostante che nel 2000 si sia raggiunto il livello massimo di cui si è detto, quello medio annuo si è stabilizzato a 193,94 m s.l.m., una quota di soli 6 cm superiore a quello medio del periodo 1952-1999 (Fig. 3.1.1a). Ciò, in seguito al fatto che il livello si è mantenuto nella stagione invernale (-15 cm), primaverile (-11 cm) ed estiva (-14 cm) su quote inferiori a quelle medie mentre nel periodo autunnale la quota media è stata di +59 cm. Il confronto fra i regimi idrometrici mensili del 2000 e del periodo precedente evidenzia come l'anno in corso il livello del lago si sia posto sino a Settembre, con l'eccezione di Maggio, decisamente al di sotto della media: particolarmente bassi i valori di Marzo (193,21 m s.l.m.), per il quale dobbiamo risalire al 1965 per trovare una quota simile, e Settembre (anch'esso 193,21 m s.l.m.) superiore solo ai 193,16 m s.l.m. del corrispondente mese del 1955. Al di sopra dei valori medi del periodo di confronto troviamo Ottobre (195,39 m s.l.m.), Novembre (194,73 m s.l.m.) e Dicembre (194,43 m s.l.m.) con quote medie molto elevate, che si avvicinano, ma non superano i massimi assoluti registrati in precedenza nei rispettivi mesi. Questo pone in evidenza il fatto che l'evoluzione della piena dell'Ottobre del 2000 pur raggiungendo una quota record ha interessato, a differenza di quella del 1993, un periodo di tempo inferiore incidendo così limitatamente sui valori mensili di Ottobre e dei mesi seguenti.

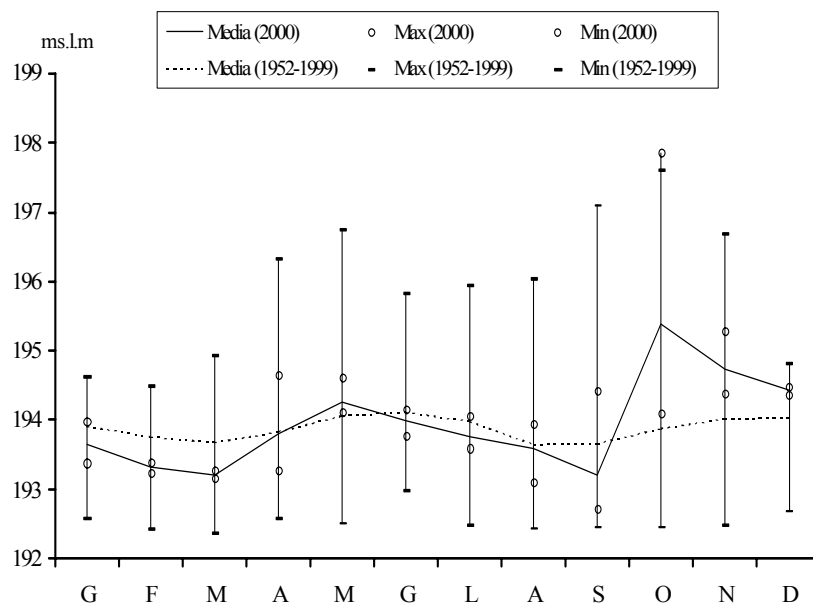


Fig. 3.1.1a. Lago Maggiore 2000. Regimi mensili dei livelli, valori estremi di ciascun mese e confronto con il periodo 1952-1999.

Da rilevare infine che il livello idrometrico minimo si è raggiunto il 18 Settembre (192,72 m s.l.m.) mentre quello massimo il 17 Ottobre con 197,94 m s.l.m. con un'escursione massima annua di 5,14 m che rappresenta il nuovo massimo assoluto, precedente 4,81 m nel 1993, per altro riscontrato in soli 30 giorni.

Per quanto riguarda l'evento dell'Ottobre 2000 le forti precipitazioni che hanno interessato le Alpi centro-occidentali ove è inserito il bacino del Lago Maggiore hanno fatto risalire, per la seconda volta in meno di un decennio (1993 e 2000), il livello del Lago Maggiore sopra la soglia di 197,50 m s.l.m. Le cause di tali eventi vanno ricercate essenzialmente in tre ordini di fattori, tutti attinenti all'areale imbrifero del lago:

- 1. la sua posizione geografica direttamente investita dalle perturbazione calde e umide di provenienza mediterranea sulle quali gioca un ruolo importante il riscaldamento globale in atto sulla Terra;
- 2. la sua vasta estensione in rapporto soprattutto alla superficie del lago. Infatti, il rapporto area bacino imbrifero-area lago è 31,1, valore fra i più elevati tra i bacini italiani. Ciò significa che l'acqua convogliata dall'areale imbrifero nel lago è in grado di determinare un incremento potenziale del livello di quest'ultimo corrispondente al valore di tale rapporto per l'altezza media delle precipitazioni sul territorio;
- 3. assetto territoriale.

Le precipitazioni intense (di cui si è riferito nel capitolo riguardante le caratteristiche idrologiche) sono iniziate il primo Ottobre le quali hanno elevato il livello del lago (Fig. 3.1.1b) da quota 194,14 m s.l.m. a 195,32 m s.l.m. alle ore 21:00 del 2 Ottobre, sfiorando l'esondazione in piazza a Pallanza. Dopo una stasi di circa 10 giorni durante la quale il livello del lago è ridisceso a 194,06 m s.l.m. (11 Ottobre), in seguito a nuove perturbazioni il lago è risalito nel breve tempo di 5 giorni a quota 197,94 m s.l.m. rilevati alle 21:30 del 16 Ottobre e si è mantenuto tale sino alle 2:00 del 17 Ottobre. La risalita è risultata molto rapida con velocità che hanno toccato anche gli 8 cm/ora tra le ore 15:00 e le 16:00 del 15 Ottobre. Anche la discesa è stata abbastanza veloce, tanto che

il 24 Ottobre è rientrato entro gli argini a Pallanza sotto quota 195,50 m s.l.m. Infine se l'esondazione del 2000 viene confrontata con quella del 1993 [1] si osserva una dinamica della sua crescita completamente diversa e molto più rapida: infatti quella del 1993 è durata complessivamente circa un mese mentre quella di questo anno soli 10 giorni.

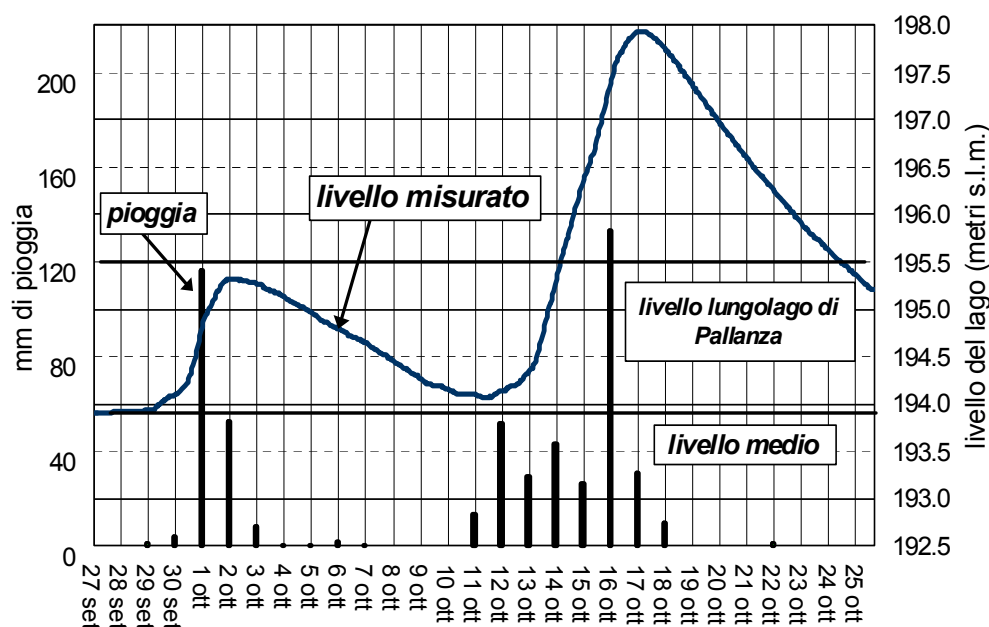


Fig. 3.1.1b. Lago Maggiore 2000. Andamento del livello del lago durante la piena dell'Ottobre 2000.

3.1.2. Trasparenza delle acque lacustri

Il quadro annuale riguardante la trasparenza delle acque nel Lago Maggiore è stato definito, come di consueto, sulla base di rilevamenti della profondità di scomparsa del disco di Secchi, effettuati con cadenza circa decadica: i dati relativi al 2000 sono riportati in figura 3.1.2. La variazione di detto parametro nell'arco annuale segue, per grandi linee, quella che è la sua distribuzione normale, anche se i valori degli ultimi 12 mesi appaiono globalmente più bassi rispetto a quelli del 1999, ma in linea con quelli degli anni immediatamente precedenti. La massima profondità del 2000 è stata misurata in Febbraio (13,5 m) e i valori più bassi in Marzo e nel periodo Ottobre–Dicembre con valori compresi tra i 2 e 4 m. I bassi valori di Marzo, sono probabilmente dovuti alla produzione algale della prima primavera, verificatasi in anticipo rispetto al normale ciclo stagionale, in quanto favorita dalle condizioni climatiche che hanno caratterizzato le prime due decadi di questo mese: come si è già riferito nel capitolo riguardante la meteorologia si sono raggiunte tra il 9 e il 10 Marzo temperature massime di 25,2°C; inferiori negli ultimi 50 anni soltanto a quelle registrate nello stesso mese del 1997. I bassi valori degli ultimi tre mesi dell'anno, quando solitamente si assiste ad una ripresa della trasparenza del lago, vanno senza dubbio attribuiti all'abnorme quantità d'acqua torbida pervenuta al lago in questo periodo dell'anno a seguito dei citati eventi alluvionale (paragrafo precedente), col notevole carico di materiale in sospensione di cui tali masse d'acqua erano dotate. I valori relativamente alti di Luglio (9 m) sono

invece da porre in relazione con la momentanea diminuzione del popolamento fitoplanctonico.

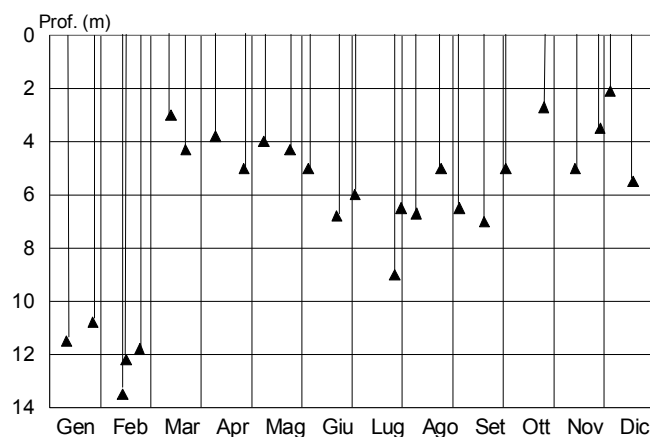


Fig. 3.1.2. Lago Maggiore 2000. Andamento della trasparenza (disco di Secchi).

3.1.3. Temperatura delle acque lacustri

3.1.3.1. Acque superficiali

Le isoterme tracciate nelle figure 3.1.3.1a e 3.1.3.1b si riferiscono rispettivamente alla situazione riscontrata nelle acque superficiali (0-20 metri di profondità) nel corso del 2000 e a quella media del periodo 1962-1999. Il confronto tra le due figure consente di rilevare per il 2000 un generale raffreddamento di questo strato d'acqua che, in parte, è visibile già nei primi tre mesi dell'anno. Il decremento termico è però particolarmente evidenziato dall'andamento di alcune isolinee: infatti a partire da Maggio le curve comprese tra 9 e 12°C posticipano nel tempo il loro approfondimento verso livelli più bassi. Da segnalare poi che l'isoterma 13°C a differenza di quella del lungo periodo non supera i 20 m di profondità tra Luglio ed Ottobre e quella indicante 14°C, che solitamente raggiunge i 17,5 m di profondità, nel corso di questo anno non raggiunge i 15 metri. Quasi identiche a quelle misurate in passato le temperature massime dei primissimi strati d'acqua in Agosto (intorno ai 24°C), così come l'andamento delle isoterme negli ultimi due mesi dell'anno durante la fase di destratificazione termica.

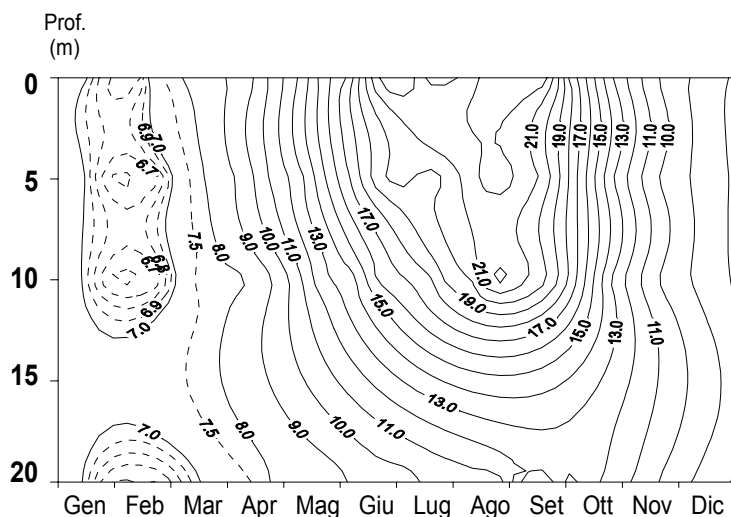


Fig. 3.1.3.1a. Lago Maggiore 2000. Isotherme nello strato superficiale (°C).

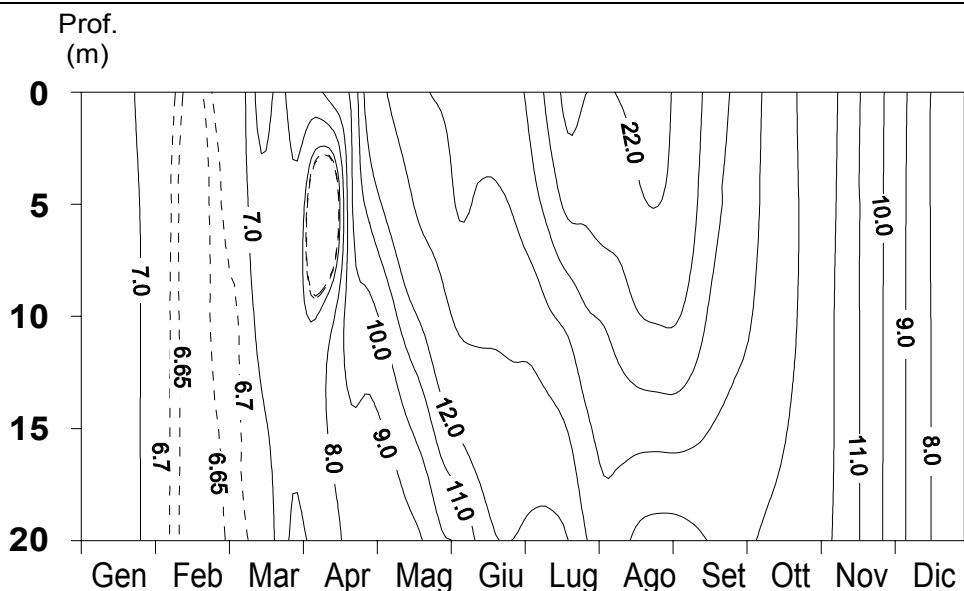


Fig. 3.1.3.1b. Lago Maggiore 1962-1999. Isotherme nello strato superficiale (°C).

3.1.3.2. Acque profonde

L'andamento termico stagionale delle acque profonde del Lago Maggiore è stato ricostruito sulla base dei dati raccolti, lungo l'intera colonna nella stazione corrispondente al suo punto di massima profondità (Ghiffa 370 m): sopralluoghi sono stati effettuati con cadenza all'incirca decadica e con l'ausilio di termometri a rovesciamento e termistor (Fig. 3.1.3.2.).

In termini generali, il confronto con la situazione dell'anno precedente indica un leggero decremento della temperatura al di sotto dei 270 m di profondità: infatti dopo il mescolamento verticale avvenuto nel 1999 con un'isotermia su tutta la colonna di 6,6°C, l'inverno e la primavera del 2000 presentano sotto i 250 m di profondità una temperatura di 6,5°C e a -340 m di 6,45°C. Questo raffreddamento già visibile in Febbraio è ancor più evidente in Marzo ed è imputabile a discesa negli strati più profondi di acqua fredda di provenienza fluviale dovuta al disgelo delle nevi, provocato

dalle alte temperature atmosferiche di questi mesi: troviamo infatti nei primi 15 giorni di Febbraio temperature massime dell'aria che superano i 15°C e nella prima decade di Marzo addirittura i 25°C; valori alquanto anomali per questo periodo. Nel proseguo dell'anno, sino ad Ottobre, l'isoterma 6,55 °C non raggiunge, a differenza del 1999, il fondo e si mantiene tra 250 e 310 m di profondità per poi tornare negli ultimi due mesi ai livelli dell'anno precedente (200 m circa): quasi identico invece negli ultimi due anni l'andamento delle isolinee quotate 6,6 e 7,0 °C. La situazione termica dei mesi tardo invernali del 2000 evidenzia quindi che il lago è stato interessato da un mescolamento per moti convettivi solo parziale non superando i 100 metri di profondità.

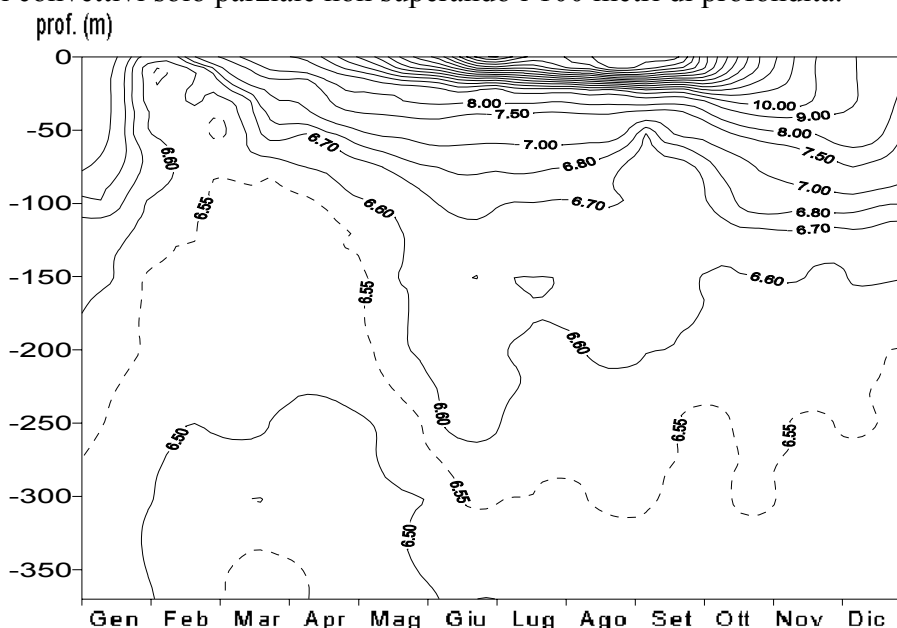


Fig. 3.1.3.2. Lago Maggiore 2000. Isotherme lungo l'intera colonna (°C).

3.1.4. Ossigenazione delle acque lacustri

Nel corso delle operazioni di campagna condotte al largo di Ghiffa si è provveduto anche alla raccolta di campioni d'acqua lungo tutto il profilo verticale per la determinazione delle concentrazioni di ossigeno disciolto; nel contesto degli argomenti di limnologia fisica, il suddetto parametro è utilizzato esclusivamente come indicatore di processi relativi all'idrodinamica lacustre, in particolare quelli riguardanti il mescolamento verticale tardo invernale.

Le linee di uguale concentrazione di O₂ tracciate per il 2000 nella figura 3.1.4. permettono alcune considerazioni circa la sua distribuzione spazio-temporale lungo l'intera colonna. Se si escludono le masse d'acqua più superficiali, dove le variazioni del parametro in oggetto sono essenzialmente legate alla produzione algale, il loro andamento nella porzione di lago sotto i 50 m di profondità mostrano, rispetto all'anno precedente, un evidente aumento delle concentrazioni di O₂. Ad esempio l'isolinea 9,0 mg l⁻¹ che non superava nel 1999 i -50 metri, nel 2000, nel periodo che va da Gennaio a Giugno, si spinge sino a 100 metri di profondità per poi risalire ai livelli consueti. Ma l'evento che ha caratterizzato le acque profonde del lago nella primavera del 2000 è la presenza tra 200 e 370 m di profondità di concentrazioni di O₂ superiori ai 9,0 mg l⁻¹, valori superiori anche alle concentrazioni misurate nel 1999 (8,5 mg l⁻¹) quando è

avvenuta una piena circolazione. Come già riferito nel paragrafo precedente si tratta di acqua di provenienza fluviale, più densa e ossigenata scesa in profondità, che ha determinato l'ossigenazione degli strati profondi sopperendo così al mancato mescolamento totale delle acque del lago.

Nel proseguo dell'anno, sino ad Ottobre sotto i 100 metri di profondità si è mantenuta una concentrazione di O₂ intorno agli 8,5 mg l⁻¹ mentre da metà Novembre negli ultimi 100 metri ricompare l'isolinea 8,0 mg l⁻¹.

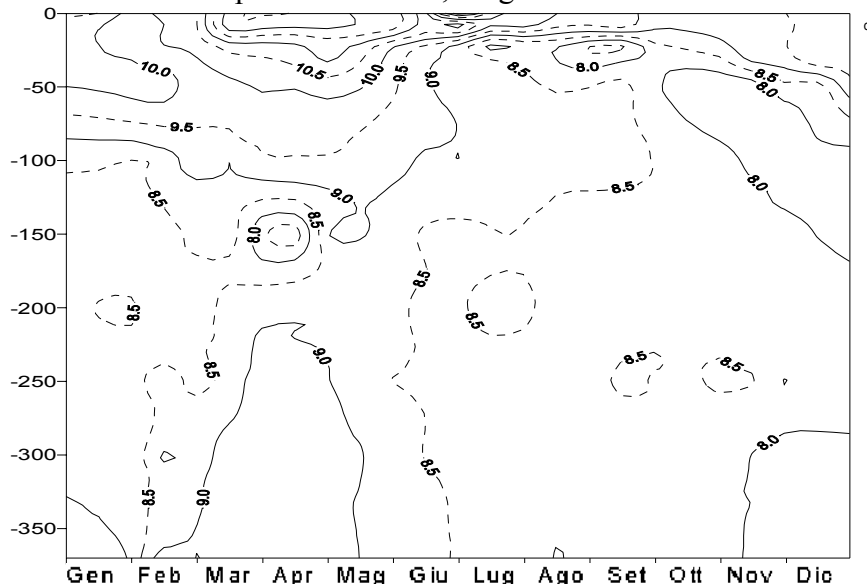


Fig. 3.1.4. Lago Maggiore 2000. Andamento delle concentrazioni di ossigeno disciolto lungo l'intera colonna (mg l⁻¹).

3.1.5. Bilancio termico

Anche nel 2000 il bilancio calorico del Lago Maggiore è stato determinato su base mensile con la metodica già adottata in passato [2] e con le singole componenti che vengono espresse in cal cm⁻² 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.

Il confronto con i corrispondenti valori del bilancio medio di calore del periodo 1963-1999 rende conto di come quello del 2000 presenti non poche anomalie: infatti in questo anno si osserva una lunga serie di nuovi valori minimi e massimi assoluti (Tab. 3.1.5.).

Tra i primi troviamo in Dicembre le quantità energetiche di Q_{se} (69 rispetto a 70 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ nel 1978) e Q_b (150 contro 157 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ nel 1978); in Luglio Q_t è stato di 102 contro 106 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ nel 1990, mentre il Q_h calcolato per Giugno è stato di 40 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ inferiore al minimo precedente mentre ad Agosto la differenza è stata di -6 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$.

Per contro nuovi valori massimi di Q_h sono quelli di Aprile (8 contro -6 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ nel 1986), in Maggio di Q_t (334 rispetto a 271 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ nel 1999) ed infine a Gennaio quello di Q_n (-39 contro 41 $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ nel 1994). Da considerare inoltre che altri mesi presentano valori, che se pur rientranti nei limiti misurati in precedenza, si avvicinano notevolmente alle quantità estreme.

Tab. 3.1.5. Lago Maggiore 2000. 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	146	20	125	165	-39	-248	133	76	0,57
Feb	207	23	185	143	41	-110	124	27	0,21
Mar	312	28	284	137	147	55	119	-27	-0,23
Apr	284	23	261	71	191	134	48	8	0,18
Mag	421	29	391	76	315	334	23	-41	-1,83
Giu	543	38	505	105	400	191	279	-69	-0,25
Lug	493	34	458	132	326	102	219	5	0,02
Ago	431	30	400	116	285	154	139	-8	-0,06
Set	341	31	310	156	154	-25	159	20	0,12
Ott	149	15	134	122	12	-111	100	23	0,23
Nov	95	12	83	132	-49	-273	158	66	0,42
Dic	81	12	69	150	-81	-178	65	33	0,51

La rappresentazione grafica del bilancio termico del Lago Maggiore (Fig. 3.1.5a) pone in evidenza come esso abbia assunto valore positivo già in Marzo con un contenuto calorico entro la colonna d'acqua di 118.887 cal cm^{-2} . L'incremento energetico è proseguito regolarmente in Aprile, mentre nel mese di Maggio si è assistito ad un immagazzinamento di calore, di proporzioni eccezionali rispetto al mese precedente; la quantità ammonta a 10.355 cal cm^{-2} e costituisce il nuovo massimo assoluto di accumulo mensile dal 1963 ad oggi.

Il riscaldamento prosegue sino ad Agosto quando si raggiunge il valore più alto dell'anno con 146.905 cal cm^{-2} , valore però relativamente basso se confrontato con quello degli ultimi anni: infatti bisogna risalire al 1996 per ritrovare valori simili. Da rilevare che l'andamento di Q_t nel 2000 risente ancora in parte dell'elevato raffreddamento che le acque hanno subito durante la piena circolazione del 1999 ma soprattutto della discesa di acqua fredda in profondità nel Febbraio di quest'anno della quale abbiamo riferito nel capitolo riguardante la temperatura dell'acqua profonda. Il contenuto minimo è stato di 117.191 cal cm^{-2} , valore inferiore a quello degli anni immediatamente precedenti, mentre l'anno termina con un contenuto di 128.991 cal cm^{-2} che è leggermente superiore a quello del 1999 ma lontano dal massimo assoluto del 1997 (135.906 cal cm^{-2}). Il bilancio termico è stato di 27.914 cal cm^{-2} , valore di 2000 cal cm^{-2} al di sotto della media del periodo di confronto. Da rilevare infine, sempre in figura 3.1.5a, che i fenomeni evaporativi e quelli legati alla conduzione di calore nel corso dell'anno sono stati molto bassi in Maggio permettendo immagazzinamento di calore, mentre sono stati particolarmente elevati in Giugno e nei periodi autunnali e invernali.

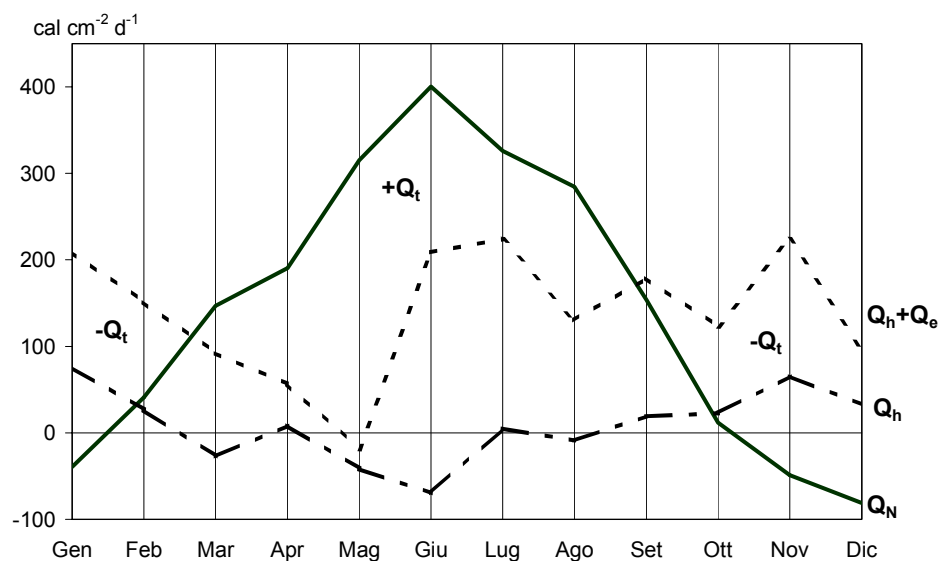


Fig. 3.1.5a. Lago Maggiore 2000. Bilancio termico.

L'evolversi nel ciclo stagionale dei flussi di energia termica, e il loro andamento in profondità è rappresentato, per il 2000, in figura 3.1.5b mediante la serie di isolinee quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$; le fasi di riscaldamento e di raffreddamento dei diversi strati del lago sono indicate, rispettivamente, dalle aree bianche e da quelle scure. Dalla figura appare con molta evidenza che durante il 2000, a differenza degli altri anni, lo scambio di calore si effettua a profondità maggiori: infatti ad Aprile troviamo ancora nelle acque profonde del lago isolinee negative che solitamente scompaiono a Febbraio o al più tardi a Marzo, inoltre l'isolinea $-10 \text{ cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ scende sino a -150 metri quando solitamente non superava i 50 metri di profondità. A -100 e -200 metri troviamo, a Maggio e a Giugno, le isolinee quotate rispettivamente 20 e $10 \text{ cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$: anche queste negli altri anni si fermavano tra 50 e 100 di profondità.

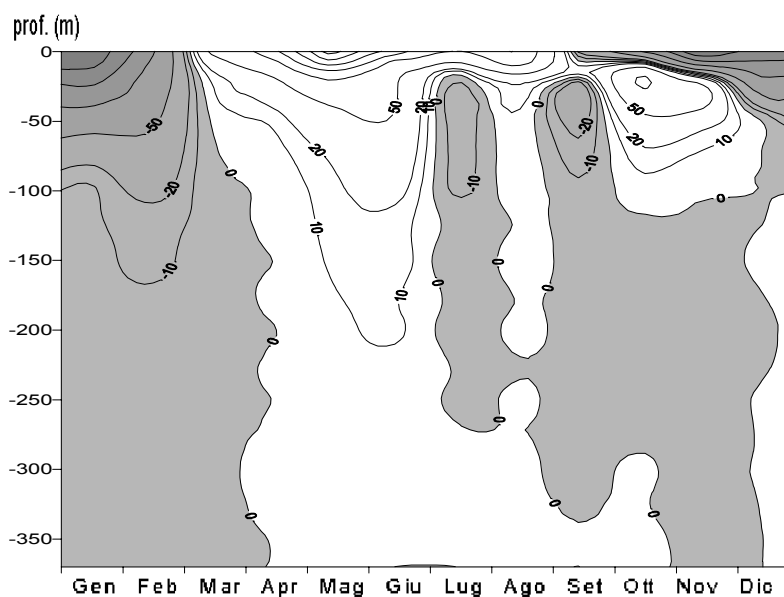


Fig. 3.1.5b. Lago Maggiore 2000. Flussi di calore. Isolinee quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$.

3.1.6. Profondità di mescolamento

Dopo la completa circolazione avvenuta nelle acque del Lago Maggiore nel 1999 si ritorna alla “consuetudine”, cioè a mescolamenti solo parziali come si erano verificati dal 1971 al 1998. Nel 2000 infatti la profondità raggiunta dal mescolamento convettivo tardo invernale è stata modesta non avendo superato la profondità di 100 metri. Alla determinazione di questa profondità si è giunti attraverso l'applicazione della formulazione del coefficiente M , del quale si è detto in precedenti relazioni [3]. Una tale profondità è confermata anche dall'analisi dei dati di temperatura e di ossigeno disciolto rilevati sulla colonna d'acqua nel punto di massima profondità (vedi paragrafo precedente). Le cause di questo limitato mescolamento verticale sono legate ad una serie di condizioni esterne “sfavorevoli” relative ai tre mesi invernali, che hanno visto una ventosità ed una differenza tra temperatura dell'acqua e dell'aria molto bassa che, collocandosi sui valori minimi del periodo, non hanno favorito lo sviluppo di moti convettivi con conseguente mescolamento incompleto entro la massa d'acqua.

3.2. Chimica lacustre

3.2.1. Chimismo di base

Come negli anni passati, 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. Inoltre il 25 Ottobre è stato effettuato un campionamento aggiuntivo per caratterizzare l'idrochimica lacustre nel periodo di massima piena e verificare le eventuali variazioni intervenute a seguito degli eventi alluvionali.

Nella tabella 3.2.1. sono riportati per il decennio 1991-2000 i valori medi ponderati sui volumi del pH, della conducibilità a 20°C e delle specie chimiche che costituiscono lo spettro ionico lacustre. Tali misure risalgono a campioni raccolti tra Febbraio e Marzo, quando cioè si è in presenza della massima estensione verticale del mescolamento tardo invernale. Le determinazioni analitiche relative al Marzo 2000, durante il quale la circolazione verticale si è spinta fino a profondità dell'ordine di 100 metri, mostrano una composizione ionica del tutto simile a quelli degli anni precedenti, caratterizzata dalla larga prevalenza di calcio tra i cationi e di bicarbonati e solfati tra gli anioni.

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 1991 al 2000 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

<i>specie ioniche</i>	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
HCO ₃ ⁻	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,81	0,78	0,79	0,79	0,80
SO ₄ ⁻	0,61	0,61	0,62	0,62	0,61	0,62	0,61	0,63	0,63	0,63
Cl ⁻	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
NO ₃ ⁻	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Σ anioni	1,51	1,51	1,52	1,53	1,52	1,55	1,51	1,54	1,54	1,55
Ca ⁺⁺	1,10	1,09	1,10	1,09	1,06	1,08	1,09	1,08	1,08	1,06
Mg ⁺⁺	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29
Na ⁺	0,10	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	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Σ cationi	1,54	1,53	1,55	1,54	1,49	1,53	1,54	1,53	1,53	1,50
Σ ioni	3,05	3,04	3,07	3,07	3,01	3,08	3,05	3,07	3,07	3,05
pH	7,35	7,43	7,34	7,38	7,36	7,39	7,32	7,37	7,15	7,40
Conducibilità	146	145	146	146	146	146	145	147	149	148

Anche il contenuto ionico (3,05 meq l⁻¹) e la conducibilità a 20°C (148 μS cm⁻¹) sono rimasti all'interno dei rispettivi ambiti di variazione misurati nell'ultimo decennio. Ciò si è verificato anche per il pH, ma il suo valore medio sull'intera colonna (7,40) è risultato decisamente più alto di quello riscontrato nello stesso periodo del 1999 (7,15), quando il mescolamento verticale aveva interessato l'intera massa lacustre. Il suo andamento epilimnetico stagionale è risultato del tutto simile a quello dell'ossigeno disciolto (Fig. 3.2.1a): 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. Dallo stesso grafico si osserva inoltre come i valori medi ipolimnetici di pH mostrino annualmente 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 nello strato più superficiale, compreso tra la superficie e i 5 m di profondità, si osserva una piena corrispondenza tra ossigeno e pH (Fig. 3.2.1b). I massimi estivi di saturazione di ossigeno si verificano dall'inizio di Maggio fino alla prima decade di Settembre e risultano compresi tra 110 e 129%; quelli di pH seguono lo stesso andamento, mostrando da Giugno a Settembre valori tra 8,7 e 9,05 unità.

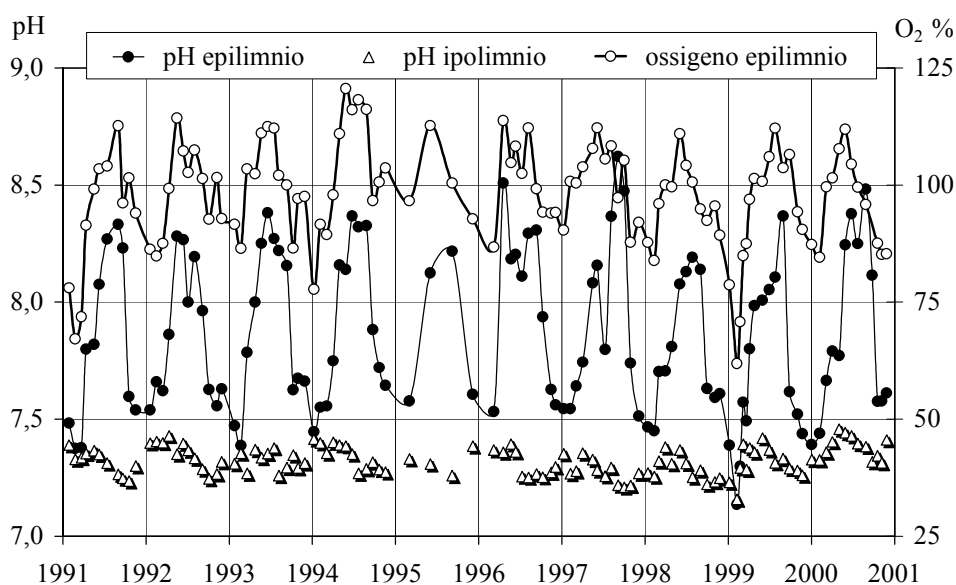


Fig. 3.2.1a. Lago Maggiore nel periodo 1991-2000: pH nello strato epilimnico (0-25 m) ed ipolimnico (25-370 m) e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

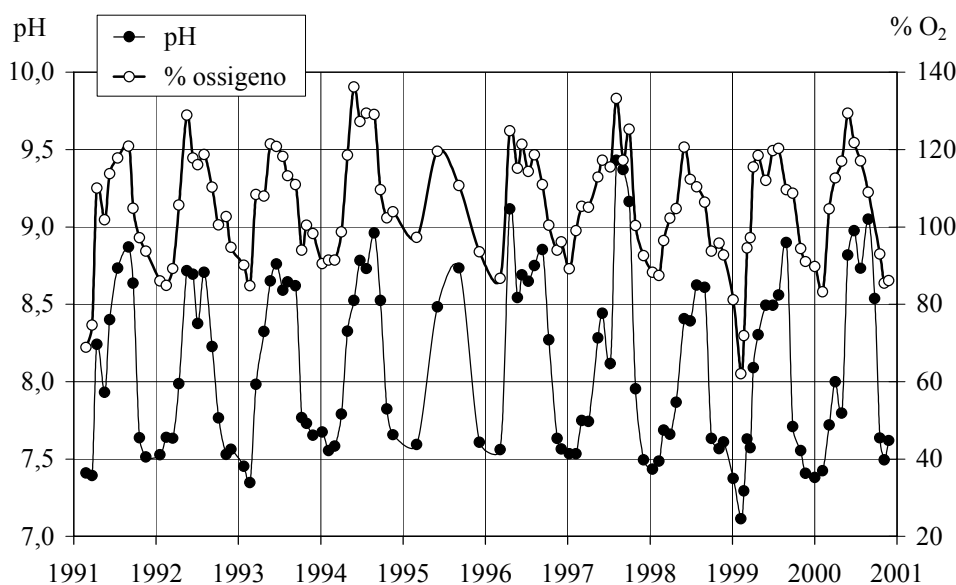


Fig. 3.2.1b. Lago Maggiore nel periodo 1991-2000: pH e saturazione d'ossigeno nello strato d'acqua compreso tra la superficie ed i 5 metri di profondità (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

Per quanto riguarda l'alcalinità totale e la conducibilità, anche nel corso del 2000 si è osservata una modesta diminuzione dei rispettivi valori medi nell'intera massa lacustre dall'inizio della primavera fino al termine dell'autunno (Fig. 3.2.1c). Le variazioni stagionali più consistenti riguardano invece lo strato epilimnico dove, tra Aprile e la fine di Giugno e tra Agosto e Settembre, si evidenzia un netto calo delle due variabili indotto probabilmente da un minor rifornimento di bicarbonati dal bacino imbrifero, nonché da una loro riduzione per formazione e successiva precipitazione di carbonato di calcio durante i processi di sintesi algale. Inoltre, come è già successo nel 1999, si è evidenziato un ulteriore calo della conducibilità nella seconda metà di Ottobre, in conseguenza della laminazione di apporti idrici fluviali di piena. Infatti, tra il 29 Settembre e il 3 Ottobre e tra l'11 e il 18 Ottobre sono intervenuti due importanti eventi alluvionali che hanno innalzato il livello del lago, dapprima fino a 195,32 m s.l.m. (2 Ottobre) e poi fino a 197,94 m s.l.m. (16-17 Ottobre), vale a dire la quota più alta misurata dopo la grande esondazione del 1868 quando però l'incile del lago non era ancora stato ampliato in profondità e larghezza.

Questi eventi di piena hanno probabilmente avuto un forte impatto negativo sulla qualità delle acque lacustri che potrà essere valutato soltanto nel corso del prossimo anno. Infatti, al solito carico inquinante si sono aggiunti gli apporti dovuti al drenaggio per allagamento di vaste aree urbane, industriali ed agricole limitrofe alle sponde lacuali e ai tratti terminali del F. Toce e di numerosi altri tributari. Inoltre sarà da definire con studi appropriati la reale portata della contaminazione dovuta al trasporto solido veicolato dalla piena dei tributari, al quale è associata un'enorme quantità di particellato 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. Questa frazione fine, proprio in conseguenza della sua ridottissima sedimentabilità, è forse la più insidiosa tra le possibili fonti di inquinamento, non solo per la persistente torbidità indotta nel lago, ma anche e soprattutto perché su questo materiale trovano facile adsorbimento molti microinquinanti inorganici ed organici, liberati dagli alvei e dai suoli contaminati e messi in circolazione nella massa lacustre.

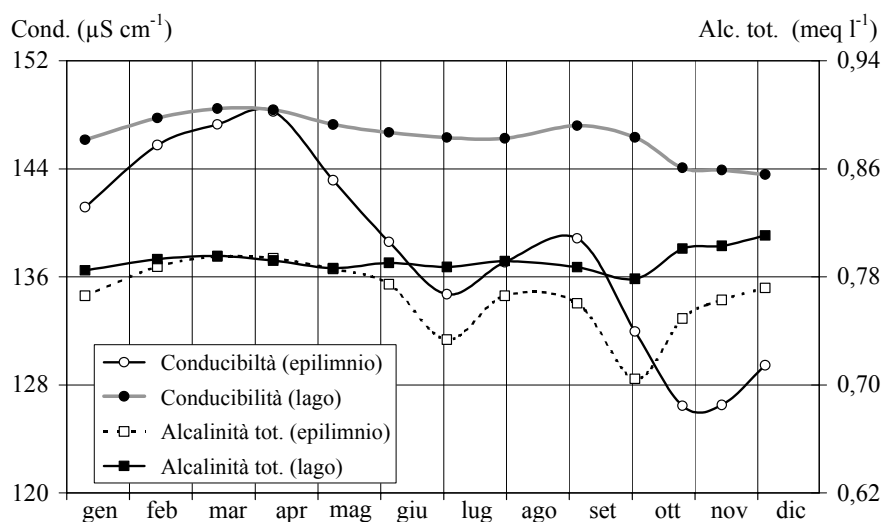


Fig. 3.2.1c. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento stagionale nel corso del 2000 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale e di conducibilità a 20°C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

3.2.2. Composti dell'azoto

Le concentrazioni medie di azoto nitrico e azoto totale, misurate nel corso del 2000 nella stazione di massima profondità a Ghiffa, sono risultate rispettivamente comprese tra 0,82 e 0,85 mg N-NO₃ l⁻¹ e tra 0,88 e 1,03 mg N l⁻¹. Questi valori sono simili ai contenuti medi accertati nell'anno precedente (0,80–0,83 mg N l⁻¹ di azoto nitrico e 0,90–0,98 mg N l⁻¹ di azoto totale) e sembrano riconfermare l'ipotesi del raggiungimento negli ultimi anni di una sostanziale stabilità delle concentrazioni di azoto in lago (Fig. 3.2.2a).

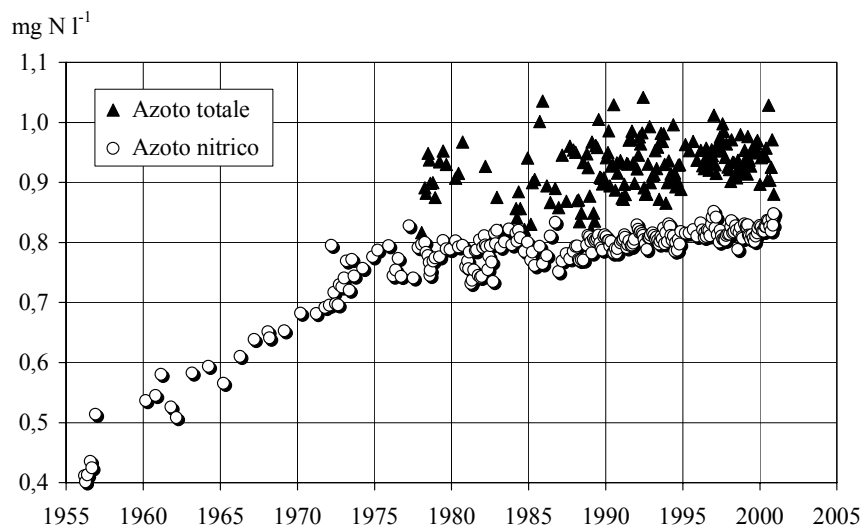


Fig. 3.2.1a. Lago Maggiore: evoluzione delle concentrazioni di azoto nitrico e totale (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

I tenori medi di azoto ammoniacale sono del tutto trascurabili, sia nell'intera massa lacustre dove non hanno mai superato i 7 µg N l⁻¹, sia nello strato epilimnico che ha presentato un contenuto medio sempre inferiore a 12 µg N l⁻¹. Le concentrazioni più alte, comprese tra 12 e 21 µg N l⁻¹, sono state osservate nello strato compreso tra -10 e -20 metri il 25 Ottobre dopo gli eventi di piena descritti precedentemente.

Anche l'azoto nitroso è praticamente assente: i rilievi analitici ne mostrano una presenza saltuaria e limitata alle acque superficiali, con livelli estremamente bassi (6–7 µg N l⁻¹) come si è riscontrato nel campionamento del 4 Settembre tra la superficie e i 10 metri di profondità.

I contenuti medi di azoto organico, calcolato per differenza tra l'azoto totale e quello nitrico, sono risultati compresi nel corso dell'anno in studio tra di 0,1 e 0,2 mg N l⁻¹, presentando i massimi in epilimnio al termine della stagione estiva (0,22–0,24 mg N l⁻¹), mentre i minimi sono stati misurati nello strato ipolimnetico nel periodo invernale (0,03–0,06 mg N l⁻¹).

Per quanto riguarda gli andamenti stagionali nelle acque epilimniche si sono riconfermate le osservazioni degli anni precedenti (Fig. 3.2.2b): i nitrati mostrano massimi invernali seguiti da cali primaverili, con minimi tardo estivi principalmente legati ai consumi algali dalla primavera all'autunno, cui si assommano le fluttuazioni degli apporti alloctoni di azoto totale, generalmente più limitati nel periodo estivo per effetto del trattenimento dei nitrati operato dalla copertura vegetale nel bacino imbrifero.

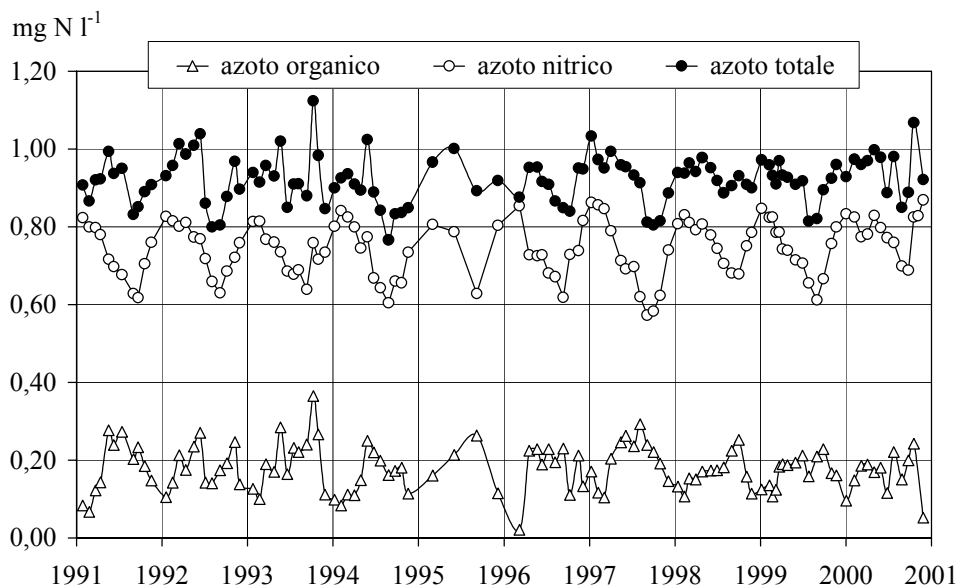


Fig. 3.2.2b. Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel periodo 1991-2000 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità a Ghiffa)

3.2.3. Composti del fosforo

Le concentrazioni di fosforo totale, misurate nell'ultimo decennio nella stazione di massima profondità a Ghiffa ed espresse come valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo, presentano un andamento che può essere idealmente suddiviso in tre periodi distinti (Fig. 3.2.3.):

1. gli anni fino al 1992, durante i quali si completa la riduzione dei contenuti medi in lago che raggiungono i valori più bassi riscontrati dopo gli anni '70;
2. il quinquennio 1993–1997, con concentrazioni che si stabilizzano su livelli compresi tra 8 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$;
3. gli anni successivi al 1997, caratterizzati da tenori medi leggermente più alti, compresi tra 10 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$.

Lo stesso grafico mette in luce che l'andamento di fosforo reattivo è invece diverso, perché i suoi contenuti medi, dopo aver raggiunto i minimi nel 1993, si mantengono costantemente compresi tra 4 e 8 $\mu\text{g P l}^{-1}$ senza segnalare tendenze in aumento.

Come si è visto nei precedenti rapporti, il leggero incremento di fosforo totale, che è passato da minimi intorno a 9–10 $\mu\text{g P l}^{-1}$ fino agli attuali 11–12 $\mu\text{g P l}^{-1}$, non è attribuibile ad effettivi aumenti degli apporti derivanti da sorgenti puntiformi nel bacino. Le cause sono probabilmente da individuare all'interno dei processi di progressivo adattamento dell'ecosistema ai bassi valori di trofia raggiunti negli ultimi anni. Infatti, in questa fase di profonde e rapide variazioni del livello trofico del lago, gli organismi planctonici possono accrescere la propria efficienza di riutilizzo del fosforo, aumentando sia la velocità di ricircolo che la quantità disponibile. Inoltre, proprio in conseguenza dei bassi tenori di fosforo, assumono un ruolo importante anche le caratteristiche meteorologiche ed idrologiche, perché possono determinare eventi e situazioni capaci di variarne le concentrazioni in lago, come è avvenuto durante la piena circolazione del Febbraio 1999 (Fig. 3.2.3.), oppure il carico da sorgenti diffuse in occasione di eventi alluvionali estremi quali quelli verificatesi nel 1993 e nel 2000.

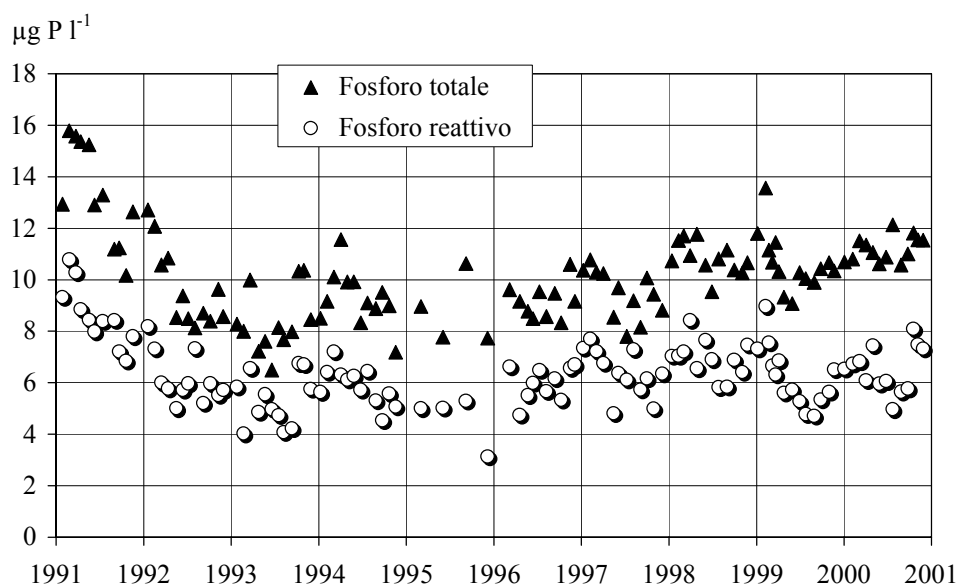


Fig. 3.2.3. Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel periodo 1991-2000 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

3.2.4. Ossigeno disciolto

Come si visto precedentemente, l'andamento 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 quando si era però evidenziato un consistente minimo al momento della piena circolazione del 15 Febbraio 1999.

L'evoluzione storica delle sue concentrazioni medie nello strato compreso tra i 200 ed i 370 m di profondità è riportato in figura 3.2.4. Il grafico mette in evidenza lunghi periodi di segregazione caratterizzati da consumi progressivi di ossigeno, seguiti da intervalli di tempo relativamente brevi durante i quali le acque profonde vengono parzialmente riossigenate per il verificarsi di processi di mescolamento verticale o di infiltrazioni di acque tributarie fredde ed aerate.

Nel corso del 1999 si può notare la rapidità del recupero dell'ossigenazione dello strato, che è passato da contenuti medi di 5,62 mg O₂ l⁻¹ del campionamento di Gennaio a 7,33 mg O₂ l⁻¹ al momento della piena circolazione e, infine, a concentrazioni comprese tra 8,5 e 8,7 mg O₂ l⁻¹ nel mese di Marzo. Tali livelli si sono poi ulteriormente incrementati tra Febbraio e Marzo del 2000 fino a valori compresi tra 8,9 e 9,1 mg O₂ l⁻¹ per lo sprofondamento nel basso ipolimnio di acque tributarie di disgelo. Nei mesi successivi i contenuti medi calano progressivamente raggiungendo in Dicembre tenori di 8,1 mg O₂ l⁻¹.

Infine va osservato che la distribuzione verticale delle sue concentrazioni nell'ultimo trimestre del 2000 non evidenzia nell'intero strato ipolimnico consumi o recuperi anormali che possano essere messi in relazione con gli effetti indotti dagli eventi di piena precedentemente descritti.

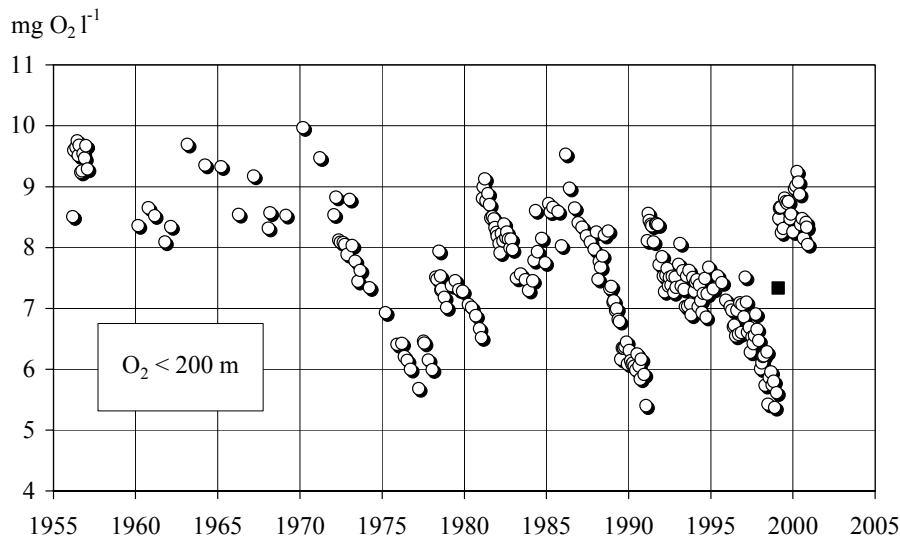


Fig. 3.2.4. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento storico della concentrazione media di ossigeno nello strato 200-370 m (valori ponderati sui volumi). Il quadratino nero indica la concentrazione di ossigeno al momento della piena circolazione (15/02/99).

3.2.5. Silicati reattivi

Nel corso del 2000, le concentrazioni medie di silicati reattivi sono rimaste comprese tra 1,3 e 1,6 mg Si l⁻¹, risultando pressoché identiche per entità e andamento stagionale a quelle registrate tra il 1994 e il 1999 (Fig. 3.2.5.). Anche i minimi epilimnetici, associati a fioriture di diatomee e solitamente riscontrati nella tarda primavera e alla fine della stagione estiva, si collocano sui livelli già toccati dopo il 1994, periodo nel quale i consumi in epilimnio e nell'intero lago risultano sensibilmente inferiori a quelli del precedente quadriennio come probabile conseguenza dell'avanzamento del processo di oligotrofizzazione del lago.

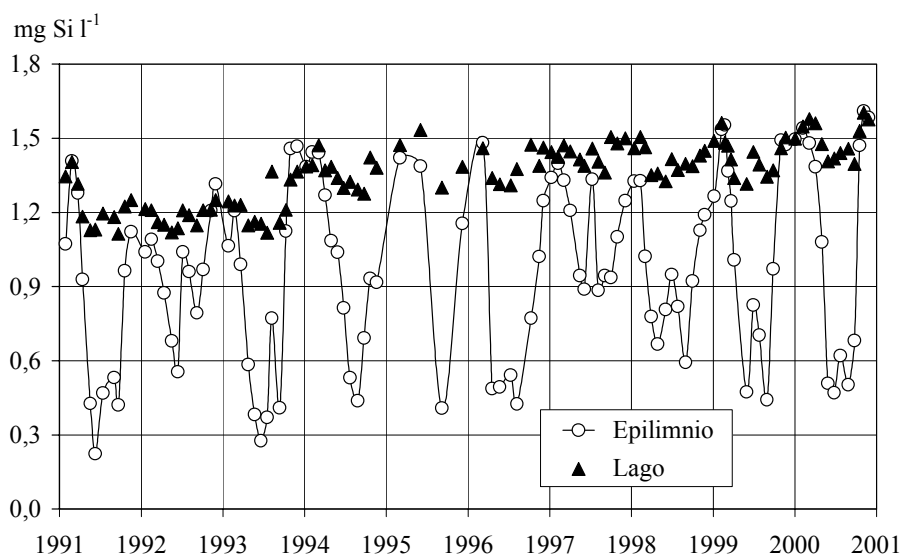


Fig. 3.2.5. Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 1991-2000.

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 2000, alla serie storica dei campionamenti sul Lago Maggiore. Nella stazione al largo di Ghiffa sono stati effettuati, tra il 12 Gennaio e il 6 Dicembre, 19 sopralluoghi con prelevamento di campioni d'acqua nello strato 0-20 m, con frequenza mensile nei mesi di Gennaio, Marzo, Luglio, Novembre e Dicembre quindicinale nella restante parte dell'anno.

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

Il numero totale dei taxa censito durante il 2000 è stato di 80 unità, come nel 1999. Si può affermare che questo numero sia rimasto pressoché costante a partire dal 1997 e sembra che la tendenza all'aumento costante del numero di *taxa* algali, iniziata dalla fine degli anni '80, sia giunta ad esaurimento, salvo piccole fluttuazioni interannuali, non rilevanti per quanto riguarda la biodiversità della fitocenosi (Fig. 3.3.1.1.). Nel 2000 il numero medio di specie per campione ha mostrato una leggera flessione rispetto al 1999 (32), rimanendo comunque nell'intervallo di variazione osservato nei cinque anni precedenti (Fig. 3.3.1.1.). 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 più basso degli ultimi cinque anni (28; Fig. 3.3.1.1.), sebbene rientri nell'ambito dei valori tipici 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.

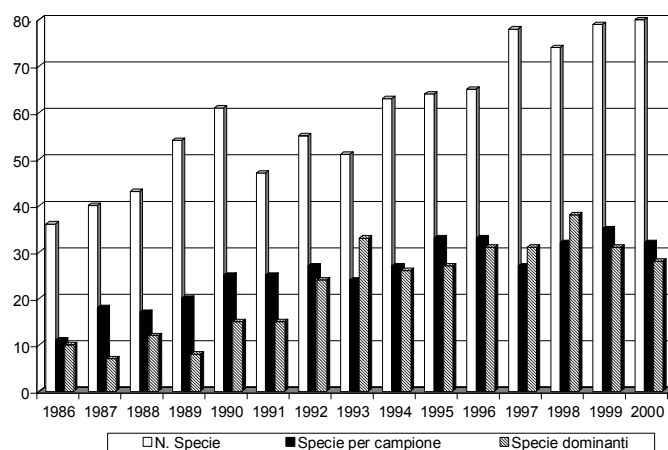


Fig. 3.3.1.1. Evoluzione del numero totale di specie censite, del numero medio di specie per campione e del numero di specie significative (v. testo).

Le specie o generi censiti globalmente durante l'anno non mostrano differenze significative rispetto al 1999 nella loro ripartizione numerica tra le categorie sistematiche maggiori. La classe con il maggior numero di *taxa* è ancora quella delle cloroficee (22 *taxa*, come nel 1999), seguita dalle diatomee (20 contro 19), quindi dai cianobatteri (15 specie, tre in più rispetto al 1999), dalle crisoficee (11 invece dei 15 del 1999), dalle dinoficee e dalle criptoficee (entrambe con 6 unità tassonomiche).

La successione stagionale è, a grandi linee, molto simile a quella del 1999. Ad una fase primaverile, che si protrae fino all'inizio dell'estate, caratterizzata dalla netta dominanza delle diatomee, segue una fase estiva - autunnale durante la quale i cianobatteri sono il gruppo prevalente, sia in termini di densità che di biovolume. *Oscillatoria rubescens*, *Snowella lacustris* ed *Oscillatoria limnetica* sono i cianobatteri dominanti in termini di biovolume, mentre per quanto riguarda la densità sono risultati estremamente abbondanti alcune Chroococcales di piccole dimensioni, appartenenti ai generi *Aphanothece* ed *Aphanocapsa*, in particolare *Aphanothece clathrata*, divenuta una specie ormai caratteristica del popolamento algale estivo del Lago Maggiore. Il gruppo più importante è rappresentato dalle diatomee (Bacillariophyceae), che dominano, non solo come biomassa ma anche come densità di popolazione, per gran parte dell'anno. Tra questi organismi si conferma l'importanza di *Tabellaria flocculosa*, elemento caratteristico del popolamento a diatomee degli anni più recenti. Da segnalare, inoltre la forte riduzione di *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*, spesso inclusa, negli ultimi anni, nel gruppo delle specie dominanti: questa modificazione della struttura di comunità fornirebbe un'ulteriore indicazione della condizione di oligotrofia del Lago Maggiore, se si considera che Reynolds [4] include questa specie tra le co-dominanti in un'associazione tipica di laghi molto produttivi. In generale, l'evoluzione recente del popolamento a diatomee, tenendo conto di quanto proposto da Reynolds [4] relativamente alle relazioni tra stato trofico e associazioni fitoplanctoniche, sembra ben rispecchiare il miglioramento della trofia lacustre, con la tendenza all'aumento di importanza delle diatomee centriche del genere *Cyclotella*, la ricomparsa importante di *T. flocculosa* ed il declino di *A. islandica* e *Diatoma tenuis*.

3.3.1.2. Variazioni della biomassa

Nel rapporto precedente avevamo segnalato come sia il biovolume complessivo del fitoplancton che la concentrazione della clorofilla *a* avessero raggiunto, nel 1999, i valori medi annui più bassi dal 1981, cioè dall'inizio del processo di oligotrofizzazione: nel 2000 la media annua di questi parametri è diminuita ulteriormente, essendo sceso il biovolume a $0,84 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ e la clorofilla a $2,82 \text{ mg m}^{-3}$.

Peraltro, non bisogna dimenticare che nei due inverni 1998-'99 e 1999-'00 il Lago Maggiore è andato incontro ad un completo mescolamento della colonna d'acqua dalla superficie al fondo: questo evento, da un lato determina un trascinarsi delle cellule algali fino a profondità elevate (come testimoniano misure di clorofilla effettuate nel Febbraio 1999 e nel Febbraio 2000 su campioni raccolti nell'ipolimnio profondo) e quindi una diluizione dei popolamenti nello strato 0-20 m, col rischio che il biovolume medio annuo, che è sempre riferito allo strato eufotico, risulti sottostimato a causa dei bassi valori misurati nel periodo di pieno mescolamento. D'altra parte, il rifornimento di nutrienti dalle acque profonde, innescato dalla piena circolazione, potrebbe portare a crescite abbondanti del fitoplancton nei mesi primaverili, fatto che implicherebbe un guadagno, in termini di biovolume, con un effetto di compensazione sulla possibile sottostima dei mesi precedenti. Questa compensazione non è stata osservata nel 1999

[5] e neppure nel 2000 si è registrato uno sviluppo eccessivo di fitoplancton in primavera, il picco di biovolume essendosi mantenuto, in entrambi gli anni del mescolamento, su valori molto vicini a quello misurato nel 1998. Il rifornimento di nutrienti “nuovi” *sensu* [6] sembra quindi dar luogo ad un aumento immediato della produttività primaria, come osservato nel 1999 [5], che però non si traduce in un incremento di biomassa algale: questo fatto potrebbe spiegarsi con le modificazioni della rete trofica avvenute nel Lago Maggiore durante la fase di oligotrofizzazione, nel corso della quale sono diventate più importanti le specie algali di piccole dimensioni [7] ed è cresciuta l'importanza del *microbial loop*, cioè di quegli organismi coinvolti in rapidi processi di riciclo della materia nella colonna d'acqua [8]. Una struttura trofica di questo tipo rende più rapidi i tempi di rinnovo della biomassa algale e potrebbe limitare, al tempo stesso, l'accumulo di questa nelle acque superficiali.

Nel corso del 2000 il picco massimo di biovolume totale è stato registrato verso la fine di Giugno (circa $2400 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$), ma è stato preceduto da altri due picchi primaverile di minore entità, verificatisi rispettivamente il 6 Aprile ($1270 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$) ed il 10 Maggio ($1680 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$) e seguiti da un breve periodo di flessione del biovolume totale, decisamente più accentuato tra Aprile e Maggio (Fig. 3.3.1.2a).

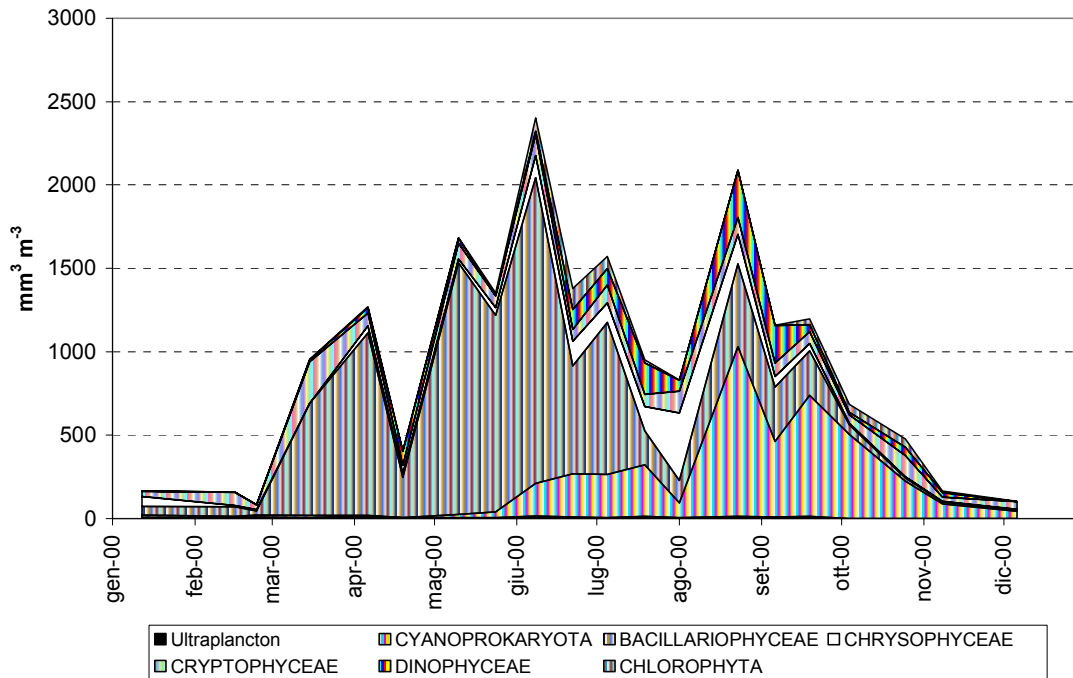


Fig. 3.3.1.2a. Biovolumi cumulati dei principali raggruppamenti sistematici per il 1999.

L'andamento della successione nella prima metà dell'anno è stato caratterizzato dalle modificazioni del popolamento a diatomee. Infatti, dopo la sensibile riduzione della biomassa nelle acque superficiali, risultato della diluizione dei popolamenti a seguito del completo mescolamento, i mesi di Marzo ed Aprile sono caratterizzati dallo sviluppo di *Stephanocostis chantaicus* e *Cyclotella comensis/gordonensis* (Fig. 3.3.1.2b): entrambe diminuiscono bruscamente verso la fine di Aprile. A partire da Maggio le diatomee hanno una nuova fase di crescita, ma questa volta sono dominanti le diatomee pennate, con *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* e *Tabellaria flocculosa*, che persistono con biomasse abbondanti fino a Giugno inoltrato. In Luglio, dopo il declino delle pennate, si assiste ad una terza fase di sviluppo delle diatomee,

essendo in questo caso dominante *Cyclotella comensis*. Questa specie si ritrova poi fino ad Ottobre con una certa abbondanza, anche se nei mesi estivi la comunità algale è dominata dai cianobatteri. A partire dall'inizio di Giugno, infatti, si osserva lo sviluppo di *Oscillatoria limnetica*, sostituita in Agosto da *Snowella lacustris*. Tra il declino della prima e la crescita della seconda si registra, alla fine di Luglio, un periodo di scarsa presenza dei cianobatteri, durante il quale raggiungono una certa importanza i dinoflagellati, le criptoficee e, soprattutto, le crisoficee con *Dinobryon sociale*. Il periodo estivo è comunque caratterizzato da una buona diversità specifica: oltre ai cianobatteri assumono una certa importanza le diatomee *Cyclotella comensis*, *Asterionella formosa* e, nel loro complesso, anche i dinoflagellati, le crisoficee e le criptoficee. In Settembre ed Ottobre *Oscillatoria rubescens* torna ad essere importante, insieme ad *Oscillatoria limnetica* e *Cyclotella comensis* (Fig. 3.3.1.2b).

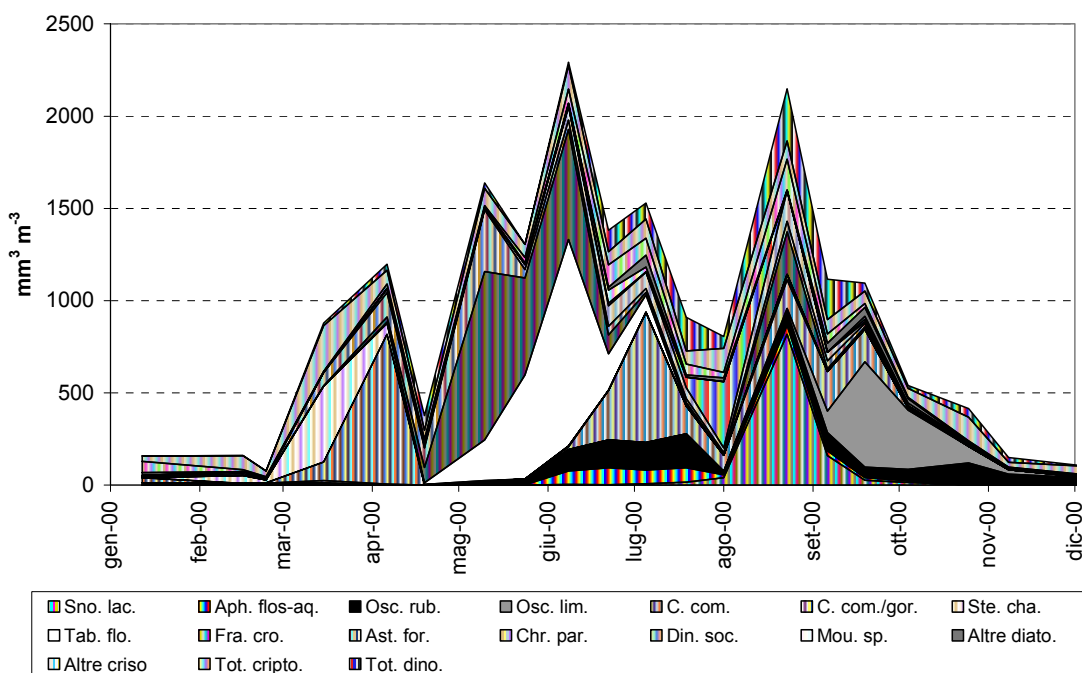


Fig. 3.3.1.2b. Biovolumi cumulati di entità sistematiche particolarmente significative. Sno. lac.: *Snowella lacustris*; Aph. flos-aq.: *Aphanizomenon flos-aquae*; Osc. rub.: *Oscillatoria rubescens*; Osc. lim.: *Oscillatoria limnetica*; C. com.: *Cyclotella comensis*; C.com/gor.: *Cyclotella comensis/gordonensis*; Ste. cha.: *Stephanocostis chantaicus*; Tab. flo.: *Tabellaria flocculosa*; Fra. cro.: *Fragilaria crotonensis*; Ast. for.: *Asterionella formosa*; Chr. par.: *Chrysochromulina parva*; Din. soc.: *Dinobryon sociale*; Mou. sp.: *Mougeotia* sp.; Altre diato.: altre diatomee; Altre criso: altre crisoficee; Tot. cripto: criptoficee totali; Tot. dino.: dinoficee totali.

È opportuno ricordare che nell'Ottobre 2000 il Lago Maggiore è stato interessato da un evento di piena eccezionale, che, in parte, ha fatto sentire i suoi effetti anche sullo svolgimento della successione fitoplanctonica. L'abbondante presenza di materiale particellato alloctono rimasto in sospensione nelle acque epilimniche per diversi giorni dopo l'evento alluvionale, ha infatti ridotto fortemente la trasparenza delle acque, limitando probabilmente la crescita algale, come risulta dalle scarse densità cellulari misurate in quel periodo, pur tenendo conto di una possibile sottostima dell'abbondanza complessiva, a causa della difficoltà a conteggiare l'ultraplancton, indistinguibile al microscopio ottico dal particolato minerale: la categoria dominante nei giorni e nelle settimane seguenti l'evento di piena è stata quella dei cianobatteri, prevalentemente

specie coloniali filamentose appartenenti al gruppo delle Oscillatoriaceae, particolarmente adattate a svilupparsi in acque con torbidità elevata. Tra questi *Oscillatoria rubescens*, in particolare, si è mantenuta dominante fino alla fine dell'anno, accompagnata da alcune criptofite, la cui importanza relativa solitamente aumenta nei mesi del tardo autunno.

La serie dei dati relativi alla concentrazione della clorofilla *a* mostra i valori mediamente più alti nel periodo della tarda primavera - estate, sebbene il massimo assoluto sia stato registrato il 15 Marzo ($6,49 \text{ mg m}^{-3}$). 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. I valori estremamente bassi raggiunti da questo parametro nei mesi autunnali, in buon accordo con i bassi valori di abbondanza fitoplanctonica, permettono di affermare che una probabile sottostima della densità algale, dovuta all'impossibilità di conteggiare l'ultraplancton, non sia comunque significativa in termini di biovolume della biocenosi algale. La media annua della concentrazione di clorofilla *a* risulta corrispondente a circa 3 mg m^{-3} , di poco superiore a quella calcolata per il 1999, ma inferiore al valore del 1998, confermando quindi la stabilità trofica del Lago Maggiore.

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 2000, proseguendo nella tendenza in atto ormai da alcuni anni (Fig. 3.3.1.2c).

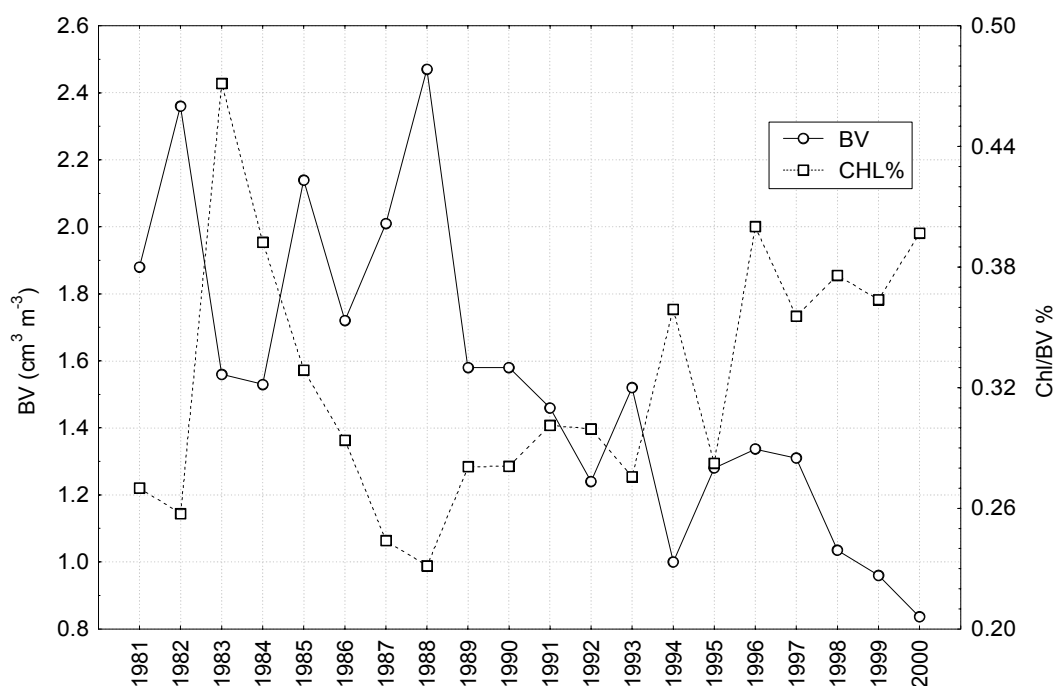


Fig. 3.3.1.2c. Evoluzione pluriennale del biovolume medio annuo e del rapporto percentuale medio annuo tra clorofilla e biovolume.

In conclusione, anche le osservazioni compiute nell'anno 2000 sostanzialmente confermano l'ulteriore proseguimento dei processi evolutivi a carico delle comunità fitoplanctoniche che hanno accompagnato l'oligotrofizzazione del Lago Maggiore nell'arco dell'ultimo decennio.

3.3.2. Indagini sullo zooplancton

Anche per l'anno 2000 sono stati effettuati prelievi di materiale zooplanctonico con cadenza all'incirca mensile presso la stazione ubicata nel punto di massima profondità del lago (Ghiffa), rappresentativa della situazione generale. L'evento eccezionale di piena e le brutte condizioni meteorologiche non hanno consentito di effettuare il campionamento del mese di Ottobre.

Nei primi tre mesi dominano, come di consueto, i copepodi, principalmente allo stadio adulto e di V copepodite (Fig. 3.3.2.1a e Tab. 3.3.2.1a).

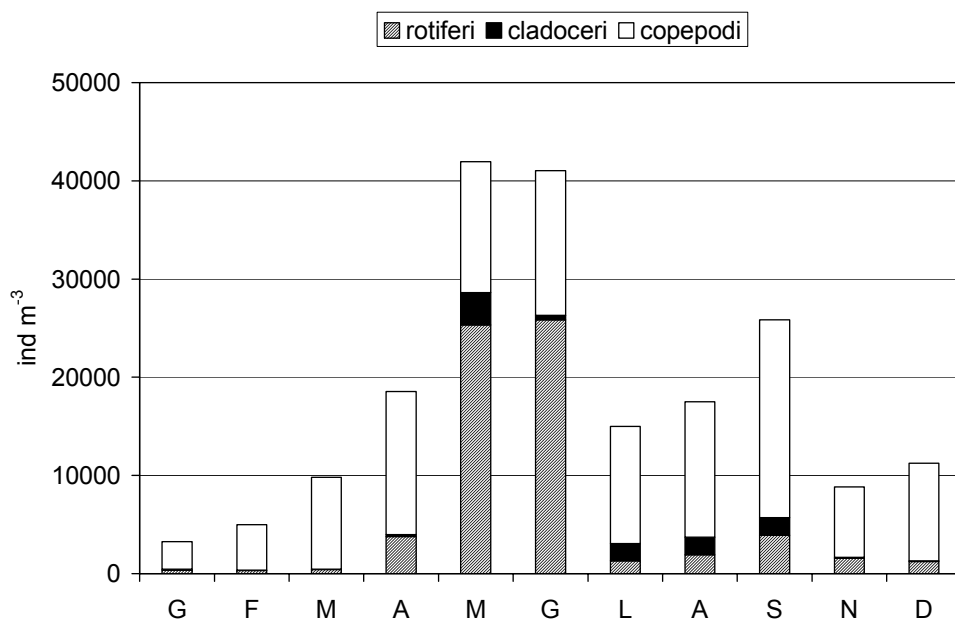


Fig. 3.3.2.1a. Densità di popolazione dello zooplancton durante il 2000.

Il popolamento è in questo periodo in attiva fase riproduttiva e numerose sono le uova fecondate. Mentre tra i copepodi sono rappresentate sia le quattro specie principali che il *Megacyclops viridis*, quest'ultimo mai rinvenuto, nella zona da noi campionata, allo stadio adulto, tra i rotiferi sono presenti solamente poche specie, vale a dire *Keratella quadrata*, *Kellicottia longispina* e *Filinia longiseta*. A Marzo ha inizio la prima fase di produzione di nauplii, sviluppatasi dalle numerose uova rinvenute nei campioni precedenti. A Maggio si osserva il picco primaverile dello zooplancton, dovuto al notevole incremento numerico della componente naupliare, e soprattutto allo sviluppo della componente a rotiferi, ben rappresentata sia in termini di abbondanza che di numero di *taxa*. Dai valori del disco di Secchi, che si attesta per tutto il mese intorno ai 4 m, si può dedurre il perdurare di buone condizioni di disponibilità alimentare per lo zooplancton erbivoro. A favorire la crescita numerica del fitoplancton è l'apporto di nutrienti, e soprattutto di fosforo, con le cospicue piogge di Aprile-Maggio.

Cambiamenti importanti interessano anche la comunità a cladoceri (Fig. 3.3.2.1b): domina *Daphnia*, presente già in Aprile con organismi di dimensioni elevate, che raggiunge a Maggio valori di densità di popolazione dell'ordine di 3 ind l⁻¹, abbastanza elevati ma certamente non eccezionali.

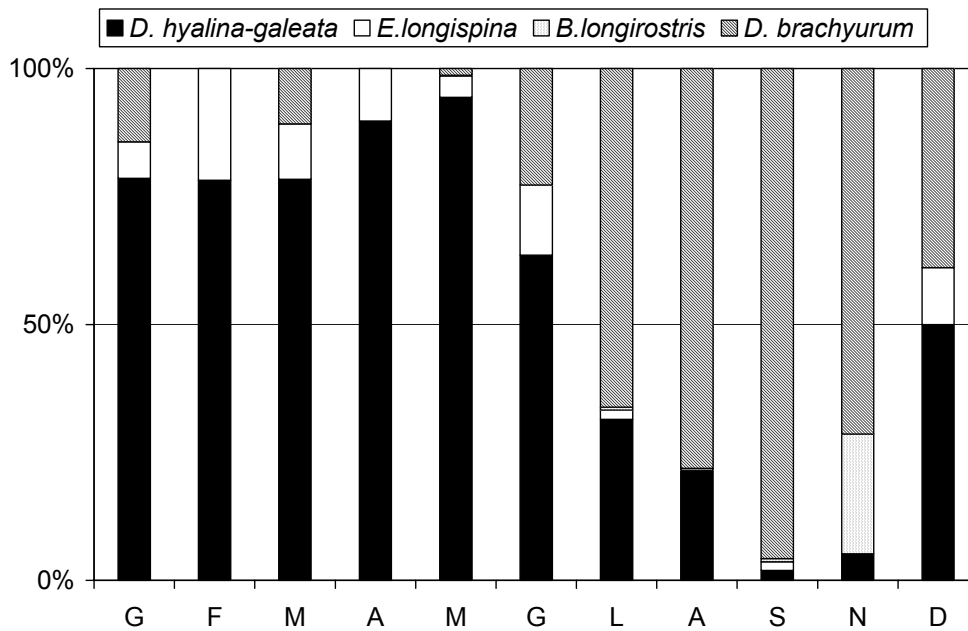


Fig. 3.3.2.1b. Struttura del popolamento a cladoceri nel corso dell'anno 2000.

Così come osservato durante tutto il periodo post-oligotrofizzazione, il ridimensionamento numerico di *Daphnia* a Giugno è legato all'ascesa numerica di *Bythotrephes longimanus* (Fig. 3.3.2.1c), che qui raggiunge i suoi valori di massima densità di popolazione, lievemente inferiori nel 2000 rispetto agli anni passati.

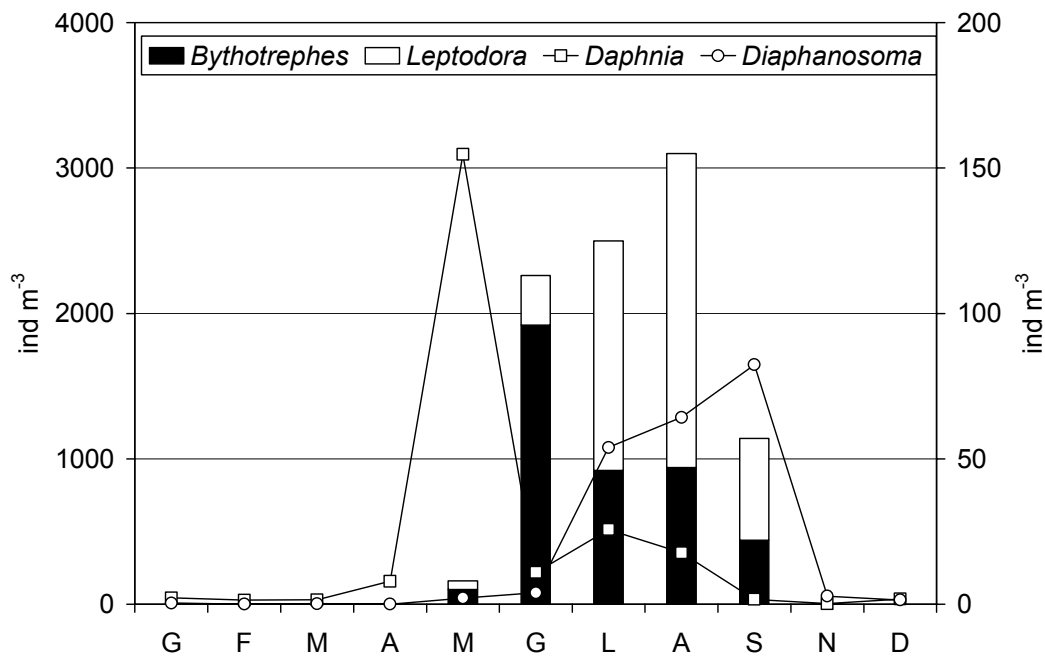


Fig. 3.3.2.1c. Densità di popolazione di *Bythotrephes*, *Leptodora* (scala a destra), *Daphnia* e *Diaphanosoma* nel corso dell'anno 2000.

Nei mesi successivi dominano *D. brachyurum* tra i *particle feeders* e *Leptodora kindtii* tra i predatori. Entrambi questi organismi iniziano a svilupparsi quando il riscaldamento delle acque superficiali rende ben evidente la separazione tra acque epilimniche e acque ipolimniche. Condizioni di temperatura elevata e la presenza di un ben definito termoclinio sono requisiti essenziali per lo sviluppo numerico di queste due specie.

L'evento più importante dell'anno resta comunque quello della piena dell'Ottobre, record secolare. Non è facile osservare effetti immediati di un evento di questo tipo, essendo la densità numerica del popolamento zooplanctonico sempre abbastanza contenuta nel periodo Novembre-Dicembre. Tuttavia, un primo risultato è quello del rilevamento, a Novembre, della specie *Bosmina longirostris* (Fig.3.3.2.1b), la cui presenza nel pelago è un evento eccezionale, senza dubbio da ascrivere al reclutamento di organismi dalle zone rivierasche del lago.

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 3.4.1. insieme ai valori medi relativi alla zona eufotica (0-20 m) ed afotica (20-350 m). Da essa si può constatare che anche nel 2000 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 3.4.1a dove è presentata l'evoluzione delle concentrazioni del TOC negli anni 1999 e 2000 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 variazioni quantitativamente significative da un anno all'altro, pur essendo caratterizzate da un'evoluzione stagionale diversa nei due anni.

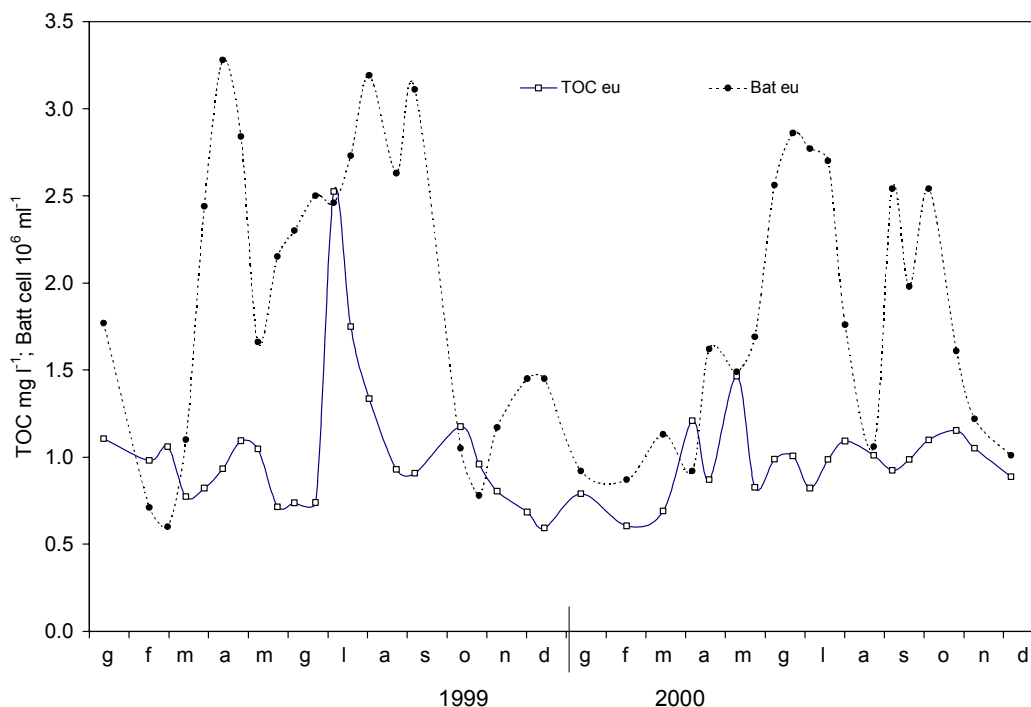


Fig.3.4.1a. Valori della concentrazione di carbonio organico totale (TOC: mg l⁻¹) e della densità dei popolamenti batterici eterotrofi (cell 10⁶ ml⁻¹): confronto tra gli anni 1999 e 2000.

Per quanto riguarda gli effetti immediati dell'evento di piena del mese di Ottobre sul carbonio organico e sui popolamenti batterici, il fenomeno non sembra aver avuto un effetto rilevante su queste variabili. Nel campionamento immediatamente seguente la piena si sono, infatti, misurate concentrazioni di TOC assai prossime a quelle misurate nello stesso periodo nell'anno precedente e densità batteriche più elevate rispetto a quelle dell'Ottobre 1999 ma comunque non eccezionalmente elevate e spiegabili con l'elevata variabilità di questo parametro.

Al contrario il fenomeno di piena ha influito in modo evidente sulla concentrazione del particolato totale (seston) (Tab. 3.4.1.). Questa è rimasta su valori assai vicini a quelli dell'anno precedente nella prima parte dell'anno per raggiungere poi valori assai

elevati in concomitanza con l'evento di piena del mese di Ottobre. Nella figura 3.4.1b sono confrontati i trend stagionali del TOC e del seston nella zona eufotica del Lago Maggiore. Dal suo esame è possibile da un lato il confronto tra le concentrazioni del seston nel 1999 e nel 2000 e, dall'altro, la comparazione tra le concentrazioni di TOC e di seston in occasione dell'evento di piena che ha avuto il suo culmine il 16 Ottobre 2000. Appare subito chiaro che l'apporto alloctono attribuibile alla piena è stato prevalentemente costituito da materiale inorganico particellato, almeno nell'intervallo dimensionale da noi considerato che si estende dalla sostanza organica disciolta alle particelle con dimensioni fino a 126 μm .

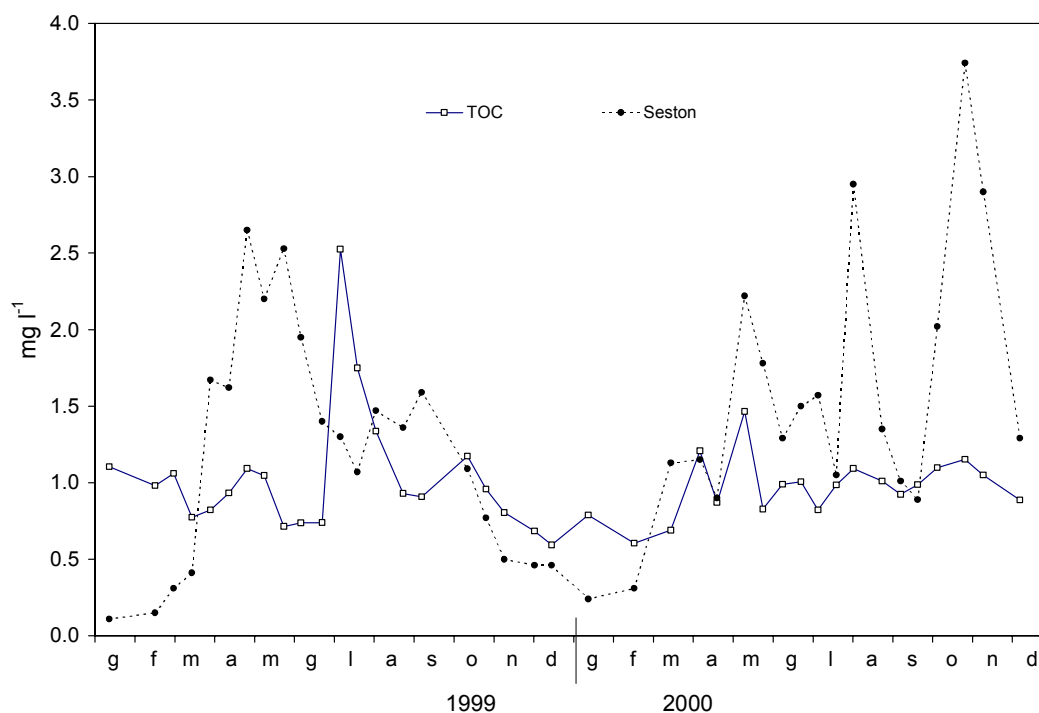


Fig. 3.4.1b. Valori della concentrazione del carbonio organico totale (TOC: carbonio disciolto e particellato con dimensioni $>1,2 \mu\text{m}$; linea continua) e del seston (particellato organico ed inorganico con dimensioni $>1,2 \mu\text{m}$; linea tratteggiata) nella zona eufotica del Lago Maggiore nel 1999 e nel 2000

Tab. 3.4.1. Concentrazioni del Seston (mg l^{-1}), del carbonio organico particellato (POC: $\mu\text{g l}^{-1}$), del carbonio organico totale (TOC: mg l^{-1}) e numero di cellule batteriche per conteggio microscopico diretto (CMD: cell 10^6 ml^{-1}) misurate nel 2000.

	2000	12 gen	16 feb	15 mar	06 apr	19 apr	10 mag	24 mag	08 giu	22 giu	05 lug	19 lug	01 ago	23 ago	06 set	19 set	04 ott	25 ott	08 nov	06 dic
Seston mg l^{-1}																				
zona eufotica	0,24	0,31	1,13	1,15	0,90	2,22	1,78	1,29	1,50	1,57	1,05	2,95	1,35	1,01	0,889	2,02	3,74	2,9	1,29	
zona afotica	0,22	0,19	0,18	0,29	0,27	0,52	0,65	0,16	0,32	0,33	0,30	0,31	0,31	0,26	0,16	0,55	1,84	1,36	0,41	
POC $\mu\text{g l}^{-1}$																				
zona eufotica	71	77	510	372	180	421	311	483	432	376	324	447	466	358	396	341	255	228	128	
zona afotica	44	49	54	64	70	75	66	71	96	76	113	82	104	70	61	63	69	78	48	
TOC mg l^{-1}																				
0-20 m	0,79	0,605	0,69	1,208	0,87	1,465	0,827	0,988	1,006	0,822	0,986	1,092	1,01	0,924	0,987	1,099	1,152	1,05	0,888	
20 m	0,729	0,67	0,482	1,018	0,751	1,276	0,72	0,644	0,621	0,792	0,779	0,709	0,525	0,9	0,629	0,979	0,947	0,881	0,822	
50 m	0,755	0,624	0,532	1,046	0,738	1,06	0,633	0,652	0,542	0,679	0,835	0,715	0,549	0,499	0,517	0,623	0,703	0,708	0,754	
100 m	0,652	0,566	0,473	1,042	0,7	1,075	0,607	0,594	0,632	0,704	0,982	0,482	0,501	0,519	0,463	0,586	0,728	0,668	0,642	
200 m	0,637	0,768	0,441	0,982	0,72	1,128	0,604	0,675	0,714	0,656	0,628	0,493	0,473	0,483	0,464	0,553	0,729	0,654	0,727	
300 m	0,657	0,697	0,513	1,041	0,676	1,117	0,632	0,594	0,52	0,673	0,542	0,505	0,478	0,496	0,772	0,849	0,636	0,632	0,636	
350 m	0,681	0,634	0,495	1,052	0,627	1,094	0,602	0,637	0,724	0,76	0,891	0,496	0,476	0,48	0,717	0,903	0,746	0,648	0,654	
zona eufotica	0,79	0,605	0,69	1,208	0,87	1,465	0,827	0,988	1,006	0,822	0,986	1,092	1,01	0,924	0,987	1,099	1,152	1,05	0,888	
zona afotica	0,672	0,626	0,429	1,086	0,67	1,123	0,607	0,74	0,613	0,647	0,737	0,538	0,537	0,528	0,556	0,639	0,693	0,721	0,671	
CMD																				
cell 10^6 ml^{-1}																				
zona eufotica	0,92	0,87	1,13	0,92	1,62	1,49	1,69	2,56	2,86	2,77	2,70	1,76	1,06	2,54	1,98	254	1,61	1,22	1,01	
zona afotica	0,49	0,87	0,62	0,38	0,93	0,70	0,49	0,60	0,61	0,56	0,68	0,75	0,76	0,78	0,49	0,61	0,56	0,56	0,55	

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

Nel corso del 2000 si sono effettuate 4 campagne di campionamento (in primavera, estate, autunno ed inverno) prelevando campioni integrati da 0 a 20 metri nella zona eufotica del Lago Maggiore. 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.

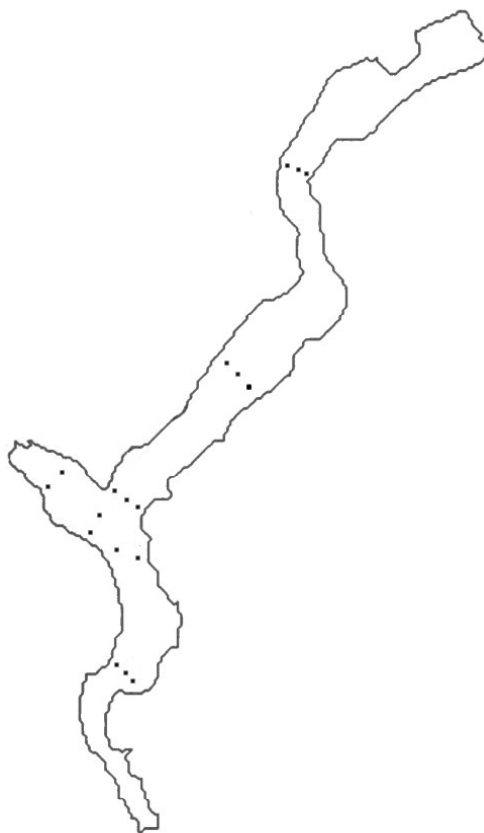


Fig. 3.5a. Stazioni di campionamento per lo studio della distribuzione orizzontale.

Benché sia opportuno rimandare la valutazione complessiva dei dati ottenuti al completamento del programma biennale di campionamento, si può già da ora anticipare che le variabili considerate (seston, POC, DOC, clorofilla e microflora batterica totale) hanno nel complesso presentato una variabilità orizzontale cospicua particolarmente nelle stagioni di maggior produzione (primavera ed estate). Bisogna anche tener conto del fatto che nel 2000 si è verificato, nel mese di Ottobre, un fenomeno di piena di notevole entità che ha avuto un'influenza non trascurabile sulla distribuzione del materiale particellato e della sostanza organica nel lago. Passando in rassegna i parametri misurati, si può vedere che la distribuzione

orizzontale del seston (Fig. 3.5b), cioè del materiale particellato sospeso nelle acque, organico ed inorganico, vivente e non vivente, è risultata relativamente omogenea nel periodo invernale, quando assenza di produzione ed omogeneità di temperature delle masse d'acqua tendono a massimizzarne il mescolamento. Col progredire della stagione (campionamento primaverile: 16-5-00) si evidenzia un gradiente di densità del seston con concentrazioni crescenti da est ad ovest. Il culmine dell'estate (campionamento del 28-8-00) è caratterizzato da densità di seston relativamente omogenee ma attestata su valori da 2 a 3 volte più elevati di quelli invernali. La distribuzione autunnale, valutata il 22-11-00 cioè quasi un mese dopo il fenomeno di piena dell'Ottobre 2000, 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. 3.5c).

La distribuzione orizzontale del carbonio organico particellato (POC: Fig. 3.5c) risulta essa pure caratterizzata da valori di concentrazione bassi e omogenei in tutto il lago durante il periodo invernale. La situazione primaverile, invece, evidenzia concentrazioni crescenti da est ad ovest. In estate la concentrazione del POC presenta valori simili a quelli primaverili, con una distribuzione che suggerisce, a differenza di quanto visto in primavera, la presenza di un gradiente di concentrazione nord - sud. Il campionamento autunnale, 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. 3.5d), 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. Particolarmente elevata in tutto il lago è risultata la concentrazione del DOC nel campionamento tardo autunnale. Si può ipotizzare che questa situazione sia dovuta alla diversa "memoria" del lago per gli apporti dovuti alla piena di Ottobre. Infatti, mentre il particellato 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.

Per quanto riguarda la clorofilla (Fig. 3.5e), parametro che, dipendendo dalla densità del popolamento algale rispecchia la produttività delle masse d'acqua, i valori massimi sono stati reperiti nei campionamenti primaverili ed hanno presentato un gradiente di concentrazione crescente da est ad ovest. Dal campionamento seguente l'alluvione di Ottobre sono emerse concentrazioni di clorofilla omogenee ed inferiori ad $1\mu\text{g l}^{-1}$ in tutto il lago. Questo induce a ritenere che le eccezionali condizioni idrologiche legate al fenomeno di piena abbiano dilavato gli strati eufotici rimuovendo da essi il popolamento fitoplanctonico residuo della

produzione precedente. Poiché questo è avvenuto in una stagione non produttiva, non si è avuta la ricostituzione del popolamento algale.

Anche i popolamenti batterici (Fig. 3.5f) hanno presentato i valori massimi di densità nei campionamenti primaverili ed estivi, con un evidente un gradiente di densità del numero di cellule crescente da est ad ovest. Nei periodi invernale ed autunnale, invece, il popolamento batterico è presente con densità crescente da nord a sud.

I risultati del secondo anno di indagine permetteranno di meglio valutare se le modalità di distribuzione orizzontale mostrate fin qui dai diversi parametri esaminati siano occasionali o se siano effettivamente una caratteristica della evoluzione stagionale di tali parametri.

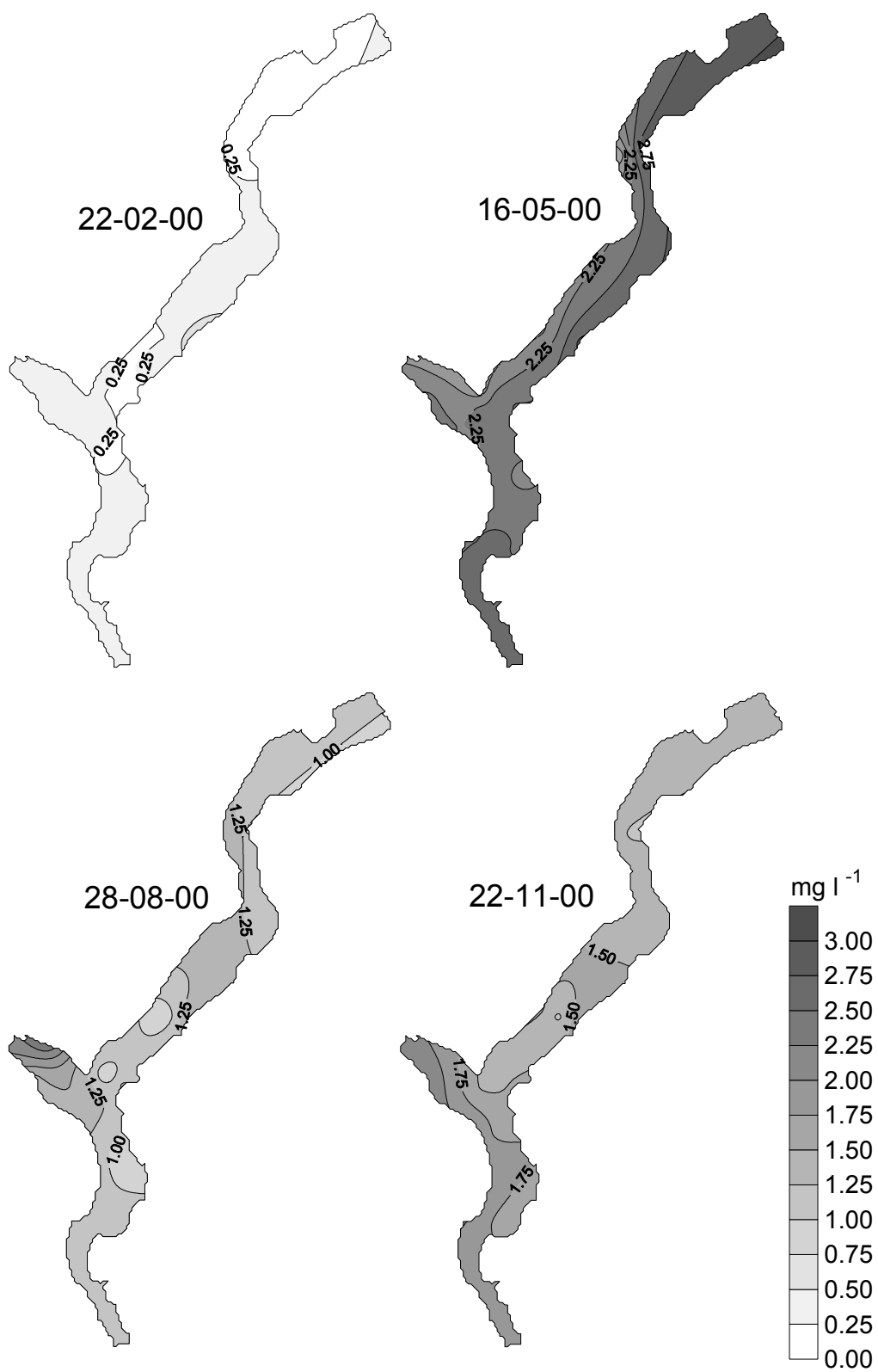


Fig. 3.5b. Distribuzione orizzontale del seston nel 2000.

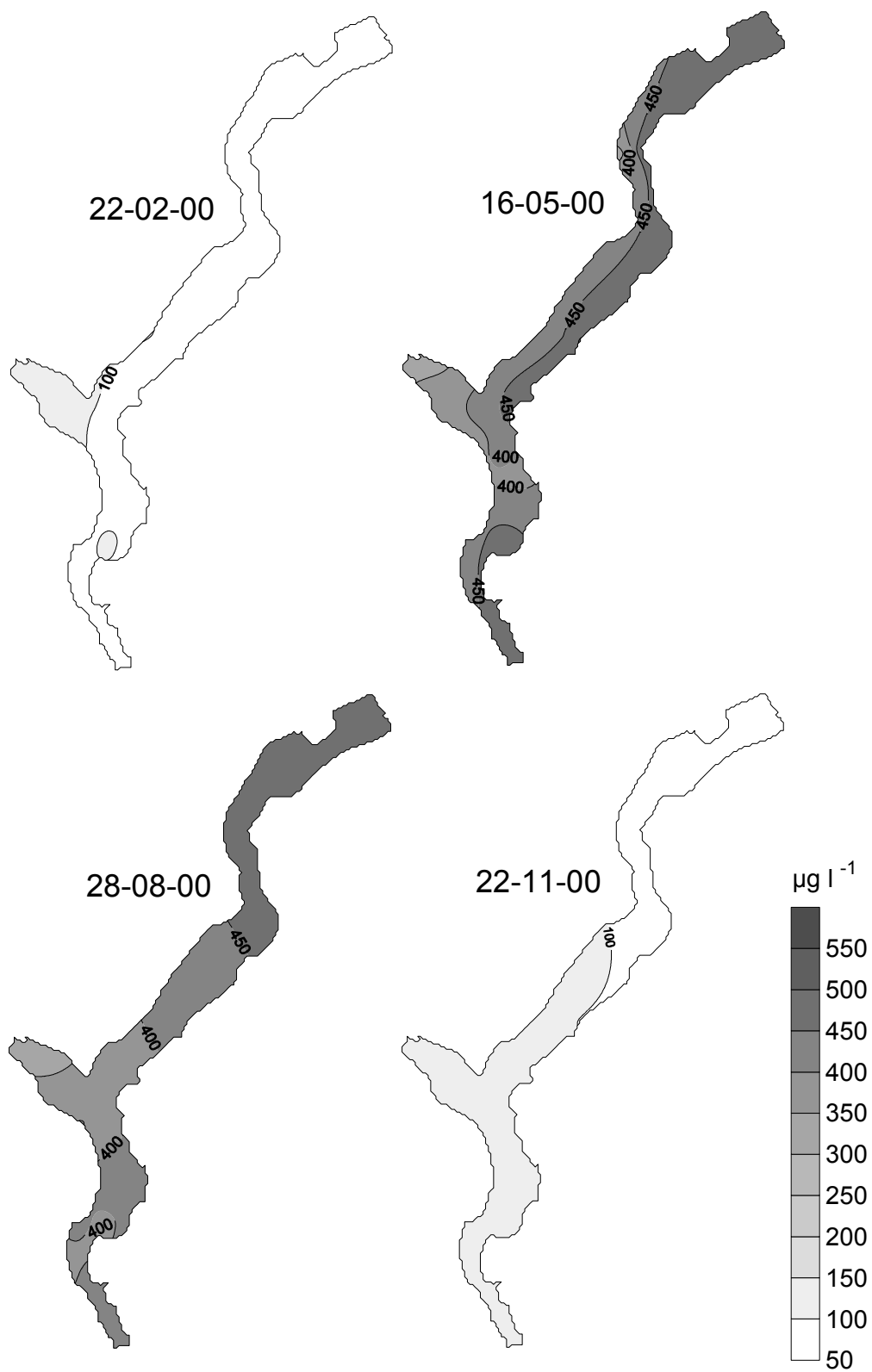


Fig. 3.5c. Distribuzione orizzontale del POC (carbonio organico particellato con dimensioni > 1,2 µm) nel 2000.

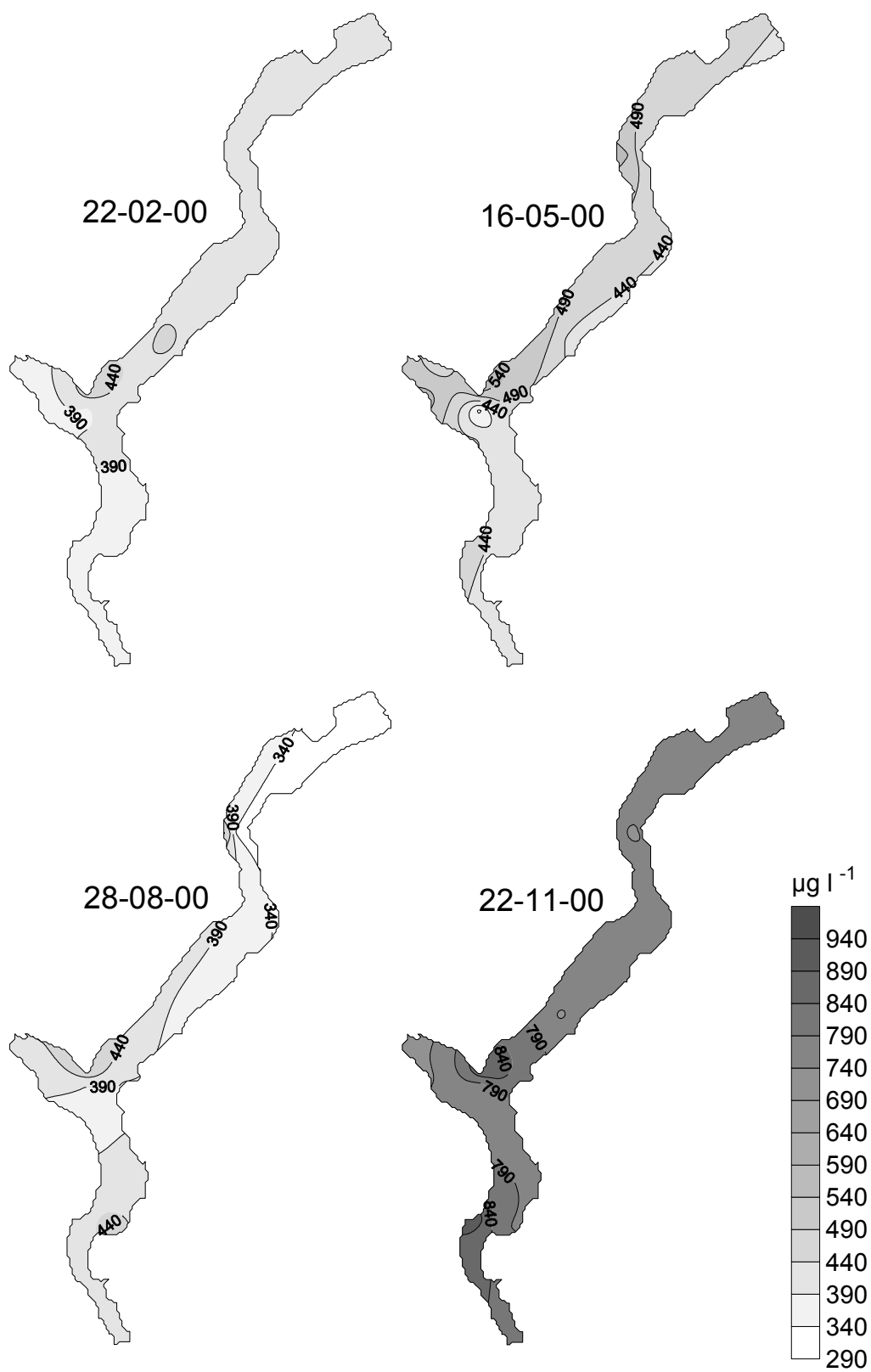


Fig. 3.5d. Distribuzione orizzontale del DOC (carbonio organico disciolto) nel 2000.

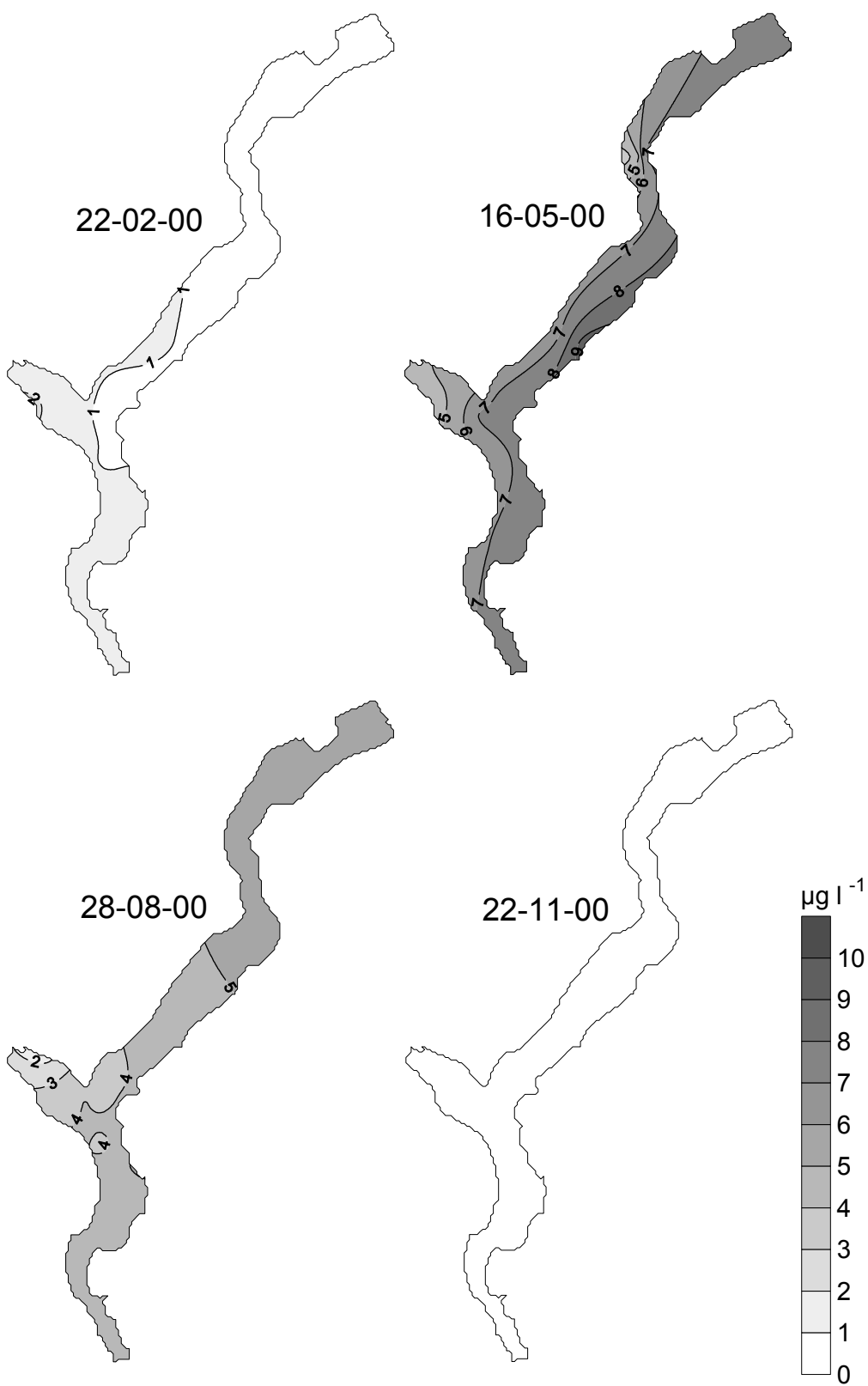


Fig. 3.5e. Distribuzione orizzontale della clorofilla nel 2000.

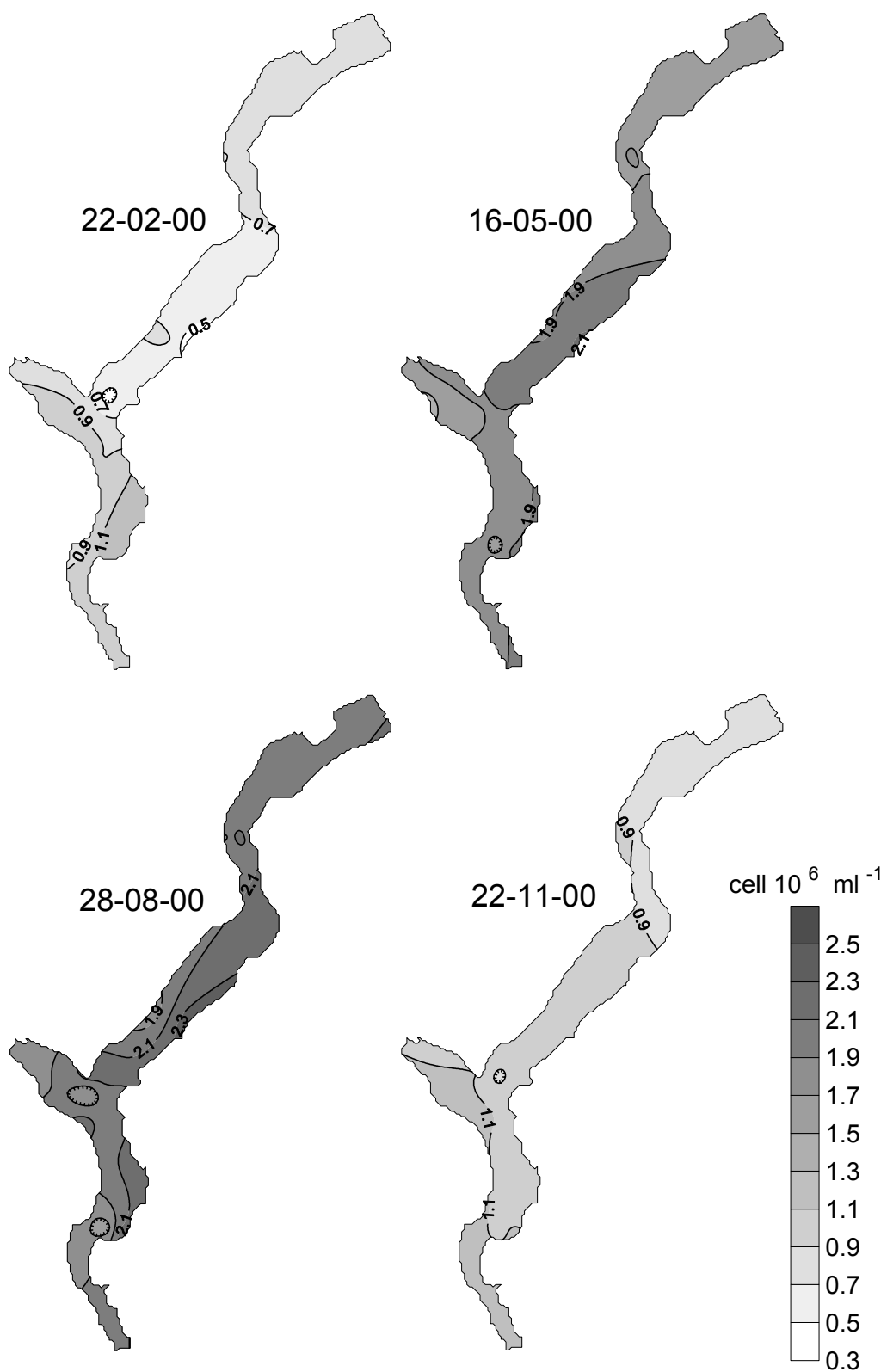


Fig. 3.5f. Distribuzione orizzontale della microflora batterica totale nel 2000.

4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti con le ricerche limnologiche condotte sul Lago Maggiore durante il 2000 ed il loro confronto con quelli che dal 1978 si stanno raccogliendo con continuità permettono di evidenziare come questo importante corpo idrico da ormai alcuni anni si sia attestato in livelli trofici che lo collocano nella fascia alta dell'oligotrofia.

Va subito segnalato che, tra gli eventi che hanno caratterizzato il lago nel corso del 2000 quello della piena autunnale (la più importante nell'ultimo secolo) è certamente quello di maggior rilievo anche per le profonde alterazioni nei parametri ambientali verificatisi durante il suo svolgimento e per le possibili ripercussioni future (in parte già accertate durante gli ultimi mesi del 2000 ed in fase di accertamento con il prosieguo delle ricerche nel 2001) nel corretto funzionamento ecosistemico.

È evidente, infatti, che le enormi quantità d'acqua arrivate al lago, molto ricche in soluti ed in materiale in sospensione, non possono non avere causato alterazioni ambientali la cui entità potrà essere verificata solo con il prosieguo delle indagini.

Più in particolare, i principali risultati ottenuti durante il 2000 possono essere così schematizzati:

Il 2000 si è caratterizzato per eventi meteorologici estremi. In ordine cronologico, troviamo una siccità prolungata che ha interessato quasi interamente i primi tre mesi dell'anno (circa 70 giorni), un mese di Giugno molto caldo con una temperatura media dell'atmosfera che costituisce il nuovo massimo assoluto a partire dal 1951 e da precipitazioni intense negli ultimi tre mesi dell'anno che si sono manifestate con particolare violenza nel mese d'Ottobre.

Sono proprio le piogge alluvionali iniziate il 12 di Ottobre che hanno portato, nel breve tempo di 5 giorni, il livello del Lago Maggiore da quota 194,06 m s.l.m. a 197,94 m s.l.m. (ore 21:30 del 16 Ottobre) generando così la più importante esondazione del Verbano a partire dal 1868.

Il fatto rilevante e nello stesso tempo inquietante a livello di gestione territoriale è che se la piena del 2000 viene confrontata con quella del 1993, si osserva una dinamica della sua crescita completamente diversa e molto più rapida anche se quella del 1993 è durata complessivamente circa un mese mentre quella di quest'anno soli 10 giorni.

Le condizioni "sfavorevoli" relative ai primi tre mesi dell'anno hanno invece influito sulla profondità di mescolamento verticale delle acque del lago che non ha superato i 100 metri, ma hanno contribuito alla discesa in profondità di acqua di provenienza fluviale più fredda e ossigenata dovuta al disgelo delle nevi. Infatti nella primavera del 2000 si è rilevato tra 200 e 370 m di profondità concentrazioni di ossigeno superiori ai 9 mg l⁻¹, superiori anche a quelle misurate nel 1999 quando è avvenuta la piena circolazione, sopperendo così al mancato mescolamento totale delle acque del lago.

Nel 2000, dopo la stasi del 1999, è ripreso il riscaldamento della massa lacustre, soprattutto nei livelli più profondi portando il suo contenuto calorico a fine Dicembre a 128,991 cal cm⁻² superiore a quello rilevato nel 1999.

Lo studio dei principali nutrienti algali, con particolare riferimento alle variabili più direttamente influenzate dagli scarichi urbani quali il fosforo totale e l'azoto organico e ammoniacale, è stato rivolto ad illustrare la situazione dei singoli tributari attraverso misure di concentrazione e carico veicolato, anche in riferimento all'estensione della superficie dei rispettivi bacini versanti. Sulla base dei contenuti medi annuali, è possibile riconfermare le conclusioni già evidenziate nel corso del quinquennio 1995-1999:

- ♦ se si assume come obiettivo di qualità la concentrazione di $21 \mu\text{g P l}^{-1}$, valore corrispondente a quello individuato dalla Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere per garantire il raggiungimento di stabili condizioni di oligotrofia nelle acque lacustri, si possono constatare condizioni largamente favorevoli per S. Bernardino, Verzasca, Maggia, Cannobino, Ticino immissario, S. Giovanni ed Erno; questi sette tributari presentano infatti tenori medi annuali di fosforo al di sotto dei $13 \mu\text{g P l}^{-1}$, accompagnati da modestissimi contenuti di azoto ammoniacale ed organico.
- ♦ il grave stato di alterazione di Boesio e Bardello continua senza evidenze di sostanziali miglioramenti rispetto alla situazione pregressa; tuttavia nel caso del Bardello va segnalato che gli aumenti osservati a seguito degli interventi di sifonamento di acque ipolimniche del Lago di Varese realizzati tra l'estate e l'autunno non sembrano tali da costituire un peggioramento eccessivo ed inaccettabile per il Lago Maggiore e per il fiume stesso, anche perché, nell'ultimo decennio, si sono riscontrati contenuti medi annuali di fosforo totale e di azoto ammoniacale superiori o dello stesso ordine di grandezza di quelli misurati nel periodo in esame;
- ♦ la situazione risulta ancora sensibilmente compromessa per Vevera e Tresa le cui concentrazioni di fosforo si sono accresciute rispetto al 1999;
- ♦ i tenori medi di fosforo totale di Toce, Giona e Strona, pur essendo meno preoccupanti, denotano la presenza nei rispettivi bacini drenanti di scarichi ancora non sufficientemente depurati.

Rispetto ai valori misurati nel 1999, gli apporti al lago di azoto totale e di fosforo totale si sono incrementati rispettivamente del 32% e del 37%. Differenze ancor più elevate sono state misurate per i carichi defluiti dal Ticino emissario: circa il 42% per l'azoto e il 37% per il fosforo. Complessivamente gli apporti di fosforo dall'intero bacino (309 t P a^{-1}), che comprendono i carichi dai tributari campionati (231 t P a^{-1}), dall'areale non campionato (20 t P a^{-1}) e dalla zona rivierasca (58 t P a^{-1}), sono risultati i più alti degli ultimi 14 anni. Tali aumenti non dipendono dalla comparsa di nuovi scarichi urbani non sufficientemente depurati o da un reale peggioramento dell'efficacia di trattamento dei reflui asserviti agli impianti esistenti; essi sono probabilmente legati agli afflussi meteorici del 2000 (2078 mm), assai più abbondanti del 1999 (1870 mm), nonché agli eventi di piena e al conseguente trasporto di materiali in sospensione che hanno interessato soprattutto i tributari per i quali si sono misurati gli aumenti del carico di fosforo più consistenti (Toce, Tresa, Maggia e Bardello).

Le determinazioni analitiche relative al Marzo 2000, durante il quale la circolazione verticale si è spinta fino a profondità dell'ordine di 100 metri, mostrano una composizione ionica del tutto simile a quelli degli anni precedenti, con valori di contenuto ionico totale e di conducibilità che rientrano nei rispettivi ambiti di variazione misurati nell'ultimo decennio.

Anche i contenuti medi di azoto e fosforo non hanno mostrato differenze significative. Le concentrazioni di nitrati (tra $0,82$ e $0,85 \text{ mg N l}^{-1}$) e azoto totale ($0,88 - 1,03 \text{ mg N l}^{-1}$) sono rimaste praticamente invariate sui valori del 1999 a riconferma della raggiunta stabilità dei contenuti di azoto in lago. Così pure i tenori medi di fosforo reattivo (tra 4 e $8 \mu\text{g P l}^{-1}$) e totale ($10 - 12 \mu\text{g P l}^{-1}$) sono risultati in linea con i valori misurati nell'ultimo triennio senza segnalare tendenze in aumento.

Gli andamenti epilimnetici stagionali di pH, saturazione di ossigeno, nitrati, silice reattiva hanno presentato minimi e massimi che si collocano sui livelli annuali già toccati

dopo il 1993 quando le concentrazioni medie di fosforo in lago avevano raggiunto i valori più bassi riscontrati dopo gli anni '70.

In conclusione, il quadro dell'idrochimica lacustre nel 2000 è risultato tale da confermare che le condizioni trofiche del Maggiore sono ormai quelle di un lago oligotrofo. Tuttavia gli eccezionali eventi di piena intervenuti tra il 29 Settembre e il 3 Ottobre e tra l'11 e il 18 Ottobre hanno probabilmente avuto un forte impatto negativo sulla qualità delle acque lacustri che potrà essere valutato soltanto nel corso del prossimo anno. Infatti al solito carico inquinante si sono aggiunti gli apporti dovuti al drenaggio per allagamento di vaste aree urbane, industriali ed agricole limitrofe alle sponde lacuali e ai tratti terminali del F. Toce e di numerosi altri tributari. Inoltre sarà da definire con studi appropriati la reale portata della contaminazione dovuta al trasporto solido veicolato dalla piena dei tributari, al quale è associata un'enorme quantità di particellato 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. Questa frazione fine, proprio in conseguenza della sua ridottissima sedimentabilità, è forse la più insidiosa tra le possibili fonti di inquinamento, non solo per la persistente torbidità indotta nel lago, ma anche e soprattutto perché su questo materiale trovano facile adsorbimento molti microinquinanti inorganici ed organici, liberati dagli alvei e dai suoli contaminati e messi in circolazione nella massa lacustre.

Per quanto riguarda i popolamenti fitoplanctonici è da segnalare che nel 2000 il numero medio di specie per campione ha mostrato una leggera flessione rispetto al 1999 (32), rimanendo comunque nell'intervallo di variazione osservato nei cinque anni precedenti. Il numero di specie significative risulta il più basso degli ultimi cinque anni sebbene rientri nell'ambito dei valori tipici degli anni '90. La classe con il maggior numero di *taxa* è ancora quella delle cloroficee (22 *taxa*), seguita dalle diatomee (20), quindi dai cianobatteri (15), dalle crisoficee (11), dalle dinoficee e dalle criptoficee (entrambe con 6 unità tassonomiche).

Inoltre, nel rapporto precedente avevamo segnalato come sia il biovolume complessivo del fitoplancton che la concentrazione della clorofilla *a* avessero raggiunto, nel 1999, i valori medi annui più bassi dal 1981, cioè dall'inizio del processo di oligotrofizzazione: nel 2000 la media annua di questi parametri è diminuita ulteriormente, essendo sceso il biovolume a $0,84 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ e la clorofilla a $2,82 \text{ mg m}^{-3}$.

La successione stagionale è, a grandi linee, molto simile a quella del 1999. Ad una fase primaverile, che si protrae fino all'inizio dell'estate, caratterizzata dalla netta dominanza delle diatomee, segue una fase estivo - autunnale durante la quale i cianobatteri sono il gruppo prevalente, sia in termini di densità che di biovolume. Nonostante l'importanza relativa dei cianobatteri, non si sono osservati né episodi di fioritura, né lo sviluppo di specie solitamente associate a situazione di elevata trofia.

Il gruppo più importante in assoluto è rappresentato dalle diatomee (Bacillariophyceae), che dominano, non solo come biomassa ma anche come densità di popolazione, per gran parte dell'anno. In generale, l'evoluzione recente del popolamento a diatomee sembra ben rispecchiare il miglioramento della trofia lacustre, con la tendenza all'aumento di importanza delle diatomee centriche del genere *Cyclotella*, la ricomparsa importante di *T. flocculosa* ed il declino di *A. islandica* e *Diatoma elongatum*.

Bisogna infine ricordare che anche nell'inverno del 2000, come già nell'anno precedente, il Lago Maggiore è andato incontro ad una fase di circolazione completa delle acque: a questo evento è seguito un rifornimento di nutrienti nuovi alle acque superficiali che sembra avere prodotto un aumento immediato della produttività primaria, come

osservato nel 1999, che però non si è tradotto in un incremento di biomassa algale: questo fatto potrebbe spiegarsi con l'accresciuta importanza, durante la fase di oligotrofizzazione, delle specie algali di piccole dimensioni e del *microbial loop*. Una struttura trofica di questo tipo rende più rapidi i tempi di rinnovo della biomassa algale e potrebbe limitare, al tempo stesso, l'accumulo di questa nelle acque superficiali.

In conclusione, anche le osservazioni compiute nell'anno 2000 sostanzialmente confermano l'ulteriore proseguimento dei processi evolutivi a carico delle comunità fitoplanctoniche che hanno accompagnato l'oligotrofizzazione del Lago Maggiore nell'arco dell'ultimo decennio.

Nel 2000 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. Per quanto riguarda gli effetti immediati dell'evento di piena del mese di Ottobre sul carbonio organico e sui popolamenti batterici, queste variabili non sembrano essere state fortemente influenzate dal fenomeno. Al contrario la piena ha influito in modo evidente sulla concentrazione del particolato totale (seston). Risulta infatti chiaro che l'apporto alloctono attribuibile alla piena è stato prevalentemente costituito da materiale inorganico particolato, almeno nell'intervallo dimensionale considerato, che include organismi e particelle con dimensioni microscopiche.

Nel corso del 2000 si è pure iniziata la campagna di campionamenti finalizzata allo studio della distribuzione orizzontale dei parametri inerenti al ciclo del carbonio organico nella zona eufotica del Lago Maggiore. Benché sia opportuno rimandare la valutazione complessiva dei dati ottenuti al completamento del programma biennale di campionamento, si può già da ora anticipare che le variabili considerate (seston, POC, DOC, Clorofilla e microflora batterica totale) hanno nel complesso presentato una variabilità orizzontale cospicua particolarmente nelle stagioni di maggior produzione (primavera ed estate). Bisogna sottolineare il fatto che nel 2000 si è verificato, nel mese di Ottobre, un fenomeno di piena di notevole entità che ha avuto un'influenza non trascurabile sulla distribuzione del materiale particolato e della sostanza organica nel lago.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ambrosetti, W., L. Barbanti, R. de Bernardi, V. Libera & A. Rolla. 1994. La piena del Lago Maggiore nell'autunno 1993. Un evento di portata secolare. *Documenta Ist. Ital. Idrobiol.*, 45: 49pp.
- [2] Ambrosetti, W., L. Barbanti & A. Rolla. 1978. Bilanci, flussi e variazioni pluriennali del contenuto calorico nel Lago Maggiore. *Mem Ist. Ital. Idrobiol.*, 36: 331-382.
- [3] Ambrosetti, W., L. Barbanti & A. Rolla. 1979. Mescolamento parziale o totale nel Lago Maggiore nell'ultimo trentennio. *Mem Ist. Ital. Idrobiol.*, 37: 197-208.
- [4] Reynolds, C.S. 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. *Excellence in Ecology*, 9: 371 pp.
- [5] Manca, M., N. Cavicchioni & G. Morabito. 2000. First observations on the effect of complete overturn of Lake Maggiore on plankton and primary production. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 85: 209-222.
- [6] Dudgale, R.C. & J.J. Goering. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnol. Oceanogr.*, 12: 196-206.
- [7] Ruggiu, D., G. Morabito, P. Panzani & A. Pugnetti. 1998. Trends and relations among basic phytoplankton characteristics in the course of the long-term oligotrophication of Lake Maggiore (Italy). *Hydrobiologia*, 369/370: 243-257.
- [8] Bertoni, R., C. Callieri, G. Morabito, M.L. Pinolini & A. Pugnetti. 1997. Quali-quantitative changes of organic carbon production during the oligotrophication of Lake Maggiore, Italy. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 26: 300-304.
- [9] IST-SUSPI. 2000. *L'alluvione del 12-17 Ottobre 2000 in Ticino*. Ed. Istituto di Scienze della Terra. Cadenazzo, 20 Ottobre 2000: 26 pp.

Elenco degli autori e dei collaboratori

RESPONSABILE DELLA RICERCA

Dr. Riccardo de Bernardi

Direttore

COORDINATORE DELLA RICERCA

Dr. Roberto Bertoni

ELENCO DEGLI AUTORI

Dr. Walter Ambrosetti

Limnologo fisico

Prof. Luigi Barbanti

Limnologo fisico

Dr. Roberto Bertoni

Microbiologo Acquatico

Dr. Alcide Calderoni

Idrochimico

Dr. Cristiana Callieri

Microbiologo Acquatico

Dr. Marzia Ciampittiello

Limnologo fisico

Per. Ind. Mario Contesini

Tecnico in Microbiologia

Dr. Riccardo de Bernardi

Idrobiologo

Sig.re Andrea Ferrari

Tecnico in limnologia fisica

Dr. Marina Manca

Idrobiologo

Dr. Giuseppe Morabito

Idrobiologo

Sig.ra Pierisa Panzani

Tecnico in Idrobiologia

Dr. Roberta Piscia

Microbiologa Acquatico

Per. Ind. Alfredo Pranzo

Tecnico in Idrochimica

Dr. Angelo Rolla

Informatico

Dr. Raffaele Rondo

Idrobiologo

Dr. Delio Ruggiu

Idrobiologo

Per. Chim. Gabriele Tartari

Tecnico in Idrochimica

ELENCO DEI COLLABORATORI

Dr. Gianluigi Giussani

Rag. Stefano Vanetti

APPENDICE

Repertorio bibliografico delle pubblicazioni sul Lago Maggiore (aggiornato a tutto il 2000).

- Ambrosetti, W. & L. Barbanti. 2000. Riscaldamento delle acque profonde nei laghi italiani: un indicatore di cambiamenti climatici: *Acqua e Aria*, 4: 65-72.
- Bertoni, R. 2000. Size distribution of particulate organic carbon in Lago Maggiore. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 27: 586-592.
- Bertoni, R. & S. Martinella. 2000. Attività dei popolamenti batterici eterotrofi nel Lago Maggiore. In: M. Picazzo (Ed.). *Atti dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia*, 13 (2): 113-122.
- Callieri, C. & J. Stockner. 2000. Picocyanobacteria success in oligotrophic lakes: fact or fiction? *J. Limnol.*, 59(1): 72-76.
- Garibaldi, L., F. Buzzi, G. Morabito, N. Salmaso & M. Simona. 2000. I cianobatteri fitoplanctonici dei laghi profondi dell'Italia Settentrionale. *Rapporti Istituto Superiore Sanità*, 00/30: 586-592.
- Hamza, W., & D. Ruggiu. 2000. Swimming Behaviour of *Daphnia galeata x hyalina* as a Response to Algal Substances and to Opaque Colours. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 85: 157-166.
- Manca, M. & P. Comoli. 2000. Biomass estimates of freshwater zooplankton from length-carbon regression equations. *J. Limnol.*, 59(1): 15-18.
- Manca, M., C. Ramoni & P. Comoli. 2000. The decline of *Daphnia hyalina galeata* in Lago Maggiore: a comparison of the population dynamics before and after oligotrophication. *Aquatic Science*, 62: 142-153.
- Marchetto, A., A. Lami, S. Musazzi., R. Bettinetti, J. Masafferro, L. Langone & P. Guilizzoni. 2000. The reconstruction of the eutrophication and oligotrophication history of a large sub-alpine lake (Lake Maggiore, N. Italy). *Terra Nostra*, 7: 64-69.
- Morabito, G., R. Mosello & R. de Bernardi. 2000. Evoluzione trofica e qualità delle acque dei laghi profondi subalpini italiani. *Bollettino dei Chimici Igienisti*, 51: 233-240.
- Mosello, R. & N. Salmaso. 2000. Cooperazione per lo studio della qualità delle acque dei laghi profondi subalpini (QuALPS): obiettivi e primi risultati. In: *Atti della Giornata di Studio "I laghi come risorsa per lo sviluppo"* Milano.
- Stockner, J., C. Callieri & G. Gronberg. 2000. Picoplankton and other non-bloom forming. In: *Ecology of Cyanobacteria: their diversity in time and space cyanobacteria in lakes*. Whitton, B., Potts M. (Eds), Kluwer Acad. Publ.