ISSN: 1013-8099

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003 – 2007
Campagna 2006

a cura di Roberto Bertoni

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi
Sede di

Verbania Pallanza

ISSN: 1013-8099

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore
Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003 - 2007
Campagna 2006

a cura di Roberto Bertoni

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi
Sede di
Verbania Pallanza

I dati riportati nel presente volume possono essere utilizzati purché se ne citi la fonte come segue:
C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbania. 2007. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2006*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 84 pp.

RIASSUNTO

Questo rapporto illustra i risultati ottenuti dalle ricerche sul Lago Maggiore realizzate dal CNR-ISE, Sede di Verbania, per conto della Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS) nel corso del 2006 nell'ambito del sesto ciclo quinquennale di ricerche limnologiche su questo ambiente, risorsa importante per entrambi i Paesi. La ricerca, che grazie alla CIPAIS si è protratta per oltre un quarto di secolo, ha permesso di acquisire una lunga serie storica di dati dalla quale emergono l'evoluzione positiva di questo lago e, insieme, le situazioni di criticità delle biocenosi che esso ospita e del bacino imbrifero nel quale è collocato. Da tale serie storica emerge che i mutamenti climatici in atto, quali che ne siano le cause, stanno influenzando il Lago Maggiore anche se non sempre i nessi causali sono individuabili facilmente.

I risultati ottenuti nel 2006, anno caratterizzato, come il precedente, da precipitazioni assai ridotte rispetto al periodo di riferimento, hanno confermato la collocazione del Verbano in una condizione di sostanziale oligotrofia e, allo stesso tempo, hanno messo in luce con evidenza come questa condizione non sia sufficiente a impedire il deterioramento delle sue acque. Nell'estate si è infatti sviluppata, per il secondo anno consecutivo, una ingente fioritura di cianobatteri che ha pregiudicato l'uso ricreativo ed alimentare delle acque lacustri. Questo fatto impone di continuare ed intensificare la ricerca sul lago e sui suoi organismi, anche alla luce dell'evoluzione climatica in atto, per coglierne tempestivamente i segni di alterazione e per individuare le cause di sviluppo massivo di specie che possono influenzare negativamente la qualità delle acque.

SUMMARY

This volume reports the results obtained from the research carried out on Lago Maggiore by the CNR-ISE (Institute of Ecosystem Study), Verbania, on behalf of the Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere during the year 2006. The results obtained show that the oligotrophic status appears to be a stable feature for the lake. Nevertheless, this condition is not enough to guarantee a high quality of lake waters, as demonstrated by the cyanobacteria bloom which appeared for the second time in summer 2006. This underlines the importance of going on with the research on this environment, investigating the possible causes of such "oligotrophic blooms" taking into account also the effects of the global climatic change, evaluated in the frame of long time series. Gathering updated information is essential to perceive precociously the worsening of the ecological conditions of the lake and to assure its best possible management.

INDICE

1. INTRODUZIONE. 1
(R. Bertoni)

1.1. Prefazione..... 1
1.2. Inquadramento geografico. 2
1.3. Modalità di campionamento e metodi di analisi. 3
1.4. Unità di misura 4

2. INDAGINI SUL BACINO IMBRIFERO..... 5

2.1. Caratteristiche idrologiche. 5
(M. Ciampittiello e A. Rolla)
2.1.1. Pluviometria del bacino imbrifero..... 5
2.1.2. Deflussi 9

2.2. Meteorologia dell'areale lacustre 13
(V. Ambrosetti, L. Barbanti, E.A. Carrara, A. Ferrari e A. Rolla)
2.2.1. Radiazione solare 13
2.2.2. Temperatura atmosferica..... 14
2.2.3. Evaporazione..... 15
2.2.4. Intensità e direzione del vento..... 16

2.3. Apporti chimici dai tributari. 19
2.3.1. Caratteristiche chimiche e chimico fisiche..... 19
(A. Calderoni, M. Rogora, A. Pranzo e G. Tartari)
2.3.2. Carichi chimici 26
(A. Calderoni, M. Rogora, A. Pranzo e G. Tartari)
2.3.3. Carbonio Organico Totale (TOC) 35
(R. Bertoni, C. Callieri e M. Contesini)

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO 37

3.1. Limnologia fisica 37
(V. Ambrosetti, L. Barbanti, E.A. Carrara e A. Rolla)
3.1.1. Livello del lago 37
3.1.2. Trasparenza delle acque lacustri 39
3.1.3. Temperatura delle acque lacustri..... 39
3.1.3.1. Acque superficiali..... 39
3.1.3.2. Acque profonde 40
3.1.4. Ossigenazione delle acque profonde 41
3.1.5. Bilancio termico..... 42
3.1.6. Profondità di mescolamento..... 44

3.2. Chimica lacustre..... 46
(A. Calderoni, M. Rogora, A. Pranzo e G. Tartari)
3.2.1. Chimismo di base..... 46
3.2.2. Composti dell'azoto 50
3.2.3. Composti del fosforo..... 52
3.2.4. Ossigeno disciolto 53
3.2.5. Silicati reattivi 54

3.3. Popolamenti planctonici..... 56
3.3.1. Indagini sul fitoplancton 56
(G. Morabito, P. Panzani e A. Oggioni)
3.3.1.1. Struttura dei popolamenti 56
3.3.1.2. Variazioni della biomassa..... 58
3.3.2. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico 63
(M. Manca, A. Visconti e R. de Bernardi)

3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi.....68
(R. Bertoni, C. Callieri, E. Caravati, M. Contesini, G. Corno e D. Manca)

4. CONCLUSIONI 75
(R. Bertoni)

BIBLIOGRAFIA.....81

ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI.....83

APPENDICE.....84

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

Il cambiamento climatico globale ha, come è lecito attendersi, effetti anche sulla ristretta porzione di globo terrestre costituita dal Verbano e dal suo bacino imbrifero. Si tratta di effetti che, fortunatamente, non sono sempre catastrofici e, quindi, immediatamente e facilmente percepibili. Al contrario, molte variabili ambientali subiscono modificazioni nel tempo relativamente modeste. La loro percezione è quindi possibile solamente attraverso misure con stumenti e metodi complessi. Inoltre il loro trend evolutivo, che spesso è mascherato dalla variabilità stagionale, per essere identificato richiede l'esame di una serie di dati sufficientemente estesa nel tempo da consentire di separare la variabilità dovuta alle vicende climatiche stagionali da quella dovuta ad una modificazione che si protrae nel tempo per diversi anni. I lettori troveranno in questo rapporto la valutazione oggettiva dei parametri meteoclimatici e limnologici del 2006 ed il confronto con la situazione pregressa nel corso di un periodo di riferimento opportunamente scelto.

In estrema sintesi, lo stato del Lago Maggiore che emerge da questo quadro è quello di un ecosistema sostanzialmente in buone condizioni ma in una posizione di equilibrio precario, alterabile con facilità da condizioni climatiche sfavorevoli, come illustrato in dettaglio in questo rapporto.

C'è stato un evento nel 2006 che è un indicatore significativo di tale precarietà: si è infatti ripetuto il fenomeno della fioritura di cianobatteri che aveva interessato il Lago Maggiore già nel 2005. Non si può però far altro che segnalare l'occorrenza di questo evento e ricordarne la potenziale pericolosità perché non sono disponibili i finanziamenti che sarebbero necessari per studiare le condizioni ecologiche che determinano la fioritura nonché la sua tossicità.

Il ripetersi della fioritura nel Lago Maggiore nel corso del 2006 ci induce a sottolineare l'urgenza di affrontare lo studio dei cianobatteri e delle possibili cause del loro successo anche in un ecosistema oligotrofo quale è il Verbano. Infatti il rilevante valore alimentare e ricreativo delle acque di questo lago potrebbe essere gravemente pregiudicato dalle fioriture cianobatteriche. Per questo è importante compiere ogni sforzo per colmare le nostre carenze conoscitive perchè è soltanto dalla conoscenza che può scaturire la perizia gestionale necessaria ad assicurare l'uso efficiente della risorsa lago.

1.2. Inquadramento geografico

SUDDIVISIONI AMMINISTRATIVE DEL BACINO IMBRIFERO

Province (I): Novara e V.C.O. (Piemonte); Varese e Como (Lombardia)
Cantoni (CH): Grigioni, Ticino e Vallese

COORDINATE GEOGRAFICHE DEL CENTRO DEL LAGO

Latitudine: 45° 57' N
Longitudine: 3° 47' W (da Monte Mario)

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DELLA CONCA LACUSTRE

Quota media del lago	194 m s.l.m.	Prof. criptodepres.	176 m
Lunghezza del thalweg	66 km	Volume	37,502 km^3
Larghezza massima	10 km	Profondità media	176,5 m
Area [(1)]	212,5 km^2	Sviluppo del volume	1,44
Larghezza media	3,9 km	Perimetro	170 km
Profondità massima	370 m	Indice di sinuosità	3,07

Tempo teorico di rinnovo delle acque: circa 4 anni

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO IMBRIFERO

Altitudine massima	4.633 m s.l.m.	Larg. media (dal lago)	37,6 km
Altitudine media	1.270 m s.l.m.	Indice di compattezza	1,58
Area (lago incluso)[(2)]	6.599 km^2	Rapporto fra aree del bacino imbrifero e del lago	31,1

[(1)] 169,9 km^2 in territorio italiano e 42,6 km^2 in territorio svizzero.
[(2)] 3.229,5 km^2 in territorio italiano e 3.369,5 km^2 in territorio svizzero.

1.3. Modalità di campionamento e metodi di analisi

Nel corso della campagna di indagini limnologiche condotta nel 2006 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.

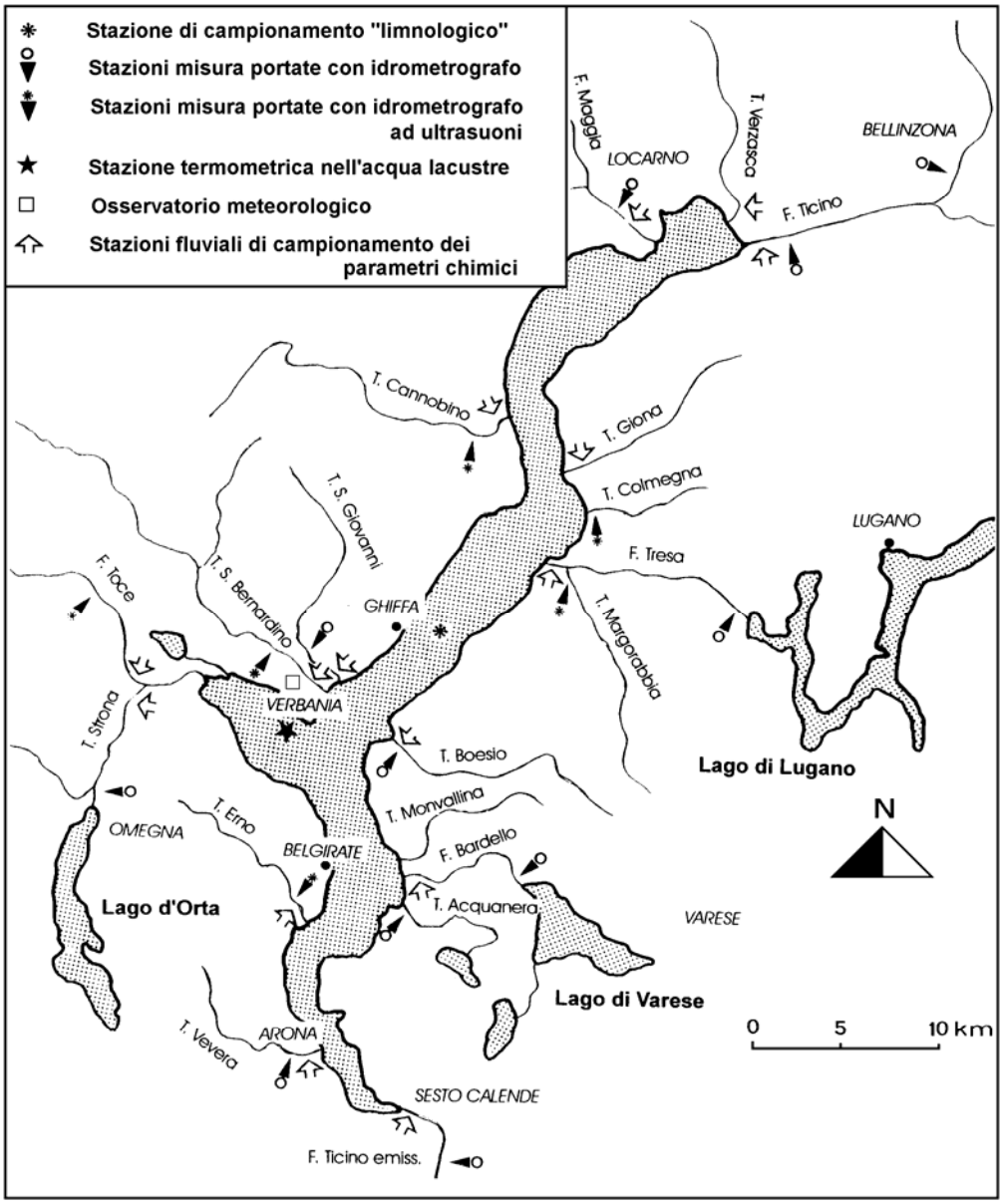


Fig. 1.3. Lago Maggiore, 2006. Ubicazione delle stazioni di campionamento.

1.4. Unità di misura

PARAMETRI FISICI	SIMBOLO	UNITÀ 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	Tw	[°C]
Radiazione solare globale	Qs	[cal cm^{-2}]
Radiazione solare riflessa	Qr	[cal $cm^{-2]}$
Radiazione ad onda lunga	Qb	[cal cm^{-2}]
Calore di evaporazione	Qe	[cal $cm^{-2]}$
Calore di conduzione	Qh	[cal cm^{-2}]
Calore accumulato dal lago	Qt	[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	$N\text{-}NH_4$	[µg N l^{-1}]
Azoto nitrico	$N\text{-}NO_3$	[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-*a*	[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 2006, sono stati raccolti, come di consueto, nelle stazioni pluviometriche dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (CNR-ISE), del Servizio Meteorologico Svizzero, dell'Ufficio dei Corsi d'Acqua, Dipartimento del Territorio del Canton Ticino, della Società Blennio e Maggia (Ofima), dell'ENEL, del Servizio Meteorologico dell'Arpa Piemonte e del Consorzio del Ticino.

I totali mensili ed annui delle precipitazioni sono riportati in tabella 2.1.1a insieme alle medie dell'anno in studio e ai periodi 1978-05 e 1921-77.

Gli andamenti mensili delle precipitazioni del 2006 e quelli dei periodi di riferimento, sono rappresentati in figura 2.1.1a.

Tab. 2.1.1a. Lago Maggiore 2006. 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	55	79	112	71	152	67	44	177	105	116	96	147	1221
PIOTTA	Ticino immissario	1007	39	97	94	64	148	49	48	210	114	94	55	165	1177
FAIDO	Ticino immissario	760	58	80	70	60	102	39	91	196	113	125	79	164	1177
COMPROVASCO	Ticino imm.-Brenno	575	37	75	36	66	88	31	104	186	123	103	37	133	1019
BIASCA	Ticino immissario	291	34	93	42	74	103	41	134	248	142	219	55	171	1356
S. BERNARDINO (Tunnel)	Ticino imm.-Moesa	1639	49	91	82	88	125	64	170	207	129	254	70	168	1497
MESOCCO	Ticino imm.-Moesa	815	59	83	61	75	88	56	190	139	128	133	56	169	1237
BRAGGIO	Ticino imm.-Moesa	1320	63	69	51	65	85	81	227	150	141	97	52	152	1233
GRONO	Ticino imm.-Moesa	350	56	72	31	61	88	71	237	112	141	62	36	154	1121
BELLINZONA	Ticino immissario	225	52	85	39	87	70	113	145	143	137	76	57	175	1179
MAGADINO (Aeroporto)	Lago Maggiore	197	56	99	43	97	80	150	153	199	140	159	67	196	1439
VIRA GAMBAROGNO	Lago Maggiore	210	51	109	41	91	85	73	109	168	235	140	57	199	1358
CIMETTA	Lago Maggiore	1672	31	54	46	79	83	40	140	290	170	209	77	121	1340
LOCARNO MONTI	Lago Maggiore	366	50	104	47	115	89	33	138	307	221	222	85	220	1631
BRISSAGO	Lago Maggiore	280	39	110	55	122	78	13	74	377	233	271	85	56	1513
MALVAGLIA	Ticino imm.-Brenno	923	12	66	43	67	106	62	135	169	109	158	33	134	1090
LODRINO	Ticino immissario	275	37	70	36	61	75	31	142	194	149	217	55	145	1212
GNOSCA	Ticino immissario	247	29	76	35	57	82	78	153	167	128	112	50	135	1102
GIUBIASCO	Ticino immissario	215	21	67	32	69	65	119	133	139	134	77	48	131	1035
ALPE PREDASCA	Ticino imm.-Brenno	1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LUZZONE DIGA	Ticino imm.-Brenno	1617	56	104	134	115	182	57	116	289	146	200	86	186	1668
ACQUACALDA	Ticino imm.-Brenno	1775	63	70	77	65	144	49	102	202	116	84	52	116	1141
PASSO MUAZ	Ticino imm.-Brenno	1698	58	92	99	106	154	50	120	239	136	175	65	139	1432
OLIVONE	Ticino imm.-Brenno	905	45	87	55	84	107	59	95	184	119	100	38	124	1097
COPERA	Lago Maggiore	665	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VERBANO CENTRALE	Lago Maggiore	202	45	114	57	135	89	20	110	451	251	314	101	243	1929
LAGO DELIO	Lago Maggiore	835	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIANO DEI CAMOSCI	Toce	2450	14	25	66	54	168	107	122	151	188	114	34	27	1071
L. TOGGIA	Toce	2170	18	55	79	48	91	59	60	156	115	70	20	75	846
L. SABBIONE	Toce	2462	10	57	58	49	119	100	83	137	152	63	19	93	940
L. MORASCO	Toce	1820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L. VANNINO	Toce	2175	48	90	92	62	148	104	67	132	173	116	36	106	1174
PONTE FORMAZZA	Toce	1300	61	86	67	44	94	57	50	101	127	57	16	88	848
CRODO (Ist. Agrario)	Toce	560	56	81	32	66	104	112	120	119	169	101	35	151	1147
CREVOLADOSSOLA	Toce	303	101	77	24	83	104	41	57	172	227	109	42	185	1222
DOMODOSSOLA (Nosere)	Toce	252	80	89	21	80	86	33	81	150	274	83	31	168	1176
DOMODOSSOLA	Toce	240	55	93	30	84	88	45	80	163	267	93	34	165	1197
PALLANZENO	Toce	240	87	94	23	85	95	31	66	201	319	85	13	182	1281
CODELAGO	Toce-Devero	1885	70	96	106	72	118	131	124	160	171	113	44	103	1308
DEVERO (Reg. Piem.)	Toce-Devero	1640	46	97	93	60	177	120	84	146	185	99	62	132	1302

Tab. 2.1.1a. Continuazione.

Stazione	Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
L. D'AGARO	Toce-Devero	1600	62	83	85	68	123	60	130	134	167	119	66	102	1199
SIMPLON DORF	Toce-Diveria	1495	47	103	103	38	95	59	45	71	195	60	58	94	968
LAGO D'AVINO	Toce-Diveria	2240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S. DOMENICO	Toce-Diveria	1300	34	34	62	53	172	94	90	127	213	73	71	111	1134
AGRASINA	Toce-Isorno	1370	75	110	37	82	95	55	88	152	237	85	33	146	1195
L. LARECCHIO	Toce-Isorno	1840	79	80	38	80	106	42	94	201	236	111	55	132	1254
CIPATA	Toce-Isorno	937	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PONTETTO	Toce-Isorno	348	72	65	18	65	81	22	76	154	189	90	26	159	1014
DRUOGNO	Toce-Melezzo occ.	831	56	86	20	80	100	28	98	259	257	87	42	160	1273
MAGLIETTO	Toce-Melezzo occ.	657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lago PAIONE Superiore	Toce-Bogna	2269	26	28	54	59	154	95	101	156	289	169	80	21	1232
PIZZANCO	Toce-Bogna	1142	55	75	35	75	142	122	87	122	264	140	71	*152*	1341
L. ALPE CAVALLI	Toce-Ovesca	1510	63	67	42	99	172	123	77	18	236	116	45	117	1175
ALPE CHEGGIO	Toce-Ovesca	1460	35	50	43	78	161	122	82	114	260	530	50	101	1627
L. CAMPOSECCO	Toce-Ovesca	2281	11	56	18	30	105	76	159	105	206	81	33	128	1008
L. CINGINO	Toce-Ovesca	2281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L. CAMPLICCIOLI	Toce-Ovesca	1320	54	84	38	75	150	126	119	117	265	116	55	164	1363
ROVESCA	Toce-Ovesca	760	51	4	32	41	17	0	13	119	224	106	53	146	806
MACUGNAGA (P.sso Moro)	Toce-Anza	2820	11	33	52	29	98	12	118	98	181	56	8	34	729
MACUGNAGA (Fornarelli)	Toce-Anza	1185	28	42	40	82	108	83	66	104	246	95	30	65	989
CEPPO MORELLI (Battigio)	Toce-Anza	540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BANNIO ANZINO	Toce-Anza	687	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FORNO PREIA	Toce-Strona	880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SAMBUGHETTO	Toce-Strona	800	68	102	69	107	146	39	121	336	474	162	51	185	1859
OMEGNA	Toce-Strona	298	59	111	49	103	115	24	72	242	337	136	43	192	1483
BOLETO	Toce-L. d'Orta	695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ORTA - Sacro Monte	Toce-L. d'Orta	380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONTE MESMA	Toce-L. d'Orta	575	47	93	36	81	87	14	69	117	286	79	49	179	1137
MOTTARONE (Baita CAI)	Toce-L. d'Orta	1302	41	36	59	121	126	19	108	241	432	146	51	199	1580
ROBIEI	Maggia	1898	115	167	179	123	201	71	116	254	215	194	209	286	2131
CEVIO	Maggia	418	68	93	40	80	98	40	70	263	173	110	66	187	1288
BOSCO GURIN	Maggia	1505	54	109	81	84	106	44	107	183	222	118	77	155	1340
MOSOGNO	Maggia	760	49	119	37	88	122	42	147	479	251	125	66	206	1731
CORTINO CAVAGNOLI	Maggia	2226	73	110	129	146	216	54	121	272	208	229	222	180	1961
CAVERGNO CENTRALE	Maggia	540	46	91	73	90	122	39	107	285	183	105	64	222	1427
PIANO DI PECCIA	Maggia	1020	58	105	66	63	132	30	114	180	113	117	57	127	1159
SAMBUCO DIGA	Maggia	1471	86	116	111	86	143	30	89	157	128	114	79	162	1301
FUSIO	Maggia	1300	46	69	108	79	127	51	96	203	136	102	69	149	1235
MAGGIA	Maggia	327	65	95	64	50	141	58	99	420	199	189	92	201	1673
PALAGNEDRA	Maggia	498	76	132	38	100	130	28	102	352	296	166	72	214	1706
CAMEDO	Maggia	550	61	141	38	103	126	39	132	444	295	161	77	208	1825
SONOGNO	Verzasca	925	51	105	80	104	122	45	133	512	192	197	97	221	1859
FRASCO	Verzasca	890	71	98	68	96	116	64	87	359	151	181	73	166	1530
AROSIO	Tresa	860	31	112	58	140	103	155	141	202	56	95	61	187	1341
ISONE	Tresa	810	62	78	46	96	107	196	164	223	178	54	70	199	1473
LUGANO	Tresa	273	60	92	40	99	91	93	105	275	169	68	47	159	1298
CRANA TORRICELLA	Tresa	1002	58	99	80	138	96	222	154	369	115	178	81	210	1800
PONTE TRESA	Tresa	274	60	105	12	105	107	126	157	219	57	139	126	169	1382
STABIO	Tresa	353	71	95	44	128	51	19	126	186	189	67	57	169	1202
SOMAZZO	Tresa	580	73	106	38	104	65	17	123	156	180	73	57	154	1146
MENDRISIO	Tresa	290	38	114	56	95	71	16	121	176	175	69	61	170	1162
CREVA	Tresa	233	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GERMIGNAGA	Tresa	203	43	115	33	97	94	39	136	196	216	90	66	154	1279
CADERO VEDDASCA	Giona	570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FALMENTA	Cannobino	662	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CURSOLO O. (M.te Pratini)	Cannobino	940	60	112	45	114	125	37	98	520	308	210	83	217	1929
LUNECCO	Cannobino	415	56	119	50	106	114	24	*146*	429	279	234	79	229	1865
CANNOBIO	Cannobino	220	49	101	48	113	103	33	153	319	233	187	73	185	1599
MOTTAC	S. Bernardino	1695	33	43	54	79	141	33	92	368	338	141	66	110	1498
IN LA PIANA	S. Bernardino	960	49	74	63	124	135	35	112	449	359	170	73	209	1853
CICOGNA	S. Bernardino	770	74	119	68	122	146	35	121	562	363	233	65	219	2127
MIAZZINA	S. Bernardino	721	3	4	10	25	89	33	85	269	220	155	34	167	1095
UNCHIO	S. Bernardino	283	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIANCAVALLO	S. Giovanni	1240	43	42	73	139	125	35	140	282	296	177	80	174	1606
MERGOZZO	L. di Mergozzo	195	93	118	46	106	128	44	106	*319*	*161*	171	43	240	*1575*
CANDOGLIA	Toce	201	66	102	48	75	95	45	139	342	299	171	37	162	1580
PIAN DI SOLE	Lago Maggiore	920	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PALLANZA	Lago Maggiore	211	59	117	40	121	117	29	164	226	313	116	68	226	1595
CAMPO DEI FIORI	Bardello	1226	52	94	52	113	69	6	75	137	201	70	59	98	1025

Tab. 2.1.1a. Continuazione.

Stazione	Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
S. MARIA DEL MONTE	Bardello	881	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GAVIRATE	Bardello	284	48	92	38	130	58	12	71	82	206	70	47	146	1001
VARESE (Ist. Geofisico)	Bardello	410	60	104	51	149	59	12	104	105	237	77	62	178	1196
AZZATE	Bardello	320	42	86	41	112	55	9	44	91	186	51	44	137	900
SOMERARO	Lago Maggiore	470	66	115	47	125	120	17	117	54	353	121	62	220	1417
ISPRA	Lago Maggiore	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOTTARONE VETTA	Erno	1491	41	36	59	121	126	19	108	241	432	146	51	199	1225
ARONA	Vevera	334	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MIORINA	Ticino emissario	195	2	48	39	109	45	9	43	116	248	60	48	180	947
	2006		52	86	57	87	111	58	109	219	208	133	62	159	1342
	1978-05		74	60	99	174	208	159	134	154	186	206	135	73	1668
	1921 - 1977		63	75	103	163	199	168	142	172	180	183	178	83	1709

- dato mancante dato ricostruito *dato parziale*

Il totale annuo di pioggia è di 1342 mm, circa per il 30% inferiore al totale annuo medio pluriennale. Le stazioni dove si sono registrate le maggiori precipitazioni sono Robiei (2130 mm), Cicogna (2127 mm) e Cursolo (1929 mm). In queste stazioni la quantità di pioggia misurata è molto prossima a quella media pluriennale che le caratterizza; si discosta, rispettivamente per il 20%, 8% e 10%.

Le stazioni con minori precipitazioni sono state Macugnaga P.sso Moro (729 mm) e Rovesca (806 mm). Mentre la stazione di Macugnaga P.sso Moro è caratterizzata da bassa piovosità (755 mm nel periodo 1995-2005), la stazione di Rovesca ha visto diminuita del 45% la pioggia caduta nel 2006, rispetto a quella media pluriennale (1448 mm nel periodo 1971-2005).

L'andamento mensile delle precipitazioni è riportato in figura 2.1.1a, e si nota come queste siano rimaste al di sotto delle medie pluriennali per la maggior parte dell'anno in studio, facendo eccezione per i mesi di Febbraio, Agosto, particolarmente piovoso con 219 mm contro i 154 mm del periodo 1978-2005 e i 172 mm del periodo 1921-1977, Settembre e Dicembre, anche quest'ultimo particolarmente piovoso con 159 mm, contro gli 80 mm medi pluriennali. Le stazioni più piovose di Febbraio sono state Robiei (167 mm), Camedo (141 mm) e Palagnedra (132 mm); le più piovose di Agosto Cicogna (562 mm), Cursolo (520 mm), Sonogno (512 mm), Camedo (444 mm), Mottarone Baita CAI (432 mm) e Lunecco (429 mm); quelle di Settembre Alpe Cheggio (530 mm), Verbano Centrale (251 mm), Lunecco (234 mm) e Cicogna (23 mm). A Dicembre Robiei (286 mm), Verbano Centrale (243 mm), Lunecco (229 mm) e Pallanza (226 mm).

I mesi meno piovosi sono stati Gennaio, Marzo, Giugno e Novembre con rispettivamente il 30%, 45%, 65% e 60% in meno di pioggia registrata, rispetto ai periodi di riferimento (1978-2005 e 1921-1977). Le stazioni con minori precipitazioni a Gennaio sono state Miorina (2 mm), Miazzina (3 mm) ed il Lago Sabbione (10 mm), a Marzo Miazzina (10 mm) e Ponte Tresa (12 mm), a Giugno Rovesca dove non ci sono state precipitazioni, Campo dei Fiori (6 mm), Azzate e Miorina (9 mm), a Novembre Macugnaga P.sso Moro (8 mm), Pallanzeno (13 mm) ed il Lago Sabbione (19 mm).

Per capire ed identificare meglio le zone del bacino caratterizzate da maggiore e/o minore piovosità, è necessario procedere con una rappresentazione spaziale dei valori di pioggia misurati. Nella figura 2.1.1b è riportata la carta delle isoiete annue per l'intero bacino imbrifero del Lago Maggiore.

Dall'analisi delle isoiete si notano due nuclei caratterizzati da precipitazioni più

elevate, nell'alta valle Maggia uno, e in Valgrande e Valle Cannobina l'altro. Le precipitazioni meno elevate si trovano ad ovest, nell'alta e bassa valle del Toce, in particolare in Valle Anzasca.

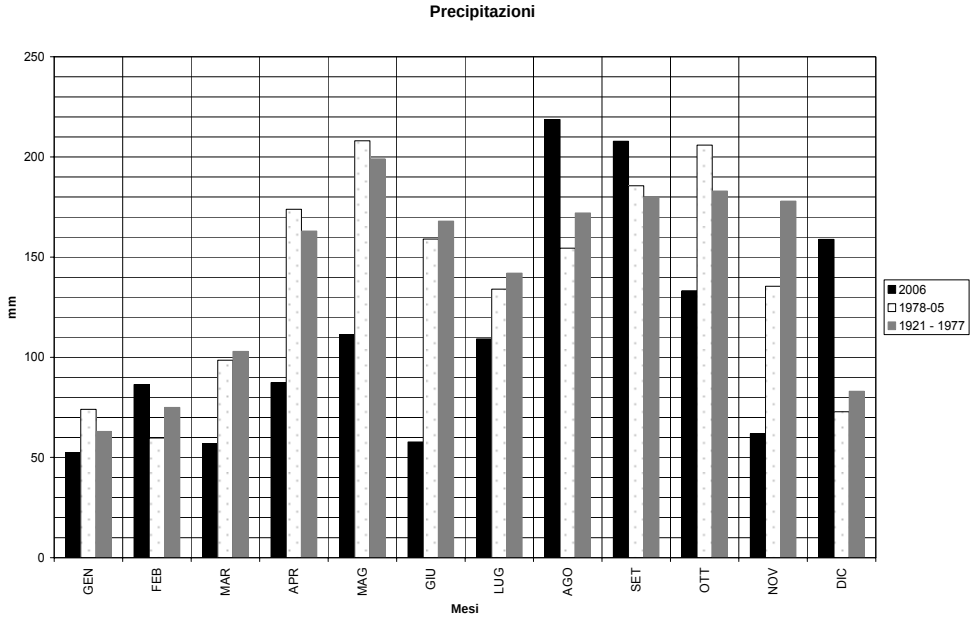


Fig. 2.1.1a. Lago Maggiore 2006. Regime delle precipitazioni dell'intero bacino.

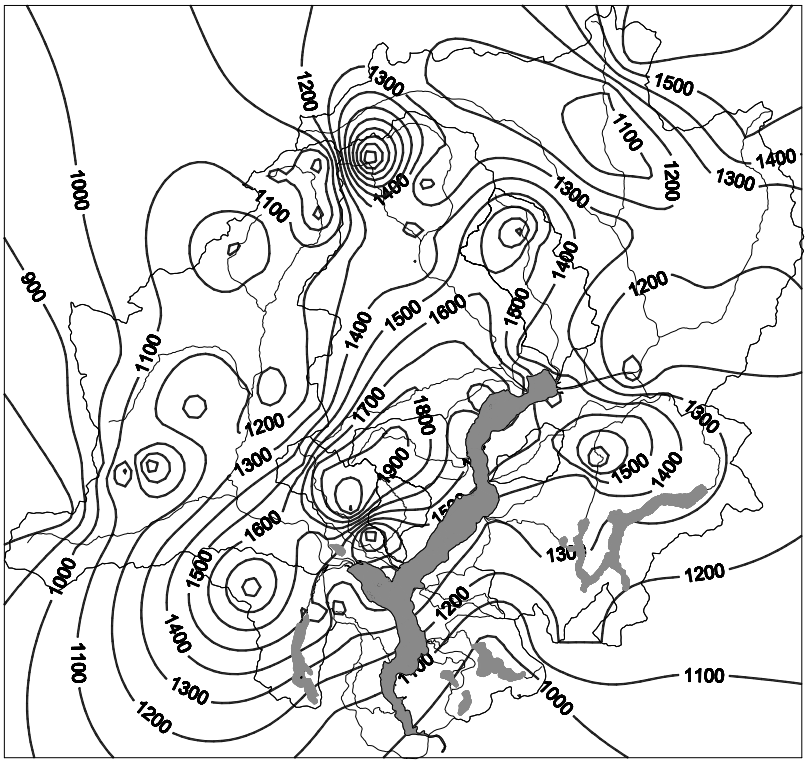


Fig. 2.1.1b. Lago Maggiore 2006. Carta delle isoiete annue (mm).

È possibile identificare altri tre nuclei di precipitazione di media entità, in Valle Strona, in Val Verzasca e nella valle Dumentina.

Per quanto riguarda l'andamento stagionale delle piogge, nella tabella 2.1.1b, si riassumono i valori ottenuti. In particolare si nota che, a parte l'inverno, dove si sono registrate precipitazioni di poco al di sotto della media, in tutte le altre si sono avuti valori molto al di sotto della media pluriennale, soprattutto in primavera con 255 mm registrati, contro i 473 mm medi pluriennali.

Tab. 2.1.1b. Piogge stagionali del 2006 e per i periodi di riferimento.

Periodo	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
2006	189	255	386	403
1978-05	208	481	448	527
1921-77	221	465	482	541

2.1.2. Deflussi

Nella tabella 2.1.2a, unitamente alle regioni amministrative di appartenenza, sono riportate 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.

I dati riguardanti i deflussi dei principali immissari e dell'emissario del Lago Maggiore, misurati nel 2006, attraverso le reti di rilevamento dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, dell'Ufficio Federale delle Acque e della Geologia di Berna e dei Consorzi del Bardello e del Ticino, sono riportati in tabella 2.1.2b.

Per la maggior parte dell'anno e per quasi tutti i corsi d'acqua le portate registrate nel 2006 sono state molto al di sotto della media pluriennale; fa eccezione il Cannobino che, a causa delle forti precipitazioni cadute all'interno del suo bacino, negli ultimi 5 mesi dell'anno, ha visto permanere il proprio livello su valori superiori alle medie pluriennali da Agosto a Dicembre.

Tab. 2.1.2a. Lago Maggiore 2006. Bacini idrografici dei principali immissari e dell'immissario: regioni di appartenenza, aree (km^2) 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

Tab. 2.1.2b. Portate medie mensili e annue del 2006 e dei periodi pluriennali di confronto.

Corso d'acqua	Periodo		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
	2006	*	33,37	31,74	36,99	53,69	110,80	121,08	35,73	65,16	70,40	82,12	60,08	36,77	39,21
TICINO IMM.	1978-05		33,31	31,60	36,75	53,12	109,05	118,70	93,39	63,93	68,94	79,99	58,76	36,16	65,51
	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	2006	*	***1,66***	2,65	3,84	6,31	4,47	1,39	1,27	8,94	11,48	20,98	15,14	21,42	8,34
	1978-05		2,40	2,36	4,25	8,14	9,27	6,50	4,48	3,53	6,37	8,56	5,61	2,95	5,38
S. GIOVANNI	2006	*	0,36	0,45	0,54	1,29	0,72	0,35	0,54	***0,44***	-	-	-	-	***0,59***
	1978-05		1,20	1,00	1,79	3,55	3,86	2,85	1,97	1,23	2,78	4,02	2,86	1,31	2,37
	2006	*	0,33	1,22	3,02	7,11	5,06	0,63	0,57	10,54	10,53	6,91	1,44	5,59	4,43
S. BERNARDINO	1978-05		2.19	2.17	4.98	11.85	15.24	8.29	4.90	3.65	9.22	12.47	7.15	2.97	7.08
	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
	2006	*	15,20	16,10	18,30	31,30	50,20	35,20	35,50	40,90	78,50	43,90	26,40	33,90	35,60
TOCE	1978-05		27,89	27,21	35,40	61,28	114,52	115,68	85,06	62,46	69,03	88,62	61,24	34,01	65,28
	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
	2006	*	–	–	–	***1,82***	2,10	1,37	1,07	1,16	2,42	3,23	1,57	2,47	***1,91***
NIGUGLIA	1979-03		2,83	2,25	3,19	5,96	8,11	6,74	3,95	2,59	3,62	8,14	5,95	3,81	4,67
	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	2006	*	0,25	0,49	0,59	0,88	0,79	0,26	0,20	0,29	0,77	0,76	0,50	1,05	0,57
	1978-05		0,70	0,58	0,94	1,46	1,54	1,08	0,67	0,52	0,87	1,59	1,03	0,66	0,97
VEVERA	2006	*	0,02	0,12	0,10	0,23	0,22	0,10	0,05	0,03	0,23	0,06	0,08	0,60	0,15
	1978-05		0,60	0,50	0,60	0,81	0,94	0,72	0,42	0,31	0,41	0,93	0,68	0,50	0,62
	2006	*	2,28	0,33	1,58	0,49	0,52	0,43	0,33	0,15	0,34	0,41	0,40	0,65	0,40
BARDELLO	1978-05		2,70	2,53	2,91	3,29	4,33	3,95	2,68	1,39	2,35	3,16	2,98	2,50	2,91
	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	2006	*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	***0,22***	***0,22***
	1978-04		1,49	1,13	1,62	2,44	2,81	2,09	1,41	0,88	1,43	2,49	2,06	1,30	1,77
MARGORABBIA	2006	*	0,34	1,63	1,84	1,84	1,01	0,49	0,34	0,25	0,54	1,01	1,18	2,40	1,23
	1978-05		2,63	2,30	3,45	4,74	5,51	4,16	2,33	1,57	2,54	5,54	4,64	2,40	3,51
	2006	*	13,58	10,99	16,46	27,86	37,21	31,32	20,26	14,28	20,27	30,40	24,37	14,74	14,39
TRESA	1978-05		14,42	11,69	17,40	30,25	39,86	33,52	21,77	15,32	21,78	32,28	25,80	15,60	23,33
	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
	2006	*	52,40	53,80	67,70	197,10	228,10	204,80	135,50	160,30	263,60	262,10	133,90	250,90	168,10
TICINO EMISS.	1978-05		151,69	145,78	184,59	293,52	463,16	430,08	344,36	252,44	263,79	406,60	254,78	174,24	282,22
	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 in attesa di validazione ***Dati parziali*** – Dati mancanti

Anche il Ticino Immissario e il San Bernardino hanno fatto registrare elevati valori di portata da Agosto a Dicembre, ma non così elevati come quelli del Cannobino, infatti la loro media annuale è risultata comunque al di sotto di quella pluriennale. Il Toce ha

raggiunto il valore massimo di portata a Settembre, mentre l'Erno, la Margorabbia ed il Ticino Emissario a Dicembre. La maggior parte dei corsi d'acqua ha fatto registrare il minimo annuale a Gennaio, il Ticino Immissario e la Tresa a Febbraio, il Cannobino e l'Erno a Luglio, il Bardello e la Margorabbia ad Agosto.

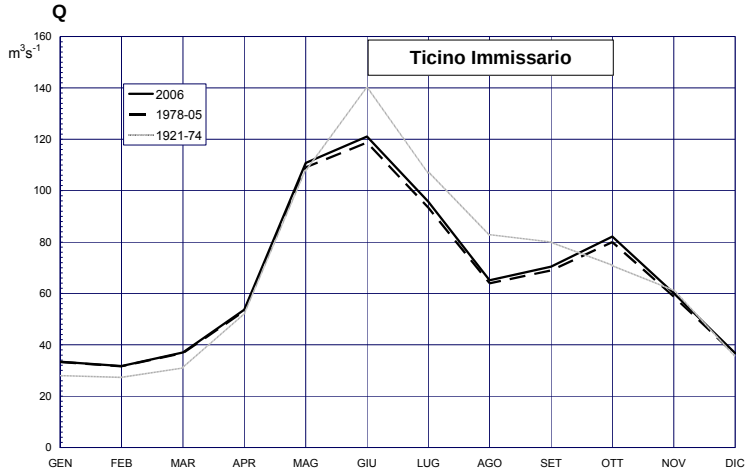
Ad Aprile è stato ripristinato il funzionamento dell'idrometro sul Torrente Niguglia e, per quanto riguarda il suo valore medio annuale, pur non essendo completo risulta molto al di sotto della media del periodo di riferimento. Anche lo strumento sul Torrente Boesio è stato ripristinato, ma solamente a metà Dicembre; è stato comunque riportato un valore mensile, se pur parziale. Per quanto riguarda il Torrente San Giovanni, invece, ci sono misure solo fino a metà Agosto, a causa della rottura della strumentazione; mancano i mesi più significativi da un punto di vista idrologico, cioè quelli da Settembre a Dicembre, pertanto il valore medio annuale non è rappresentativo dell'andamento delle portate del San Giovanni per l'intero 2006.

Mediamente, nel 2006, si sono registrate tra il 54% e il 63% delle portate medie pluriennali, fatta eccezione per il Bardello il cui valore medio annuale è intorno al 14% rispetto a quello del periodo di riferimento (1939-2005), e per il Torrente Margorabbia che ha fatto registrare il 35% delle portate medie pluriennali. Le minori piogge cadute sui bacini del Bardello, soprattutto, e della Margorabbia, hanno probabilmente causato le basse portate registrate nell'anno in studio; bisogna comunque considerare anche la tipologia di regolazione applicata ai due corsi d'acqua, durante l'anno.

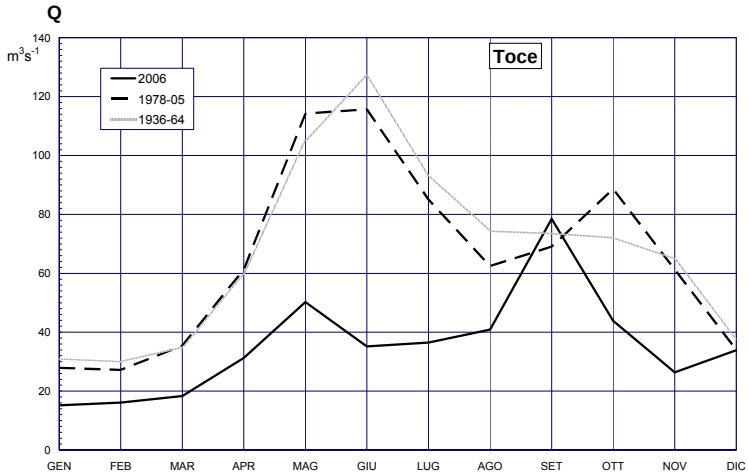
Nella figura 2.1.2a, b, c sono riportati gli andamenti mensili del Ticino, Immissario ed Emissario e del Toce.

Rispetto agli altri corsi d'acqua il Ticino Immissario non si è discostato di molto dai valori medi mensili pluriennali se non tra Giugno e Settembre. Il Toce al contrario si è mantenuto al di sotto dei valori medi pluriennali per tutti i mesi dell'anno, a parte Settembre; in particolare, da Aprile ad Agosto, ha fatto registrare valori tra il 30% ed il 50% delle portate mediamente registrate nello stesso periodo.

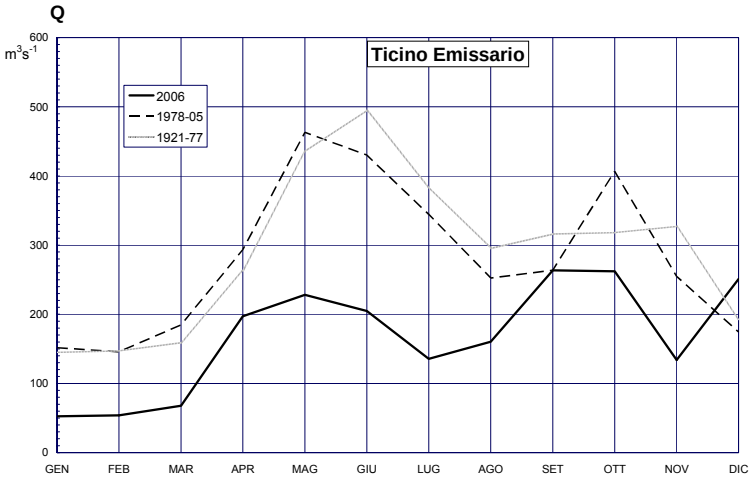
Anche il Ticino Emissario ha seguito l'andamento della maggior parte degli immissari del lago, rimanendo al di sotto dei valori medi pluriennali per quasi tutti i mesi dell'anno, avvicinandosi al valore medio pluriennale solo a Settembre e superandolo di poco a Dicembre. Si nota molto chiaramente come il picco di precipitazioni e di acqua veicolata a lago dagli immissari, avvenuta tra Settembre ed Ottobre, sia tagliato nel Ticino Emissario, probabilmente per la maggior acqua invasata nel lago, anziché lasciata defluire.



A



B



C

Fig. 2.1.2a, b, c. Lago Maggiore 2006. Regime delle portate.

2.2. Meteorologia dell'areale lacustre

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

Dal punto di vista termico il 2006 nell'insieme è risultato molto caldo (secondo nella serie ultracinquantennale), anche se i primi due mesi dell'anno sono stati particolarmente freddi sono stati compensati da un Luglio molto caldo e da un autunno che ha raggiunto nuovi valori massimi. Elevata è stata la quantità di radiazione solare, nella media invece sia la quantità di acqua evaporarata che la quantità di vento filato che però è risultato particolarmente scarso nei primi due mesi dell'anno.

2.2.1. Radiazione solare

	2006 (cal cm^{-2})		1951-2005 (cal cm^{-2})		
totale annuo	115199		105074		
totale invernale	12297		12066		
totale primaverile	35671		32290		
totale estivo	47782		42247		
totale autunnale	19630		18471		
mese con rad. minima	3191	Dic	1978	Dic	1951
mese con rad. massima	17210	Giu	18034	Lug	1984
giorno con rad. minima	0,0	27 Dic	0,0	27 Nov	2003
giorno con rad. massima	726,0	30 Mag	840,0	22 Giu	1956

La quantità di radiazione solare globale, comprensiva cioè della porzione ad onda lunga diffusa e rifratta dall'atmosfera e dalla coltre nuvolosa, registrata durante l'anno meteorologico 2006 risulta nettamente superiore alla media del periodo ultracinquantennale di riferimento. Si sono misurate, infatti, 115.199 cal cm^{-2} rispetto a 105.074 cal cm^{-2}, una quantità annua assai elevata (quarto in ordine decrescente nel periodo 1951-2005) anche se non si è raggiunto il massimo storico del 1961 che fu di 119.347 cal cm^{-2}. Tutti e quattro i valori stagionali sono stati più elevati delle rispettive medie, con maggior evidenza in estate (+13%) e in primavera (+10%).

Anche i totali mensili (ad eccezione di Febbraio) registrati nel 2006 sono risultati costantemente più elevati delle corrispondenti medie del periodo di confronto (Fig. 2.2.1). La punta massima mensile si è registrata in Giugno che con 17.210 cal cm^{-2}, appena al di sotto delle 17.755 dello stesso mese del 1962. Quanto ai dati giornalieri il massimo di radiazione si è avuto il 30 Maggio con 726 cal cm^{-2}, comunque nettamente più basso del corrispondente massimo assoluto di 840 cal cm^{-2} del 22 Giugno 1956.

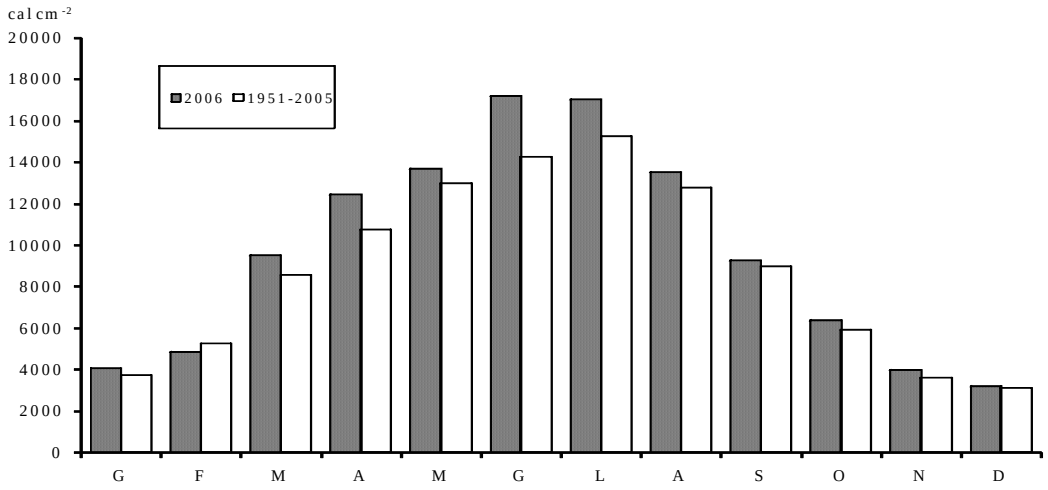


Fig. 2.2.1. Lago Maggiore 2006. Confronto tra i regimi della radiazione solare a Pallanza nel 2006 e nel periodo di confronto 1957-2005.

2.2.2. Temperatura atmosferica

	2006 (°C)		1951-2005 (°C)		
media annua	13,55		12,39		
media invernale	2,45		3,63		
media primaverile	12,73		11,89		
media estiva	23,26		21,37		
media autunnale	14,89		12,68		
minima invernale	-4.5	29 Gen	-8,2	6 Gen	1985
minima primaverile	-2.2	2 Mar	-7,1	6 Mar	1971
minima estiva	8.7	10 Giu	7,0	18 Giu	1978
minima autunnale	-1.4	28 Nov	-3,6	23 Nov	1998
massima invernale	13,4	21 Gen	21,0	22 Feb	2001
massima primaverile	29,0	31 Mag	32,7	29 Mag	2001
massima estiva	36,9	28 Giu	38,1	11 Ago	2003
massima autunnale	32,1	2 Set	32,6	13 Set	1962

Pur non avendo superato il valore massimo della temperatura media annuale dell'intera serie storica disponibile (1951-2005) che fu nel 2003 di 14,27 °C, l'anno 2006 conferma la tendenza al rialzo termico da più parti denunciata come elemento più evidente dei mutamenti climatici in atto: è risultato infatti il secondo più caldo con 13,55 °C. Analizzando i dati a livello stagionale si riscontrano, per altro, alcuni contrasti. L'inverno è infatti stato più freddo della norma, mentre nelle altre stagioni la temperatura è stata decisamente più elevata, soprattutto in autunno con un incremento di oltre 2 °C ed in estate con 1,9 °C.

Quanto al regime termico medio mensile del 2006, rappresentato in figura 2.2.2, con la possibilità del confronto con i corrispondenti valori del periodo 1951-2005, si evidenzia un inizio dell'anno decisamente freddo con la collocazione delle temperature nei primi tre mesi al di sotto della media; i successivi (fatto salvo Agosto) sono stati invece più caldi della norma. Da segnalare, in particolare, Giugno e Luglio, rispettivamente con 2,8 e di 3,4 °C al di sopra della media, nonché Ottobre con +2,32 °C e

Novembre che con una media di +9,57 °C supera il massimo precedente di +9,24 °C del 1994.

Nella stessa figura sono rappresentate anche le medie mensili delle temperature massime e minime giornaliere riscontrate nel corso di ciascun mese del 2006, e negli istogrammi verticali è possibile verificare la loro collocazione rispetto ai corrispondenti valori del periodo di confronto. Sono da evidenziare le marcate differenze che si riscontrano nelle due serie di dati, evidenti soprattutto nei valori massimi, ma anche fra i minimi, e che riguardano non solo la primavera e l'estate ma anche il periodo autunnale. In questo contesto è da porre in risalto il valore medio dei minimi di Gennaio che con -1,61 °C si colloca nella serie al quarto posto dopo il 1966 (-1,93 °C), il 1985 (-2,85 °C, minimo assoluto per Gennaio) e il 2002 (-1,75 °C). Per contro la media dei massimi di Luglio che 31,98 °C supera abbondantemente il valore precedente che risaliva al 1994. Mediamente il giorno più caldo è stato il 23 Luglio con 36,9 °C mentre il più freddo è stato il 26 Gennaio con -4,5 °C. con un'escursione annua assoluta di 41,4 °C.

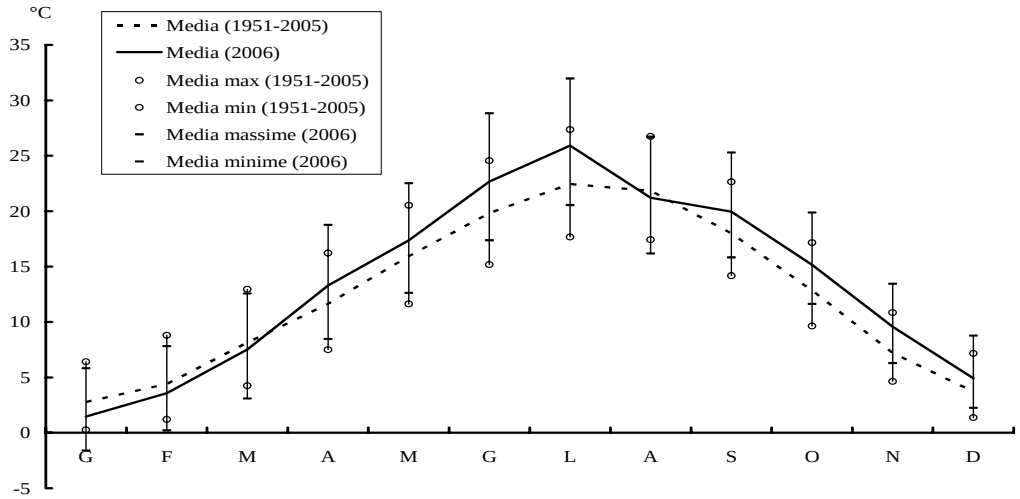


Fig. 2.2.2. Lago Maggiore 2006. Confronto tra i regimi mensili della temperatura a Pallanza nel 2006 e nel periodo 1951-2005.

2.2.3. Evaporazione

	2006 (mm)		1951-2005 (mm)	
totale annuo	1113,9		1101,4	
totale invernale	82,5		107,7	
totale primaverile	308,6		324,1	
totale estivo	557,2		488,3	
totale autunnale	179,6		181,4	
mese con evap. minima	19,0	Nov	9,9	Gen 1996
mese con evap. massima	204,0	Lug	258,0	Lug 1959
giorno con evap. massima	12,0	4 Ago	18,7	16 Lug 1984

La quantità di acqua evaporata nel 2006 è stata di una decina di millimetri superiore a quella della media del periodo 1957-2005. Tuttavia la sua distribuzione nel ciclo annuale ha manifestato qualche irregolarità, in particolare inferiore alla media in

inverno con 82,5 mm contro 107,7 mm e nettamente superiore invece in estate con 557,2 mm contro 488,3 mm, valori che si collocano rispettivamente al quinto posto nei valori più bassi e al sesto nei valori più alti nella serie di confronto.

Quanto ai regimi mensili, sino a Maggio l'evaporazione è risultata inferiore alla media pluriennale, è poi seguito un periodo di tre mesi con valori molto elevati: i 198,7 mm registrati a Giugno costituiscono infatti il secondo valore più alto di tutto il periodo dopo i 225,2 mm del 1959 mentre i 204,8 mm di Luglio si collocano all'ottavo posto nella serie pluriennale (Fig. 2.2.3). Sino alla fine dell'anno c'è stata poi un'alternanza di valori al di sopra e al di sotto della media, tutti però rientranti ampiamente entro valori già registrati in passato. Quanto all'evaporazione giornaliera si deve rilevare che in 16 giorni dell'anno non è stata superata la soglia limite strumentale per cui essi sono da considerare ad evaporazione nulla; viceversa il 30 Maggio risulta il giorno ad evaporazione massima con 12 mm, molto lontano comunque dai 18,7 mm del 16 Luglio 1984.

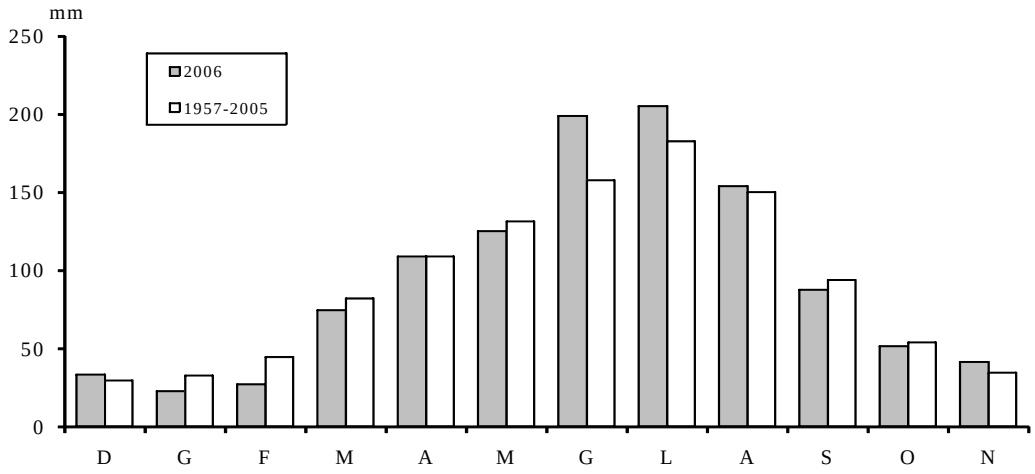


Fig. 2.2.3. Lago Maggiore 2006. Confronto tra i regimi mensili dell'evaporazione a Pallanza e nel periodo 1957-2005.

2.2.4. Intensità e direzione del vento

	2006 (km)		1997-2005 (km)	
percorso annuo	48593,9		47439,1	
percorso invernale	10874,2		10632,7	
percorso primaverile	12760,6		12855,6	
percorso estivo	14400,7		12676,0	
percorso autunnale	11120,4		11274,8	
velocità media (km h^{-1})	5,5		5,4	
direzione prevalente	W		SSE	
mese più ventoso	4965,8	Ago	5578,6	Apr 2004
giorno più ventoso	439,2	30 Mag	633,2	2 Dic 2004
raffica massima (km h^{-1})	87	12 Mar	101	17 Ago 2000

È necessario premettere che i dati qui riportati si riferiscono unicamente al periodo successivo al 1997, quando cioè è entrato in funzione un nuovo più sensibile strumento registratore di questo parametro (tacoanemometro a coppe di Robinson con trasduttore di velocità a stato solido e ad alta frequenza, abbinato ad un gonianemometro a banderuola) che ha sostituito il precedente anemometro autogeneratore a elica, meno sensibile ai venti più leggeri.

Il percorso del totale del vento durante il 2006 è risultato di 48593,9 km leggermente superiore alla media del periodo, con una distribuzione stagionale che presenta la sua punta massima in estate con 14400,7 km che costituisce il valore più alto degli ultimi 10 anni (il precedente era di 13.438 nel 2003); entro i limiti già registrati in precedenza sono stati invece i percorsi nelle altre stagioni.

A livello mensile (Fig. 2.2.4a) la quantità di vento filato è prevalentemente al di sotto dei valori medi sino a Maggio, con l'eccezione di Marzo e al di sopra nella seconda parte dell'anno. Troviamo nel corso del 2006 nuovi massimi in Marzo (4.450 km precedente 4.307 nel 2005), in Giugno (4912,9 km precedente 4.711 nel 2000), in Agosto (4965,8 km precedente 4.613 nel 2003) ed in Aprile (4060,4 km) seppur di poco superiore al minimo del 2002 (4.055 km).

Da rilevare che il giorno più ventoso è risultato il 30 Maggio con 439,2 km seguito dal 14 Settembre con 369 km, mentre la raffica massima si è verificata il 12 Marzo con 87 km h^{-1}, giorno in cui il percorso del vento è risultato di 352,8 km. Quanto alle direzioni di provenienza la figura 2.2.4b indica che le prevalenti sono quelle da W soprattutto nei mesi invernali e autunnali, mentre in estate sono più presenti quelle provenienti da NNE. Complessivamente rispetto agli anni pregressi, il 2006 evidenzia una maggiore presenza di venti di provenienza occidentale.

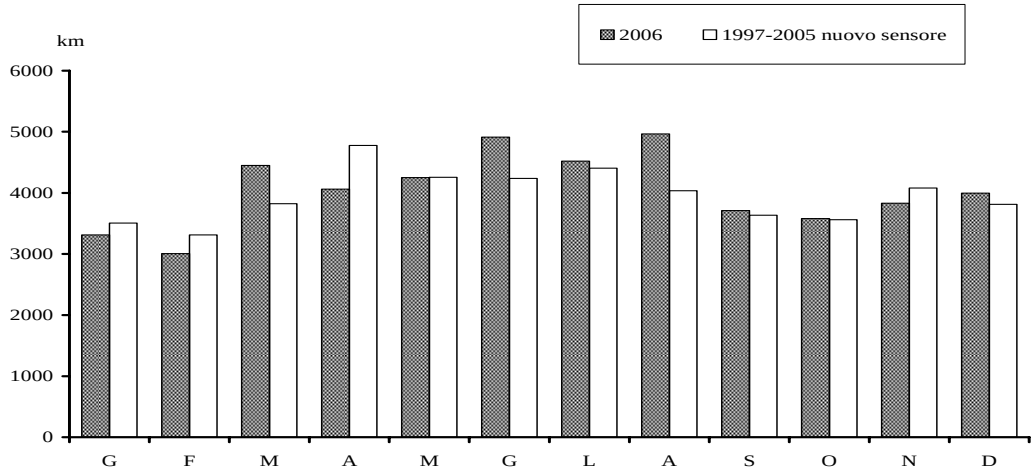


Fig. 2.2.4a. Lago Maggiore 2006. Regimi della quantità di vento filato a Pallanza nel 2006 e nel periodo 1997-2005.

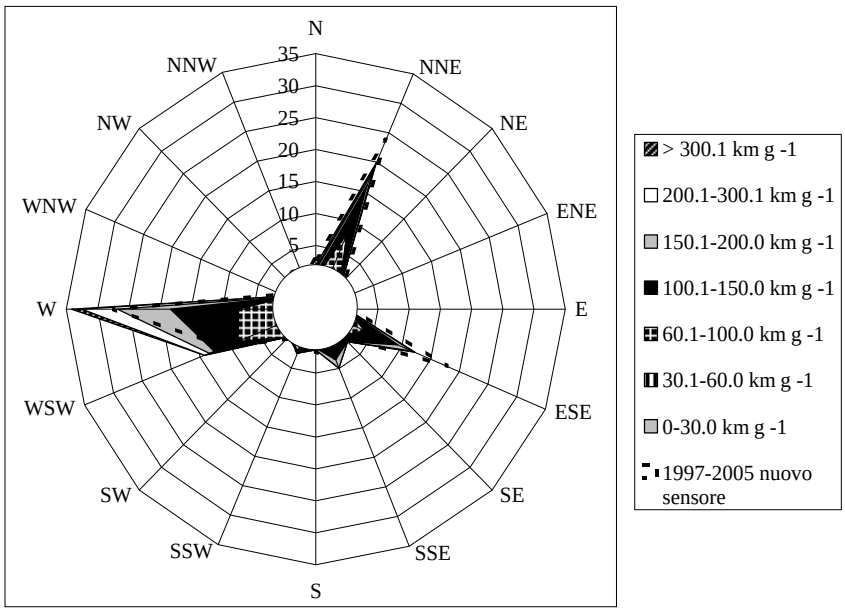


Fig. 2.2.4b. Lago Maggiore 2006. Rosa dei venti a Pallanza nel 2006 e per il periodo 1997-2005.

2.3. Apporti chimici dai tributari

2.3.1. Caratteristiche chimiche e chimico fisiche

Le caratteristiche chimiche dei 14 principali tributari del Lago Maggiore e del Ticino emissario sono state oggetto di studio con frequenza mensile nel corso del 2006. I valori medi annui delle variabili principali sono riportati in tabella 2.3.1. La maggior parte dei corsi d'acqua sono impostati in bacini composti prevalentemente da rocce ignee (Cannobino, Verzasca, Maggia, S. Giovanni, S. Bernardino, Strona, Erno e Giona) e sono di conseguenza caratterizzati da bassi valori medi di pH, alcalinità totale e conducibilità, rispettivamente compresi tra 6,9 e 7,7 unità di pH, 0,2 e 0,5 meq l^{-1} e 47 e 152 µS cm^{-1} a 20°C. I tributari che drenano invece areali in gran parte costituiti da rocce sedimentarie (Vevera, Tresa) mostrano pH leggermente più elevati (7,8-8,1) e livelli significativamente maggiori di alcalinità totale (1,9 meq l^{-1}) e conducibilità (225-250 µS cm^{-1}). Il Toce (bacino Ossola) ed il Ticino immissario sono caratterizzati da valori intermedi sia di pH (7,5 e 7,8) che di alcalinità e conducibilità (0,9 e 0,8 meq l^{-1} e 207 e 152 µS cm^{-1}, rispettivamente). I valori massimi di queste due variabili sono stati registrati nelle acque di Boesio e Bardello (3,6-6,1 meq l^{-1} e 460-800 µS cm^{-1}), entrambi recettori di scarichi ad alto tenore di bicarbonati e di sali.

Tab. 2.3.1. Valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche sui tributari e sull'emissario del Lago Maggiore campionati nel 2006.

	sigla	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)	8,04	6,10	800	0,33	3,20	0,44	3,98	392	2,8
Bardello	(BAR)	8,07	3,56	460	0,41	2,14	0,38	2,93	469	2,1
Tresa (a)	(TRE)	8,11	1,94	225	0,10	1,05	0,17	1,33	36	0,6
Giona	(GIO)	7,54	0,45	99	0,05	1,40	0,08	1,52	71	4,0
Tributari piemontesi										
Vevera	(VEV)	7,81	1,92	254	0,11	2,93	0,22	3,26	62	5,4
Strona	(STR)	7,58	0,48	123	0,03	1,59	0,09	1,71	20	3,2
Toce Ossola	(TOC)	7,52	0,91	207	0,08	0,74	0,04	0,85	21	2,6
San Giovanni	(SGI)	7,46	0,29	68	0,01	1,38	0,07	1,46	11	4,5
Erno	(ERN)	7,49	0,40	152	0,01	1,85	0,10	1,96	31	4,5
San Bernardino	(SBE)	7,69	0,33	63	0,01	1,20	0,08	1,30	7	3,2
Cannobino	(CAN)	7,47	0,25	51	0,01	0,80	0,07	0,89	8	3,7
Tributari svizzeri										
Maggia	(MAG)	7,74	0,45	71	0,01	0,88	0,06	0,94	6	2,9
Ticino immissario	(TIM)	7,82	1,10	283	0,02	0,84	0,05	0,92	8	2,3
Verzasca	(VER)	6,94	0,23	47	0,01	0,92	0,07	1,00	6	2,7
Emissario										
Ticino emissario	(TEM)	8,11	0,84	152	0,02	0,70	0,10	0,82	12	0,7

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

Le variazioni stagionali nei valori di pH delle acque emissarie dei laghi Maggiore (Ticino), Lugano (Tresa) e Varese (Bardello) nell'ultimo quinquennio sono riportate in figura 2.3.1a: le oscillazioni appaiono molto più marcate nel caso del Ticino emissario, con massimi estivi e minimi invernali di pH, rispetto a quanto osservato per il Tresa e sopratutto per il Bardello, in cui i valori di pH si mantengono stabilmente compresi tra 7,7 e 8,2.

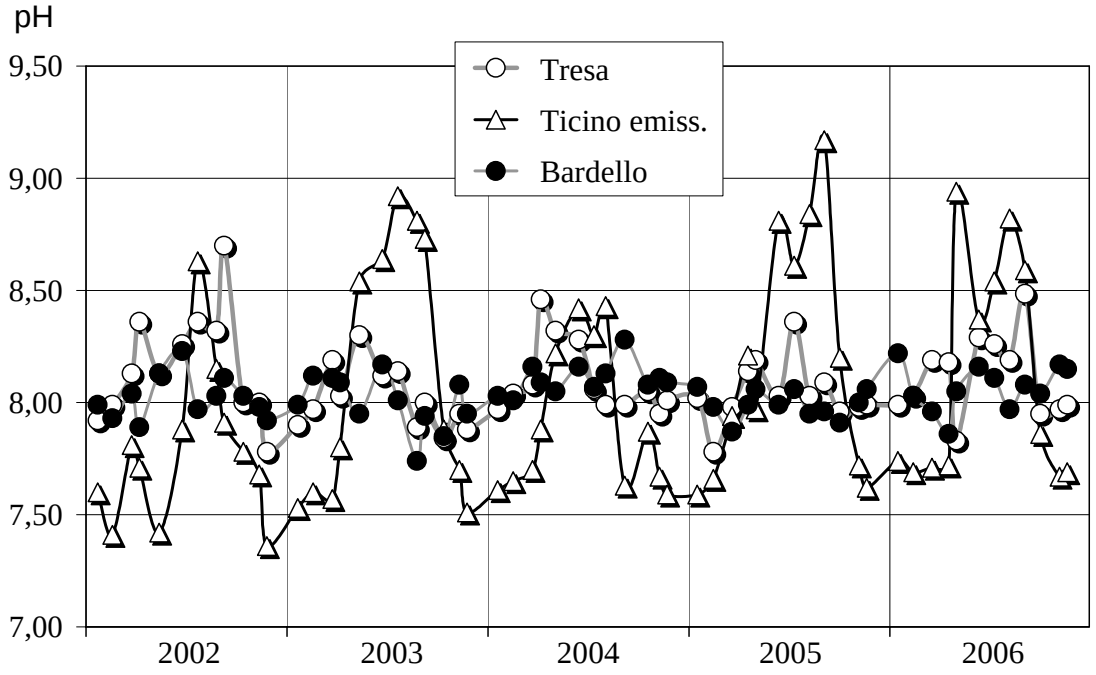


Fig. 2.3.1a. Valori di pH riscontrati nel quinquennio 2002-2006 nelle acque emissarie dei laghi di Lugano (Tresa), Varese (Bardello) e Maggiore (Ticino emissario).

Nel complesso quindi, anche per il 2006, si conferma la dipendenza dei valori di alcalinità e conducibilità e, in misura inferiore, del pH, dalle caratteristiche litologiche dei bacini. I dati raccolti confermano inoltre una sostanziale stabilità del chimismo di base dei corsi d'acqua, come dimostra il confronto tra i valori medi annui di pH e alcalinità dell'anno 2006 e quelli del quinquennio precedente. La maggior parte dei corsi d'acqua ha presentato un leggero aumento del contenuto di alcalinità nel 2006 rispetto al periodo 2001-2005, evidente soprattutto nei torrenti con concentrazioni elevate quali Bardello e Boesio (Fig. 2.3.1b). Questo aumento è probabilmente da attribuire ad una maggior concentrazione di soluti dovuta alle scarse precipitazioni e quindi alle portate ridotte misurate nel 2006.

In generale la variabilità idrologica interannuale ha avuto un ruolo importante nell'ultimo quinquennio, in cui si sono susseguiti eventi estremi, quali la piena del 2002, ed anni con precipitazioni estremamente scarse come il 2003 ed il 2005. Nel 2006 l'afflusso totale sul bacino imbrifero del Lago Maggiore (1342 mm) è stato superiore rispetto al 2005 (991 mm) ma comunque inferiore alla media del periodo 1978-2005 (1668 mm), determinando così una situazione favorevole ad un aumento delle concentrazioni nelle acque tributarie, e contemporaneamente ad una riduzione dei carichi veicolati a lago a causa della riduzione nelle portate, come descritto nel capitolo successivo. Nel complesso i livelli di inquinamento, definiti attraverso la presenza di

nutrienti quali i composti di fosforo e azoto, non hanno mostrato variazioni significative rispetto agli anni precedenti.

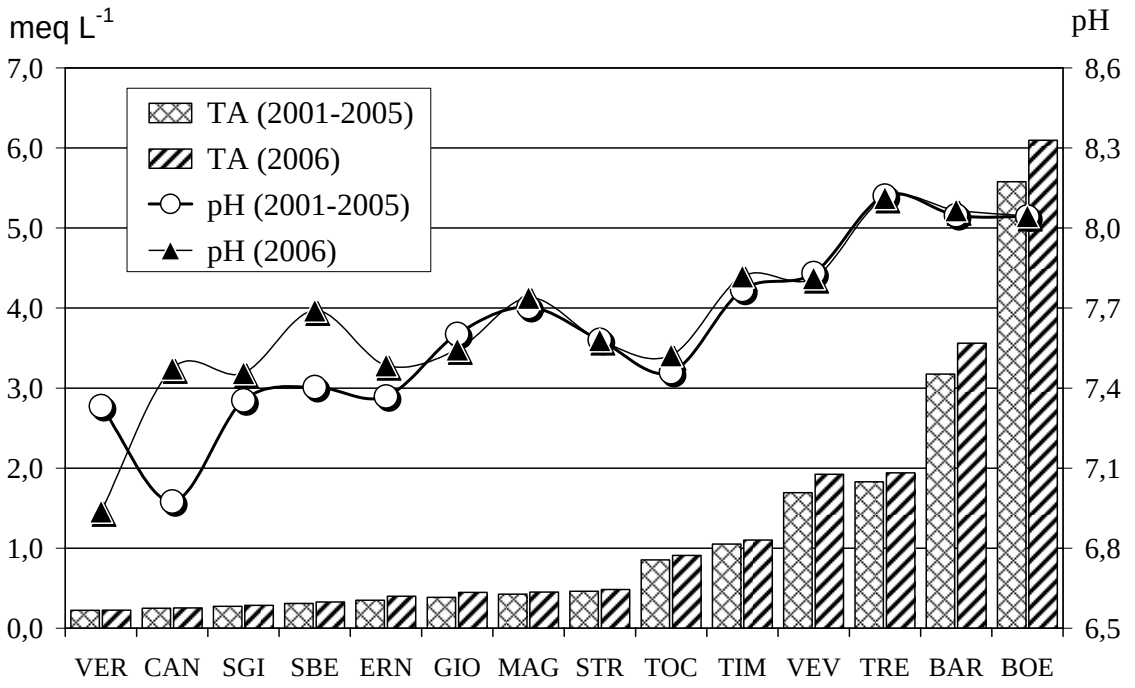


Fig. 2.3.1b. Tributari del Lago Maggiore: valori medi annuali di pH e alcalinità totale relativi al 2006 a confronto con le medie del quinquennio precedente (2001-2005).

Tra tutti i corsi d'acqua monitorati, Boesio e Bardello presentano la situazione di maggior degrado, come evidenziato dalle concentrazioni medie annue di fosforo totale (rispettivamente 392 e 469 µg P l^{-1}), azoto ammoniacale (0,33 e 0,41 mg N l^{-1}), organico (0,44 e 0,38 mg N l^{-1}) e totale (3,98 e 2,93 mg N l^{-1}; Tab. 2.3.1 e Fig. 2.3.1c). Per entrambi i corsi d'acqua le concentrazioni di azoto ammoniacale e totale sono risultate maggiori nel 2006 rispetto all'anno precedente, mentre sono diminuite quelle di azoto organico. I livelli di fosforo totale sono risultati pressoché identici a quelli del 2005, ed in linea con i valori massimi riscontrati nel 2003 (Fig. 2.3.1d). Nel caso del Torrente Bardello, essendo ormai cessati gli interventi di prelievo delle acque ipolimniche dal Lago di Varese, tale situazione non è più imputabile alle sole condizioni idrologiche, ma è da ritenersi indicativa di un incremento negli apporti di reflui civili e/o industriali scarsamente depurati.

Dall'analisi dei valori medi annui di fosforo totale nelle acque dei tributari emerge come sei di essi (San Giovanni, Ticino immissario, Cannobino, San Bernardino, Maggia, Verzasca) abbiano concentrazioni comprese tra 6 e 11 µg P l^{-1}. Strona e Toce presentano valori rispettivamente di 20 e 21 µg P l^{-1}, comunque compresi nell'obiettivo di qualità da rispettare per il mantenimento dello stato oligotrofo delle acque lacustri. Una conferma dello stato qualitativo da buono a ottimo di questi corsi d'acqua viene anche dai livelli medi di azoto ammoniacale (0,08 mg N l^{-1} per il Toce ed inferiore a 0,03 mg N l^{-1} per gli altri corsi d'acqua) ed organico (inferiore a 0,10 mg N l^{-1}; Tab. 2.3.1 e Fig. 2.3.1c).

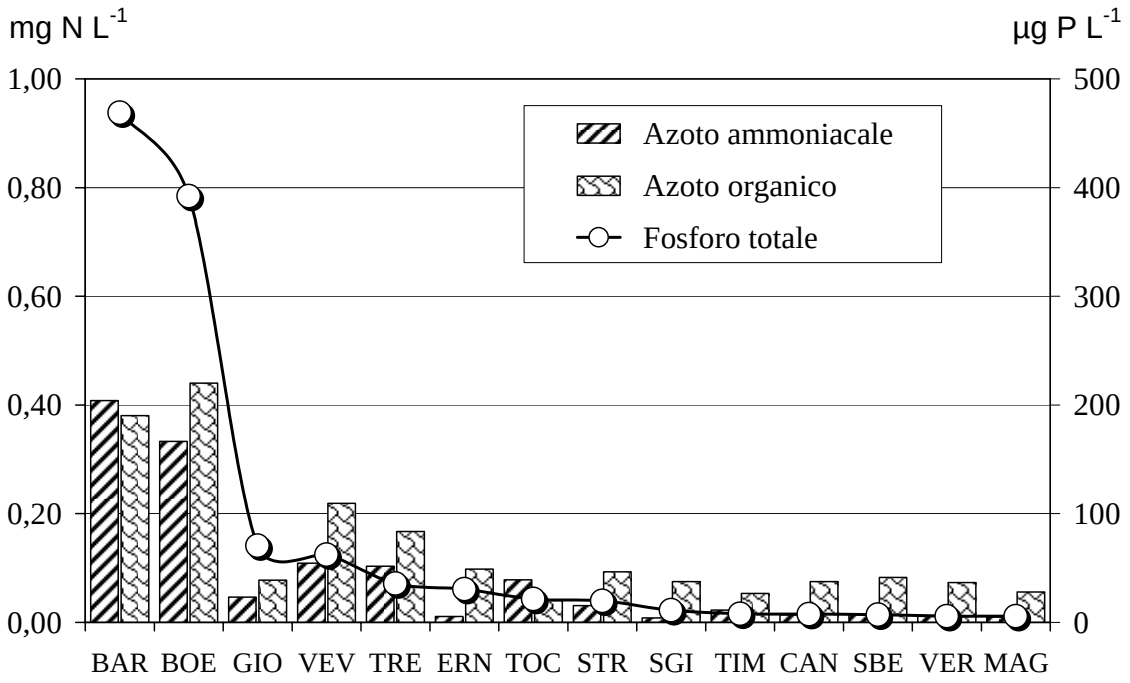


Fig. 2.3.1c. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate nel 2006 sui principali tributari del Lago Maggiore.

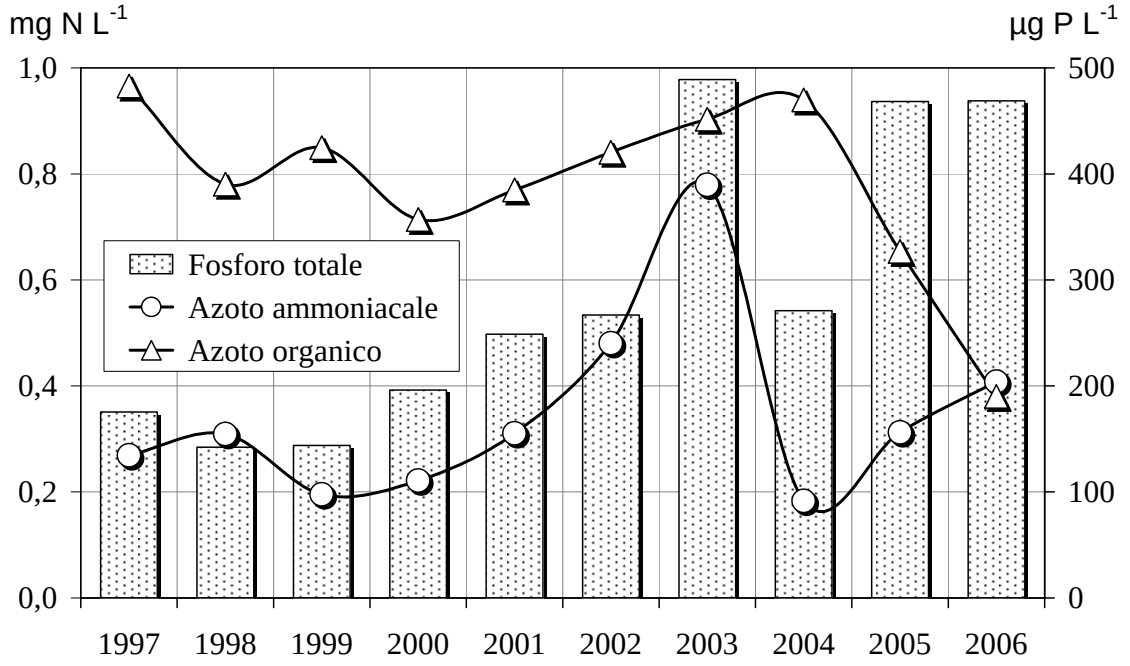


Fig. 2.3.1d. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate dal 1997 al 2006 alla foce del Fiume Bardello.

Una situazione di compromissione da media ad elevata è stata invece riscontrata per i restanti corsi d'acqua (Giona, Vevera, Tresa ed Erno), a causa della presenza nei bacini drenanti di scarichi non sufficientemente depurati. Le concentrazioni medie annuali di fosforo in questi corsi d'acqua sono superiori a 30 µg P l^{-1}, e raggiungono i 60-70 µg P

l^{-1} nei Torrenti Giona e Vevera (Fig. 2.3.1e). Le concentrazioni dei composti dell'azoto in questi corsi d'acqua sono comprese tra 0,01 e 0,11 mg N l^{-1} per l'azoto ammoniacale e 0,08 e 0,22 mg N l^{-1} per l'azoto organico, valori da ritenersi comunque accettabili ai fini del mantenimento di uno stato oligotrofo delle acque lacustri (Tab. 2.3.1).

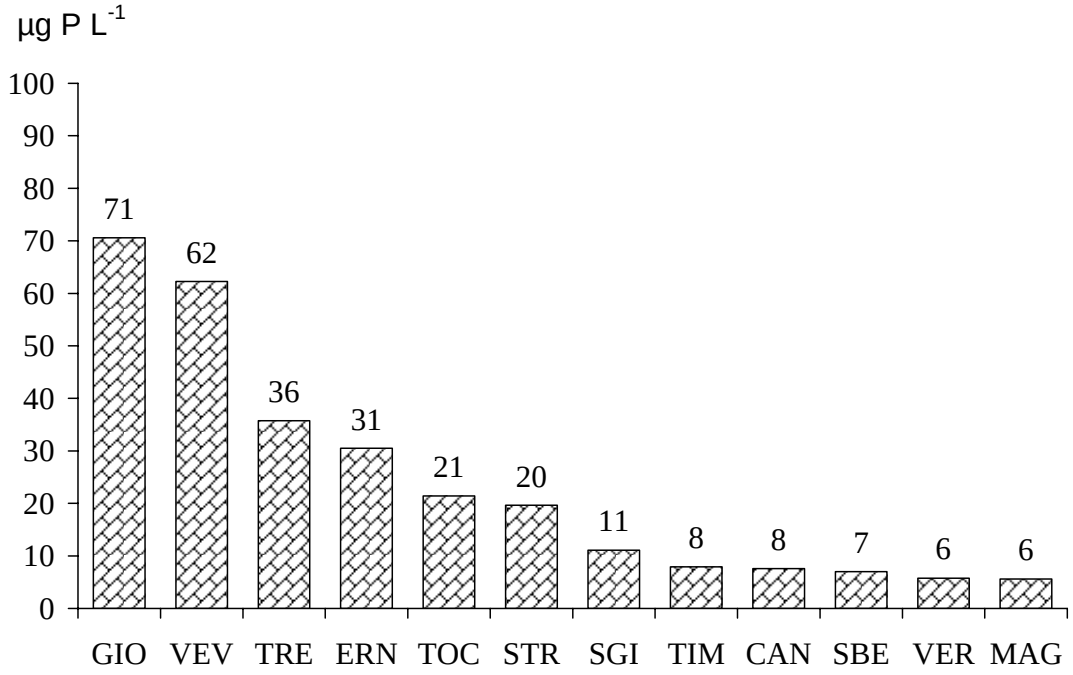


Fig. 2.3.1e. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel 2006 sui corsi d'acqua campionati ad esclusione di Boesio e Bardello.

In merito alle concentrazioni riscontrate nelle acque tributarie nel 2006 è da segnalare come, rispetto al 2005, si sia ripristinata una situazione di normalità per quanto riguarda le acque del Torrente S. Bernardino. Nel corso dei due campionamenti di Ottobre e Novembre 2005 si erano infatti misurate concentrazioni estremamente elevate di fosforo totale (771 e 93 µg P l^{-1}, rispettivamente), attribuite a qualche immissione improvvisa di sostanze fosforate nelle tombinature che recapitano le acque bianche urbane in prossimità del tratto terminale del torrente. Sulla base dei dati raccolti, tali eventi non sembrano essersi ripetuti nel 2006, in quanto le concentrazioni sono risultate inferiori a 10 µg P l^{-1} in tutti i campionamenti, con l'eccezione di un valore di 18 µg P l^{-1} a Novembre.

La distribuzione geografica della qualità delle acque tributarie in termini di apporti eutrofizzanti è illustrata nelle figure 2.3.1f, 2.3.1g e 2.3.1h, che mostrano rispettivamente le concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale, azoto organico e fosforo totale. Dall'analisi di tali dati emerge come le condizioni possano definirsi ottimali per l'areale ticinese ed accettabili per quello piemontese, mentre una condizione di evidente compromissione caratterizza la zona lombarda. Nel corso di tutto il periodo 1997-2006 infatti, le concentrazioni medie areali annuali hanno fatto registrare valori estremamente diversi nelle tre aree. I rapporti tra Canton Ticino, Piemonte e Lombardia sono risultati mediamente 1,0:4,1:10,8 per l'azoto ammoniacale (Fig. 2.3.1f); 1,0:1,3:3,4 per l'azoto organico (Fig. 2.3.1g); 1,0:3,0:10,8 per il fosforo totale (Fig. 2.3.1h).

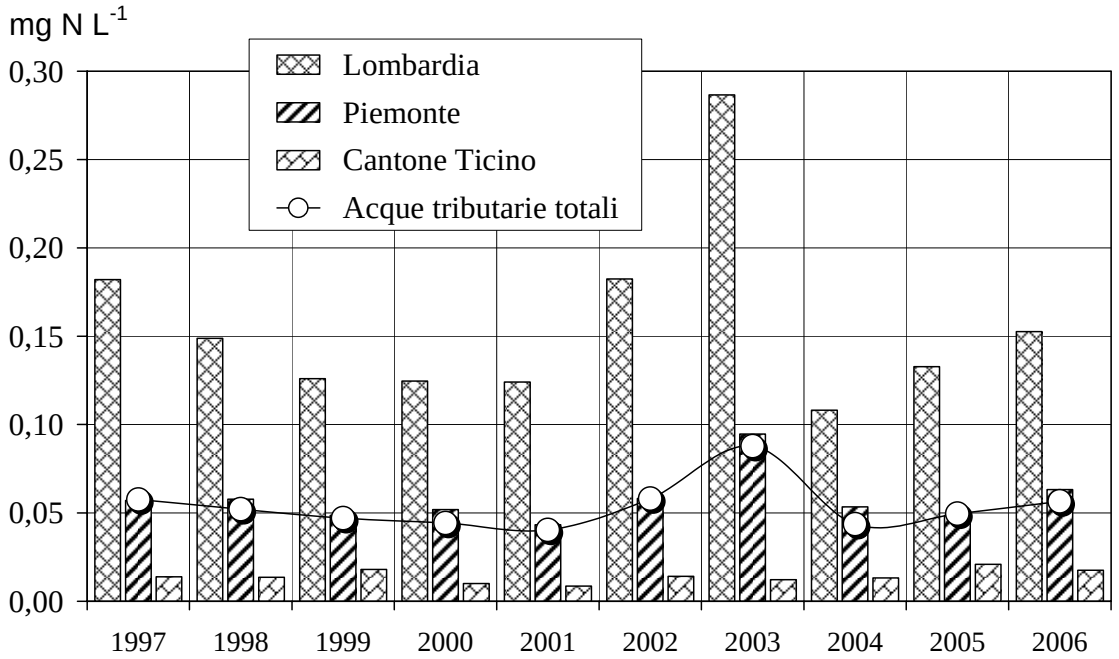


Fig. 2.3.1f. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale nel decennio 1997-2006 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

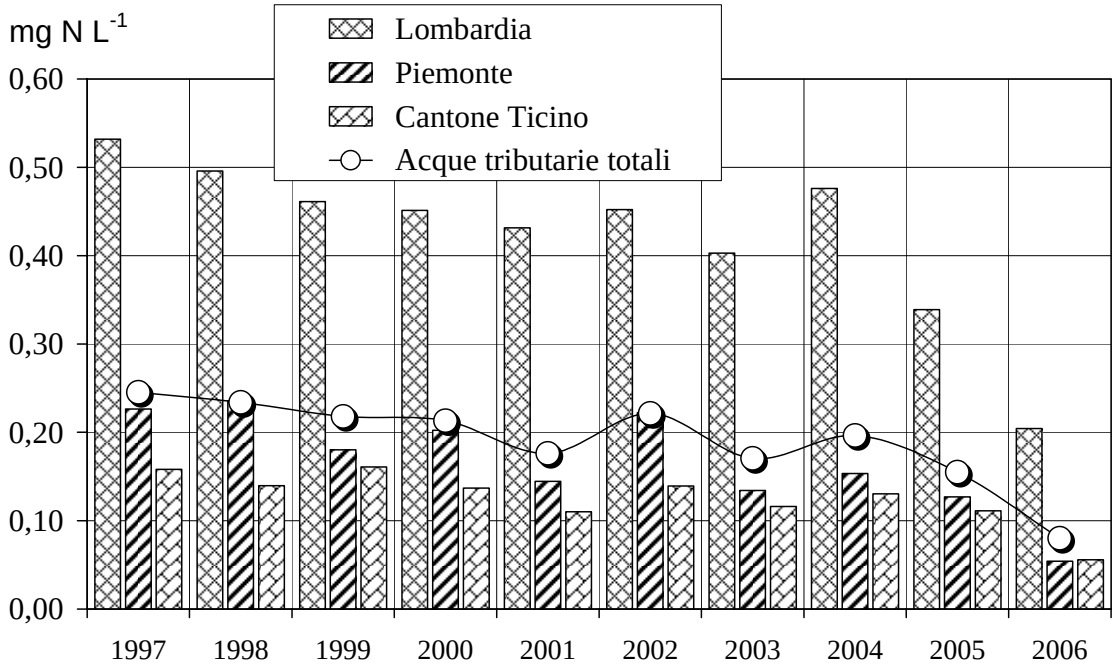


Fig. 2.3.1g. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto organico nel decennio 1997-2006 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

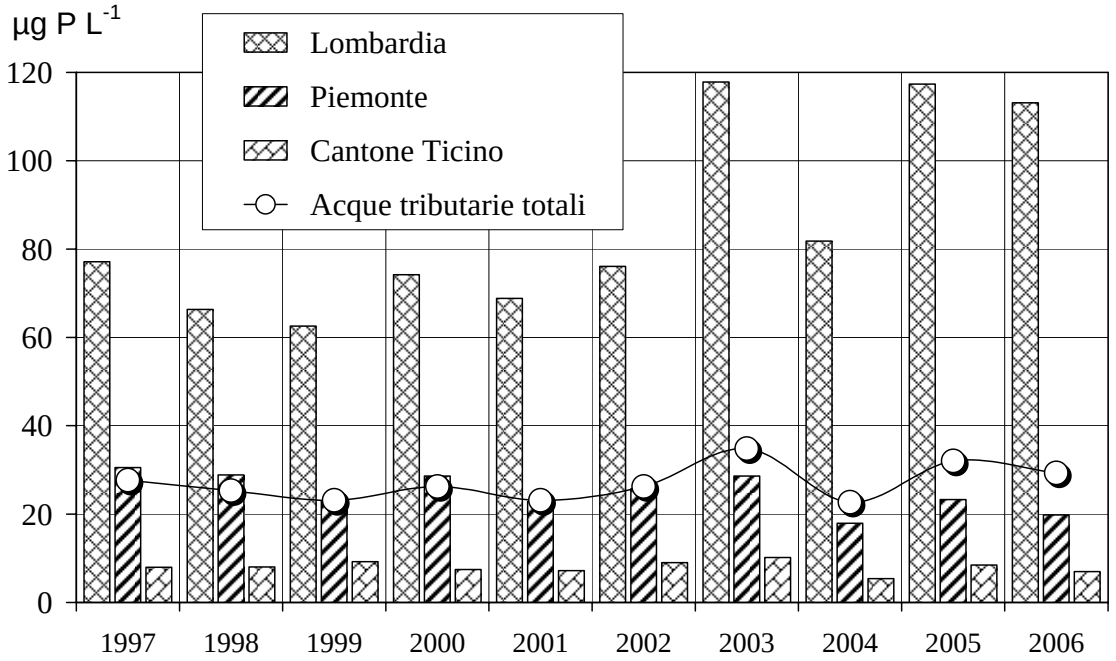


Fig. 2.3.1h. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di fosforo totale nel decennio 1997-2006 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

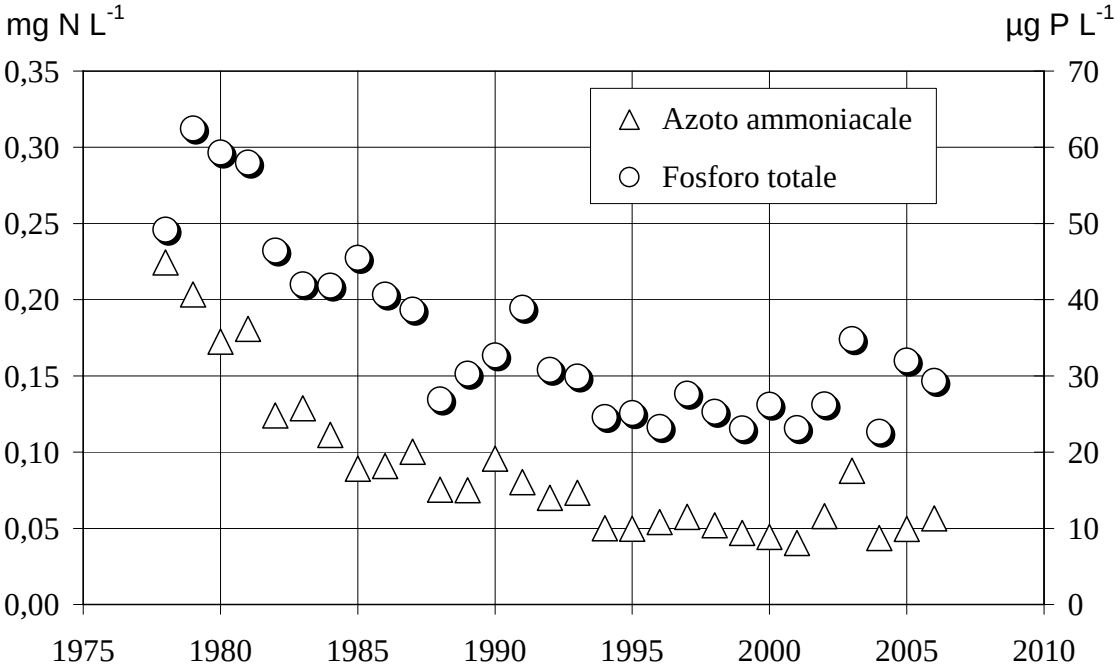


Fig. 2.3.1i. Lago Maggiore. Evoluzione delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale e azoto ammoniacale negli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

Le concentrazioni medie di fosforo totale e di azoto ammoniacale negli afflussi complessivi al lago dai tributari hanno presentato, nel 2006, valori analoghi a quelli dell'anno precedente (Fig. 2.3.1i). Dopo il massimo registrato nel 2003 (0,09 mg N l^{-1}),

gli afflussi medi annui di azoto ammoniacale si sono riportati su valori medi di 0,05 mg N l^{-1}, mentre quelli di fosforo totale sono risultati, nel biennio 2005-2006, simili o di poco inferiori al valore del 2003 (35 µg P l^{-1}) e comunque leggermente superiori alla media dell'ultimo decennio (Fig. 2.3.1i).

2.3.2. Carichi chimici

Gli apporti dei principali nutrienti algali dai tributari e in uscita dall'emissario sono stati misurati nel corso del 2006 con le stesse metodologie di calcolo già impiegate negli anni precedenti. Per il Ticino emissario e 11 corsi d'acqua drenanti complessivamente circa il 71% del bacino imbrifero (Ticino immissario, Cannobino, San Giovanni, San Bernardino, Toce alla chiusura del bacino della Val d'Ossola, Strona, Erno, Vevera, Bardello, Boesio, Tresa) i carichi sono stati calcolati dai valori di concentrazione e dai deflussi giornalieri. Le portate del Torrente Boesio, non essendo disponibili dati per il 2006 a causa del mancato funzionamento dello strumento di misura, sono state ricostruite sulla base della serie storica (1978-2005) e dei dati del Torrente Erno, che mostra un andamento stagionale simile a quello del Boesio.

Per i rimanenti tributari (Maggia, Verzasca e Giona), che coprono una porzione di bacino imbrifero pari al 18% circa, gli apporti sono stati stimati dalla regressione lineare tra i contributi areali e le concentrazioni medie annuali. Come per gli anni passati, i carichi riportati nel presente rapporto potranno essere successivamente rivisti se venissero corrette le portate di alcuni tributari sulla base dei controlli delle sezioni di misura e della taratura delle curve di livello/portata.

Nella tabella 2.3.2a sono riportati i carichi di azoto ammoniacale, nitrico, organico e totale e di fosforo totale veicolati dai tributari ed in uscita dall'emissario nel biennio 2005-2006.

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 2005–2006 (totali arrotondati a tre cifre significative).

	$N\text{-}NH_4$		$N\text{-}NO_3$		N_{org}		TN		TP	
	2005	*2006*	*2005*	*2006*	*2005*	*2006*	*2005*	*2006*	*2005*	*2006*
Ticino Immissario [(a)]	51	45	969	1178	140	41	1160	1263	10	10
Maggia [(b)]	18	22	762	795	98	38	878	855	7,0	6,9
Verzasca [(b)]	5,1	5,9	194	207	25	12	223	224	1,6	1,8
Cannobino [(a)]	8,5	9,5	187	181	34	16	229	206	2,3	2,1
San Giovanni [(a)]	0,3	0,2	33	31	5	1,7	38	33	0,4	0,2
San Bernardino [(a)]	1,4	1,7	109	174	13	12	123	188	2,5	0,7
Toce Ossola [(a)]	61	81	842	824	158	44	1061	948	23	23
Strona [(a)]	5,4	5,1	283	317	34	18	322	340	3,4	2,8
Erno [(a)]	0,8	0,2	23	32	3	1,6	27	34	0,6	0,5
Vevera [(a)]	0,3	0,7	13	14	1	1,1	15	16	0,2	0,3
Bardello [(a)]	24	15	147	85	52	17	222	117	34	19
Boesio [(a)]	7,8	12	76	128	15	18	99	158	9	15
Tresa [(a)]	31	53	350	567	98	101	479	721	12	19
Giona [(b)]	1,2	1,9	45	52	7	3	54	57	1,5	2,0
Totale campionati	**215**	**252**	**4030**	**4584**	**681**	**324**	**4930**	**5160**	**108**	**102**
Ticino emissario [(a)]	81	128	3590	3565	843	530	4500	4223	65	62

(a) Valori calcolati dai dati di concentrazione e dai deflussi.
(b) Valori calcolati dalla regressione fra concentrazione e contributi areali.

Gli afflussi meteorici sull'intero bacino imbrifero sono passati da 991 mm nel 2005 a 1342 nel 2006, giustificando così un parziale aumento degli apporti. In realtà l'aumento è stato osservato limitatamente all'azoto totale e alla sua componente inorganica: i carichi complessivi veicolati dalle acque tributarie di azoto ammoniacale, nitrico e totale sono passati rispettivamente da 4030 a 4584 t N a^{-1}, da 215 a 252 t N a^{-1} e da 4930 a 5160 t N a^{-1}, con aumenti percentuali corrispondenti del 14%, 17% e 5%. Gli apporti totali di azoto organico si sono invece pressoché dimezzati rispetto al 2005, passando da 681 a 324 t N a^{-1} (-52%). Infine, gli apporti complessivi di fosforo nel 2006 (102 t P a^{-1}) sono stati solo di poco inferiori a quelli dell'anno precedente (108 t P a^{-1}).

I carichi in uscita dal Ticino emissario, per il quale il deflusso medio annuale è stato di 168,1 m^3 s^{-1}, pressoché identico a quello del 2005 (162,9 m^3 s^{-1}), sono risultati analoghi a quelli calcolati per il 2005. Il lieve calo nei carichi in uscita di azoto totale (da 4500 a 4223 t N a^{-1}) è imputabile totalmente alla diminuzione del carico di azoto organico (da 843 a 530 t N a^{-1}), in quanto le uscite di azoto ammoniacale e nitrico sono rimaste invariate (Tab. 2.3.2a).

Il bilancio annuale dell'azoto totale calcolato per il 2006 è riportato in tabella 2.3.2b, a confronto con gli stessi bilanci relativi al periodo 1997-2005. La somma degli apporti di azoto totale dai tributari campionati (5200 t N a^{-1}), dall'areale non campionato (446 t N a^{-1}), dalla popolazione rivierasca (700 t N a^{-1}) e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre (400 t N a^{-1}) nel 2006 è stata pari a 6700 t N a^{-1}, un valore pressoché identico a quello ottenuto per il 2005 e sensibilmente inferiore a quelli ottenuti negli anni dal 1997 al 2004. La ritenzione a lago, calcolata considerando il totale degli apporti e le uscite attraverso il Ticino emissario, è stata pari al 37% delle entrate (Tab. 2.3.2b).

Tab. 2.3.2b. Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 1997-2006 di azoto totale (t N a^{-1}). I totali parziali e complessivi sono approssimati alle centinaia.

Tributari campionati	***'97***	***'98***	***'99***	***'00***	***'01***	***'02***	***'03***	***'04***	***'05***	***'06***
Ticino Immissario	1760	2088	2658	2704	2216	2359	1356	2205	1160	1263
Maggia	1010	1267	1203	1568	1143	1704	953	1429	878	855
Verzasca	217	300	293	435	291	449	230	362	223	224
Cannobino	107	134	134	138	117	137	229	202	229	206
San Giovanni	91	137	88	100	82	179	31	91	38	33
San Bernardino	203	273	257	416	278	359	186	405	123	188
Toce (Ossola + Strona)	1729	2212	2422	3692	1718	3070	1492	2621	1383	1288
Erno	48	64	50	86	45	80	48	56	27	34
Vevera	61	71	43	107	50	61	75	43	15	16
Bardello	333	291	250	281	240	322	332	256	222	117
Boesio	206	221	237	233	134	196	110	238	99	158
Tresa	1280	1344	1369	2141	1308	1904	697	920	479	721
Giona	66	82	78	112	75	111	64	100	54	57
Tributari campionati	***7100***	***8500***	***9100***	***12000***	***7700***	***10900***	***5800***	***8900***	***4900***	***5200***
Areale non campionato	609	728	780	1028	660	934	500	760	420	446
Totale bacino emerso	***7700***	***9200***	***9900***	***13000***	***8400***	***11800***	***6300***	***9700***	***5300***	***5600***
Fascia rivierasca	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Precipitazioni sul lago	400	600	600	800	700	840	400	500	500	400
Totale apporti	**8800**	**10500**	**11200**	**14500**	**9800**	**13300**	**7400**	**10900**	**6500**	**6700**
Uscite da emissario	6700	8200	9000	12900	8600	11800	4600	8000	4500	4200
Ritenzione in lago	24%	22%	20%	11%	12%	11%	38%	27%	31%	37%

I ridotti apporti di azoto nel 2006, così come nel 2005, sono da imputare principalmente alle scarse precipitazioni. La serie storica dei dati disponibile dimostra infatti una stretta correlazione tra queste due variabili, a conferma di come l'azoto derivi principalmente da sorgenti diffuse quali le deposizioni atmosferiche ed il dilavamento (Fig. 2.3.2a). Per quanto riguarda i contributi dai singoli tributari, gli apporti di maggior rilievo di azoto totale derivano dal Toce, comprensivo dello Strona (25,0%), dal Ticino immissario (24,5%), dal Maggia (16,6%), dal Tresa con Margorabbia (14,0%), mentre i corsi d'acqua rimanenti rappresentano circa il 20,0% (Fig. 2.3.2b).

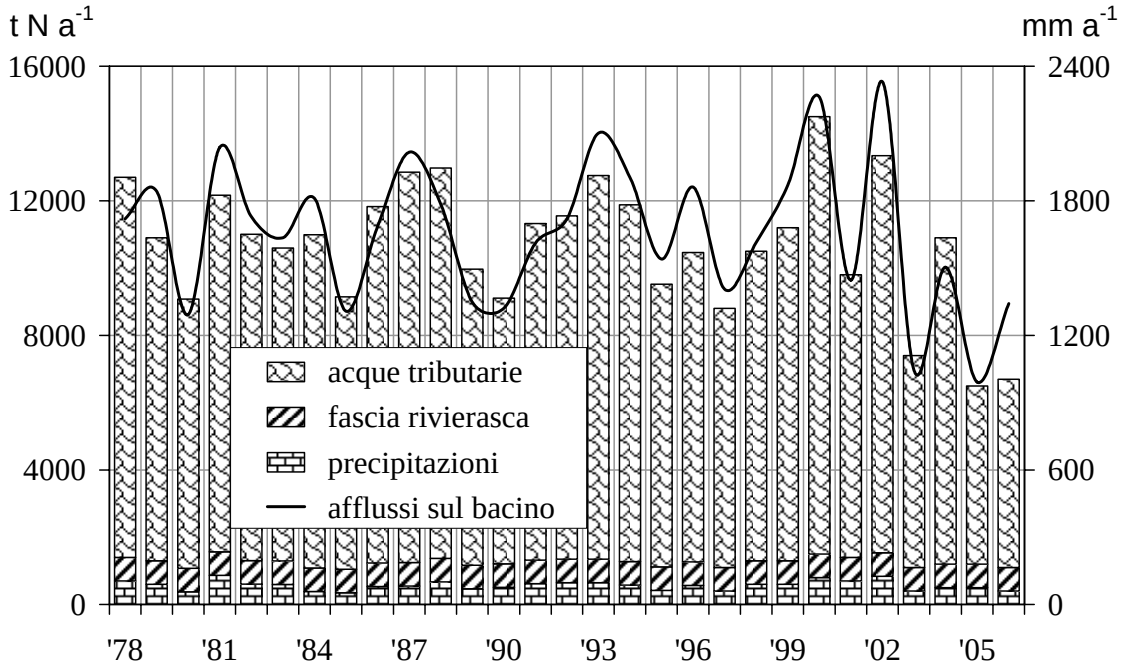


Fig. 2.3.2a. Lago Maggiore. Apporti annuali di azoto totale al lago dall'areale emerso, dalla zona rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre, in relazione con gli afflussi meteorici annuali sul bacino imbrifero.

Gli apporti di fosforo totale dai diversi tributari calcolati per il 2006 non si sono discostati in maniera significativa da quelli del 2005 (Tab. 2.3.2a). La maggior parte dei corsi d'acqua ha presentato variazioni modeste; una diminuzione consistente è stata osservata invece per il Bardello (-15 t P a^{-1}), mentre sono aumentati i carichi veicolati da Boesio e Tresa (+6 e +5 t P a^{-1}, rispettivamente). La riduzione negli apporti di fosforo totale dal Bardello è attribuibile alla riduzione nelle portate (da 2,50 a 1,27 m^3 s^{-1} come valore medio annuo), in quanto le concentrazioni medie annuali, come già descritto nel precedente capitolo, si sono mantenute pressoché invariate rispetto al 2005 (Fig. 2.3.1d).

Gli apporti totali di fosforo al lago nel 2006, pari a 169 t P a^{-1}, hanno toccato il nuovo minimo dell'intero periodo di osservazione (1978-2006) (Tab. 2.3.2c e Fig. 2.3.2c). Le porzioni derivanti dai tributari campionati, dall'areale non campionato e dalla zona rivierasca sono state pari a 102, 9 e 58 t P a^{-1} rispettivamente. I contributi più consistenti (Fig. 2.3.2b) sono quelli provenienti dall'intero bacino del Toce comprensivo dello Strona (25%). Questo risultato conferma la situazione esistente fino al 2004, mentre nel 2005 il contributo maggiore al carico totale di fosforo era stato quello del Bardello (31,8%); nel 2006 tale contributo è sceso al 18,4%, analogo a quello di Tresa e

Margorabbia (18,8). Rispetto al 2005 è aumentato significativamente il contributo dal Boesio (da 8 a 14,3%), mentre sono rimasti quasi invariati quelli di Ticino immissario (9,4%), Maggia (6,7%) e dei rimanenti tributari (7,4%; Fig. 2.3.2d).

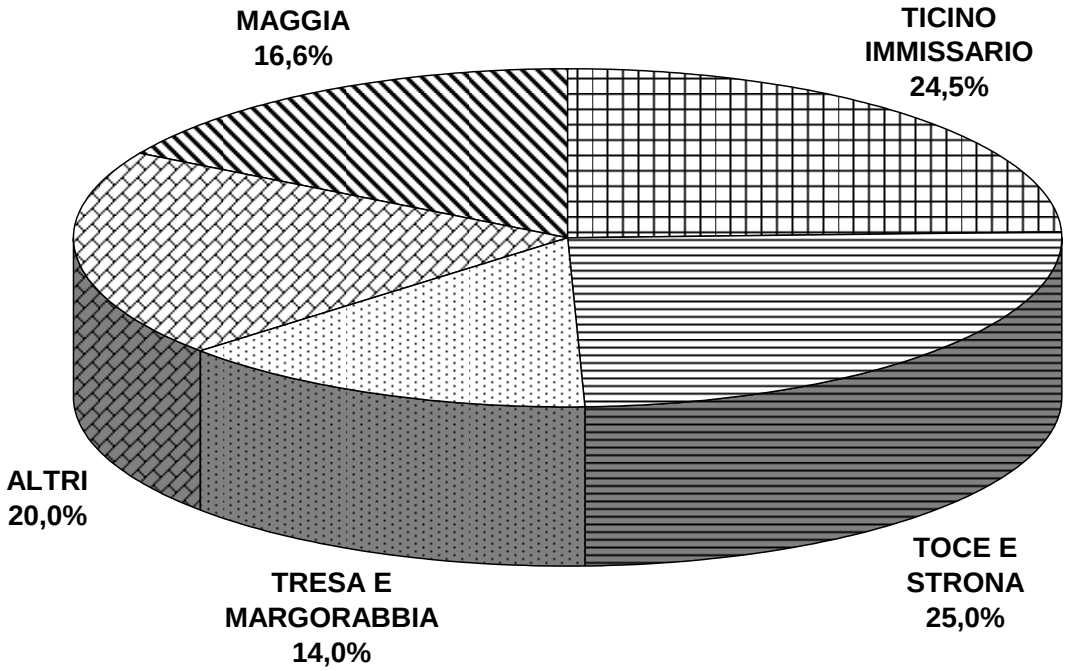


Fig. 2.3.2b. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di azoto totale dai diversi tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2006.

Tab. 2.3.2c. Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 1997-2006 del fosforo totale (t P a^{-1}).

Tributari campionati	***'97***	***'98***	***'99***	***'00***	***'01***	***'02***	***'03***	***'04***	***'05***	***'06***
Ticino Immissario	20	21	30	22	27	22	19	12	10	10
Maggia	7	9	6	11	12	20	8	5	7	7
Verzasca	1	1,7	1,2	4	2,6	5,8	2,5	1,4	1,6	2
Cannobino	1	0,8	1,2	1	1,0	1,7	1,6	1,6	2,3	2
San Giovanni	1	0,9	0,7	1	0,9	3,1	0,6	0,6	0,4	0
San Bernardino	1	0,8	1,0	2	1,4	3,4	2,0	1,2	2,5	1
Toce (Ossola + Strona)	58	65	65	99	51	57	42	43	27	26
Erno	0	0,6	0,4	1	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6	0
Vevera	1	1,2	0,6	1	0,7	0,8	1,4	0,4	0,2	0
Bardello	18	16	15	20	23	27	42	27	34	19
Boesio	12	12	13	9	6,3	7,8	6,0	14,9	9	15
Tresa	27	35	33	59	26	40	20	22	12	19
Giona	1	1,5	1,4	2	1,3	2,0	1,3	2,4	1,5	2
Tributari campionati	***148***	***165***	***169***	***231***	***153***	***191***	***148***	***132***	***108***	***102***
Areale non campionato	13	15	14	20	13	16	13	11	9	9
Totale bacino emerso	***161***	***180***	***183***	***251***	***166***	***207***	***160***	***143***	***118***	***111***
Fascia rivierasca	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Totale apporti	**219**	**238**	**241**	**309**	**224**	**265**	**218**	**201**	**176**	**169**
Uscite da emissario	93	93	109	171	114	115	84	116	65	62
Ritenzione in lago	57%	61%	55%	45%	49%	57%	61%	42%	63%	63%

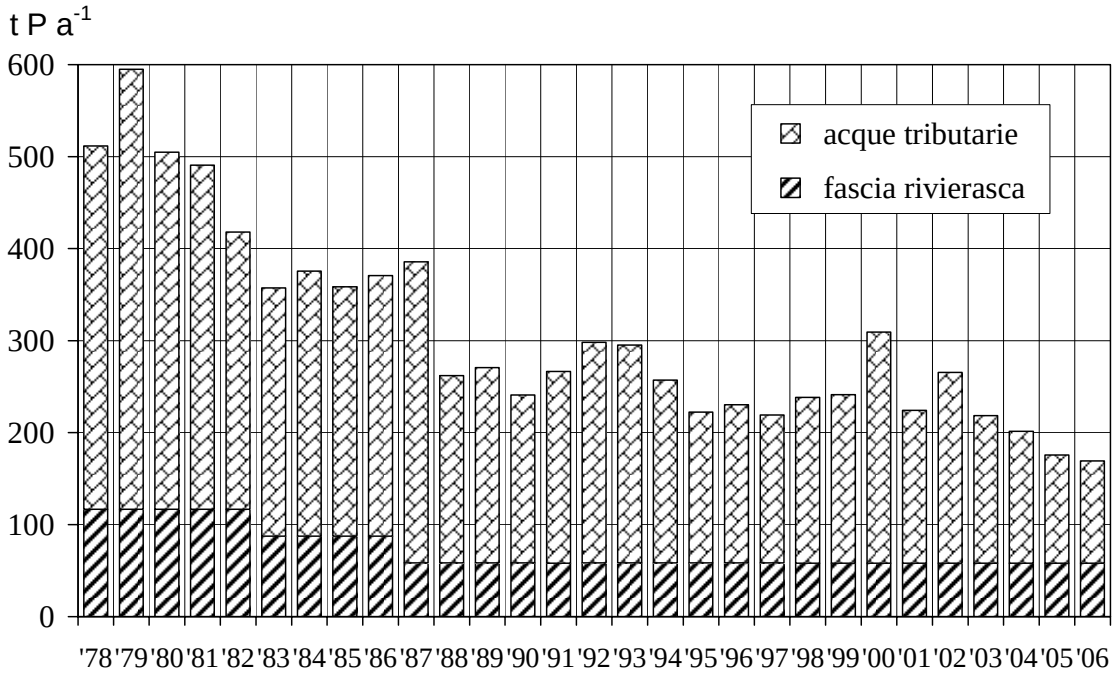


Fig. 2.3.2c. Lago Maggiore. Apporti annuali di fosforo totale al lago dall'areale emerso e dalla zona rivierasca.

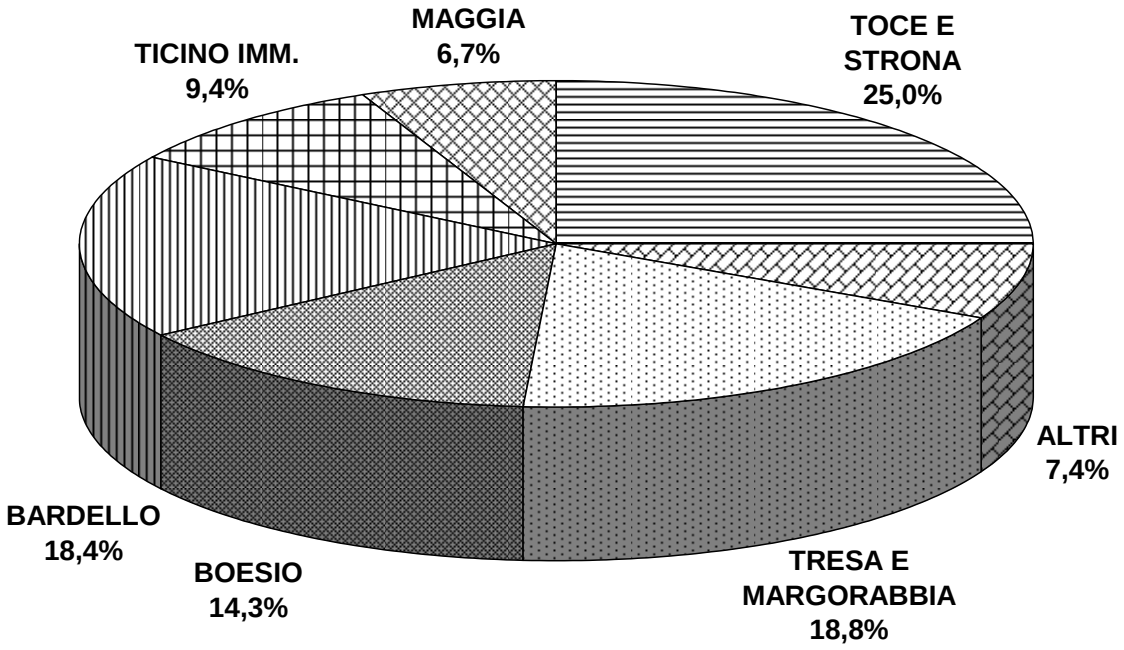


Fig. 2.3.2d. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di fosforo totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2006.

Anche considerando i carichi dei composti dell'azoto per unità di superficie drenata dalle acque tributarie (Tab. 2.3.2d), si può osservare come non si siano verificate

variazioni significative dal 2005 al 2006. Considerando i contributi totali da tutto l'areale campionato, si evidenzia una diminuzione per l'azoto organico (da 0,116 a 0,055 g N m^{-2} a^{-1}), a fronte di un lieve incremento nei carichi di azoto nitrico (da 0,686 a 0,779 g N m^{-2} a^{-1}) e ammoniacale (da 0,037 a 0,043 g N m^{-2} a^{-1}). Per il fosforo totale il contributo medio per unità di superficie del 2006 (0,017 g P m^{-2} a^{-1}) è rimasto praticamente invariato rispetto al 2005. Anche considerando i singoli corsi d'acqua non si sono riscontrate variazioni consistenti da un anno all'altro, ad eccezione di Boesio e Tresa, per i quali i carichi per unità di superficie hanno mostrato un incremento sia per quanto riguarda i composti dell'azoto che il fosforo totale (Tab. 2.3.2d e Fig. 2.3.2e). I contributi si sono invece dimezzati per il Torrente Bardello, passando da 1,65 a 0,87 g N m^{-2} a^{-1} e da 0,26 a 0,14 g P m^{-2} a^{-1}, rispettivamente (Tab. 2.3.2d e Fig. 2.3.2f).

Tab. 2.3.2d. Lago Maggiore. Contributi areali annuali (g m^{-2} a^{-1}) di azoto ammoniacale, nitrico, organico, totale e fosforo totale nel biennio 2005-2006 dai tributari campionati e dall'emissario.

		$N\text{-}NH_4$		$N\text{-}NO_3$		N_{org}		TN		TP	
		2005	*2006*	*2005*	*2006*	*2005*	*2006*	*2005*	*2006*	*2005*	*2006*
Ticino Immissario	TIM	0,031	0,028	0,600	0,729	0,086	0,025	0,717	0,781	0,006	0,006
Maggia	MAG	0,019	0,024	0,823	0,858	0,106	0,041	0,948	0,923	0,008	0,007
Verzasca	VER	0,021	0,025	0,818	0,872	0,105	0,049	0,944	0,946	0,007	0,007
Cannobino	CAN	0,077	0,086	1,689	1,640	0,304	0,144	2,070	1,870	0,021	0,019
San Giovanni	SGI	0,005	0,003	0,546	0,518	0,074	0,028	0,625	0,549	0,006	0,004
San Bernardino	SBE	0,011	0,013	0,833	1,327	0,097	0,094	0,941	1,434	0,019	0,006
Toce Ossola	TOC	0,040	0,052	0,544	0,533	0,102	0,028	0,686	0,613	0,015	0,015
Strona	STR	0,024	0,023	1,269	1,419	0,150	0,079	1,443	1,521	0,015	0,013
Erno	ERN	0,030	0,006	0,914	1,259	0,124	0,062	1,069	1,327	0,022	0,019
Vevera	VEV	0,014	0,033	0,625	0,672	0,056	0,054	0,695	0,758	0,008	0,015
Bardello	BAR	0,176	0,112	1,092	0,632	0,384	0,128	1,652	0,872	0,256	0,140
Boesio	BOE	0,173	0,266	1,676	2,817	0,334	0,398	2,183	3,481	0,192	0,323
Tresa	TRE	0,041	0,070	0,465	0,752	0,130	0,134	0,635	0,956	0,016	0,025
Giona	GIO	0,024	0,039	0,908	1,041	0,145	0,069	1,078	1,149	0,031	0,040
Totale campionati		**0,037**	**0,043**	**0,686**	**0,779**	**0,116**	**0,055**	**0,838**	**0,877**	**0,018**	**0,017**
Ticino emissario	TEM	0,012	0,019	0,544	0,540	0,128	0,080	0,682	0,640	0,010	0,009

Nonostante il calo nei contributi di fosforo e di azoto ammoniacale ed organico negli anni 2005-2006, i valori per il Torrente Boesio restano comunque elevati. Anche per quanto riguarda il Bardello, pur essendo notevolmente diminuiti nel 2006 i suoi contributi areali di fosforo ed azoto ammoniacale ed organico, lo stato qualitativo delle acque è ancora inaccettabile. È comunque da rilevare come i valori registrati nel 2006 rappresentino per quest'ultimo corso d'acqua il minimo assoluto in termini di contributi areali nell'ultimo decennio.

Assumendo come obbiettivo un contributo areale massimo di fosforo pari a 0,02 g P m^{-2} a^{-1} e tenendo conto dei suoi andamenti medi nell'ultimo triennio (Fig. 2.3.2g), i corsi d'acqua Maggia, Verzasca, Ticino immissario e S. Giovanni presentano condizioni da buone a ottime. Anche il Torrente S. Bernardino, dopo i valori piuttosto elevati registrati nel 2005, è tornato nel 2006 a condizioni più che buone per quanto riguarda i contributi di fosforo totale. La stessa conclusione può essere tratta considerando gli andamenti dell'azoto ammoniacale (Fig. 2.3.2h) ed organico (Fig. 2.3.2i). Al contrario appare sensibilmente compromessa la situazione per Giona, Vevera e Tresa, che hanno

presentato inoltre un peggioramento delle condizioni rispetto al 2005 (Fig. 2.3.2g). Infine Toce, Ossola, Strona, Erno e Cannobino presentano un certo grado di alterazione, anche se di modesta entità e in genere discontinuo.

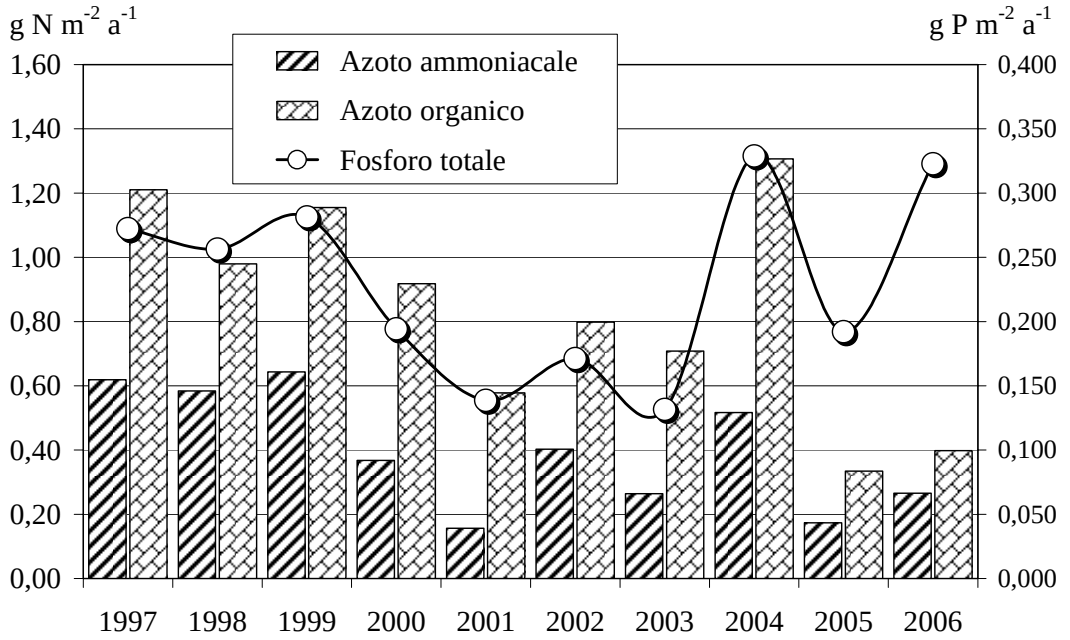


Fig. 2.3.2e. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Boesio dal 1997 al 2006.

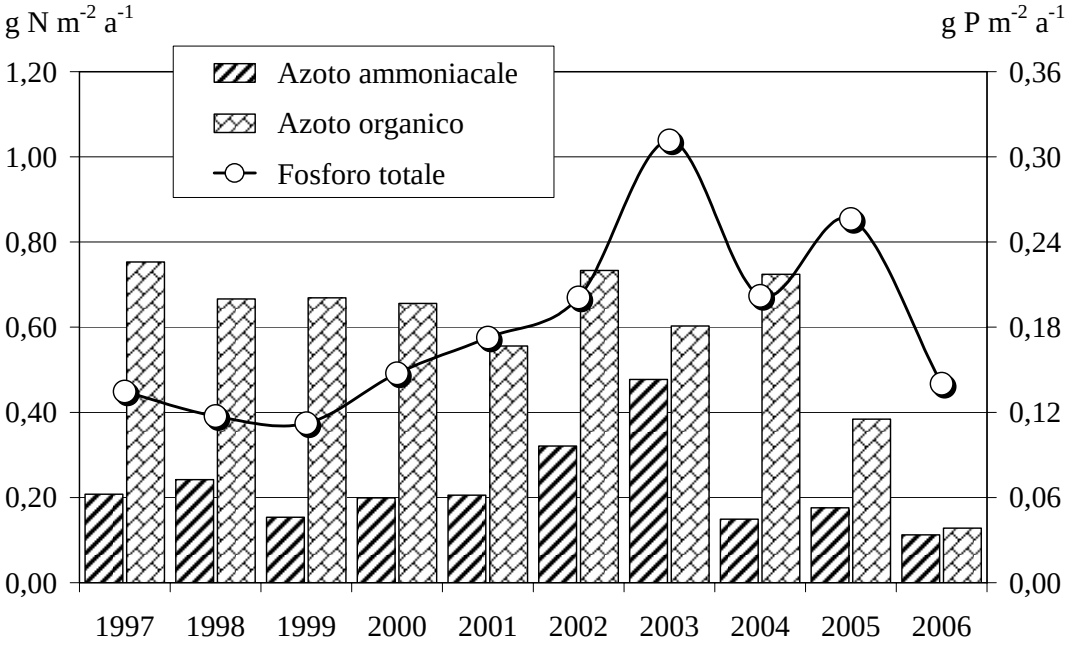


Fig. 2.3.2f. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Bardello dal 1997 al 2006.

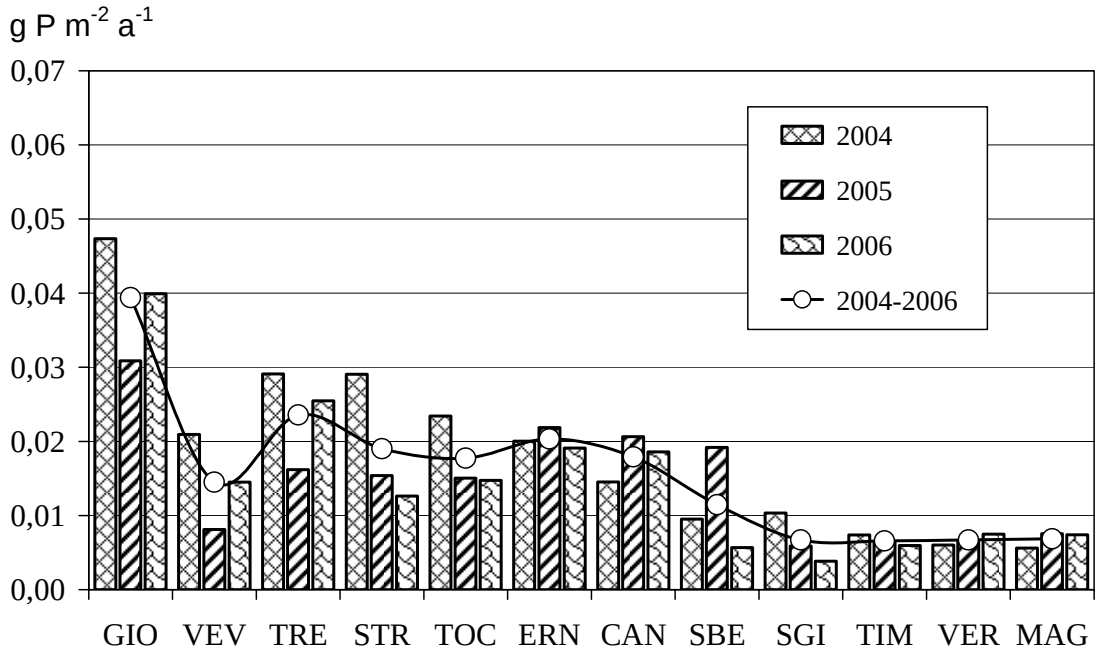


Fig. 2.3.2g. Lago Maggiore. Contributi areali di fosforo totale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2004-2006.

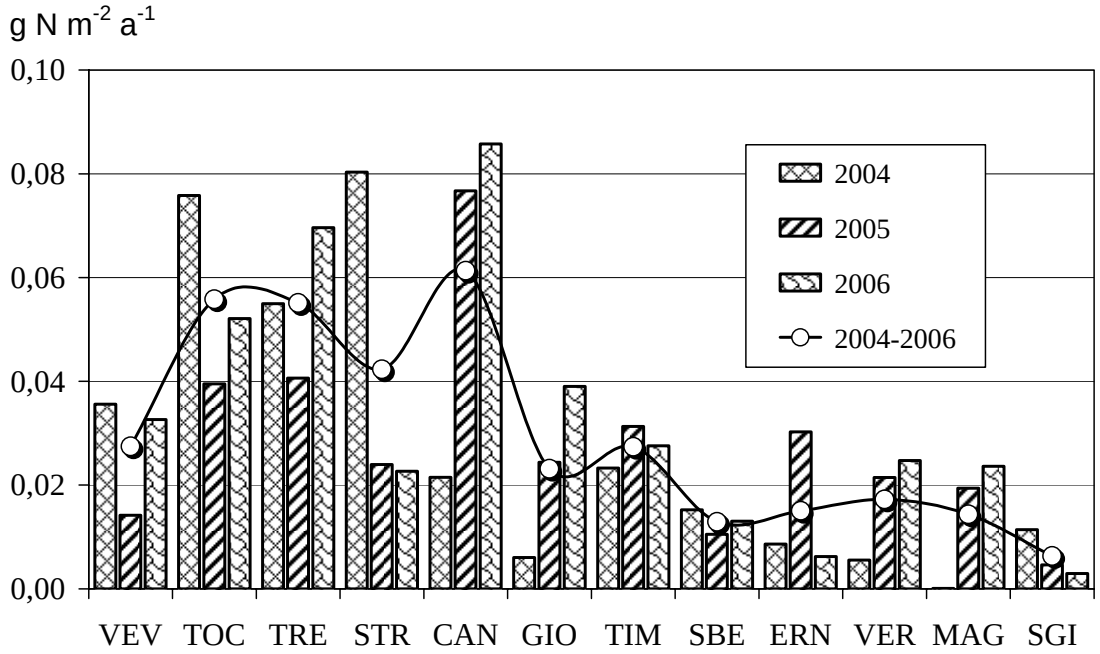


Fig. 2.3.2h. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto ammoniacale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2004–2006.

A scala regionale si riconfermano i risultati riscontrati nell'ultimo decennio: le acque tributarie ticinesi presentano una condizione ottima, quelle piemontesi moderatamente accettabile, mentre le acque lombarde, nel 2006 e più in generale nell'ultimo triennio, continuano a destare preoccupazione a causa soprattutto dei contributi di fosforo totale e

di azoto ammoniacale (Tab. 2.3.2e). Mentre per l'azoto organico, ed in misura minore per il fosforo totale, i contributi dalle acque lombarde sembrano presentare una tendenza alla diminuzione, per l'azoto ammoniacale i valori si mantengono invece costanti ed elevati, a causa soprattutto dell'aumento riscontrato per il Torrente Boesio.

Nel complesso i carichi areali di fosforo veicolati dalle acque tributarie nell'ultimo triennio (rispettivamente 0,022, 0,018 e 0,017 g P m^{-2} a^{-1}) possono essere considerati compatibili con il mantenimento di uno stato oligotrofo delle acque lacustri. Nonostante ciò i contributi da parte dei singoli tributari e la loro evoluzione temporale devono essere tenuti in debita considerazione ai fini della valutazione degli effetti sulla fascia rivierasca.

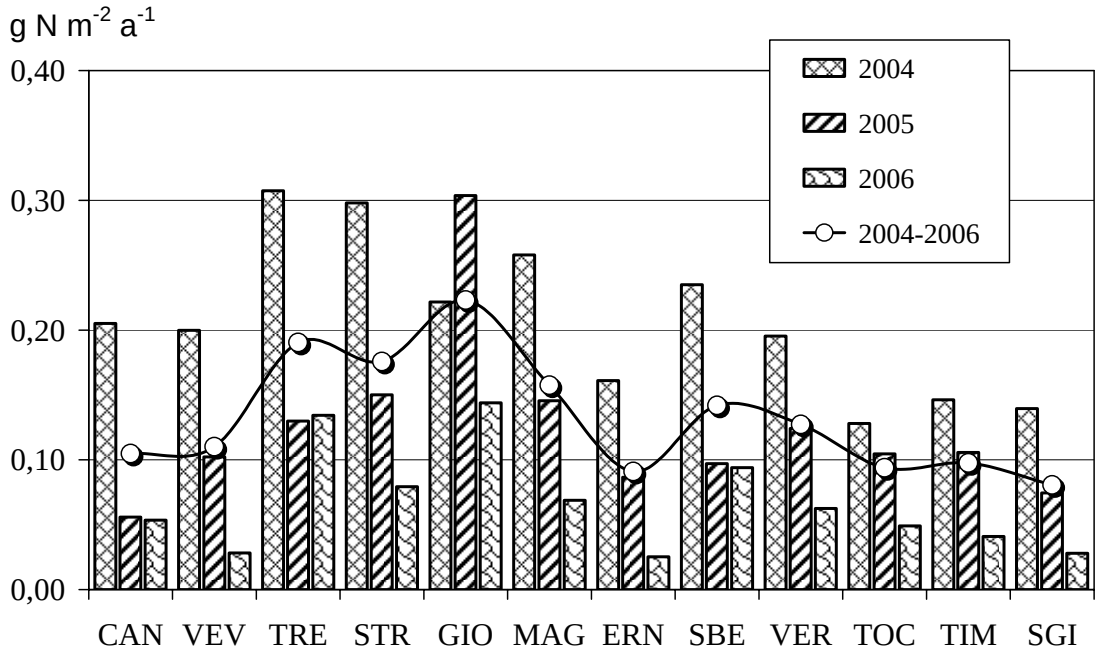


Fig. 2.3.2i. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto organico, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 2004–2006.

Tab. 2.3.2e. Contributi areali di fosforo totale (g P m^{-2} a^{-1}) ed azoto ammoniacale (g N m^{-2} a^{-1}) e organico (g N m^{-2} a^{-1}) derivanti dalle acque tributarie ticinesi, piemontesi, lombarde e totali nel triennio 2004-2006.

	2004			2005			2006		
	TP	*NH_4*	*Norg*	*TP*	*NH_4*	*Norg*	*TP*	*NH_4*	*Norg*
Cantone Ticino	0,007	0,014	0,153	0,007	0,027	0,094	0,007	0,026	0,032
Piemonte	0,022	0,067	0,212	0,015	0,037	0,116	0,014	0,046	0,044
Lombardia	0,067	0,087	0,408	0,058	0,064	0,175	0,056	0,083	0,142
Acque tributarie	0,022	0,045	0,217	0,018	0,037	0,116	0,017	0,043	0,055

2.3.3. Carbonio Organico Totale (TOC)

Gli apporti di sostanza organica alloctona al Lago Maggiore sono stati misurati come carbonio organico totale (TOC) presente nelle acque degli stessi corsi d'acqua già presi in considerazione per la stima degli apporti inorganici.

Le concentrazioni di TOC, in mg C l^{-1}, misurate in ciascun campionamento sono presentate nella tabella 2.3.3. Le concentrazioni di TOC nelle acque dei fiumi Tresa e, in particolare, Boesio e Bardello hanno presentato, come in passato, valori più elevati rispetto a quelli delle acque pelagiche del Lago Maggiore. Le concentrazioni di TOC misurate nel corso del 2006 hanno mostrato, come si può vedere dalla tabella, una media annua generalmente prossima a quella del 2005. L'immissione di acque ad elevato contenuto di carbonio organico da parte dei fiumi Boesio, Bardello e Tresa andrebbe indagata, come già affermato in passato, più in dettaglio per individuare se il carico organico trasportato da tali fiumi sia costituito da sostanze mineralizzabili, bioattive o tossiche.

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

2006	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	**Av 06**	**Av 05**
Verzasca	0,47	0,54	0,63	0,54	0,70	1,10	0,72	0,77	0,97	0,89	0,65	0,77	**0,73**	**0,8**
Cannobino	0,72	0,76	0,87	0,55	0,72	1,19	1,37	1,31	0,55	1,35	0,77	0,90	**0,92**	**1,0**
Erno	0,65	0,97	0,96	0,70	0,87	1,16	1,46	1,04	0,98	0,99	0,96	1,11	**0,99**	**1,3**
Ticino E.	0,78	1,05	0,75	0,56	0,87	1,16	1,26	1,20	0,89	0,92	1,11	0,86	**0,95**	**1,0**
Giona	0,51	0,64	0,61	0,65	0,69	0,67	1,23	1,07	0,60	0,84	0,70	0,79	**0,75**	**0,9**
Maggia	0,54	0,45	0,57	0,68	0,63	0,67	0,71	0,75	0,69	0,64	0,63	0,66	**0,64**	**0,7**
Ticino I.	0,42	0,43	0,43	0,51	0,65	0,53	0,54	0,64	0,32	0,73	0,61	0,86	**0,55**	**0,6**
S. Giovanni	0,67	0,87	0,78	0,40	0,82	1,05	1,36	1,40	0,67	0,72	0,79	1,57	**0,93**	**1,1**
S. Bernardino	0,54	0,75	0,68	0,25	0,64	0,82	1,08	1,14	0,39	0,64	0,73	0,96	**0,72**	**0,7**
Toce	0,50	0,67	0,57	0,35	0,74	0,67	0,52	0,92	0,41	0,75	0,58	0,81	**0,62**	**0,7**
Strona	0,67	0,99	0,64	0,28	0,75	0,89	0,75	1,07	0,39	0,65	0,65	1,06	**0,73**	**0,9**
Tresa	1,38	1,80	1,33	1,15	1,57	1,63	1,61	2,02	1,03	1,68	1,72	1,57	**1,54**	**1,6**
Boesio	4,94	4,60	6,12	2,87	3,63	5,34	4,48	2,63	2,84	2,40	6,82	6,08	**4.40**	**3,8**
Bardello	3,95	4,16	4,44	4,27	3,64	4,71	4,08	2,99	3,08	2,58	3,62	3,41	**3,74**	**4,1**
Vevera	0,76	1,32	0,69	0,73	0,88	0,92	1,03	1,50	0,75	2,22	0,84	0,88	**1,04**	**1,1**

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO

3.1. Limnologia fisica

Si analizzano, in prosecuzione ed in continuità con quanto svolto negli anni precedenti, i principali parametri fisici che hanno caratterizzato le acque del Lago Maggiore durante il 2006. Ciò consentirà, di verificare gli aspetti più importanti dell'idrodinamica lacustre. In particolare sarà possibile accertare la profondità raggiunta dalla circolazione tardo-invernale, di definire i meccanismi di stratificazione e destratificazione termica e di valutare la dinamica del riscaldamento delle acque superficiali e profonde.

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

- 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

	2006 (m s.l.m.)		1952-2005 (m s.l.m.)	
livello medio annuo	193,49		193,87	
livello minimo	192,55	9 Dic	192,38	18 Mar 1956
livello massimo	194,62	9 Gen	197,86	17 Ott 2000
livello medio invernale	194,74		193,92	
livello medio primaverile	193,79		193,86	
livello medio estivo	193,08		193,89	
livello medio autunnale	193,79		193,83	
escursione massima giornaliera	0,60	17-18 Ago	1,89	30 Nov – 1 Dic 2003
escursione massima mensile	1,27	Ago	4,04	Set 1981
escursione massima annua	2,06		5,14	2000

Durante il 2006 il livello medio del lago (193,49 m s.l.m.) è stato nettamente inferiore alla media degli anni precedenti (193,87 m s.l.m.) con un divario di 38 cm, il che corrisponde ad un volume d'acqua di circa 81 milioni di metri cubi; tale valore rappresenta la terza media annuale più bassa della serie pluriennale di osservazioni a Pallanza. Anche tutte le medie stagionali del 2006 (riportate all'anno meteorologico) sono state più basse rispetto alle corrispondenti del periodo di riferimento, in particolare quella invernale con -1,18 m (superiore solo al valore del 1965 di 192,68 m s.l.m.) e

quella estiva che con un deficit di livello di 0,81 m costituisce il terzo valore più basso del periodo di confronto. Per quanto riguarda il regime idrometrico mensile la figura 3.1.1 evidenzia una marcata doppia ciclicità con i due massimi, in Aprile (193,94 m s.l.m.) ed in Dicembre (194,34 m s.l.m.) e con un minimo principale in Gennaio (192,61 m s.l.m.) ed uno secondario in Luglio (192,85 m s.l.m.). Quanto ai dati giornalieri è da rilevare che il livello del lago si è mantenuto per i primi 50 giorni dell'anno sotto i 193,0 m s.l.m. (considerata soglia di magra), con un minimo di 192,55 m s.l.m. (9 Gennaio) e per un periodo di 30 giorni durante il quale i deflussi attraverso la diga della Miorina sono risultati anche il triplo degli afflussi al lago. Così nei mesi estivi quando la magra è durata dal 21 Giugno al 17 Agosto, con il minimo il 15 Agosto di 192,63 m s.l.m. Difficile rendere conto di una situazione tanto anomala alla quale hanno senza dubbio concorso le scarse precipitazioni dell'anno e, in particolare quelle di Giugno, ma sulla quale ha fortemente inciso la gestione delle opere idrauliche a monte e a valle del lago. Quanto alla quota massima è stata rilevata il 9 Dicembre con 194,62 m s.l.m.: l'escursione annua è stata quindi di 2,06 m.

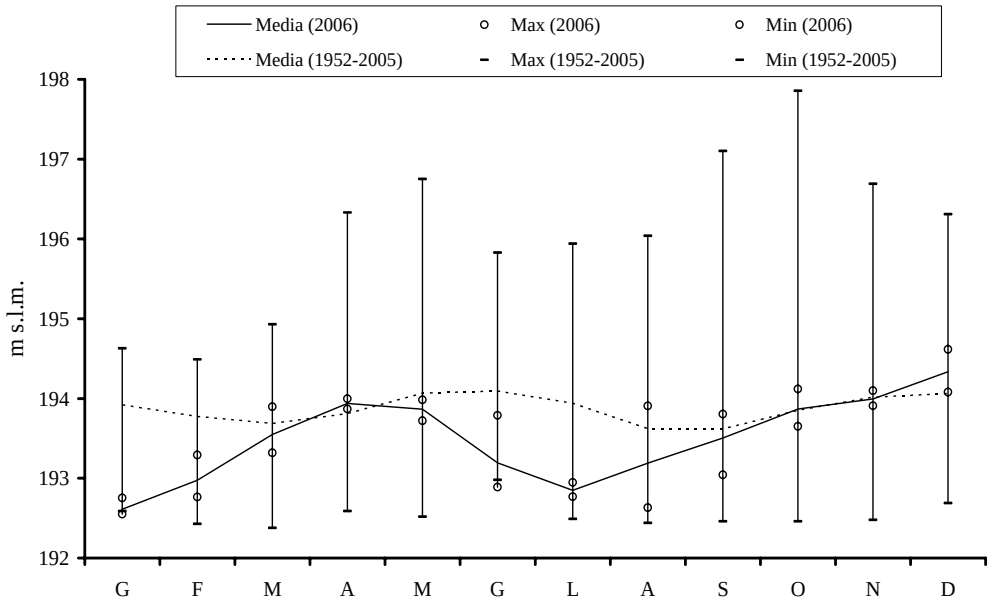


Fig. 3.1.1. Lago Maggiore 2006. Regimi mensili dei livelli, valori estremi di ciascun mese e confronto con il periodo 1952-2005.

3.1.2. Trasparenza delle acque lacustri

Il quadro annuale riguardante la trasparenza delle acque del Lago Maggiore è stato definito come di consueto dai rilevamenti di scomparsa del disco di Secchi, eseguiti con cadenza circa decadici. I dati relativi all'anno 2006 sono riportati in figura 3.1.2. La sua variazione nell'arco annuale ha seguito, per grandi linee, un andamento normale, essenzialmente legato, come è noto, al ciclo di produzione algale. I massimi valori di profondità della scomparsa del disco compresi tra 16 e 17 m si sono raggiunti tra fine Febbraio e metà Marzo. Queste profondità, seppur inferiori al valore massimo del 2005 (19,5 m), sono comunque notevoli e come si è detto legate alla scarsa produzione algale, dovuta sia alla bassa radiazione solare che alle basse temperature di questo periodo che allo scarso apporto di materiale in sospensione per la secca invernale dei fiumi. I valori minimi compresi tra 4,5 e 5,5 m si sono avuti nella tarda primavera e inizio estate e sono indicativi dell'aumento dell'intensità produttiva del lago in questo periodo.

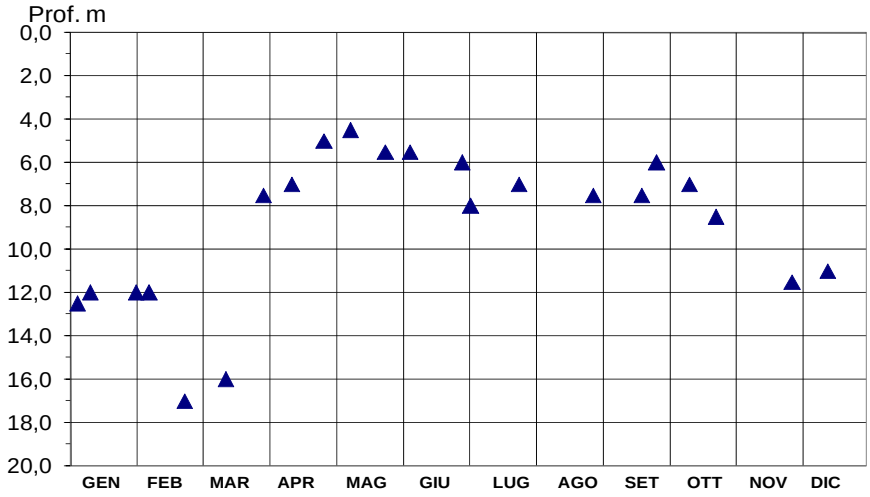


Fig. 3.1.2. Lago Maggiore 2006. Andamento della trasparenza (disco di Secchi).

3.1.3. Temperatura delle acque lacustri

3.1.3.1. Acque superficiali

Le isoterme tracciate in figura 3.1.3.1 si riferiscono alla situazione termica riscontrata nello strato superficiale (0-20 m) del Lago Maggiore nel corso del 2006. Rispetto all'anno precedente si deve rilevare che esso ha subito, nel periodo invernale ed inizio primavera un generale raffreddamento, quantizzabile mediamente in 0,4–0,5 °C. Nel mese di Febbraio le isoterme indicano una omogeneizzazione dello strato ad una temperatura di 6,29 °C mentre nei mesi successivi si assiste ad un graduale aumento termico, simile a quello del 2005 sino gli inizi di Giugno, ma che poi si spinge a maggiore profondità sino ad interessare tutti i 20 metri superficiali.

Infatti sebbene la temperatura più elevata (24,5 °C) è stata misurata nei primissimi strati il 31 Luglio, con un mese circa di ritardo rispetto al 2005, le isoterme 24 °C, 23 °C e 22 °C si spingono, nei mesi estivi, a profondità superiori di 5 metri rispetto a quelle rilevate nell'anno precedente. Il riscaldamento continua anche in autunno ed all'inizio

dell'inverno l'isoterma 15 °C si spinge a Settembre oltre i 20 m. mentre a Dicembre è ancora presente l'isoterma 11 °C totalmente assente nel 2005.

Da rilevare infine, che un confronto con la situazione media del periodo 1963-2005 rivela nei primi tre mesi un lieve raffreddamento entro tutto lo strato superficiale mentre negli ultimi tre si assiste ad un incremento di temperatura di circa 1-2 °C; tutto ciò in linea con l'incremento di radiazione solare e di temperatura atmosferica di questo periodo, come rilevato nel capitolo riguardante la meteorologia.

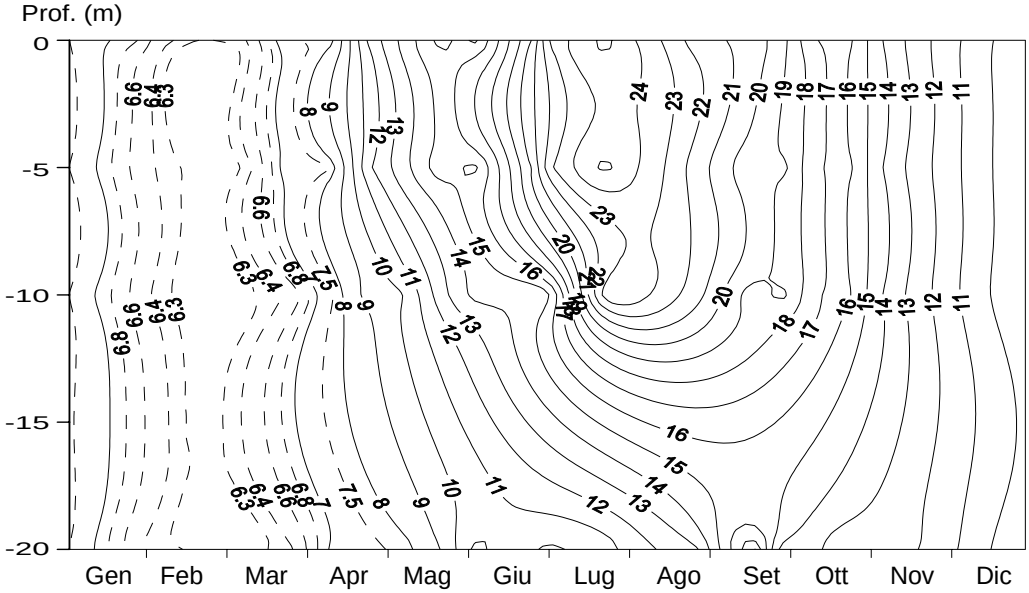


Fig. 3.1.3.1. Lago Maggiore 2006. Isoterme nello strato superficiale (°C).

3.1.3.2. Acque profonde

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

La considerazione più importante che si ricava dal suo esame riguarda il netto raffreddamento di tutta la massa lacustre nel periodo invernale che è poi proseguito nello strato ipolimnico per gran parte dell'anno: era dall'inverno 1991 che non si misuravano temperature così basse nelle acque del Lago Maggiore. Ciò ha comportato (rilevamento del 22 Febbraio) una completa omogeneizzazione della massa lacustre ad una temperatura di 6,29 °C. Il raffreddamento del 2006, è testimoniato dal fatto che l'isoterma 6,3 °C, presente nel 2005 sotto i -250 m non ha superato nel 2006 i 150 metri e le isoterme 6,2 °C e 6,25 °C, assenti nell'anno precedente, hanno occupato un ampio volume di acqua profonda sino alla fine dell'anno.

Il cospicuo raffreddamento delle acque del lago nei mesi iniziali del 2006 è dovuto oltre che alle basse temperature atmosferiche di Gennaio e della prima decade di Marzo (come sottolineato nel capitolo riguardante la meteorologia) anche ai cospicui afflussi a lago con temperature molto basse, mentre il raffreddamento dell'ipolimnio in Aprile deve fare riferimento all'acqua proveniente dalla fusione delle nevi scesa nella parte più profonda del lago.

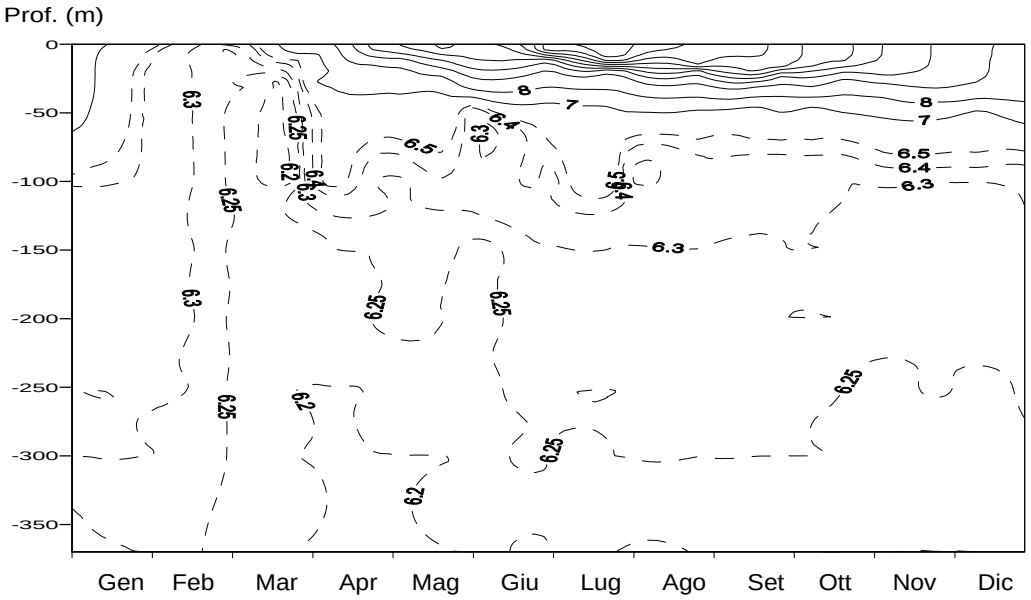


Fig. 3.1.3.2. Lago Maggiore 2006. Isoterme lungo l'intera colonna (°C).

3.1.4. Ossigenazione delle acque profonde

Durante le 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 presenti nella massa lacustre, valori che qui sono utilizzati esclusivamente come indicatori di processi relativi all'idrodinamica lacustre, in particolare il mescolamento verticale tardo invernale. Le linee di ugual concentrazione di O_2 tracciate per il 2006 (Fig. 3.1.4) pongono in evidenza una notevole ossigenazione dell'acqua ipolimnica con valori superiori al 9 mg l^{-1}.

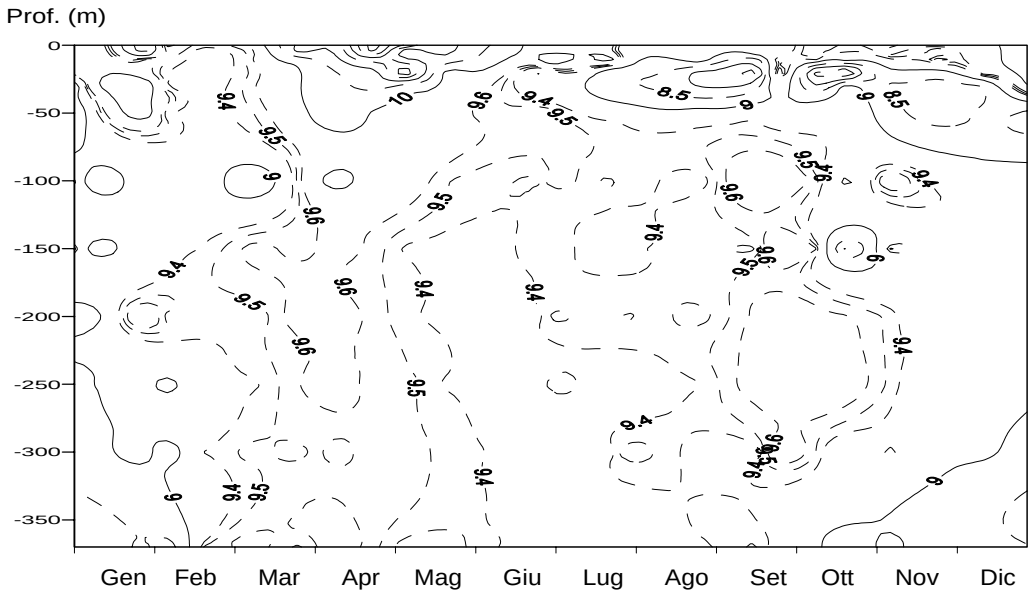


Fig. 3.1.4. Lago Maggiore 2006. Andamento delle concentrazioni di ossigeno disciolto lungo l'intera colonna (mg l^{-1}).

In Gennaio e sino ad inizio Febbraio persisteva sotto i 350 metri di profondità una concentrazione di ossigeno compresa tra 8,0 e 8,6 mg l^{-1} che in seguito al mescolamento, di Febbraio di cui si è detto, ha raggiunto una concentrazione entro tutta la colonna di 9,4 e 9,5 mg l^{-1} per poi mantenersi all'incirca sugli stessi livelli per tutto l'anno, con una leggera diminuzione a 8,5 mg l^{-1}, sotto i 300 metri in Novembre e Dicembre.

3.1.5. Bilancio termico

Il bilancio calorico su base mensile del Lago Maggiore nel 2006 è stato determinato, con la metodica usuale [1] e [2] già descritta nei precedenti rapporti annuali. Essa elabora i dati meteorologici raccolti nella stazione di Pallanza, nonché quelli limnologici misurati direttamente in lago nel punto di massima profondità attraverso l'equazione generale del bilancio espressa come segue:

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

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

I valori di questi parametri per il 2006 espressi in cal cm^{-2} d^{-1} unitamente a quelli relativi alla radiazione solare effettiva $Q_{se}=Q_s-Q_r$, alla radiazione netta $Q_N= Q_s - Q_r - Q_b$ ed a $R =Q_h / Q_e$ (rapporto di Bowen) sono riportati nella tabella 3.1.5.

Tab. 3.1.5. Lago Maggiore 2006. Quantità energetiche del bilancio calorico (cal cm^{-2} d^{-1}).

	Q_s	Q_r	Q_{se}	Q_b	Q_N	Q_t	Q_e	Q_h	R
Gen	131	18	113	185	-72	-245	104,4	69	0,66
Feb	174	19	155	148	7	-153	112,0	48	0,43
Mar	307	28	280	135	145	-35	201,6	-21	-0,11
Apr	415	33	382	94	288	220	205,7	-138	-0,67
Mag	442	31	411	99	312	227	125,3	-41	-0,32
Giu	574	40	534	87	447	283	346,4	-182	-0,53
Lug	550	38	511	88	424	271	168,8	-16	-0,09
Ago	437	31	406	130	276	133	132,5	10	0,08
Set	309	28	281	67	214	14	190,7	9	0,05
Ott	206	21	185	143	42	-221	215,1	48	0,22
Nov	133	17	116	157	-41	-274	178,2	54	0,30
Dic	103	15	87	143	-55	-152	58,6	38	0,65

Dall'esame dei dati relativi alle componenti del bilancio calorico (Tab. 3.1.5) risulta, che nei primi due mesi dell'anno, le perdite di calore sono state leggermente superiori alla media mentre in Marzo la diminuzione è risultata più consistente (-35 cal cm^{-2} d^{-1})

molto vicina al minimo assoluto del 1986 (-48 cal cm^{-2} d^{-1}). Dopo un elevato immagazzinamento di 220 cal cm^{-2} d^{-1} in Aprile si hanno valori nella media sino a Settembre. In Ottobre, con -221 cal cm^{-2} d^{-1} (nuovo minimo per questo mese) e Novembre, -274 cal cm^{-2} d^{-1}, si hanno notevoli perdite di calore mentre limitata risulta quella di Dicembre (-152 cal cm^{-2} d^{-1}).

Per Q_{se} è da rilevare il valore di Giugno che con 534 cal cm^{-2} d^{-1} costituisce il secondo valore più elevato dopo quello del 1976 (554 cal cm^{-2} d^{-1}) mentre negli altri mesi dell'anno si hanno valori vicini alla media pluriennale.

Per quanto riguarda le altre componenti del bilancio sono da segnalare il minimo assoluto di Q_b in Dicembre (143 cal cm^{-2} d^{-1}) e quello di Luglio (88 cal cm^{-2} d^{-1}). Troviamo per Q_N nuovi massimi in Luglio 424 cal cm^{-2} d^{-1}, Settembre 214 cal cm^{-2} d^{-1} e Dicembre -55 cal cm^{-2} d^{-1}, per contro in Gennaio con -72 cal cm^{-2} d^{-1} si sfiorano i minimi assoluti. Il calore utilizzato nei processi evaporativi (Q_e) mostra una serie di nuovi massimi in Giugno e da Settembre a Novembre e nella media negli altri mesi dell'anno

Il bilancio termico del lago (Fig. 3.1.5a) oltre a porre in evidenza le irregolarità sopra descritte, permette di rilevare come nel ciclo stagionale il netto di energia radiante Q_N abbia indicato valori positivi a partire da Febbraio e che il lago inizia a immagazzinare calore solo in Aprile. Dopo una fase di leggero rallentamento (Maggio) l'accumulo di calore assume ben presto maggiore consistenza e con il progredire della stagione calda, raggiunge il suo massimo in Giugno per esaurirsi in Settembre e subire una notevole diminuzione in Ottobre e Novembre.

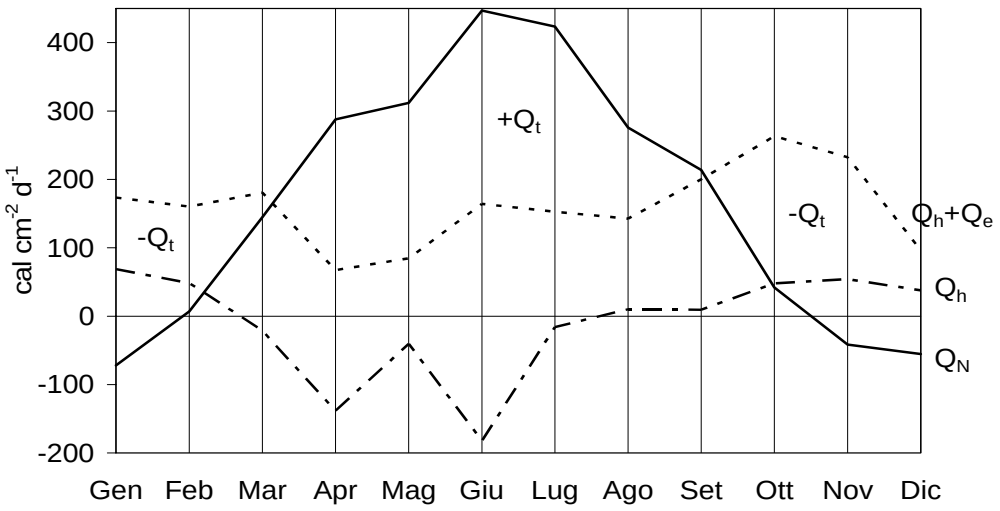


Fig. 3.1.5a. Lago Maggiore 2006. Bilancio termico.

Per quanto riguarda il contenuto energetico totale nella massa lacustre, nel corso del 2006 si distinguono tre fasi. Durante i primi tre mesi dell'anno la notevole cessione di calore (avvenuta anche in Marzo quando solitamente si ha un immagazzinamento di calore) porta il contenuto totale nella massa d'acqua su livelli uguali a quelli della seconda metà degli anni ottanta (111.945 cal cm^{-2}). Una seconda che si protrae da Aprile sino a Settembre quando si raggiunge il massimo contenuto calorico dell'anno con 147.002 cal cm^{-2} vicino ai valori del 2001. La fase di raffreddamento si ha in

Ottobre e Novembre (la perdita nei due mesi è di 15.000 cal cm^{-2}) per cui l'anno termina con un contenuto di 127.234 cal cm^{-2} , cioè su valori molto più elevati dell'anno precedente (124.939 cal cm^{-2}) e con un bilancio di 35.055 cal cm^{-2}, che è il più elevato dal 1963.

Il quadro di sintesi dei flussi di calore che hanno attraversato, durante l'anno ciascun piano batimentrico del lago è rappresentato in figura 3.1.5b; l'immagazzinamento è come al solito rappresentato dall'area a fondo chiaro, mentre quelle scure sono indice di perdita di calore. Il predominare delle seconde nella prima parte dell'anno evidenzia come sino a Marzo si ha una perdita di calore entro tutta la colonna d'acqua, in Aprile invece la perdita interessa gli strati sotto i 50 metri di profondità, mentre a Maggio una leggera perdita la si ritrova al di sotto dei 300 metri.

Per contro, nella stessa figura è evidente un cospicuo accumulo di calore in primavera e all'inizio dell'estate, infatti a -250 m troviamo a Maggio-Giugno l'isolinea 5 cm^{-2} d^{-1} che nell'anno precedente si fermava a soli -150 m. È pure visibile un accumulo di calore nel periodo autunnale e a Dicembre rappresentato da area di riscaldamento. Quest'ultimo fatto è dovuto principalmente alle condizioni meteo di questi ultimi mesi dell'anno che come descritto nel capitolo riguardante la meteorologia indicano un aumento di circa 2 °C circa rispetto alla media del periodo 1951-2005.

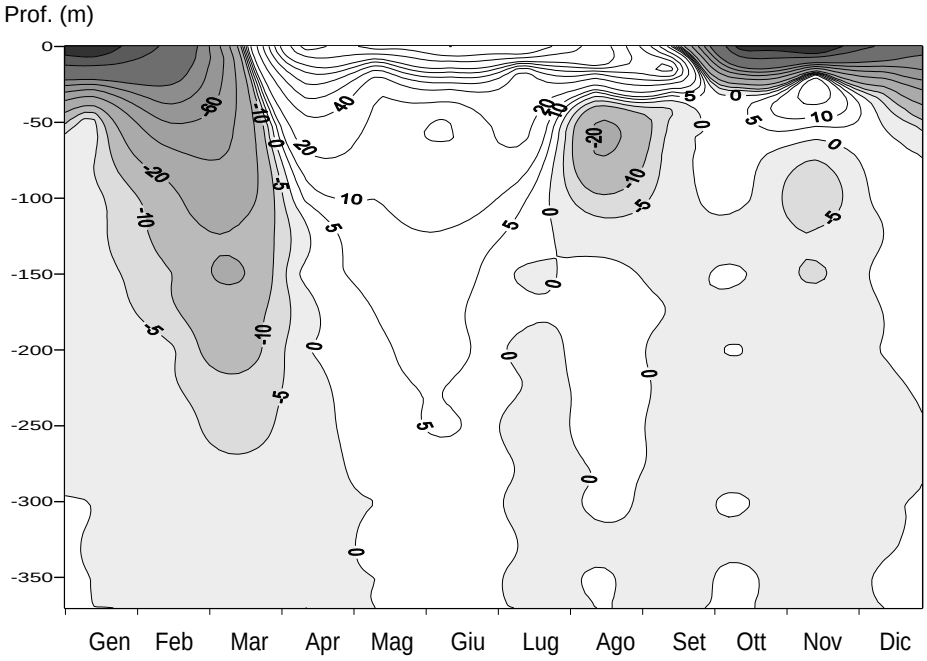


Fig. 3.1.5b. Lago Maggiore 2006. Flussi di calore. Le isolinee sono quotate in cal cm^{-2} d^{-1}.

3.1.6. Profondità di mescolamento

Chiaramente al termine dell'inverno limnologico 2005-2006 il Lago Maggiore ha subito un mescolamento completo, così come indicano i valori di temperatura e di concentrazione di ossigeno rilevati entro tutta la colonna d'acqua il 22 Febbraio. Da rilevare però che l'applicazione della formulazione proposta da Ambrosetti, Barbanti e Rolla [3] dove vengono presi in considerazione i parametri meteorologici innescanti il meccanismo convettivo di mescolamento verticale (vento, temperatura atmosferica e

radiazione solare) dà come risultato una profondità di poco più di 90 metri, in netta contraddizione con i dati sperimentali. Si presume quindi, vista l'assenza quasi totale di vento filato superiore ai 50 km nei mesi di Gennaio e Febbraio, che l'omogeneizzazione della massa lacustre sia avvenuta attraverso altri meccanismi già per altro previsti [4]. Il più plausibile sembra quello indotto dal notevole afflusso di acqua a lago che nel periodo precedente il 22 Febbraio ha superato per alcuni giorni i 250 m^3 s^{-1} con una temperatura media affluita inferiore a 4 °C: questa notevole quantità di acqua che ha innalzato di 40 cm il livello del lago si è distribuita entro tutta la massa lacustre determinandone una completa omogeneizzazione.

3.2. Chimica lacustre

3.2.1. Chimismo di base

Nel corso dell'anno 2006 i campionamenti nella zona di massima profondità del Lago Maggiore (bacino di Ghiffa) sono stati effettuati con cadenza mensile alle seguenti profondità: -5, -10, -20, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 metri. In aggiunta a questi prelievi, il 14 Marzo e il 27 Settembre è stato eseguito un campionamento (superficie, -5, -10, -20, -30, -50, -100 metri) nella stazione di Lesa, collocata nella parte meridionale del lago, al fine di valutarne le possibili differenze con la zona settentrionale.

Nella tabella 3.2.1 sono riportati i valori di pH, conducibilità ed il bilancio ionico relativi al quinquennio 2002-2006 per la stazione di Ghiffa e agli anni 2003-2006 per quella di Lesa. La figura 3.2.1a mostra invece la ripartizione percentuale dei diversi ioni nel campionamento del Marzo 2006. I dati si riferiscono in entrambi i casi a valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo delle misure effettuate nel mese di Marzo, in corrispondenza della massima estensione verticale del mescolamento tardo invernale.

Tab. 3.2.1. Bilancio ionico (meq l^{-1}), pH e conducibilità a 20 °C (µS cm^{-1}) alla circolazione primaverile delle acque del Lago Maggiore (valori medi ponderati sui volumi) nelle stazioni di Ghiffa e Lesa.

	GHIFFA					LESA			
	18.03.02	17.03.03	15.03.04	14.03.05	13.03.06	18.03.03	16.03.04	15.03.05	14.03.06
HCO_3^-	0,82	0,80	0,81	0,81	0,82	0,79	0,82	0,81	0,82
SO_4^{--}	0,61	0,58	0,60	0,61	0,63	0,55	0,61	0,60	0,63
Cl^-	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07
NO_3^-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Σ anioni	**1,56**	**1,51**	**1,54**	**1,55**	**1,58**	**1,46**	**1,56**	**1,54**	**1,58**
Ca^{++}	1,10	1,06	1,11	1,13	1,13	1,02	1,12	1,12	1,16
Mg^{++}	0,29	0,29	0,29	0,31	0,31	0,28	0,29	0,30	0,31
Na^+	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12	0,12
K^+	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Σ cationi	**1,54**	**1,50**	**1,56**	**1,59**	**1,60**	**1,45**	**1,58**	**1,58**	**1,63**
Σ ioni	**3,10**	**3,01**	**3,10**	**3,14**	**3,18**	**2,91**	**3,14**	**3,11**	**3,21**
pH	7,34	7,39	7,30	7,38	7,45	7,57	7,49	7,49	7,42
Conducibilità	146	143	147	147	148	142	149	146	150

Il contenuto ionico delle acque è rappresentato in misura preponderante da calcio tra i cationi e bicarbonati tra gli anioni, che insieme costituiscono più del 90% del totale. Le altre specie ioniche contribuiscono in misura compresa tra l'1 ed il 4%. In base ai dati raccolti nella stazione di Ghiffa, la composizione ionica delle acque lacustri è rimasta pressoché invariata nel quinquennio 2002-2006: sia le concentrazioni degli ioni principali che i valori medi di pH e conducibilità mostrano infatti variazioni contenute da un anno all'altro. Il contenuto ionico totale si è mantenuto attorno a 3,10 meq l^{-1}, il pH tra 7,30 e 7,40 e la conducibilità attorno a 145 µS cm^{-1} a 20°C. L'anno di studio ha presentato un valore di pH (7,45) ed un contenuto ionico totale (3,18 meq l^{-1}) leggermente superiori rispetto agli anni precedenti, ma comunque nei limiti della variabilità interannuale normalmente riscontrata nella chimica delle acque lacustri.

Confrontando la stazione di Ghiffa, a centro lago, con quella di Lesa, non si sono riscontrate differenze significative: le concentrazioni degli ioni principali ed i valori di pH e conducibilità nel 2006 sono risultati pressoché identici nelle due stazioni. Osservando i dati del periodo 2003-2006, si può osservare come a Lesa il contenuto ionico totale delle acque e la conducibilità siano andati leggermente aumentando (da 2,9 a 3,2 meq l^{-1} e da 142 a 150 µS cm^{-1} a 20°C, rispettivamente), a fronte di una lieve diminuzione riscontrata invece nei valori di pH (Tab. 3.2.1).

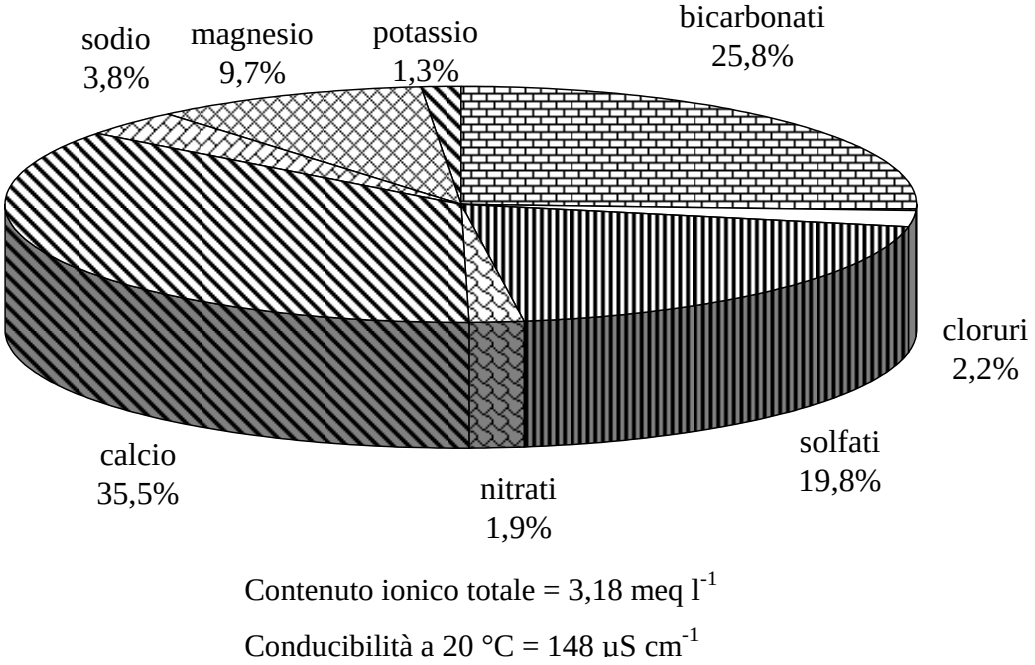


Fig. 3.2.1a. Lago Maggiore: ripartizione percentuale dello spettro ionico e valori medi di pH e conducibilità al 13 Marzo 2006 (valori medi ponderati sui volumi alla circolazione primaverile nella stazione di massima profondità).

La figura 3.2.1b riporta gli andamenti dei valori medi di pH nello strato epilimnico ed ipolimnico e quello dell'ossigeno in epilimnio, espresso come percentuale di saturazione, nel periodo 1997-2006. Le variazioni stagionali di questi due parametri dipendono dai processi fotosintetici che avvengono nelle acque superficiali e dal rimescolamento delle acque. I massimi di pH e di ossigeno vengono rilevati nelle acque superficiali nei mesi estivi, a causa dello sviluppo delle alghe fitoplanctoniche e quindi della produzione di ossigeno da parte dei processi fotosintetici. I massimi estivi di pH sono in genere compresi tra 8,3 e 8,5, mentre i minimi dei mesi invernali sono pari a 7,3-7,4. Solo nel corso dell'inverno 1998-99, in occasione di un evento di circolazione completa delle acque, si è registrato un minimo di 7,1 unità di pH.

L'ossigeno in superficie raggiunge in genere valori di 110-115% come percentuale di saturazione nei mesi di Luglio e Agosto, per poi scendere a 75-80% nel periodo invernale. Anche nel caso di questa variabile, la circolazione dell'inverno 1998-99 ha determinato dei valori minimi invernali inferiori alla norma (65-70%). Un'altra situazione particolare è stata riscontrata nell'estate del 2003, quando le elevate

temperature hanno fatto registrare valori superiori alla media sia di pH (8,5) che di ossigeno (120%).

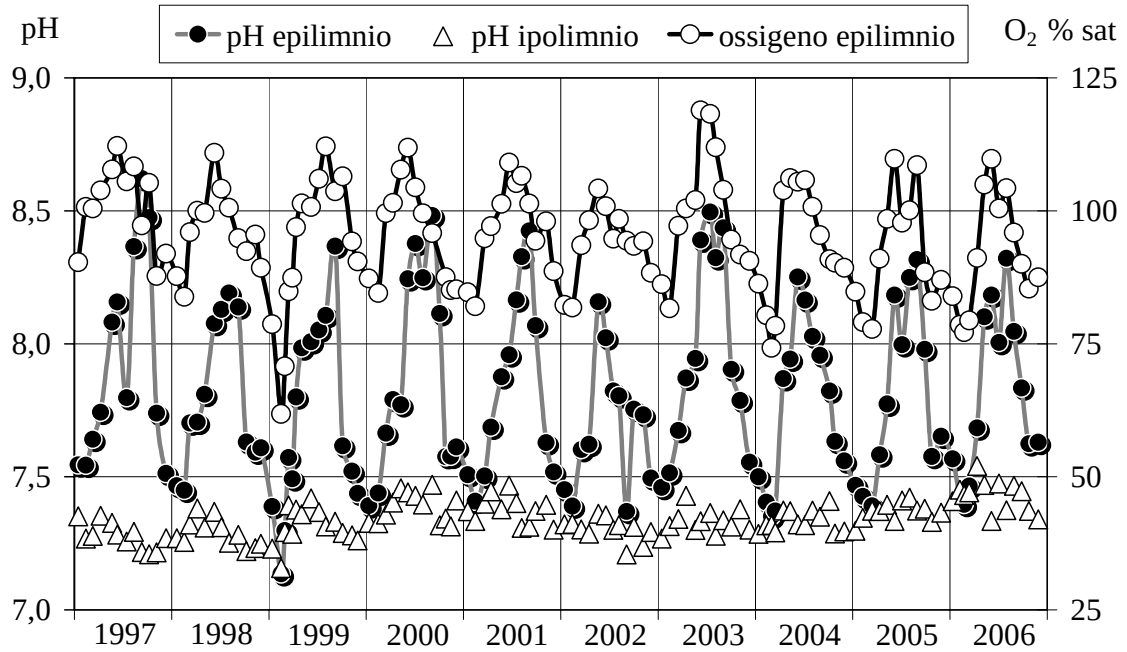


Fig. 3.2.1b. Lago Maggiore nel periodo 1997-2006: pH nello strato epilimnico (0-25 m) ed ipolimnico (25-370 m) e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

Il pH in ipolimnio mostra variazioni molto più contenute rispetto a quelle delle acque superficiali poiché non risente dei processi di produzione e respirazione algale.

Il 2006 non ha presentato situazioni particolari relativamente ai valori di pH ed ossigeno, del tutto simili a quelli dell'anno precedente; solo il pH ipolimnico è risultato leggermente maggiore nel 2006 rispetto al 2005, con un massimo di 7,55 ad Aprile. I valori massimi di pH ed ossigeno epilimnico nel corso del 2006 sono stati rilevati nei mesi di Luglio (8,8) e Giugno (121%), rispettivamente.

Nel corso del decennio 1997-2006, i valori di pH in ipolimnio hanno mostrato una lieve tendenza all'aumento, da 7,2-7,3 negli anni 1997-98 a 7,4-7,5 negli anni più recenti. Dopo l'evento di rimescolamento dell'inverno 1998-99, si riscontra una leggera diminuzione nei minimi invernali dell'ossigeno epilimnico, passati da 85-90% a 75-80% come percentuale di saturazione. I massimi estivi di questa variabile si sono invece mantenuti pressoché invariati (100-110%).

Nel 2006 si è presentata una situazione analoga a quella degli anni 2003 e 2005 per quanto riguarda la stagionalità di alcune variabili chimiche. Il periodico calo dei valori epilimnici di conducibilità e alcalinità, verificatosi con regolarità dal 1997 al 2002 e nel 2004, è stato osservato anche nel 2006 ma in misura sensibilmente ridotta ed interessando gli ultimi mesi dell'anno anziché quelli estivi. I minimi di alcalinità e conducibilità, misurati nel 2006 tra Ottobre e Dicembre (0,77-0,78 meq l^{-1} e 143-145 µS cm^{-1} a 20 °C, rispettivamente), non sono infatti confrontabili con quelli del periodo 1997-2002 (0,70-0,72 meq l^{-1} e 125-130 µS cm^{-1} a 20 °C, rispettivamente; Fig. 3.2.1c, 3.2.1d).

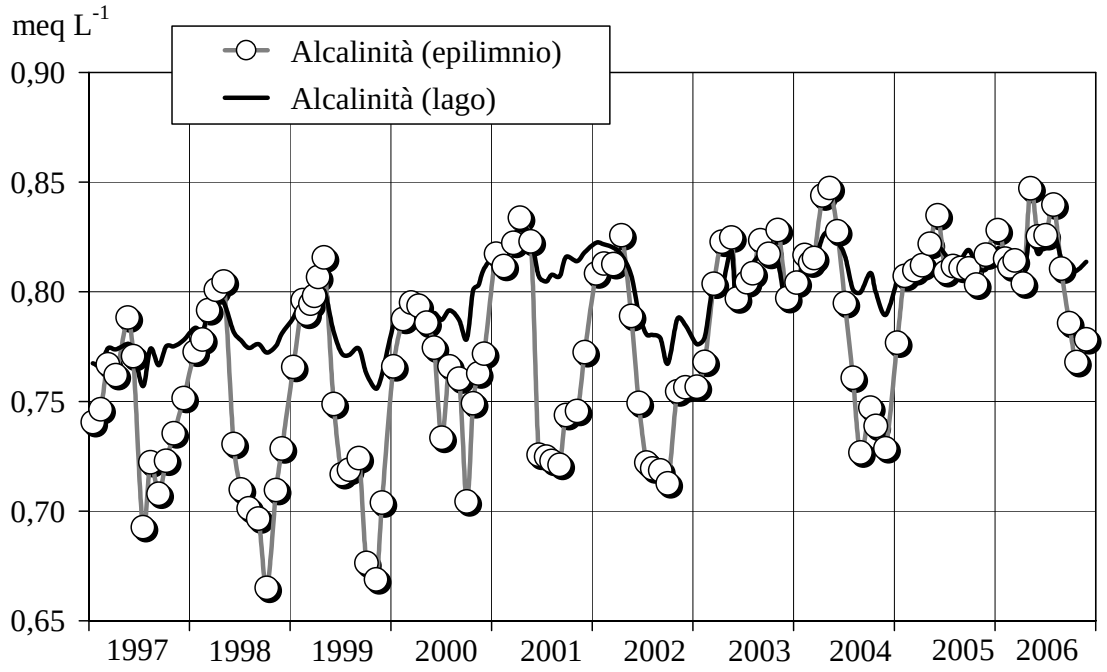


Fig. 3.2.1c. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1997–2006 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

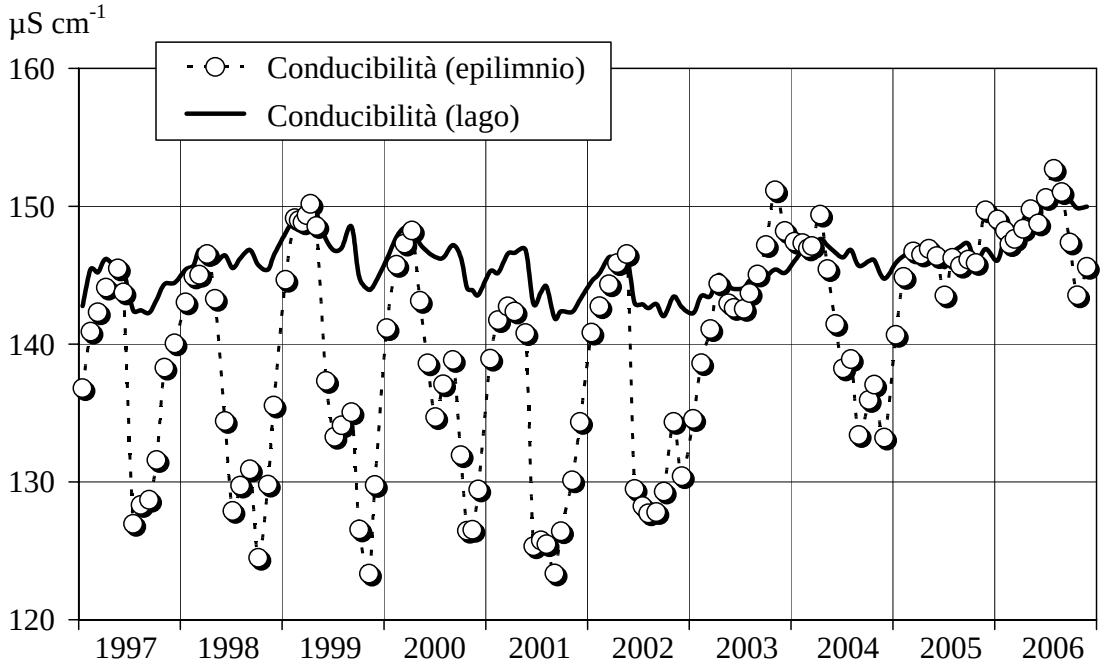


Fig. 3.2.1d. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1997–2006 dei valori medi ponderati sui volumi di conducibilità a 20°C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

Il fenomeno della precipitazione del carbonato di calcio, che interessa le acque del lago nei mesi estivi e determina la diminuzione dei valori di calcio e alcalinità, non ha

avuto luogo negli anni 2003 e 2005 e si è verificato probabilmente in maniera solo parziale nel 2006. Questa tendenza può essere messa in relazione alla meteorologia, in quanto gli ultimi anni del periodo di studio, con l'eccezione del 2004, sono stati caratterizzati da temperature estive elevate e da precipitazioni estremamente ridotte o addirittura assenti nei mesi invernali e primaverili.

Per quanto riguarda invece la tendenza a lungo termine dei valori medi sulla colonna d'acqua (0-370 m), l'alcalinità ha mostrato un leggero aumento delle concentrazioni nel decennio 1997-2006 (da 0,77-0,78 a 0,81-0,82 meq l^{-1}), mentre la conducibilità è rimasta compresa tra 142 e 148 µS cm^{-1} a 20 °C, facendo registrare valori leggermente più elevati nel 2006 (150 µS cm^{-1} a 20 °C).

3.2.2. Composti dell'azoto

La figura 3.2.2a riporta le concentrazioni medie ponderate sui volumi dalla superficie al fondo di azoto nitrico e totale misurate nella stazione di massima profondità dal 1997 al 2006. Le concentrazioni medie di azoto totale nel 2006 sono risultate confrontabili con quelle del periodo 1997-2005, presentando tuttavia una maggior dispersione dei valori (da un minimo di 0,90 mg N l^{-1} ad un massimo di 1,05 mg N l^{-1} nel mese di Settembre, che rappresenta inoltre il massimo assoluto del decennio considerato; Fig. 3.2.2a).

I valori di azoto nitrico, che rappresenta poco meno del 90% del contenuto di azoto totale delle acque, sono risultati leggermente più elevati nel 2006 rispetto al 2005, soprattutto nei mesi primaverili ed estivi (0,86-0,87 mg N l^{-1}). Dall'andamento a lungo termine dei valori di nitrati si può osservare una lieve tendenza all'aumento, da 0,81-0,82 mg N l^{-1} a 0,85-0,86 mg N l^{-1}. Per l'azoto totale è difficile individuare la presenza di un eventuale trend, in quanto i valori presentano una maggior dispersione rispetto ai nitrati.

Le concentrazioni medie di azoto nitrico e totale rilevate nella stazione di Lesa sono apparse simili a quelle della zona di massima profondità sia a Marzo (0,87 e 0,93 mg N l^{-1}) che a Settembre (0,83 e 1,03 mg N l^{-1}, rispettivamente).

L'azoto organico, che rappresenta mediamente il 10-15% del contenuto totale di azoto delle acque, mostra variazioni minime nel corso dell'anno (Fig. 3.2.2b). Nel 2006 i valori in epilimnio sono stati simili a quelli degli anni precedenti, compresi tra 0,08 e 0,18 mg N l^{-1}, facendo però registrare un massimo nel mese di Settembre di 0,29 mg N l^{-1}.

Per quanto riguarda gli altri composti dell'azoto, l'azoto nitroso è risultato praticamente assente nelle acque del lago a Marzo, e presente con una concentrazione di 8 µg N l^{-1} nelle acque epilimniche in Settembre. Le concentrazioni di ammonio, pur mantenendosi comprese tra 2 e 7 µg N l^{-1} come valori medi sulla colonna d'acqua, hanno raggiunto massimi di 25-30 µg N l^{-1} in epilimnio nei mesi di Maggio e Settembre. Anche a Lesa le concentrazioni di azoto ammoniacale a Settembre hanno raggiunto valori di 30-35 µg N l^{-1} nelle acque superficiali.

Come per l'azoto organico, anche per l'azoto nitrico e totale gli andamenti delle concentrazioni epilimniche nel corso del 2006 non si sono discostati da quelli degli anni precedenti: i valori massimi di azoto nitrico (0,83-0,84 mg N l^{-1}) sono stati rilevati nei mesi invernali ed i minimi (0,60–0,62) tra Luglio e Settembre, quando è massimo il consumo da parte degli organismi fitoplantonici e minimo l'apporto dai tributari.

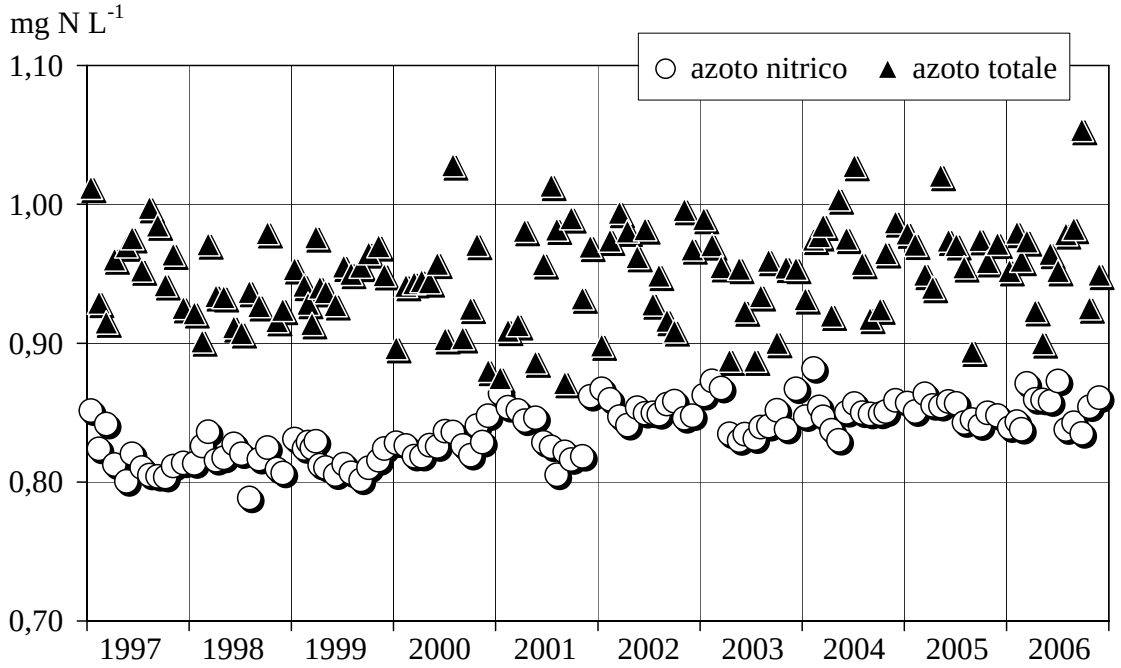


Fig. 3.2.2a. Lago Maggiore: concentrazioni di azoto totale e nitrico nel decennio 1997-2006 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

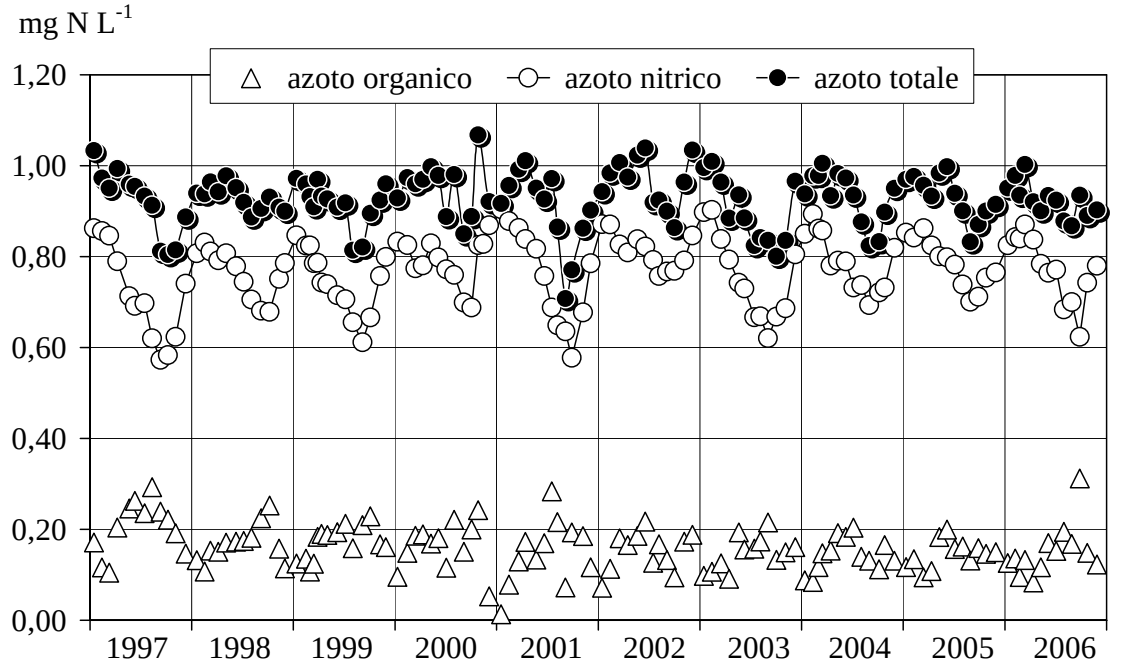


Fig. 3.2.2b. Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel decennio 1997-2006 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

Questo andamento si è ripetuto in modo abbastanza regolare in tutti gli anni dal 1997 al 2006, interessando anche i valori di azoto totale che oscillano tra minimi estivi di 0,75-0,80 mg N l^{-1} e massimi di 0,98-1,00 mg N l^{-1} nei mesi tardi invernali (Fig. 3.2.2b).

3.2.3. Composti del fosforo

Nel 2006, nella stazione di massima profondità, le concentrazioni medie annue di fosforo reattivo e totale sono risultate pari rispettivamente a 3 e 8 µg P l^{-1} nelle acque epilimniche, 7 e 10 µg P l^{-1} in ipolimnio e 7 e 10 µg P l^{-1} sull'intera colonna d'acqua. Questi valori appaiono del tutto confrontabili con quelli rilevati nel decennio 1997-2005; il 2006 si differenzia dagli anni precedenti unicamente per i valori estivi di fosforo totale leggermente inferiori (in ogni caso minori di 11 µg P l^{-1}; Fig. 3.2.3).

I valori medi sulla colonna d'acqua nei diversi mesi dell'anno sono risultati compresi tra 5 e 8 µg P l^{-1} per il fosforo reattivo e tra 8 e 10 µg P l^{-1} per il fosforo totale. Una situazione analoga è stata riscontrata a Lesa, dove si sono misurati valori medi sulla colonna pressoché identici a quelli della stazione di massima profondità (7 e 10 µg P l^{-1} rispettivamente come fosforo reattivo e totale nel campionamento di marzo, e 4 e 7 µg P l^{-1} a Settembre).

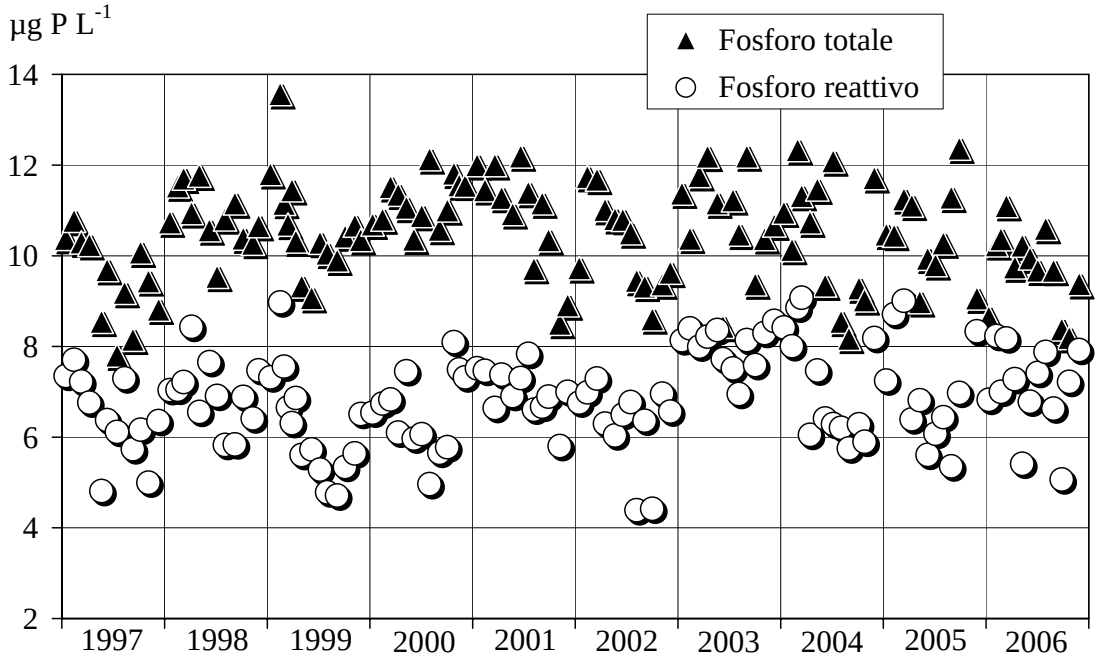


Fig. 3.2.3. Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel decennio 1997-2006 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

Il contenuto di fosforo totale delle acque non è variato in maniera significativa negli ultimi 10 anni, come si può osservare dalla figura 3.2.3, rimanendo stabilmente compreso tra 8 e 12 µg P l^{-1}. Questi livelli possono essere considerati rappresentativi dell'intera zona pelagica del lago, che può quindi essere definita oligotrofa. Lo stesso giudizio qualitativo non può però essere esteso anche alla zona litorale. Alcune aree rivierasche sono infatti interessate dalla presenza di scarichi o dall'immissione a lago di acque tributarie con un elevato carico di azoto e fosforo, come evidenziato nel paragrafo

sulla chimica dei tributari. In corrispondenza di queste immissioni, le acque sviluppano nel periodo primaverile ed estivo fioriture algali, che determinano colorazioni anomale delle acque e presenza di odori molesti. Le acque di conseguenza perdono valore qualitativo, sia come risorsa turistico-ricreativa, sia per un eventuale utilizzo a scopo di potabilizzazione.

3.2.4. Ossigeno disciolto

Come già evidenziato nel paragrafo 3.2.1, l'andamento del contenuto di ossigeno nelle acque superficiali nel corso del 2006 non si è discostato da quello degli anni precedenti (Fig. 3.2.1b). L'andamento del contenuto medio di ossigeno nelle acque profonde, tra –200 e –370 metri, che rimangono generalmente segregate dalla massa d'acqua sovrastante, mostra invece un progressivo aumento dei valori a partire dal 2002 (Fig. 3.2.4a). Nel 2006 le concentrazioni medie in questo strato sono risultate comprese tra 8,8 mg O_2 l^{-1} (73% di saturazione) a Gennaio e 9,7 mg O_2 l^{-1} (81% di saturazione) in Aprile e Settembre, valori superiori anche a quelli registrati nel corso della piena circolazione del Febbraio 1999. A partire dal 1999 infatti, i valori di ossigeno nella zona profonda si siano mantenuti su livelli elevati, comunque superiori a 7,0 mg O_2 l^{-1} (60% di saturazione), a dimostrazione di una consistente ossigenazione delle acque profonde e del buon livello qualitativo generale delle acque lacustri.

Anche considerando l'intero ipolimnio, cioè lo strato compreso tra -25 e -370 m, si osserva come i valori di concentrazione di ossigeno si siano mantenuti compresi tra 7,9 e 10,0 mg O_2 l^{-1} (67-83% di saturazione) negli anni tra il 1999 ed il 2006, facendo registrare i valori più elevati proprio in quest'ultimo anno (Fig. 3.2.4b).

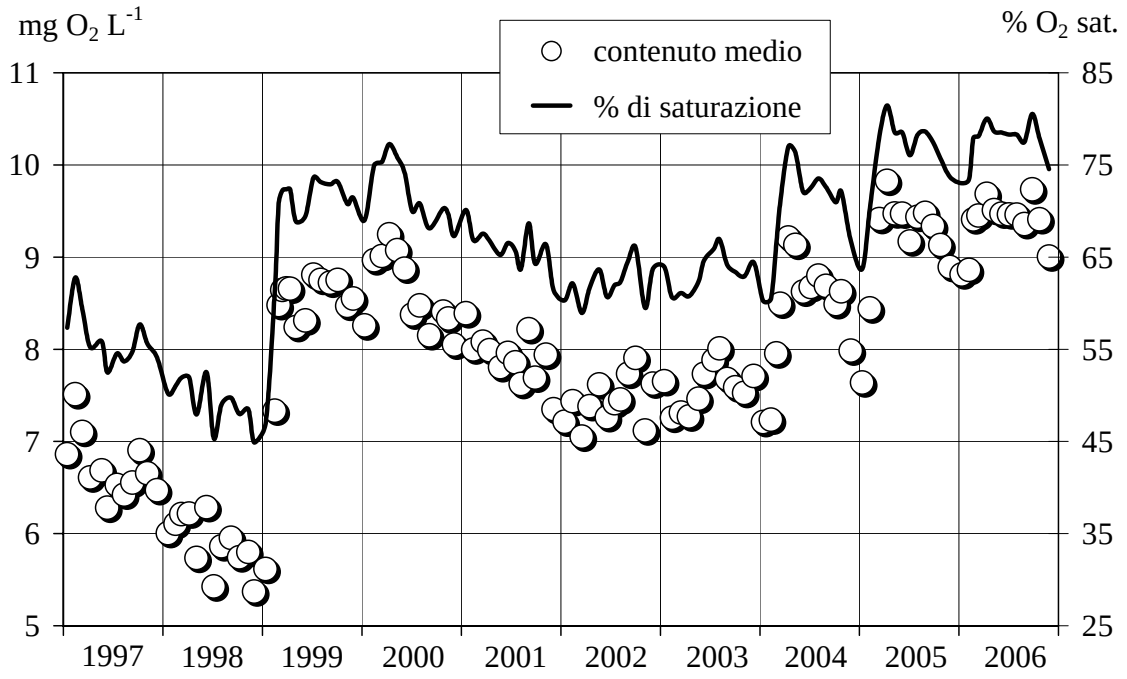


Fig. 3.2.4a. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1997-2006 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 200-370 m.

Infine, i dati relativi al contenuto ipolimnico di ossigeno nelle acque della stazione di Lesa (strato 25-100 m) hanno confermato quanto osservato a Ghiffa (9,9 e 8,5 mg O_2 l^{-1} rispettivamente a Marzo e Settembre).

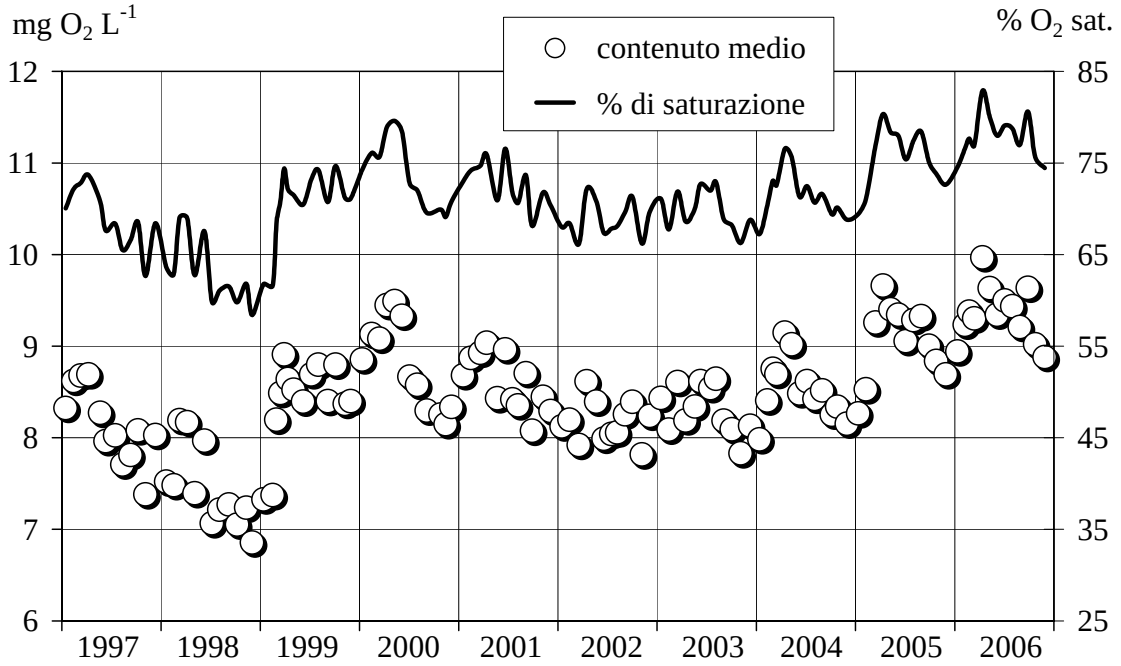


Fig. 3.2.4b. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1997-2006 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 25-370 m.

3.2.5. Silicati reattivi

Le concentrazioni medie annue di silicati reattivi in epilimnio, ipolimnio e sull'intera colonna d'acqua nel corso del 2006 (0,77, 1,67 e 1,59 mg Si l^{-1}, rispettivamente) non si sono discostate da quelle rilevate negli anni precedenti, in particolare nel periodo 2001-2005. I valori in epilimnio e nell'intero lago sono risultati compresi tra 0,10 e 1,68 mg Si l^{-1} e tra 1,47 e 1,74 mg Si l^{-1}, rispettivamente (Fig. 3.2.5). I valori minimi nelle acque superficiali (0,10-0,20 mg Si l^{-1}), misurati nei mesi estivi in corrispondenza delle fioriture di diatomee, sono stati inferiori a quelli del 2005 e confrontabili con quelli degli anni 2003-2004 (Fig. 3.2.5).

L'andamento delle concentrazioni di silicati reattivi nell'ultimo decennio mostra una tendenza all'aumento dei valori, evidente soprattutto a partire dal 2000. I valori medi sulla colonna d'acqua misurati nel periodo 2001-2006 (1,6 mg Si l^{-1}) sono risultati infatti leggermente più elevati rispetto a quelli degli anni 1997-1999 (1,4 mg Si l^{-1}).

Un aumento della riserva lacustre di materiali silicei a seguito delle piene degli anni 2000 e 2002, nel corso delle quali sono stati veicolati a lago elevati quantitativi di particellato inorganico fine e scarsamente sedimentabile, può contribuire a spiegare questo aumento delle concentrazioni di silicati reattivi.

Nella stazione di Lesa, nella parte meridionale del lago, i due campionamenti eseguiti a Marzo e Settembre 2006 hanno fatto rilevare concentrazioni di silicati reattivi

(rispettivamente 1,67 e 1,31 mg Si l^{-1}come valori medi sulla colonna) del tutto analoghi a quelli misurati negli stessi mesi nella stazione di massima profondità.

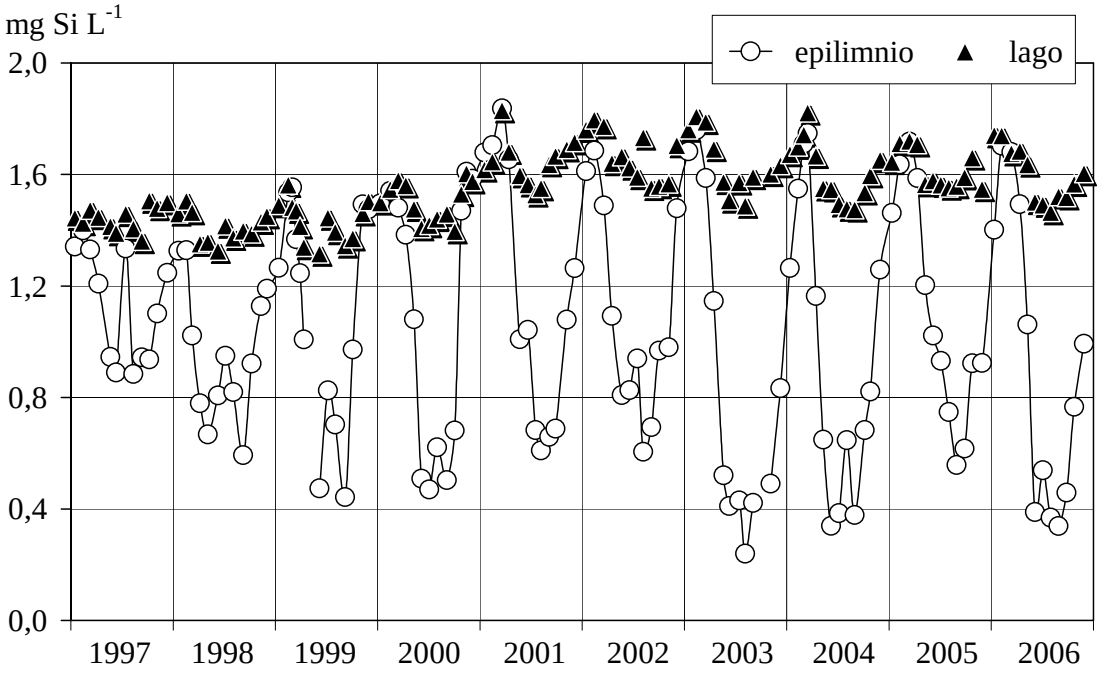


Fig. 3.2.5. Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 1997-2006.

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 2006, alla serie storica dei campionamenti sul Lago Maggiore. Nella stazione al largo di Ghiffa sono stati effettuati, tra l'11 Gennaio ed il 13 Dicembre, 20 sopralluoghi con prelevamento di campioni d'acqua nello strato 0-20 m, con frequenza mensile nei mesi di Gennaio, Febbraio, Novembre e Dicembre, all'incirca quindicinale nella restante parte dell'anno.

I campioni sono stati analizzati in laboratorio seguendo le tecniche già utilizzate negli anni passati, per quanto riguarda i conteggi, l'identificazione delle specie e il calcolo della biomassa (biovolume). Per la determinazione della concentrazione della clorofilla *a* e dei feopigmenti si è seguita la metodica di estrazione e lettura spettrometrica utilizzata solitamente.

Il numero totale dei *taxa* censiti durante il 2006 è stato di 95 unità, massimo valore nella serie storica, in linea con i valori misurati dal 2000 ad oggi, uguali o superiori alle 80 unità tassonomiche (Fig. 3.3.1.1). Il confronto con i valori degli anni immediatamente precedenti sembra indicare il raggiungimento di una certa stabilità nel valore di questo indice di biodiversità, che denota la presenza di un popolamento algale ormai ben diversificato.

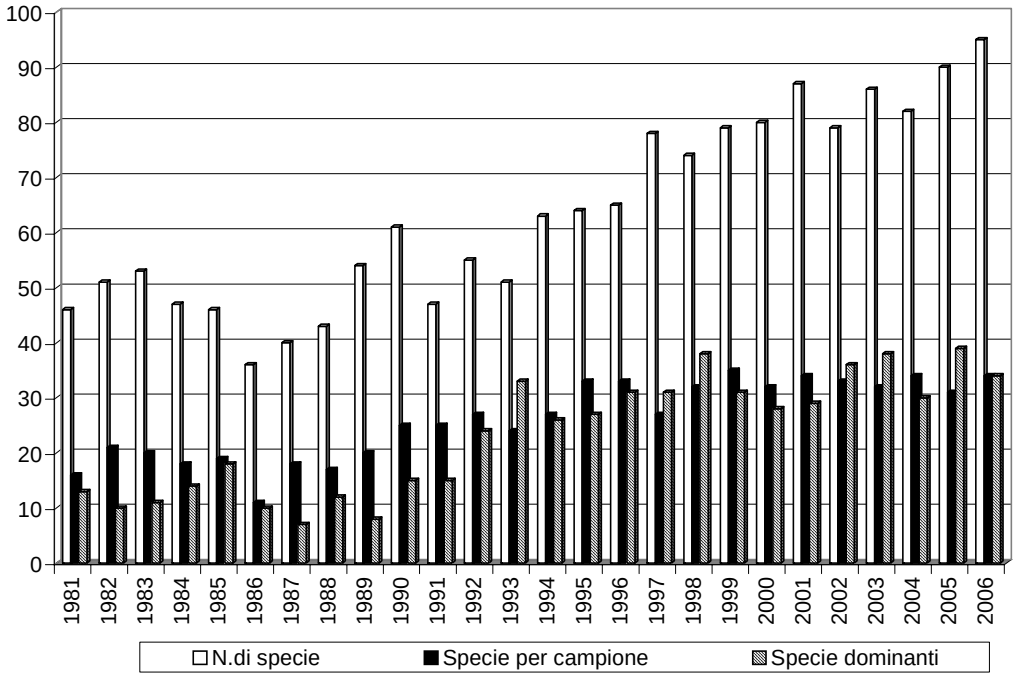


Fig. 3.3.1.1. Evoluzione del numero totale di specie censite, del numero medio di specie per campione e del numero di specie significative (v. testo).

Nel 2006 il numero medio di specie per campione è risultato uguale a 34 (Fig. 3.3.1.1), valore assolutamente in linea con la media del decennio 1995-2005, risultata di circa 32. Le piccole oscillazioni che occasionalmente sono state osservate negli ultimi 10 anni (dalle 27 specie del 1997 alle 35 del 1999) devono essere quindi interpretate come fluttuazioni casuali.

Il numero di specie significative (dominanti in quanto concorrenti a formare almeno l'80% del biovolume totale almeno una volta nel corso dell'anno) ha mostrato un decremento rispetto al 2004, attestandosi sul valore di 34 specie (Fig. 3.3.1.1), comunque assolutamente confrontabile con i numeri registrati nel decennio precedente. Il perdurare di un numero elevato di specie dominanti nella comunità è indicativo di una ripartizione decisamente omogenea degli individui tra le specie presenti di volta in volta nel corso della successione stagionale e testimonia una alta biodiversità dell'ambiente. Le specie o generi censiti globalmente durante l'anno mostrano alcune differenze rispetto al 2005 nella loro ripartizione numerica tra le categorie sistematiche maggiori. La classe con il maggior numero di *taxa* è stata quella delle cloroficee, che hanno fatto contare, nel 2005, 26 unità tassonomiche, seguita da diatomee, presenti con 21 unità e cianobatteri, con 20 unità: da anni ormai queste tre classi sono quelle maggiormente rappresentate tra il fitoplancton del Lago Maggiore, sebbene i rapporti reciproci di importanza, come numero di specie censite, possano subire delle leggere oscillazioni tra un anno e l'altro. Seguono, in ordine di importanza, le crisoficee, con 13 unità, le criptoficee e le dinoficee, che con 9 e 6 unità tassonomiche rispettivamente, sono, come di consueto, i gruppi meno rappresentati nella flora pelagica del Lago Maggiore.

La successione stagionale si è svolta, nel 2006, con una dinamica solo in parte simile a quella solitamente osservata nel Lago Maggiore (Fig. 3.3.1.2a). Diatomee e cianobatteri hanno rappresentato, come di consueto, i gruppi dominanti. L'evento nuovo rispetto al passato è stato un massiccio sviluppo di cloroficee, verificatosi a cavallo tra Aprile e Maggio, legato alla fioritura di una singola specie, *Carteria* sp. Un contributo significativo è poi venuto anche da criptoficee e dinoflagellati, le prime tra la primavera e l'estate, i secondi in autunno.

Lo sviluppo primaverile dei popolamenti algali ha inizio, nel 2006, con un leggero ritardo rispetto all'anno precedente: infatti il primo picco delle diatomee si registra solo all'inizio di Aprile, seguito da una flessione verso la metà di Maggio e da una immediata e rapida ripresa, che si protrae fino alla fine di Giugno, toccando il massimo annuale il 24 Maggio, con oltre 1000 mm^3 m^{-3}. All'inizio di Luglio il gruppo raggiunge il suo minimo annuale, ma dalla fine di questo mese si osserva una nuova fase di sviluppo, che si mantiene per tutto il mese di Agosto (Fig. 3.3.1.2a, b).

Recenti analisi delle relazioni tra variabili meteorologiche e dinamica del fitoplancton nel Lago Maggiore [5] hanno messo in luce come lo sviluppo primaverile delle diatomee possa essere positivamente influenzato dall'intensità del vento e dalla profondità di mescolamento della colonna d'acqua. Sotto questi aspetti, le condizioni meteorologiche dell'inverno 2006 hanno mostrato un quadro contrastante rispetto agli eventi idrologici e meteorologici, che, alla fine, ha portato ad una ridotta crescita delle diatomee. Da un lato, la temperatura delle acque lacustri nell'inverno 2005-2006 è stata eccezionalmente bassa, sia a causa delle basse temperature atmosferiche misurate dall'inizio dell'anno fino alla prima decade di Marzo 2006, sia a seguito dell'afflusso al lago di grandi volumi di acqua molto fredda (Ambrosetti, Barbanti, Carrara e Rolla, rapporto presente). Questo quadro climatico ed idrologico avrebbe potuto dare origine ad un mescolamento convettivo profondo della colonna d'acqua, condizione favorevole

ad un abbondante sviluppo primaverile delle diatomee, ma, d'altro canto, i primi due mesi dell'anno sono stati caratterizzati da un regime di vento filato inferiore alla media degli ultimi 10 anni (Ambrosetti, Barbanti, Carrara e Rolla, rapporto presente).

L'estrema scarsità di vento di Gennaio e Febbraio non ha permesso l'innesco di un movimento circolatorio di intensità e durata sufficienti: come risulta dal capitolo sulla fisica lacustre, il mescolamento per moti convettivi ha interessato, sulla base dei calcoli effettuati, solo i primi 90 metri della colonna d'acqua. Inoltre, lo sprofondamento di masse d'acqua fredda verso le profondità lacustri potrebbe avere trascinato con sè gli inoculi delle popolazioni di diatomee destinati ad alimentare la crescita primaverile, deprimendo, di fatto, lo sviluppo di queste alghe.

Successivamente, il forte incremento della ventosità nel mese di Marzo può forse avere agito da stimolo per innescare la crescita delle diatomee, così come la scarsità di vento, nuovamente registrata in Aprile, potrebbe avere contribuito alla riduzione di biovolume osservata tra Aprile e Maggio.

Il confronto tra la dinamica del fitoplancton e quella dei parametri meteorologici conferma, una volta ancora, il ruolo chiave che questi ultimi giocano nell'influenzare la crescita delle diatomee all'inizio della primavera.

La crescita dei cianobatteri nel 2006 si è concentrata nel periodo estivo (Fig. 3.3.1.2a): la tendenza in corso negli anni più recenti, verso una forte riduzione delle Chroococcales di piccole dimensioni si è confermata anche nel 2006. La specie più importante è stata *Aphanizomenon flos-aquae*, il cui contributo al biovolume del gruppo è sensibilmente aumentato a partire dal 2002. Tra gli altri cianobatteri, da segnalare il ritorno su abbondanze di un certo rilievo di *Planktothrix rubescens*/*agardhii*, da anni elemento tipico della flora algale pelagica del Lago Maggiore e la fioritura di *Anabaena lemmermannii* per il secondo anno consecutivo, sebbene con una estensione temporale ed una abbondanza inferiori rispetto al 2005.

3.3.1.2. Variazioni della biomassa

Dal 1981, cioè dall'inizio del processo di oligotrofizzazione del Lago Maggiore si è osservata una diminuzione costante dei valori medi annui del biovolume complessivo del fitoplancton e della concentrazione della clorofilla *a*: nel 2004 questi parametri avevano mostrato un leggero aumento rispetto al 2003, ma nel 2005 si era osservato un nuovo decremento di entrambi i parametri, particolarmente evidente a carico del biovolume, che aveva raggiunto il valore minimo storico (dal 1981) con 0,62 cm^3 m^{-3}.

Nel 2006 il biovolume medio annuo è leggermente aumentato rispetto al 2005, risalendo a 0,70 cm^3 m^{-3}, valore comunque in linea con quelli calcolati dal 1998 in avanti, sempre inferiori a 1,00 cm^3 m^{-3}.

Anche la concentrazione media annua della clorofilla *a* mostra un incremento rispetto all'anno passato, raggiungendo 3,08 mg m^{-3}, il secondo valore più elevato dal 1999, sebbene non anomalo rispetto alla serie del decennio più recente.

Il basso valore medio annuo di biovolume è, almeno in parte, imputabile alla scarsa produzione algale nel periodo tardo invernale e di inizio primavera: analogamente a quanto accaduto nel 2005, anche nel Febbraio 2006 la media mensile è stata molto bassa (solamente 0,08 cm^3 m^{-3}) ed in Marzo, mese solitamente produttivo per il consistente sviluppo delle diatomee, questo valore si è fermato a 0,26 cm^3 m^{-3}, eccezionalmente basso per il periodo. Le ragioni di questa scarsa crescita sono, probabilmente, da

imputare alle condizioni climatiche che hanno caratterizzato questo periodo dell'anno, come spiegato al paragrafo precedente.

Nel corso del 2006 il picco massimo di biovolume totale è stato registrato il 10 Maggio (circa 1700 mm^3 m^{-3}; Fig. 3.3.1.2a), molto vicino al massimo del 2005, che sfiorava i 1800 mm^3 m^{-3}.

La successione primaverile delle diatomee osservata nel 2006 segue uno schema piuttosto classico per il Lago Maggiore, con un primo sviluppo dovuto a *Cyclotella pseudostelligera*, specie opportunista a rapida crescita, che sfrutta l'iniziale abbondanza di nutrienti, seguite da *Asterionella formosa* e *Fragilaria crotonensis*, che rispondono meglio al calo dei nutrienti. Il primo sviluppo di *C. pseudostelligera* a fine Marzo è accompagnato dalla consueta presenza di *Plagioselmis nannoplanctica*, una criptoficea che, generalmente, caratterizza i popolamenti invernali del Lago Maggiore. Si confermano anche nel 2006 due fatti osservati nel 2005 ed inusuali rispetto agli anni immediatamente precedenti, vale a dire la quasi totale assenza di *Aulacoseira islandica* morf. *elvetica* nel popolamento primaverile a diatomee e la forte riduzione di *Tabellaria flocculosa*, che mostra un unico picco all'inizio della primavera (Fig. 3.3.1.2b).

Tra Maggio e Giugno si osserva una riduzione delle diatomee, fenomeno comune nella dinamica stagionale di questo gruppo nel Lago Maggiore, solitamente legato all'esaurimento dei silicati. I dati di chimica, tuttavia, mostrano che la silice reattiva, in questo periodo, ha ancora una concentrazione sufficiente a sostenere la crescita delle diatomee (oltre 1 mg l^{-1}), mentre comincia ad esaurirsi dopo il picco di biovolume di inizio Giugno. Il declino delle diatomee osservato tra Aprile e Maggio, potrebbe, almeno in parte, essere legato alla dinamica del vento, come ipotizzato nel paragrafo precedente.

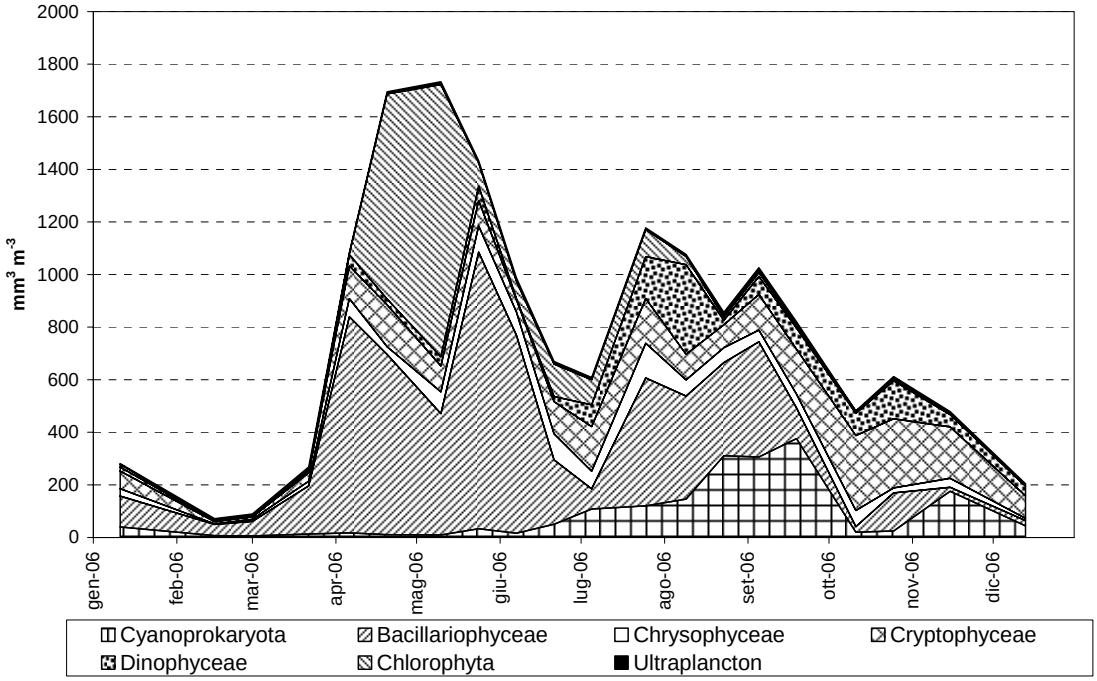


Fig. 3.3.1.2a. Biovolumi cumulati dei principali raggruppamenti sistematici per il 2006.

Come già osservato in altre occasioni, l'alternanza delle diverse specie di diatomee nel periodo primaverile rispecchia molto bene le rispettive esigenze ecologiche, in particolare riguardo ai rapporti di nutrienti più favorevoli o alle intensità della radiazione luminosa ottimali per la crescita, secondo le osservazioni condotte da [6].

La fase di flessione più marcata per questo gruppo si verifica, tuttavia, a cavallo tra Giugno e Luglio, probabilmente a seguito dell'instaurarsi di un termoclinio ben consolidato e di una stabilità termica che determinano la sedimentazione delle diatomee. In queste condizioni ambientali risulta particolarmente favorita, tra le diatomee, *Fragilaria crotonensis*, che colonizza probabilmente la nicchia metalimnetica, secondo la strategia descritta in [7]. A questa specie si deve il picco estivo del biovolume di questo gruppo, cui si accompagna, nella tarda estate, lo sviluppo di *Cyclotella krammeri*.

Per quanto riguarda gli altri gruppi algali, i cianobatteri si ritrovano soprattutto in estate, seppure con biovolumi modesti. Dominanti, nell'estate 2006, sono *Aphanizomenon flos-aquae* e *Snowella lacustris*. Come nell'estate del 2005, *Anabaena lemmermannii* da origine ad una fioritura, comunque di entità più modesta rispetto alla precedente: il fenomeno è stato osservato durante il solo mese di Luglio, interessando prevalentemente la fascia costiera del Lago Maggiore, mentre in ambiente pelagico la presenza di questa specie è stata meno marcata. Nonostante la estesa diffusione spaziale, la distribuzione verticale della specie ha interessato solo uno strato molto sottile della superficie lacustre: infatti questo organismo si concentra, tipicamente, nei primi centimetri della colonna d'acqua. Comprendere le cause che hanno portato allo sviluppo di questa fioritura è, oggettivamente, difficile: fioriture di questa specie sono state spesso osservate sul Lago di Garda [8] e sono state messe in relazione con l'esistenza di condizioni di stabile stratificazione e temperature elevate della colonna d'acqua, che permettono il galleggiamento di quest'alga e la sua stratificazione superficiale. Da notare che le condizioni climatiche del 2005 e del 2006 sono state molto simili nella prima parte dell'anno, almeno fino al mese di Luglio: entrambi gli anni sono stati caratterizzati da inverni freddi, seguiti da un forte riscaldamento tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate. Dal punto di vista biologico, sia nel 2005 che nel 2006 lo sviluppo tardivo e modesto dei popolamenti primaverili, probabilmente sfavoriti anche dalle basse temperature dell'acqua, potrebbe avere lasciato una maggiore quantità di risorse nutritive a disposizione dei popolamenti estivi, favorendo le specie ben adattate ad una situazione di forte stratificazione della colonna d'acqua, come, appunto, *Anabaena lemmermanni*.

Sembra dunque lecito avanzare l'ipotesi secondo cui le condizioni ambientali favorevoli alla fioritura di *Anabaena* siano da ricercare in una precisa combinazione di eventi climatici. Rimane tuttavia da chiarire quale sia l'origine di questo organismo, solo occasionalmente comparso negli anni passati nel Lago Maggiore e mai divenuto persistente ed abbondante come nei due anni passati.

Tra i dinoflagellati, *Ceratium hirundinella* ha raggiunto, come nel 2005, valori di biovolume significativi, con un periodo di dominanza che ha avuto inizio alla fine di Luglio e si è protratto fino ai mesi autunnali (Fig. 3.3.1.2b), confermando quindi l'estensione temporale della sua presenza.

Le Cryptophyta (Fig. 3.3.1.2a), oltre alla già menzionata *Plagioselmis nannoplanctica*, danno un contributo con alcune specie di *Cryptomonas*, presenti in tutte le stagioni, ma prevalentemente concentrate nei mesi autunnali.

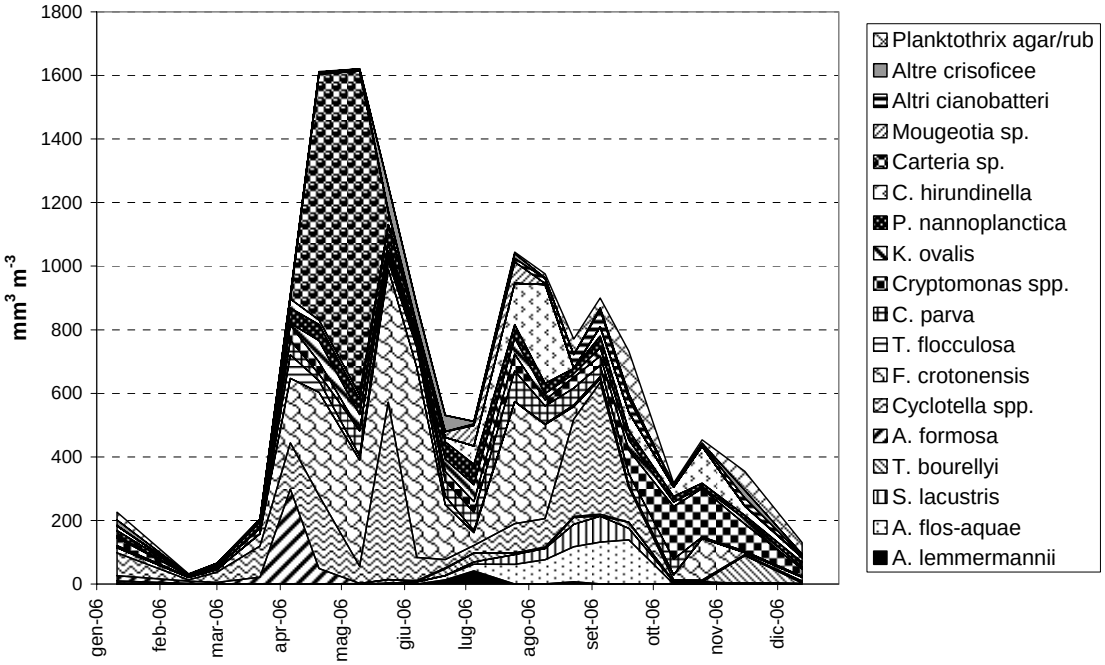


Fig. 3.3.1.2b. Biovolumi cumulati di entità sistematiche particolarmente significative. Partendo dall'alto: Planktothrix agar/rub = *Planktothrix agardhii/rubescens*, C. hirundinella = *Ceratium hirundinella*, P. nannoplanctica = *Plagioselmis nannoplanctica*, K. ovalis = *Katablepharis ovalis*, C. parva = *Chrysochromulina parva*, T. flocculosa = *Tabellaria flocculosa*, F. crotonensis = *Fragilaria crotonensis*, A. formosa = *Asterionella formosa*, T. bourellyi = *Tychonema bourellyi*, S. lacustris = *Snowella lacustris*, A. flos-aquae = *Aphanizomenon flos-aquae*, A. lemmermannii = *Anabaena lemmermannii*.

Nonostante una certa ricchezza in specie, la presenza delle Chrysophyceae in termini di biovolume è stata, nel 2006, poco significativa: da segnalare solamente la presenza, ormai consueta, di *Chrysochromulina parva* nel gruppo delle dominanti.

Analogamente all'anno passato, l'importanza delle Chlorophyta risulta drasticamente ridotta: in pratica, delle 20 specie rinvenute, solamente *Mougeotia* sp. e *Carteria* sp. compaiono nel gruppo delle dominanti. La prima è una presenza comune ormai da anni nel Lago Maggiore, mentre la seconda, occasionalmente rinvenuta in passato, si è sviluppata in modo eccezionale nella primavera del 2006, diventando la specie dominante in un periodo solitamente caratterizzato dall'esclusiva presenza delle diatomee.

In conclusione, le osservazioni compiute nell'anno 2006 confermano, in generale, la sostanziale stabilità nella struttura del fitoplancton, per quanto riguarda la biodiversità complessiva ed i valori medi di clorofilla e biovolume. Tuttavia, per quanto riguarda la composizione specifica della biocenosi algale, il 2006 ha mostrato diverse analogie con il 2005, confermando alcune osservazioni che avevano costituito elementi di novità nell'anno precedente, quali la forte riduzione di specie solitamente importanti (*Planktothrix rubescens*, *Tabellaria flocculosa*, *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*) e la ricomparsa della fioritura di *Anabaena lemmermannii*.

Ciò sembra rafforzare l'ipotesi secondo cui vi sarebbero dei cambiamenti in atto nella struttura delle biocenosi algali: tuttavia, due anni potrebbero essere un periodo troppo breve per avere la certezza che gli eventi osservati siano l'indizio di modificazioni certe, soprattutto se consideriamo che il 2005 ed il 2006 sono stati simili

dal punto di vista climatico. Infatti, va sottolineato il fatto che alcune somiglianze climatiche tra 2005 e 2006 sembrano avere favorito quegli eventi che si sono svolti con modalità simili in entrambi gli anni, a conferma di come le vicende meteorologiche possano esercitare un ruolo decisivo nel condizionare lo svolgimento della successione stagionale fitoplanctonica.

In quest'ottica i cambiamenti climatici correlati al riscaldamento globale potrebbero avere delle ripercussioni importanti anche sulla dinamica delle associazioni fitoplanctoniche nel Lago Maggiore: attraverso valutazioni a scala spazio-temporale più ampia sarà, forse, possibile capire se le modificazioni osservate siano l'indizio di un cambiamento più profondo a livello ecosistemico, condizionato dall'alterazione del clima.

3.3.2. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico

Anche per il 2006 la raccolta dei campioni zooplanctonici nella stazione pelagica di Ghiffa è stata accompagnata dalle consuete misure di temperatura entro lo strato d'acqua 0-50 m. L'analisi dei dati relativi ai valori medi registrati nel corso dell'anno consente di evidenziare temperature superiori a Maggio e da Luglio a Novembre 2006 rispetto a quelle misurate nell'anno precedente (Fig. 3.3.2a).

Nel corso del 2006 la temperatura massima è stata registrata tra Luglio ed Agosto, con un valore lievemente superiore a quello misurato nel Giugno dell'anno precedente.

Così come osservato negli ultimi tre anni, l'iniziale incremento delle temperature massime e l'avvio della stratificazione termica fin dal mese di Marzo sono stati seguiti dall'avvio della crescita numerica del popolamento zooplanctonico, osservata nel 2006 a partire dal mese di Aprile (Fig. 3.3.2b).

La densità di popolazione massima è stata rilevata nel mese di Maggio e il valore raggiunto è stato ragguardevole, dell'ordine di 300 ind l^{-1}, più che doppio rispetto a quello registrato nel 2005. A determinarlo è stata soprattutto la componente a dimensioni più modeste del popolamento, *in primis* i Rotiferi. La crescita numerica eccezionale è stata determinata principalmente da *Notholca acuminata-labis* (Fig. 3.3.2c), specie della quale anche nei due anni pregressi era stata messa in luce l'importanza durante la fase primaverile di sviluppo del popolamento zooplanctonico [9].

Tuttavia, nel 2006, la densità di popolazione massima è risultata eccezionale, tale da emulare le esplosioni numeriche che furono osservate negli anni 1993-1995 [10]. In quegli anni la dominanza di *Notholca* era tipicamente osservata nel periodo estivo, mentre durante la fase primaverile, tratto tipico del Lago Maggiore era la prevalenza delle due specie di *Keratella* (*K. quadrata* e *K. cochlearis*).

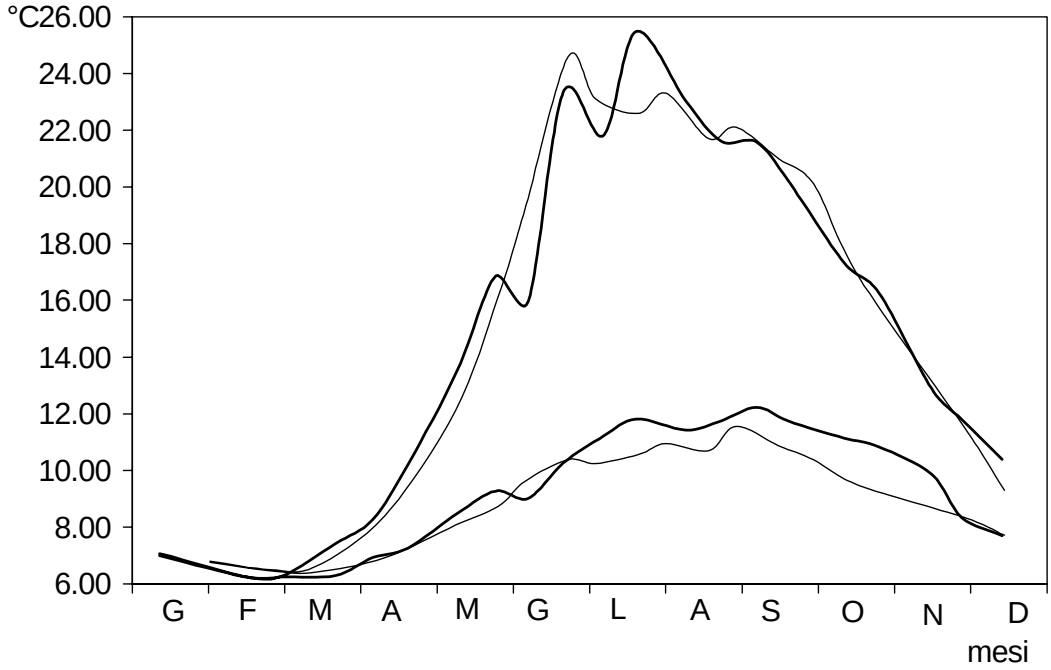


Fig. 3.3.2a. Andamento stagionale delle temperature medie e massime delle acque del Lago Maggiore registrate nello strato 0-50 m durante il 2006 (linea spessa); a titolo di confronto vengono riportate anche le curve relative al 2005.

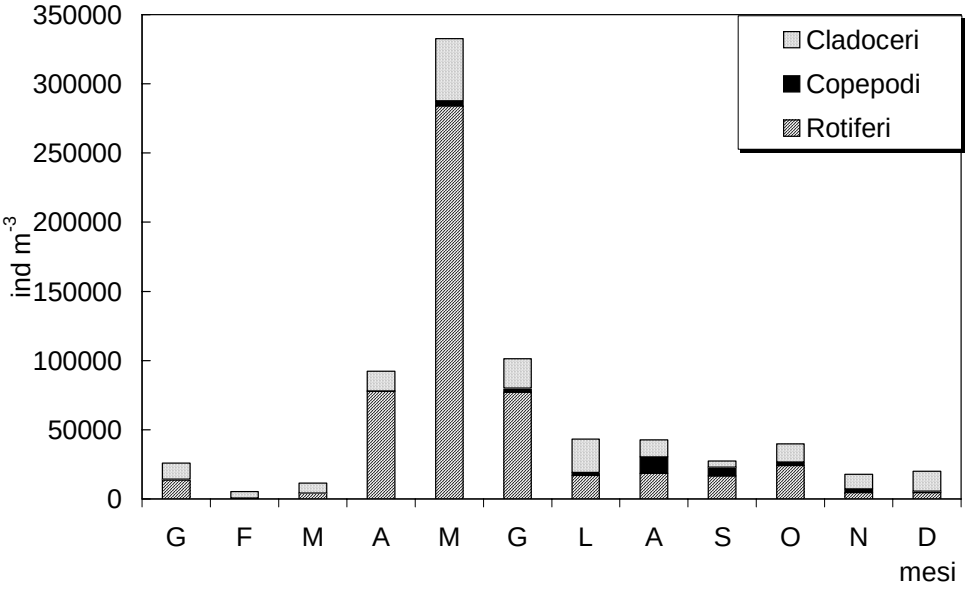


Fig. 3.3.2b. Dinamica stagionale delle diverse componenti del popolamento mesozooplanctonico durante il 2006.

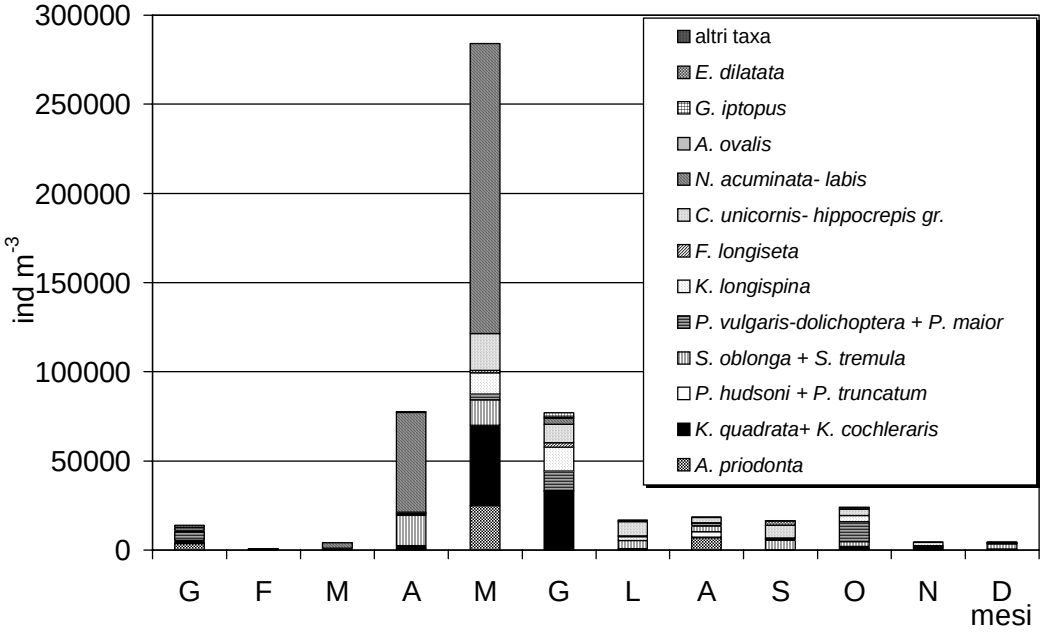


Fig. 3.3.2c. Dinamica stagionale delle principali specie di Rotiferi zooplanctonici nel corso del 2006.

Al contrario, *Keratella* è ormai divenuta una componente numericamente poco rilevante del popolamento a Rotiferi. In tutto l'arco dell'anno 2006 la presenza numerica delle specie coloniali (*Conochilus unicornis-hippocrepis* gr.) è risultata decisamente ridotta rispetto a quella degli anni passati, a conferma del trend in diminuzione osservato in concomitanza con la ripresa numerica di *Daphnia*, a partire dal 1998. La componente coloniale era infatti divenuta importante durante la fase di ridotta presenza numerica dei Cladoceri, e di *Daphnia* in particolare [11].

Tale osservazione trova conferma anche dall'analisi di anni nei quali la presenza numerica di *Daphnia* è stata eccezionale. In particolare, nel 2003, anno risultato il più caldo dell'ultimo secolo, l'eccezionale presenza numerica di *Daphnia* è stata accompagnata da un declino nella densità di popolazione di *Conochilus* [12-13]. Al fine di meglio descrivere e meglio comprendere le modificazioni legate alla componente a Cladoceri, risultata indicatore sensibile delle modificazioni ambientali, i campionamenti di routine di Aprile e Ottobre 2006 sono stati affiancati da prelievi aggiuntivi, in grado di dettagliare al meglio la dinamica stagionale delle diverse specie componenti il popolamento pelagico del lago. Il quadro dei risultati ottenuti appare molto interessante, anche rispetto a quanto evidenziato negli anni passati (Fig. 3.3.2d; [14-15]).

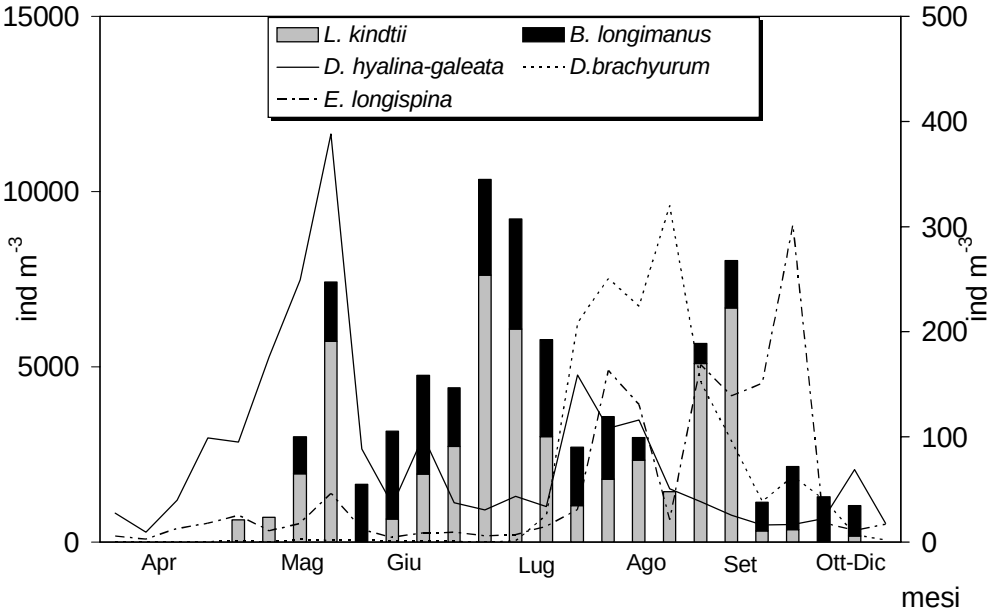


Fig. 3.3.2d. Dinamica stagionale dei cladoceri nel corso del 2006.

La crescita numerica di *Daphnia hyalina-galeata* è risultata notevole, con il raggiungimento di un valore di picco paragonabile a quello tipico degli anni settanta. La massima densità di popolazione è stata registrata a Maggio; l'anticipo del ciclo di *Daphnia*, divenuto ormai fatto usuale, è stato accompagnato da una presenza numerica molto contenuta di *Eubosmina*. Valori di bassa densità di popolazione di *Daphnia* sono stati registrati tra Giugno e Luglio, e una seconda fase di crescita numerica è stata osservata tra Luglio ed Agosto. In questo periodo, la specie maggiormente rappresentata è risultata *Diaphanosoma brachyurum*, la cui densità di popolazione ha raggiunto, nell'Agosto del 2006, valori ragguardevoli, tipici di situazioni di pronunciata stratificazione termica delle acque [10]. Così come osservato in precedenti rapporti [16], la fase principale di crescita numerica di *Eubosmina* è stata registrata in tarda estate-autunno, quando la densità di popolazione sia di *Diaphnanosoma* sia di *Daphnia* risultavano basse.

Anche i dati del 2006 hanno confermato le elevate densità numeriche dei Cladoceri predatori *Leptodora kindtii* e *Bythotrephes longimanus*: nel loro complesso queste due specie hanno raggiunto un valore massimo di densità di popolazione tra Giugno e Luglio di oltre 300 ind m^{-3}. L'accresciuta presenza numerica è stata determinata

soprattutto da *L. kindtii*, specie risultata dominante lungo tutto l'arco dell'anno, fatta eccezione per il periodo compreso tra la fine di Maggio e la prima metà di Giugno. La sua dinamica stagionale nel 2006 è risultata caratterizzata da un inizio precoce (fin da Maggio) e da tre fasi di aumento della densità di popolazione: la prima, a Maggio, la seconda, a fine Giugno-inizio Luglio e la terza, ad Agosto-Settembre. Anche per l'anno 2006, dunque è stato confermato il dato relativo all'accresciuta importanza di *Leptodora*, già evidenziato in precedenti rapporti [16].

Nella fase di massimo sviluppo numerico, la densità di popolazione dei Copepodi è risultata lievemente più elevata nel 2006 rispetto al 2005 [15]. A determinarla è stata una maggiore presenza numerica di *Eudiaptomus padanus* (Fig. 3.3.2e). Valori nettamente inferiori rispetto all'anno precedente ed eccezionalmente bassi hanno invece caratterizzato il popolamento nel successivo periodo dell'anno: in particolare, a Giugno e a Settembre 2006 la densità di popolazione totale è risultata inferiore alla metà di quella registrata nell'anno precedente [15]. Così come evidenziato negli anni pregressi [17], è stato *Mesocyclops leuckarti* a dominare il popolamento a Ciclopidi del lago. La sua prevalenza potrebbe essere legata alle modificazioni climatiche, ed in particolare al riscaldamento ed alla più pronunciata, precoce e durevole stratificazione termica delle acque, in quanto questo organismo tende a prediligere acque più calde e ben stratificate rispetto a *Cyclops abyssorum*.

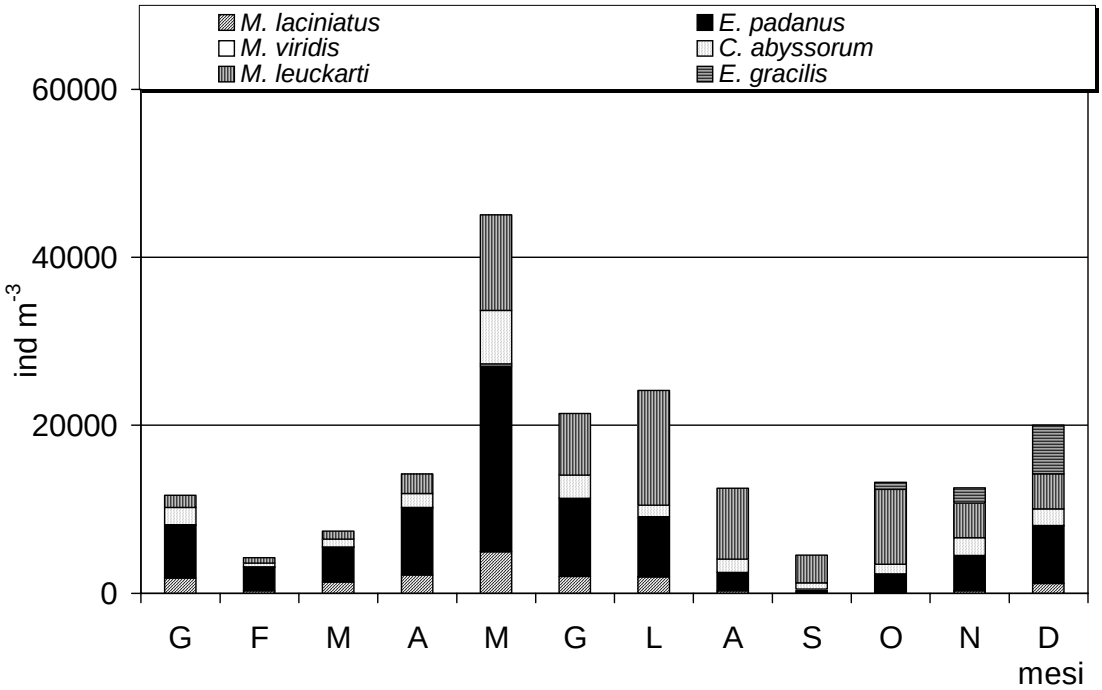


Fig. 3.3.2e. Dinamica stagionale delle diverse specie di Copepodi zooplanctonici durante il 2006.

Il Lago Maggiore è tipicamente ritenuto ambiente ad elevate stabilità e omeostasi [17]: le uniche, importanti modificazioni tassonomiche sono infatti state associate alle manipolazioni nel popolamento ittico degli anni 50, mentre l'eutrofizzazione prima, e la ri-oligotrofizzazione poi, sono state accompagnate solamente da modificazioni nell'abbondanza numerica e nelle proporzioni tra le diverse entità tassonomiche. In

particolare, la componente a Copepodi è stata quella che più marcatamente ha mantenuto questo carattere di stabilità [18].

Lungo l'arco di tempo, quasi trentennale, durante il quale il lago è stato oggetto di monitoraggio, anche relativamente allo zooplancton, la componente a Copepodi è stata tipicamente caratterizzata dalla medesima associazione di specie: due di Diaptomidi, di taglia maggiore l'una (*Mixodiaptomus laciniatus*) e di taglia minore l'altra (*Eudiaptomus padanus*) ed essenzialmente due specie di Ciclopidi, il più grosso *Cyclops abyssorum*, e il più minuto *Mesocyclops leuckarti*, avendo il gigante *Megacyclops viridis* un ruolo decisamente marginale all'interno dello strato 0-50 m usualmente campionato.

In un ambiente di questo tipo, la comparsa del Copepode *Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars, 1863), specie alloctona, nell'Ottobre 2006 rappresenta un fatto importante, meritevole di particolare attenzione. A differenza di quanto osservato negli ambienti nei quali questa specie è stata rinvenuta in precedenza, nel caso del Lago Maggiore la taglia degli adulti è risultata quella caratteristica di ambienti oligotrofi [19], e dunque pienamente sovrapponibile a quella che nello stesso ambiente caratterizza la specie *Mixodiaptomus laciniatus*. Al contrario, il congenerico e filogeneticamente affine *Eudiaptomus padanus* presenta allo stadio adulto una taglia decisamente inferiore.

In questo contesto, pertanto, il Lago Maggiore offre un'occasione importante per investigare l'importanza relativa dei rapporti dimensionali rispetto a quelli di natura filogenetica nella competizione tra specie affini [20].

In generale, dunque, l'anno 2006 è risultato caratterizzato da una maggiore importanza, anche rispetto al 2005, della componente a Rotiferi, ed in particolar modo della componente non coloniale del popolamento. Inoltre, i dati di dettaglio della componente a Cladoceri hanno consentito di confermare la netta ripresa, all'interno della componente stessa, di *Daphnia* e di *Leptodora*.

La presenza nel pelago di una specie alloctona di Copepode diaptomide, *Eudiaptomus gracilis*, rilevata dal mese di Ottobre è divenuta oggetto di monitoraggio anche in rapporto ai rapporti competitivi con la specie congenerica (*E. padanus*) e con quella che sembra ad essa maggiormente affine dal punto di vista dimensionale (*M. laciniatus*).

3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi

Le concentrazioni di carbonio organico totale misurate lungo la colonna d'acqua nel corso dell'anno sono presentate nella tabella 3.4 insieme ai valori medi relativi alla zona eufotica (0-20 m) ed afotica (20-350 m). Nella stessa tabella sono pure sintetizzati i valori relativi alla frazione particellata del carbonio organico e al particellato totale (seston). Sono pure riportate le densità del popolamento batterico misurate nel corso dell'anno.

I dati della tabella sono graficamente sintetizzati nelle figure 3.4a, 3.4b, 34c e 3.4d, rispettivamente relative a Seston, Carbonio Organico Totale (TOC), Carbonio Organico Particellato (POC) e densità del popolamento batterico eterotrofo. Dal loro esame è evidente l'esistenza nel Lago Maggiore di un cospicuo gradiente verticale di concentrazione di tutti i parametri relativi al ciclo del carbonio organico. In particolare negli strati superficiali è presente una variabilità stagionale evidente, che tende a scomparire negli strati profondi della colonna d'acqua.

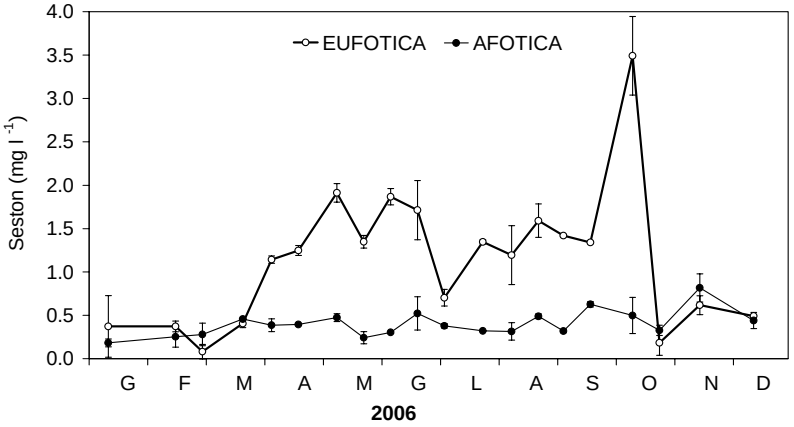


Fig. 3.4a. Concentrazione di Seston nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore nel corso del 2006. Le barre verticali rappresentano la deviazione standard.

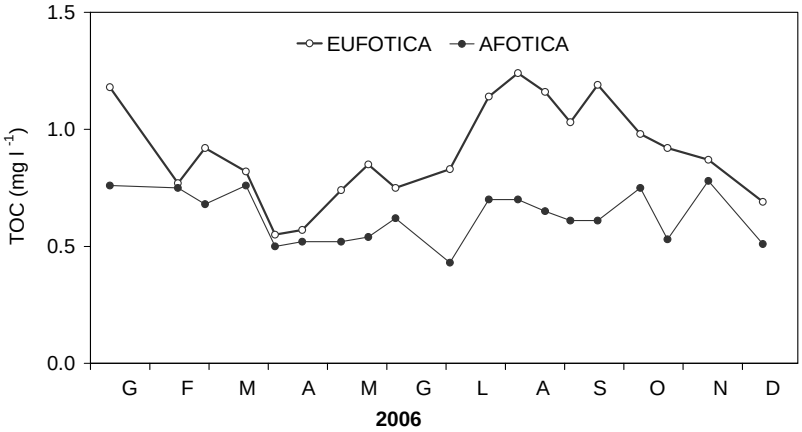


Fig. 3.4b. Concentrazione di Carbonio Organico Totale (TOC) nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore nel corso del 2006. Errore analitico: CV = 2 %.

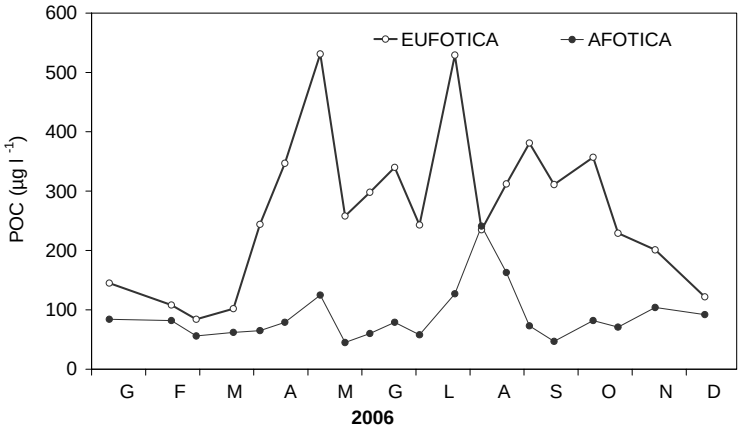


Fig. 3.4c. Concentrazione di Carbonio Organico Particellato (POC) nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore nel corso del 2006. Errore analitico: CV = 2 – 4 %.

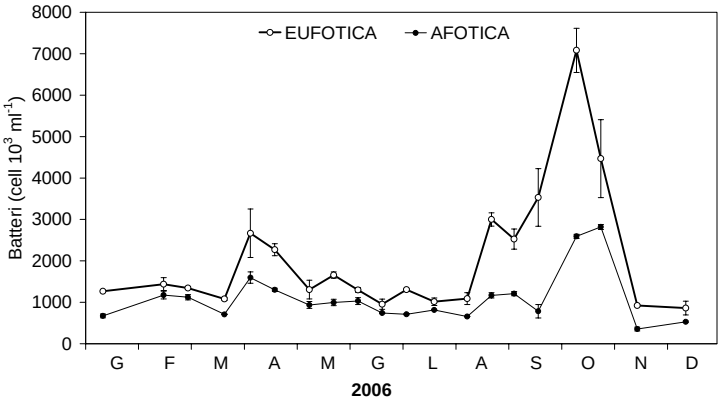


Fig. 3.4d. Densità del popolamento batterico nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore nel corso del 2006. Le barre verticali rappresentano la deviazione standard.

Considerando in particolare la zona eufotica, quella cioè biologicamente più attiva, dalla figura 3.4e, dove è presentata l'evoluzione della concentrazione di TOC in questi strati nel corso del 2006 confrontata la corrispondente concentazione media mensile negli anni 1999 - 2005, si può constatare che la concentrazione di questo parametro si è collocata, in generale, su valori compresi nell'ambito di variabilità del periodo di confronto. In primavera, in Aprile, la concentrazione di TOC è risultata inferiore rispetto agli anni precedenti, superando di poco il valore di 0,5 mg l^{-1}. Nei mesi estivi la concentrazione di TOC si è mantenuta comunque su valori di poco superiori al mg l^{-1}, con un picco estivo ad inizio Agosto di 1,22 mg l^{-1} nella zona eufotica, forse in relazione con il decadimento della fioritura di *Anabaena lemmermannii* che, sia pur con minor importanza rispetto al 2005, ha interessato il Lago Maggiore tra Giugno e Luglio.

Esaminando l'evoluzione stagionale della frazione particellata (POC) nella zona eufotica del Lago Maggiore, si vede (Fig. 3.4f) come questa nel 2006 abbia assunto valori piuttosto elevati in Maggio e Luglio, al culmine delle fioriture primaverili ed estive. Come emerge dal confronto con i dati del periodo di riferimento, si tratta di valori abbastanza elevati. Il picco primaverile, probabilmente, è da mettere in relazione con le fioriture algali tardo primaverili che le peculiarità climatiche dei primi mesi del

2006 hanno ritardato ma non disincentivato, fatto questo forse in relazione con la completa omogeneizzazione della massa lacustre raggiunta nei mesi invernali.

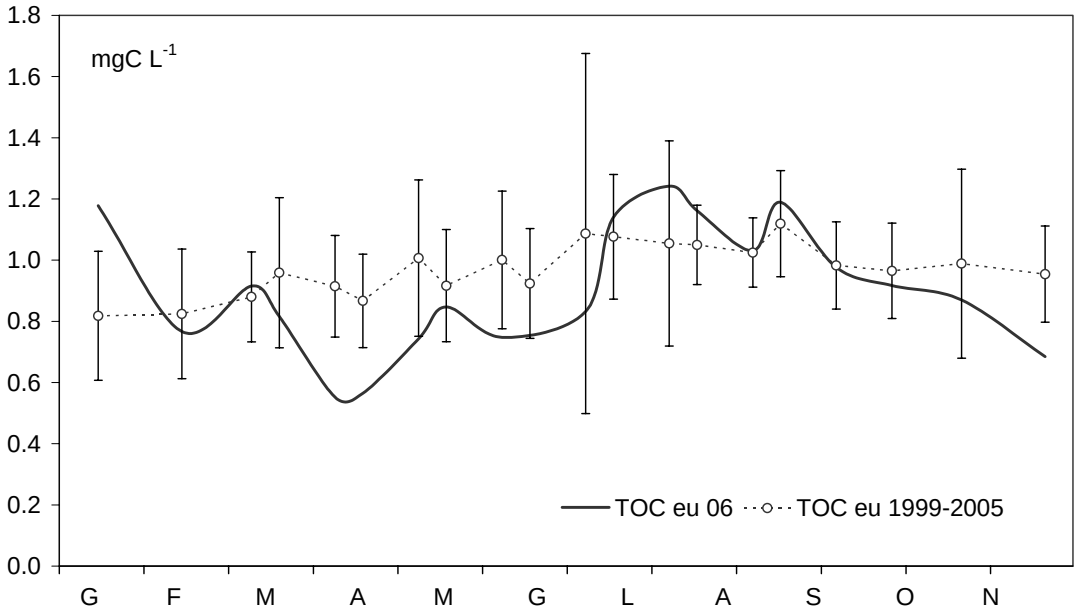


Fig. 3.4e. Valori della concentrazione di carbonio organico totale (TOC: mg l^{-1}) nella zona eufotica del Lago Maggiore: confronto con il periodo 1999–2005 (le barre verticali rappresentano la deviazione standard delle medie mensili).

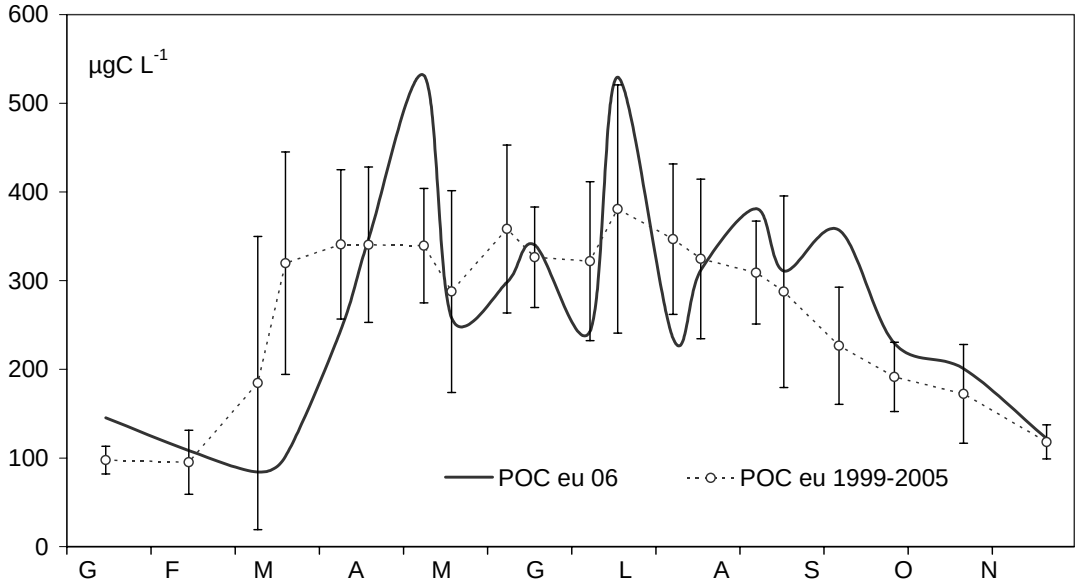


Fig. 3.4f. Valori della concentrazione del POC (carbonio organico particellato con dimensioni >1,2 µm) nella zona eufotica del Lago Maggiore: confronto con il periodo 1999–2005 (le barre verticali rappresentano la deviazione standard delle medie mensili).

Tab. 3.4. Concentrazioni di seston, carbonio organico particellato (POC), carbonio organico totale (TOC) e densità del popolamento batterico eterotrofo (CMD) misurate nel Lago Maggiore nel corso del 2006.

2006	11/1	15/2	1/3	21/3	6/4	20/4	10/5	26/5	7/6	21/6	7/7	25/7	9/8	23/8	5/9	19/9	11/10	25/10	15/11	13/12
Seston mg l^{-1}																				
zona eufotica	0,37	0,37	0,08	0,41	1,14	1,25	1,91	1,35	1,87	1,71	0,70	1,35	1,19	1,59	1,42	1,34	3,49	0,18	0,62	0,49
zona afotica	0,18	0,25	0,28	0,46	0,39	0,40	0,47	0,24	0,30	0,52	0,38	0,32	0,31	0,49	0,32	0,63	0,50	0,33	0,82	0,44
POC µg l^{-1}																				
zona eufotica	145	108	84	102	244	347	531	258	298	340	243	529	235	312	381	311	357	229	201	122
zona afotica	844	82	56	62	65	79	125	45	60	79	58	127	241	163	73	47	82	71	104	92
TOC mg l^{-1}																				
20 m	0,61	0,57	0,71	0,73	0,54	0,48	0,55	0,57	0,49		0,44	0,76	0,61	0,67	0,77	0,75	0,76	0,65	0,83	0,64
50 m	0,60	0,58	0,65	0,66	0,48	0,35	0,48	0,58	0,41		0,35	0,51	0,58	0,35	0,50	0,66	0,58	0,57	0,73	0,52
100 m	0,51	0,58	0,66	0,68	0,50	0,41	0,48	0,44	0,41		0,50	0,64	0,58	0,51	0,51	0,51	0,71	0,52	0,72	0,57
200 m	0,53	0,60	0,70	0,70	0,51	0,69	0,46	0,41	0,48		0,59	0,59	0,57	0,50	0,50	0,57	0,71	0,58	0,78	0,69
300 m	0,55	0,64	0,72	0,72	0,83	0,43	0,43	0,51	0,43		0,84	0,66	0,70	0,44	0,44	0,66	0,64	0,52	0,77	0,58
350 m	0,55	0,62	0,69	0,69	0,71	0,41	0,50	0,47	0,40		0,64	0,69	0,65	0,47	0,50	0,62	0,94	0,56	0,67	0,55
zona eufotica	1,18	0,77	0,92	0,82	0,55	0,57	0,74	0,85	0,75		0,83	1,14	1,24	1,16	1,03	1,19	0,98	0,92	0,87	0,69
zona afotica	0,76	0,75	0,68	0,76	0,50	0,52	0,52	0,54	0,62		0,43	0,70	0,70	0,65	0,61	0,61	0,75	0,53	0,78	0,51
CMD																				
cell 10^6 ml^{-1}																				
zona eufotica	1,27	1,44	1,34	1,08	2,67	2,27	1,31	1,66	1,30	0,96	1,31	1,02	1,09	3,00	2,53	3,53	7,08	4,47	0,92	0,86
zona afotica	0,67	1,18	1,12	0,71	1,60	1,30	0,94	1,00	1,03	0,74	0,71	0,82	0,66	1,17	1,21	0,78	2,59	2,82	0,36	0,53

Passando a valutare i risultati relativi ai popolamenti batterici eterotrofi (Fig. 3.4g), la loro abbondanza ha presentato come di consueto una maggiore variabilità nella zona eufotica dove l'influenza dei cambiamenti climatici stagionali e le dinamiche del fitoplancton, la principale fonte autoctona di carbonio organico, e dello zooplancton si fanno sentire maggiormente.

Esaminando in particolare l'evoluzione temporale del popolamento batterico nel 2006 in questi strati d'acqua, presentata nel grafico in figura 3.4g, è evidente che il popolamento batterico è stato caratterizzato da densità inferiori rispetto al periodo di confronto con l'eccezione del mese di Ottobre quando si sono contate fino a 7 milioni di cell ml^{-1}.

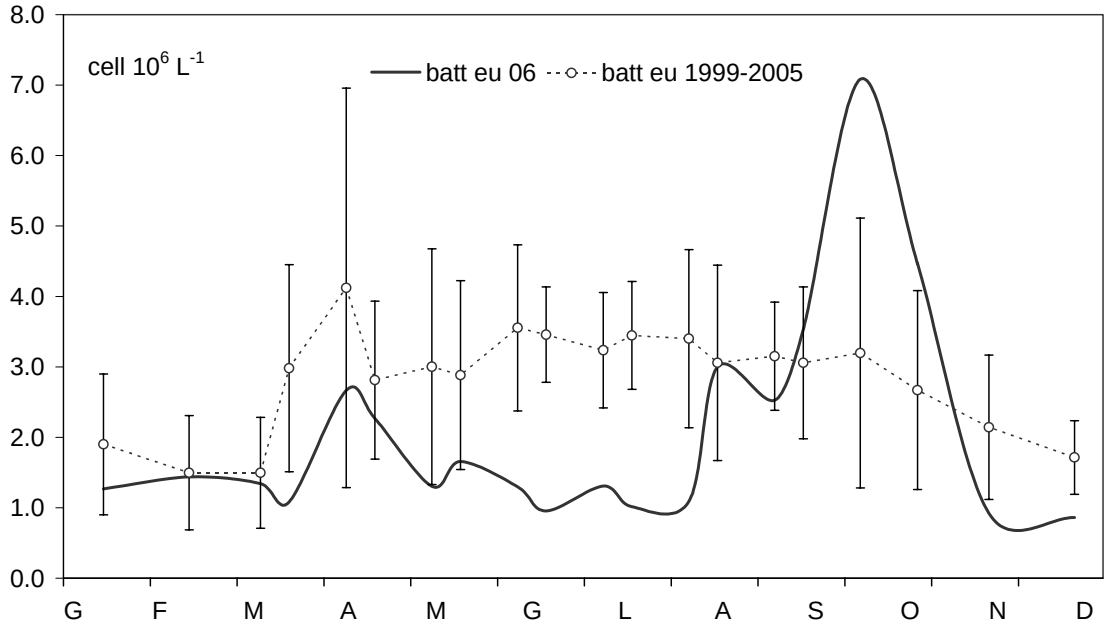


Fig. 3.4g. Variazione del numero totale di batteri nella zona eufotica del Lago Maggiore: confronto con il periodo 1999–2005 (le barre verticali rappresentano la deviazione standard delle medie mensili).

È da segnalare che il cospicuo picco di densità batterica del mese di Ottobre nella zona eufotica è stato affiancato da un parallelo notevole incremento dell'abbondanza di batteri nella zona afotica ove si sono contate fino a 2,8 milini di cellule ml^{-1}.

Come già nello scorso anno si è effettuato un confronto statistico dei volumi medi cellulari dei due morfotipi cocchi e bacilli. Si è ricorsi ad una trasformazione dei dati di biovolume con una funzione di smoothing esponenziale (Statistica6: time series forcasting) che permette di ridurre la "stagionalità" dei dati. In figura 3.4h sono presentati i dati di biovolume cellulare batterico così trasformati. L'analisi statistica effettuata su di essi ha mostrato che esiste una differenza significativa con $P< 0,01$ tra la zona eufotica ed afotica. Anche nel 2006 in quest'ultima zona i batteri sono risultati significativamente più grandi. Come già detto, questa differenza può dipendere dalle condizioni fisico-chimiche delle acque ipolimnetiche, dove la temperatura può limitare la duplicazione e dove il substrato organico è in concentrazione inferiore ed è più refrattario, nonché da una pressione di grazing dimensionalmente selettiva, da parte

della frazione più grande del microzooplancton, che potrebbe controllare la struttura della comunità batterica nella zona eufotica.

In conclusione lo studio dei popolamenti batterici ha mostrato che i batteri sono numericamente più abbondanti nella zona eufotica rispetto alla zona afotica ma che, tuttavia, i popolamenti che vivono in profondità sono significativamente più grandi. Infine, il notevole incremento numerico del popolamento batterico in Ottobre, popolamento che risulta anche costituito da cellule di maggiori dimensioni sia negli strati superficiali che in quelli profondi, potrebbe essere imputabile ad un imput alloctono poiché si sono avute cospicue pioggie in Agosto e Settembre. Però in assenza di una analisi qualitativa, certamente auspicabile per il futuro, dei popolamenti batterici non è però possibile confermare tale ipotesi.

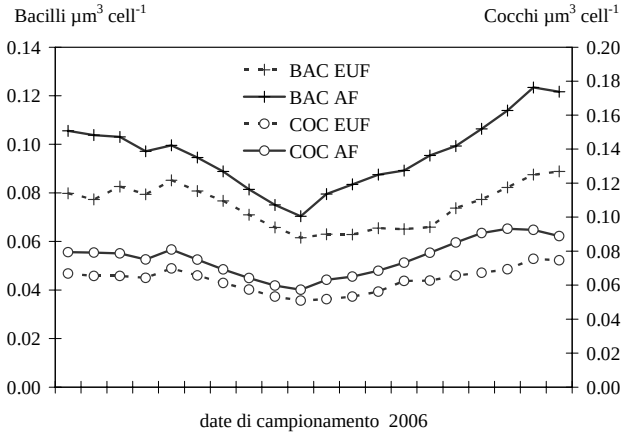


Fig. 3.4h. Variazione del biovolume medio cellulare dei batteri (dati smoothed), suddivisi nei morfotipi a cocco e bacillo nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore nel corso del 2006.

4. CONCLUSIONI

Il totale annuo delle precipitazioni è stato, nel 2006, di 1342 mm, valore pari al 70% del valore medio pluriennale. Le stazioni dove si sono registrate le maggiori precipitazioni sono Robiei (2130 mm, pari all'80% del valore medio pluriennale), Cicogna (2127 mm, pari al 92%) e Cursolo (1929 mm, pari al 90%). Le stazioni con minori precipitazioni sono state Macugnaga P.sso Moro (729 mm, pari al 96%) e Rovesca (806 mm, pari al 45% del valore medio pluriennale). Dall'analisi delle isoiete si notano due nuclei caratterizzati da precipitazioni più elevate, nell'alta Valle Maggia uno, e in Valgrande e Valle Cannobina l'altro. Le precipitazioni meno elevate si trovano ad Ovest, nell'alta e bassa valle del Toce, in particolare in Valle Anzasca.

Per quanto riguarda l'andamento stagionale delle piogge, si nota che, a parte l'inverno, dove si sono registrate precipitazioni di poco al di sotto della media, nelle altre stagioni si sono avuti valori molto al di sotto della media pluriennale, soprattutto in primavera con 255 mm registrati, contro i 473 mm medi pluriennali.

Passando ad esaminare i deflussi dei principali immissari e dell'emissario del Lago Maggiore, per la maggior parte dell'anno e per quasi tutti i corsi d'acqua le portate registrate nel 2006 sono state molto al di sotto della media pluriennale. Fa eccezione il Cannobino che, per le forti precipitazioni cadute all'interno del suo bacino negli ultimi 5 mesi dell'anno, ha visto permanere il proprio livello su valori superiori alle medie pluriennali.

Ad Aprile è stato ripristinato il funzionamento dell'idrometro sul Torrente Niguglia; anche lo strumento sul Torrente Boesio è stato ripristinato, ma solamente a metà Dicembre; è stato comunque riportato un valore mensile, se pur parziale. Per quanto riguarda il Torrente San Giovanni, invece, ci sono misure solo fino a metà Agosto, a causa della rottura della strumentazione; mancano quindi, i mesi più rilevanti da un punto di vista idrologico, cioè quelli da Settembre a Dicembre. Mediamente, nel 2006, si sono registrate tra il 54% e il 63% delle portate medie pluriennali. Fanno eccezione il Bardello, con un valore medio annuale intorno al 14% rispetto al periodo di riferimento (1939-2005), e il Torrente Margorabbia che ha fatto registrare il 35% delle portate medie pluriennali. Anche il Ticino Emissario, pur avendo un regime regolato, ha seguito l'andamento della maggior parte degli immissari del lago, rimanendo molto al di sotto dei valori medi pluriennali per quasi tutti i mesi dell'anno, avvicinandosi al valore medio pluriennale solo a Settembre e superandolo di poco a Dicembre.

Nel 2006 si è registrata una quantità di radiazione superiore alla media con maggiore evidenza in estate ed in particolare a Giugno dove con 17.210 cal cm^{-2} si è sfiorato il massimo dello stesso mese del 1962 (17.775 cal cm^{-2}). Pure la temperatura atmosferica con una media annua di 13,55 °C ha confermato la tendenza al rialzo termico collocandosi appena al di sotto dei 14,27 °C del 2003; questo anche se a livello mensile si sono riscontrati alcuni contrasti. Si evidenzia infatti un inizio dell'anno decisamente freddo con temperature nettamente al di sotto della norma. Per contro i mesi di Giugno e Luglio nonché Ottobre e Novembre sono risultati chiaramente caldi; in particolare si è stabilito per questo ultimo mese il nuovo massimo assoluto del periodo ultracinquantennale. L'evaporazione si è mantenuta nella media mentre la quantità di vento filato pur risultando al di sopra del normale ha presentato nella prima parte dell'anno valori molto bassi.

Decisamente basso è stato il livello medio del lago nel corso del 2006 (193,49 contro 193,87 m s.l.m.) in conseguenza di due situazioni di magra. Una prima invernale durante la quale il livello del lago si è mantenuto sotto i 193,00 m s.l.m. dall'inizio dell'anno sino al 19 Febbraio, raggiungendo il valore minimo di 192,55 m s.l.m. il 9 Gennaio. È seguita una magra estiva durata dal 21 Giugno al 17 Agosto, con il livello minimo del 15 Agosto a 192,63 m s.l.m. È difficile spiegare una situazione tanto anomala, alla quale hanno senza dubbio concorso le scarse precipitazioni dell'anno e, in particolare quelle di Giugno, ma sulla quale ha fortemente inciso la gestione delle opere idrauliche a monte e a valle del lago.

Il Lago Maggiore ha subito nel 2006 un netto raffreddamento di tutta la massa d'acqua nel periodo invernale, che è poi proseguito nello strato ipolimnico per gran parte dell'anno: era dal 1991 che non si misuravano temperature così basse nelle acque profonde del lago. Contemporaneamente si è verificata una notevole ossigenazione con una concentrazione di ossigeno che ha superato abbondantemente i 9,5 mg l^{-1} nei primi mesi dell'anno mantenendosi appena sotto i 9,0 mg l^{-1} sino alla fine del 2006.

Per quanto riguarda il contenuto energetico totale nella massa lacustre, nel corso del 2006 si distinguono tre fasi. Una che interessa i primi tre mesi dell'anno, quando la notevole cessione di calore soprattutto in Marzo (in questo mese solitamente si ha un immagazzinamento di calore) porta il contenuto totale nella massa d'acqua su livelli uguali a quelli della seconda metà degli anni ottanta (111.945 cal cm^{-2}); una seconda che si protrae da Aprile sino a Settembre quando si raggiunge il massimo dell'anno con 147.002 cal cm^{-2} vicino ai valori del 2001. Una nuova fase di raffreddamento si ha in Ottobre e Novembre (la perdita nei due mesi è di 15.000 cal cm^{-2}) cosicché l'anno termina con un contenuto di 127.234 cal cm^{-2} su valori molto più elevati dell'anno precedente (124.939 cal cm^{-2}) e con un bilancio di 35.055 cal cm^{-2} che è il più alto dal 1963.

Nel 2006 il Lago Maggiore ha subito un mescolamento completo; è da rilevare però che l'energia fornita dai parametri meteorologici (vento, temperatura atmosferica e radiazione solare) è risultata insufficiente ad innescare il meccanismo convettivo di mescolamento verticale per cui si presume che l'omogeneizzazione della massa lacustre sia avvenuta attraverso altri processi. Il più plausibile sembra quello indotto dal notevole afflusso di acque fluviali al lago, caratterizzate da una temperatura media inferiore ai 4 °C; tale afflusso ha superato per alcuni giorni i 250 m^3 s^{-1} nel periodo precedente il 22 Febbraio (giorno in cui si è verificata la completa circolazione). Questa notevole quantità di acqua che ha innalzato di 40 cm il livello del lago e che ne ha momentaneamente interrotto la fase di magra, si è distribuita entro tutta la massa lacustre determinandone una completa omogeneizzazione.

Nel 2006, come per gli anni precedenti, le analisi idrochimiche sulle acque del Lago Maggiore, dei suoi principali tributari e del Ticino emissario, sono state effettuate con frequenza mensile. I campionamenti delle acque lacustri sono stati eseguiti nella stazione di massima profondità, a Ghiffa; inoltre, nei mesi di Marzo e Settembre, sono stati effettuati dei prelievi nella stazione di Lesa, situata nella parte meridionale del lago.

Le caratteristiche chimiche delle acque nelle due stazioni sono risultate molto simili tra loro e non si sono discostate in maniera significativa da quelle degli anni precedenti. I valori medi annui di pH (7,45), conducibilità (148 µS cm^{-1}) e contenuto ionico (3,18 meq l^{-1}) rilevati nella stazione di Ghiffa nel 2006 sono risultati leggermente superiori

rispetto agli anni precedenti, ma comunque nei limiti della variabilità interannuale normalmente riscontrata nella chimica delle acque lacustri.

I valori massimi di pH ed ossigeno epilimnico nel corso del 2006 sono stati rilevati nei mesi di Luglio (8,8) e Giugno (121%), rispettivamente. Il pH ipolimnico è risultato leggermente maggiore nel 2006 rispetto al 2005, con un massimo di 7,55 ad Aprile. Nel corso del decennio 1997-2006 i valori di pH in ipolimnio hanno mostrato una lieve tendenza all'aumento, da 7,2-7,3 negli anni 1997-98 a 7,4-7,5 negli anni più recenti. I minimi invernali dell'ossigeno epilimnico erano invece andati diminuendo leggermente dopo l'evento di rimescolamento dell'inverno 1998-99, passando da 85-90% a 75-80% come percentuale di saturazione.

Però nel 2006, come si è detto sopra, le acque lacustri sono state interessate da un rimescolamento quasi totale della colonna d'acqua nel mese di Febbraio (6,29 °C su tutta la colonna d'acqua il 22 Febbraio). Questo ha determinato un ulteriore incremento delle concentrazioni medie nello strato al disotto dei 200 m, comprese tra 8,8 mg O_2 l^{-1} (73% di saturazione) a Gennaio e 9,7 mg O_2 l^{-1} (81% di saturazione) in Aprile e Settembre, valori superiori anche a quelli registrati nel corso della piena circolazione del Febbraio 1999.

Nel 2006 si è presentata una situazione analoga a quella degli anni 2003 e 2005 per quanto riguarda l'evoluzione stagionale di alcune variabili chimiche. Il periodico calo dei valori epilimnici di conducibilità e alcalinità, verificatosi con regolarità dal 1997 al 2002 e nel 2004, è stato osservato anche nel 2006 ma in misura nettamente ridotta ed interessando gli ultimi mesi dell'anno anziché quelli estivi. La spiegazione è da ricercarsi nella precipitazione del carbonato di calcio, fenomeno che non ha avuto luogo negli anni 2003 e 2005 e si è verificato probabilmente in maniera solo parziale nel 2006. Questa tendenza può essere messa in relazione alla meteorologia, in quanto gli ultimi anni del periodo di studio, con l'eccezione del 2004, sono stati caratterizzati da temperature estive elevate e da precipitazioni estremamente ridotte o addirittura assenti nei mesi invernali e primaverili.

Le concentrazioni medie di fosforo e azoto totale sulla colonna d'acqua rilevate nel 2006 (10 µg P l^{-1} e 0,96 mg N l^{-1} rispettivamente) sono risultate confrontabili con quelle del periodo 1997-2005. Nella stazione di Lesa si sono misurate concentrazioni dei composti del fosforo e dell'azoto del tutto simili a quelli della zona di massima profondità, sia a Marzo che a Settembre.

Il 2006 ha presentato valori estivi di fosforo totale leggermente inferiori (in ogni caso minori di 11 µg P l^{-1}) rispetto a quelle degli anni precedenti, ed una maggior dispersione dei valori di azoto totale. Le concentrazioni di ammonio, pur mantenendosi comprese tra 2 e 7 µg N l^{-1} come valori medi sulla colonna d'acqua, hanno raggiunto massimi di 25-30 µg N l^{-1} in epilimnio nei mesi di Maggio e Settembre. Anche a Lesa le concentrazioni di azoto ammoniacale a Settembre hanno raggiunto valori di 30-35 µg N l^{-1} nelle acque superficiali.

Come già messo in evidenza negli ultimi anni, l'andamento a lungo termine delle concentrazioni di azoto nitrico mostra una lieve tendenza all'aumento, mentre per l'azoto totale è difficile individuare la presenza di un eventuale trend, in quanto i valori presentano una maggior dispersione rispetto ai nitrati.

I contenuti medi di fosforo totale nelle acque lacustri nel corso degli ultimi 10 anni si sono mantenuti compresi tra 8 e 12 µg P l^{-1}, livelli che confermano l'attuale condizione di oligotrofia. Alcune zone rivierasche risultano però ancora influenzate dalla presenza

di scarichi o dall'immissione a lago di acque tributarie ad elevato contenuto di nutrienti, tali da pregiudicarne il livello qualitativo.

I valori medi annui di pH, alcalinità totale e conducibilità nelle acque dei 14 tributari oggetto di studio sono risultati, nel 2006, del tutto simili a quelli degli anni precedenti, a conferma della sostanziale stabilità del chimismo di base dei corsi d'acqua. Per quanto riguarda i livelli di inquinamento, definiti attraverso le concentrazioni di nutrienti quali i composti di fosforo e azoto, Boesio e Bardello presentano la situazione di maggior degrado, come evidenziato dalle concentrazioni medie annue di fosforo totale (rispettivamente 392 e 469 µg P l^{-1}), azoto ammoniacale (0,33 e 0,41 mg N l^{-1}), organico (0,44 e 0,38 mg N l^{-1}) e totale (3,98 e 2,93 mg N l^{-1}). Tra gli altri corsi d'acqua, San Giovanni, Ticino immissario, Cannobino, San Bernardino, Maggia, Verzasca presentano condizioni da buone a ottime, mentre una situazione di compromissione medio-elevata è riscontrabile per Giona, Vevera, Tresa ed Erno, a causa della presenza nei bacini drenanti di scarichi non sufficientemente depurati. È da segnalare come nel 2006 si sia ripristinata una situazione di normalità per quanto riguarda le acque del Torrente S. Bernardino. Nel 2005 infatti, in due occasioni, erano state rilavate per questo corso d'acqua concentrazioni estremamente elevate di fosforo totale (771 e 93 µg P l^{-1} rispettivamente). Sulla base dei dati raccolti, tali eventi non sembrano essersi ripetuti nel 2006, in quanto le concentrazioni sono risultate inferiori a 10 µg P l^{-1} in tutti i campionamenti, con l'eccezione di un valore di 18 µg P l^{-1} a Novembre.

Le concentrazioni medie di fosforo totale e di azoto ammoniacale degli afflussi complessivi al lago dai tributari hanno presentato, nel 2006, valori del tutto analoghi a quelli dell'anno precedente. Dopo il massimo registrato nel 2003 (0,09 mg N l^{-1}), gli afflussi medi annui di azoto ammoniacale si sono riportati su valori medi di 0,05 mg N l^{-1}, mentre quelli di fosforo totale sono risultati, nel biennio 2005-2006, simili o di poco inferiori al valore del 2003 (35 µg P l^{-1}) e comunque leggermente superiori alla media dell'ultimo decennio.

Gli afflussi meteorici sull'intero bacino imbrifero sono passati da 991 mm nel 2005 a 1342 nel 2006, giustificando così un parziale aumento dei carichi veicolati a lago. In realtà l'aumento è stato osservato limitatamente all'azoto totale e alla sua componente inorganica: i carichi complessivi veicolati dalle acque tributarie di azoto ammoniacale, nitrico e totale sono passati rispettivamente da 4030 a 4584 t N a^{-1}, da 215 a 252 t N a^{-1} e da 4930 a 5160 t N a^{-1}, con aumenti percentuali corrispondenti del 14%, 17% e 5%. Gli apporti totali di azoto organico si sono invece pressoché dimezzati rispetto al 2005, passando da 681 a 324 t N a^{-1} (-52%). Infine, gli apporti complessivi di fosforo nel 2006 (102 t P a^{-1}) sono risultati del tutto simili a quelli dell'anno precedente (108 t P a^{-1}).

Per quanto riguarda i carichi veicolati dai singoli tributari, è stato riscontrato un aumento per Boesio e Tresa (rispettivamente +59 e +242 t N a^{-1} per l'azoto totale e +6 e +5 t P a^{-1} per il fosforo totale), ed una diminuzione consistente per il Bardello (-105 t N a^{-1} e -24 t P a^{-1}), quest'ultima imputabile ad una riduzione nelle portate (da 2,50 a 1,27 m^3 s^{-1} come valore medio annuo), in quanto le concentrazioni medie annuali si sono mantenute invece pressoché invariate rispetto al 2005.

Considerando i contributi areali di fosforo ed azoto ammoniacale ed organico, i valori per Boesio e Bardello si riconfermano troppo elevati, così come appare sensibilmente compromessa la situazione per Giona, Vevera e Tresa, che hanno presentato inoltre un peggioramento delle condizioni rispetto al 2005.

A scala regionale vengono quindi confermati i risultati dell'ultimo decennio: le acque tributarie ticinesi presentano una condizione ottima, quelle piemontesi moderatamente accettabile, mentre le acque lombarde, nel 2006 e più in generale nell'ultimo triennio, continuano a destare preoccupazione a causa soprattutto dei contributi di fosforo totale e di azoto ammoniacale.

I carichi areali di fosforo veicolati dalle acque tributarie (rispettivamente 0,022, 0,018 e 0,017 g P m^{-2} a^{-1} come valori medi degli ultimi tre anni) possono essere considerati compatibili con il mantenimento di uno stato oligotrofo delle acque lacustri. I contributi da parte dei singoli tributari necessitano comunque di un'attenta valutazione, soprattutto ai fini dei possibili effetti sulla fascia rivierasca.

Per quanto riguarda il popolamento algale del Lago Maggiore, le osservazioni compiute nell'anno 2006 confermano, in generale, la sostanziale stabilità nella struttura del fitoplancton, per quanto riguarda la biodiversità complessiva ed i valori medi di clorofilla e biovolume. Tuttavia, per quanto riguarda la composizione specifica della biocenosi algale, il 2006 ha mostrato diverse analogie con il 2005, confermando alcune osservazioni che avevano costituito elementi di novità nell'anno precedente, quali la forte riduzione di specie importanti in anni passati e la ricomparsa della fioritura di *Anabaena lemmermannii*. Alcune somiglianze climatiche tra 2005 e 2006 sembrano avere favorito eventi che si sono svolti con modalità simili in entrambi gli anni, come lo sviluppo tardivo del fitoplancton primaverile e lo scarso biovolume delle diatomee. Ciò sembra rafforzare l'ipotesi secondo cui vi sarebbero dei cambiamenti in atto nella struttura delle biocenosi algali: tuttavia, due anni potrebbero essere un periodo troppo breve per avere la certezza che gli eventi osservati siano l'indizio di modificazioni effettive. Solo attraverso valutazioni a scala spazio-temporale più ampia sarà, forse, possibile capire se le modificazioni osservate siano l'indizio di un cambiamento più profondo a livello ecosistemico, eventualmente condizionato dall'alterazione del clima.

A proposito del popolamento zooplanctonico c'è da dire che, in generale, l'anno 2006 è risultato caratterizzato da una maggiore importanza, anche rispetto al 2005, della componente a Rotiferi, ed in particolar modo della componente non coloniale del popolamento. Inoltre, i dati di dettaglio della componente a Cladoceri hanno consentito di confermare la netta ripresa, all'interno della componente stessa, di *Daphnia* e di *Leptodora*. La presenza nel pelago del Lago Maggiore di *Eudiaptomus gracilis*, specie alloctona è ora al vaglio relativamente ai meccanismi che regolano i rapporti competitivi con le specie ad essa affini.

Nel 2006 le concentrazioni di carbonio organico, totale e particellato, il seston e le densità dei popolamenti batterici (come numero di cellule) sono risultate congrue con il trend evolutivo del quinquennio passato, presentando valori medi annui prossimi a quelli del 2005. In generale, in primavera la concentrazione di TOC è risultata inferiore rispetto agli anni precedenti, superando di poco il valore di 0,5 mg l^{-1}. Nei mesi estivi la concentrazione di TOC si è mantenuta comunque su valori di poco superiori al mg l^{-1}, con l'eccezione di un modesto picco estivo epilimnico di 1,22 mg l^{-1}, forse in relazione con il decadimento della fioritura di *Anabaena lemmermannii* che ha interessato il Lago Maggiore tra Giugno e Luglio.

Il popolamento batterico eterotrofo, ha presentato la consueta eterogeneità temporale sia come numero che come biomassa. I batteri sono risultati, come al solito, numericamente più abbondanti nella zona eufotica che in quella afotica. Esaminando però in dettaglio l'evoluzione stagionale del popolamento batterico epilimnico nel 2006, in questi strati d'acqua è evidente che il popolamento batterico è stato caratterizzato da densità inferiori rispetto ai 7 anni precedenti con l'eccezione del mese di Ottobre quando si sono contate fino a 7 milioni di cell ml^{-1}. Si è confermato che i popolamenti che vivono in profondità sono costituiti da cellule significativamente più grandi rispetto a quelle dei popolamenti della zona eufotica. Questo risultato, affiancandosi alle stime di abbondanza batterica, introduce un ulteriore criterio di valutazione della diversità batterica che, con il supporto delle evidenze ottenibili con tecniche di ecologia molecolare, potrebbe assumere in futuro un valore diagnostico rilevante per valutare l'influenza dell'evoluzione climatica in atto sulla biodiversità dei popolamenti batterici del Lago Maggiore.

In conclusione, il 2006, proseguendo la tendenza evidenziatasi già nel 2005, si è configurato come un anno caratterizzato da un ridotto afflusso meteorico, ridotto al 70% del valore medio pluriennale, e particolarmente caldo, con una temperatura atmosferica media annua di 13,55 °C, valore di poco inferiore al massimo del 2003. Questo situazione meteo climatica ha determinato evidenti conseguenze sul regime idrometrico del Maggiore. Infatti il livello medio del lago nell'ultimo anno è stato decisamente basso (193,49 m s.l.m. contro il valore medio di 193,87 m s.l.m. del periodo di confronto).

Un fatto positivo è che nel 2006 il Lago Maggiore ha subito un mescolamento completo, anche se l'energia fornita dai parametri meteorologici è risultata insufficiente ad innescare il meccanismo convettivo di mescolamento verticale per cui l'omogeneizzazione della massa lacustre è avvenuta attraverso altri processi come, per esempio, l'afflusso di acque fluviali al lago. Il fenomeno comunque, quale che ne sia stata la causa, ha determinato un incremento dell'ossigenazione delle acque ipolimniche.

L'idrochimica lacustre non ha subito variazioni degne di nota rispetto agli anni scorsi. Ciononostante si è nuovamente verificata in estate una fioritura del cianobattere *Anabaena lemmermannii*. È possibile che la particolare situazione climatica abbia agito sinergicamente con altre cause non ancora individuate nel determinare la fioritura di cianobatteri che ha compromesso le acque lacustri nel corso dell'estate. In altre parole, in assenza di un congruo sforzo di ricerca, per il quale attualmente mancano le risorse, non è possibile dotare di supporto sperimentale le ipotesi che si possono avanzare sul fenomeno della fioritura nonostante questo, come già sottolineato, possa avere ripercussioni socio economiche pesanti per la potenziale pericolosità di questi organismi.

BIBLIOGRAFIA

[1] 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.

[2] Ambrosetti, W., L. Barbanti & A. Rolla. 1983. La dinamica del mescolamento nei laghi profondi. In: *Mescolamento, caratteristiche chimiche, fitoplancton e situazione trofica nei laghi profondi sudalpini. CNR P.F. "Promozione della qualità dell'ambiente*". AQ/2/20: 42-69.

[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] Ambrosetti, W., Barbanti L. & N. Sala. 2003. Tempo di residenza e processi fisici nei laghi. *International conference. Residence Time in Lakes: Science, Management, Education.* September 29th - October 3rd 2002 Bolsena (Viterbo): 1-16.

[5] Morabito, G. 2001. Relationships between phytoplankton dynamics in Lake Maggiore and local climate in the period 1978-'98. *Atti A.I.O.L.*, 14: 147-156.

[6] Tilman, D., S.S. Kilham & P. Kilham. 1982. Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 13: 349-372.

[7] Morabito, G., D. Ruggiu & P. Panzani. 2002. Recent dynamics (1995-1999) of the phytoplankton assemblages in Lago Maggiore as a basic tool for defining association patterns in the Italian deep lakes. *J. Limnol.*, 61(1): 129-145.

[8] Salmaso, N. 2000. Factors affecting the seasonality and distribution of cyano-bacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. *Hydrobiologia*, 438: 43-63.

[9] Manca, M., P. Canale, M. Beltrami & R. de Bernardi. 1996. Indagini sullo zooplancton. In: Ist. Ital. Idrobiol. - C.N.R. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1993-1997. Campagna 1995 con sintesi degli anni 1993-1994*. Commissione Internazionale per la Protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 59-68.

[10] Manca, M., M. Beltrami, P. Comoli, C. Ramoni & R. de Bernardi. 1997. Indagini sullo zooplancton. In: Ist. Ital. Idrobiol. - C.N.R. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1993-1997. Campagna 1996*. Commissione Internazionale per la Protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 57-65.

[11] Manca, M., T. Spagnuolo & P. Comoli. 1994. Variation in carbon and nitrogen content with body length of *Daphnia hyalina-galeata* s.l. from laboratory and field observations. *J. Plank. Res.*, 16: 1303-1341.

[12] Visconti, A., A. Marchitelli, R. de Bernardi & M. Manca. 2006. 2003, the warmest year of the last hundred years: implications for Lake Maggiore's zooplanktonic cladoceran community. In: *Atti XVII Congresso AIOL* (pending for revision).

[13] Visconti, A., A. Marchitelli & M. Manca. 2006. Implicazioni dell'aumento della temperature sullo zooplancton del Lago Maggiore: l'aumento della temperatura mima l'eutrofizzazione? In: *Atti XVI Congresso S.It.E.* (pending for revision).

[14] Manca, M., M. Portogallo & R. de Bernardi. 2005. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico. In: C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbania. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2004*. Commissione Internazionale per la Protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 59-67.

[15] Manca, M., A. Visconti, R. Piscia & R. de Bernardi. 2006. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico. In: C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbania. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2005*. Commissione Internazionale per la Protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 60-63.

[16] Manca, M., P. Comoli & A. Carnovale. 2004. Indagini sullo zooplancton. In: C.N.R.-I.S.E. Sezione di Idrobiologia ed Ecologia delle Acque Interne. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 1998-2002. Campagna 2002*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 98-102.

[17] Baldi, E. 1951. Stabilité dans le temps de la biocénose zooplanctique du Lac Majeur. *Verh. Int. ver. Limnol.*, 11: 35-40.

[18] de Bernardi, R. & C. Canale. 1995. Ricerche pluriennali (1948-1992) sull'ecologia dello zooplancton del Lago Maggiore. *Documenta Ist. Ital. Idrobiol.*, 55: 68 pp.

[19] Kiefer, F. 1968. Versuch einer revision der gattung *Eudiaptomus* Kiefer (Copepoda Calanoida). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 24: 160 pp.

[20] Ricciardi, A. & M. Mottiar. 2006. Does Darwin's naturalization hypothesis explain fish invasions? *Biological Invasions*, 8: 1403–1407.

ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

RESPONSABILE DELLA RICERCA

Dr. Rosario Mosello Direttore Istituto per lo Studio degli Ecosistemi

COORDINATORE DELLA RICERCA

Dr. Roberto Bertoni

ELENCO DEGLI AUTORI

Dr. Valter Ambrosetti	Limnologo fisico
Prof. Luigi Barbanti	Limnologo fisico
Dr. Roberto Bertoni	Microbiologo Acquatico
Dr. Alcide Calderoni	Idrochimico
Dr. Cristiana Callieri	Microbiologo Acquatico
Dr. Emanuele Caravati	Microbiologo Acquatico
Dr. Elisabetta Angela Carrara	Idrogeologa
Dr. Marzia Ciampittiello	Limnologo fisico
Per. Ind. Mario Contesini	Tecnico in Microbiologia
Dr. Gianluca Corno	Microbiologo Acquatico
Dr. Riccardo de Bernardi	Idrobiologo
Sig. Andrea Ferrari	Tecnico in limnologia fisica
Per. Elet. Dario Manca	Tecnico informatico
Dr. Marina Manca	Idrobiologo
Dr. Giuseppe Morabito	Idrobiologo
Dr. Alessandro Oggioni	Idrobiologo
Sig.ra Pierisa Panzani	Tecnico in Idrobiologia
Per. Ind. Alfredo Pranzo	Tecnico in Idrochimica
Dr. Michela Rogora	Idrochimico
Dr. Angelo Rolla	Informatico
Per. Chim. Gabriele Tartari	Tecnico in Idrochimica
Dr. Anna Visconti	Idrobiologo

ELENCO DEI COLLABORATORI

Dr. Gianluigi Giussani
Dr. Tiziana Tonsi
Rag. Stefano Vanetti

INDIRIZZO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi
Sede di Verbania
Largo V. Tonolli 50/52
28922 – VERBANIA PALLANZA

APPENDICE

Repertorio bibliografico delle pubblicazioni sul Lago Maggiore (aggiornato a tutto il 2006).

Ambrosetti, V., L. Barbanti & A. Rolla. 2006. Il clima dell'areale del Lago Maggiore durante gli ultimi cinquant'anni (The climate of Lago Maggiore area during the last fifty years). *J. Limnol.*, 65 (Suppl. 1): 62 pp.

Galassi, S., P. Volta, A. Calderoni & L. Guzzella. 2006. Cycling pp'DDT and pp'DDE at a watershed scale: the case of Lago Maggiore (Italy). *J. Limnol.*, 65(2): 100-106.

Guilizzoni, P. & A. Calderoni (Eds). 2006. Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 76 pp.

Marchetto, A. P. Guilizzoni, A. Lami & S. Musazzi. 2006. Indagini sui sedimenti lacustri. 3.1. Campionamento, preparazione dei campioni per le analisi di DDT e correlazione tra carote mediante studio diatomologico. Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2005-Marzo 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 13-15.

Guzzella, L., D. Maioli, C. Roscioli, A. De Paolis, R. Mosello, M. Veronesi, A. Barbieri & A. Pranzo. 2006. Ricerche sulle precipitazioni atmosferiche. Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2005-Marzo 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 40-49.

Guilizzoni, P., A. Calderoni & R. de Bernardi. 2006. Conclusioni. Monitoraggio della presenza del DDT e di altri contaminanti nell'ecosistema Lago Maggiore. Rapporto Annuale Aprile 2005-Marzo 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 72-76.

Ciampittiello M. 2006. Livello del Lago Maggiore da gennaio a metà giugno 2006. Rapporto per la Prefettura del VCO: 3 pp.

Ciampittiello M. 2006. La situazione del livello del Lago Maggiore ad agosto 2006. Rapporto per la Prefettura del VCO: 2 pp.

Ambrosetti W., A. Calderoni, M. Manca e G. Morabito. 2006. Indagini limnologiche nell'area antistante la Foce del Torrente San Bernardino (sopralluogo del 6 Giugno 2006). *Report CNR-ISE*, 02.06: 19 pp.

Ambrosetti W., A. Calderoni, M. Manca e G. Morabito. 2006. Indagini limnologiche nell'area antistante la Foce del Torrente San Bernardino (sopralluogo del 28 Novembre 2006). *Report CNR-ISE*, 03.06: 20 pp.