

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

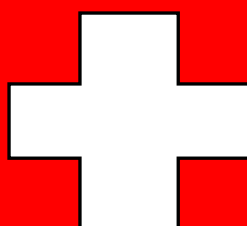
Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2003 – 2007
Campagna 2005

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 2005**

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. 2006. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2005.* Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.); 83 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 2005 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 2005, anno caratterizzato 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 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 2005. 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 in summer 2005. 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
<i>(R. Bertoni)</i>	
1.1. Prefazione	1
1.2. Inquadramento geografico	2
1.3. Modalità di campionamento e metodi di analisi	3
1.4. Unità di misura	4
2. INDAGINI SUL BACINO IMBRIFERO	5
2.1. Caratteristiche idrologiche	5
<i>(M. Ciampittiello e A. Rolla)</i>	
2.1.1. <u>Pluviometria del bacino imbrifero</u>	5
2.1.2. <u>Deflussi</u>	9
2.2. Meteorologia dell'areale lacustre	13
<i>(V. Ambrosetti, L. Barbanti, A. Ferrari e A. Rolla)</i>	
2.2.1. <u>Radiazione solare</u>	13
2.2.2. <u>Temperatura atmosferica</u>	14
2.2.3. <u>Evaporazione</u>	15
2.2.4. <u>Intensità e direzione del vento</u>	16
2.3. Apporti chimici dai tributari	18
2.3.1. <u>Caratteristiche chimiche e chimico fisiche</u>	18
<i>(A. Calderoni, M. Rogora, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
2.3.2. <u>Carichi chimici</u>	25
<i>(A. Calderoni, M. Rogora, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
2.3.3. <u>Carbonio Organico Totale (TOC)</u>	34
<i>(R. Bertoni, C. Callieri e M. Contesini)</i>	
3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO	35
3.1. Limnologia fisica	35
<i>(V. Ambrosetti, L. Barbanti e A. Rolla)</i>	
3.1.1. <u>Livello del lago</u>	35
3.1.2. <u>Trasparenza delle acque lacustri</u>	36
3.1.3. <u>Temperatura delle acque lacustri</u>	37
3.1.3.1. <u>Acque superficiali</u>	37
3.1.3.2. <u>Acque profonde</u>	38
3.1.4. <u>Ossigenazione delle acque profonde</u>	39
3.1.5. <u>Bilancio termico</u>	40
3.1.6. <u>Profondità di mescolamento</u>	42
3.2. Chimica lacustre	45
<i>(A. Calderoni, M. Rogora, A. Pranzo e G. Tartari)</i>	
3.2.1. <u>Chimismo di base</u>	45
3.2.2. <u>Composti dell'azoto</u>	49
3.2.3. <u>Composti del fosforo</u>	50
3.2.4. <u>Ossigeno disciolto</u>	51
3.2.5. <u>Silicati reattivi</u>	53
3.3. Popolamenti planctonici	54
3.3.1. <u>Indagini sul fitoplancton</u>	54
<i>(G. Morabito, P. Panzani e A. Oggioni)</i>	
3.3.1.1. <u>Struttura dei popolamenti</u>	54
3.3.1.2. <u>Variazioni della biomassa</u>	56
3.3.2. <u>Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico</u>	60
<i>(M. Manca, A. Visconti, R. Piscia e R. de Bernardi)</i>	

3.4. Carbonio organico e popolamenti batterici eterotrofi	64
<i>(R. Bertoni, C. Callieri, M. Contesini, D. Manca e S. Rasconi)</i>	
4. CONCLUSIONI	73
<i>(R. Bertoni)</i>	
BIBLIOGRAFIA	79
ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI	81
APPENDICE	83

1. INTRODUZIONE

1.1. Prefazione

La serie di annate climaticamente peculiari che si succedono da un paio di decenni nel bacino imbrifero del Verbano non si è interrotta nel 2005, anno che è stato caratterizzato da un totale annuo delle precipitazioni di 991 mm. Questo valore è molto al di sotto della media pluriennale (1693 mm per il periodo 1978-2004) ed è soltanto il 58% di tale valore medio. Il 2005 ha così costituito il nuovo anno più siccitoso degli ultimi 50 anni, preceduto dal 2003. L'impatto di questa particolarità climatica sarà illustrata in dettaglio nel rapporto e messa in relazione con le vicende idrologiche e meteorologiche che hanno interessato il lago ed il suo bacino imbrifero.

Ma c'è stato un altro evento nel 2005 che ha interessato il Lago Maggiore per la prima volta da quando, dalla seconda metà degli anni 80, il suo stato trofico si è decisamente assestato in una posizione che, valutata in base alla concentrazione di nutrienti ed alle caratteristiche biotiche, è di oligotrofia o almeno di oligo-mesotrofia. L'evento, una cospicua fioritura di cianobatteri, ha comunque interessato in tempi recenti altri laghi oligotrofi in Italia e nel Mondo. Le ragioni di queste così dette "fioriture oligotrofe" sono ancora oggetto di ricerca, anche se i mutamenti climatici globali in atto sono spesso considerati causa o almeno concausa del fenomeno.

In realtà è ancora troppo modesto il corpus di ricerche ambientali di base necessario per proporre una teoria ecologica al riguardo ragionevolmente suffragata da dati sperimentali. Però le fioriture cianobatteriche oligotrofe non vanno certo viste soltanto come una curiosità ecologica perché il loro effetto negativo sulla fruibilità delle acque lacustri può essere assai rilevante, impedendone l'uso alimentare ed anche ricreazionale perché molti ceppi di cianobatteri possono produrre tossine dannose per uomini ed animali.

Così le vicende del Lago Maggiore nel 2005 suggeriscono con particolare urgenza di studiare i cianobatteri e le possibili cause del loro successo anche in un ecosistema oligotrofo quale è il Verbano. Questo lago, infatti, proprio perché è in condizioni nel complesso buone come viene illustrato nel rapporto, mantiene un rilevante valore alimentare e ricreativo che le fioriture cianobatteriche potrebbero pregiudicare proprio nel momento estivo, quando l'interesse turistico e la necessità di acqua potabile raggiungono il massimo. È perciò importante compiere ogni sforzo per colmare le nostre carenze conoscitive perché 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 km² in territorio italiano e 42,6 km² in territorio svizzero.

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

1.3. Modalità di campionamento e metodi di analisi

Nel corso della campagna di indagini limnologiche condotta nel 2005 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.

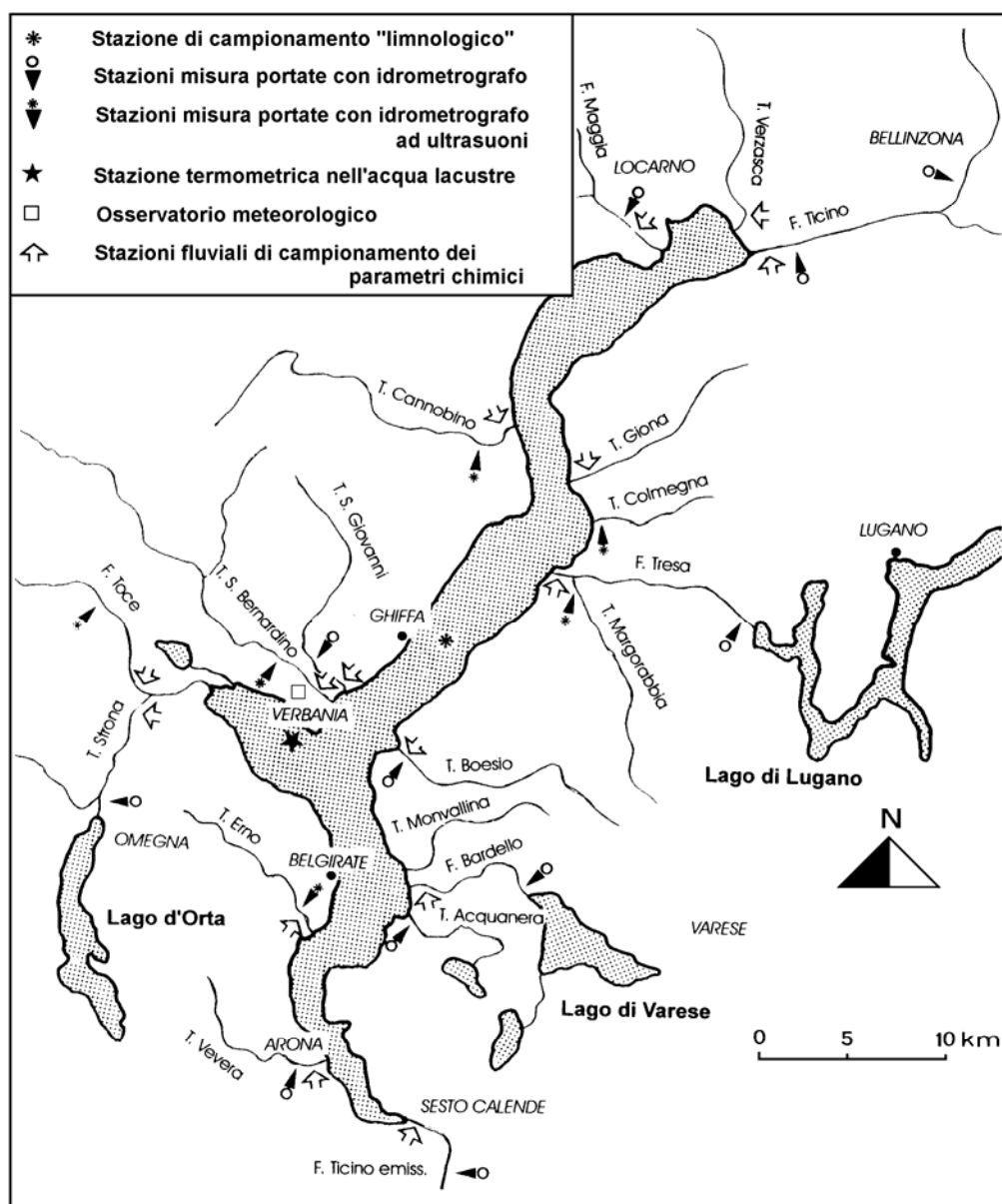


Fig. 1.3. Lago Maggiore, 2005. Ubicazione delle stazioni di campionamento.

1.4. Unità di misura

PARAMETRI FISICI	SIMBOLO	UNITA' DI MISURA
Temperatura atmosferica	T_a	[°C]
Precipitazioni	P	[mm]
Evaporazione	E	[mm]
Percorso del vento	W	[km]
Direzione del vento	-	1/16 rosa dei venti
Portata	Q	[m ³ s ⁻¹]
Altezza idrometrica	H	[m s.l.m.]
Trasparenza	-	[m]
Temperatura dell'acqua del lago	T_w	[°C]
Radiazione solare globale	Q_s	[cal cm ⁻²]
Radiazione solare riflessa	Q_r	[cal cm ⁻²]
Radiazione ad onda lunga	Q_b	[cal cm ⁻²]
Calore di evaporazione	Q_e	[cal cm ⁻²]
Calore di conduzione	Q_h	[cal cm ⁻²]
Calore accumulato dal lago	Q_t	[cal cm ⁻²]
Flussi di calore	-	[cal cm ⁻² d ⁻¹]
PARAMETRI CHIMICI		
Ossigeno disciolto	O_2	[mg O ₂ l ⁻¹]
Fosforo totale	TP	[µg P l ⁻¹]
Fosforo reattivo	RP	[µg P l ⁻¹]
Azoto ammoniacale	N-NH ₄	[µg N l ⁻¹]
Azoto nitrico	N-NO ₃	[µg N l ⁻¹]
Azoto inorganico	$N_{in.}$	[µg N l ⁻¹]
Azoto organico	$N_{org.}$	[µg N l ⁻¹]
Azoto totale	TN	[µg N l ⁻¹]
Apporti areali	-	[mg m ⁻³ a ⁻¹]
Carichi	-	[t a ⁻¹] [g d ⁻¹]
Conducibilità elettrica specifica	-	[µS cm ⁻¹] (a 20°C)
Concentrazione idrogenionica	pH	[u]
Alcalinità totale	-	[meq l ⁻¹]
Silicati reattivi	SiO ₂	[mg Si l ⁻¹]
PARAMETRI BIOLOGICI		
Clorofilla	chl- <i>a</i>	[µg l ⁻¹]
Feofitina	-	[mg m ⁻³]
Biomassa fitoplancton	-	[mm ³ m ⁻³]
Biomassa zooplancton	-	[cm ³ m ⁻³]
Densità zooplancton	-	[ind m ⁻³]
Concentrazione metalli	-	[mg kg ⁻¹]
Particellato totale (Seston)	-	[mg l ⁻¹]
Carbonio organico particellato	POC	[µg l ⁻¹]
Carbonio organico totale	TOC	[µg l ⁻¹]
Popolamento batterico eterotrofo	CMI	[cell 10 ⁶ ml ⁻¹]

2. INDAGINI SUL BACINO IMBRIFERO

2.1. Caratteristiche idrologiche

2.1.1. Pluviometria del bacino imbrifero

I dati di precipitazione, per l'anno 2005, 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 Blenio e Maggia (Ofima), dell'ENEL, del Servizio Meteorologico della Regione 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 1978-04 e 1921-77.

Gli andamenti mensili delle precipitazioni del 2005 e quelli dei periodi di riferimento, sono rappresentati in figura 2.1.1a.

Tab. 2.1.1a. Lago Maggiore 2005. 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	36	31	21	108	139	110	94	163	80	32	17	61	892
PIOTTA	Ticino immissario	1007	23	7	21	81	113	80	80	143	68	39	10	49	714
FAIDO	Ticino immissario	760	14	8	29	83	115	100	104	99	74	27	13	51	716
COMPROVASCO	Ticino imm.-Brenno	575	4	4	32	60	136	103	85	86	72	27	9	44	662
BIASCA	Ticino immissario	291	8	4	42	101	155	122	75	92	65	39	18	72	793
S. BERNARDINO (Tunnel)	Ticino imm.-Moesa	1639	24	9	67	126	-	113	92	117	104	73	41	64	829
MESOCCO	Ticino imm.-Moesa	815	10	3	56	82	116	106	86	101	102	44	39	44	790
BRAGGIO	Ticino imm.-Moesa	1320	2	6	47	76	131	122	84	124	93	52	32	55	825
GRONO	Ticino imm.-Moesa	350	3	4	40	46	107	91	49	189	93	49	30	56	757
BELLINZONA	Ticino immissario	225	3	4	48	107	122	136	70	166	75	50	20	64	865
MAGADINO (Aeroporto)	Lago Maggiore	197	2	8	57	133	150	120	77	142	160	59	23	65	996
VIRA GAMBAROGNO	Lago Maggiore	210	3	9	55	167	142	153	123	168	130	65	18	68	1099
CIMETTA	Lago Maggiore	1672	3	7	61	110	120	155	70	176	107	58	24	42	933
LOCARNO MONTI	Lago Maggiore	366	3	7	64	165	123	162	84	198	111	61	19	62	1058
BRISSAGO	Lago Maggiore	280	1	9	85	210	135	236	73	203	104	77	18	35	1184
MALVAGLIA	Ticino imm.-Brenno	923	9	6	44	86	121	99	91	99	78	40	15	44	727
LODRINO	Ticino immissario	275	7	4	46	87	102	108	95	102	73	40	21	60	745
GNOSCA	Ticino immissario	247	6	3	45	80	104	106	89	135	91	40	19	45	763
GIUBIASCO	Ticino immissario	215	3	3	49	107	127	123	48	137	102	43	20	59	821
ALPE PREDASCA	Ticino imm.-Brenno	1735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LUZZONE DIGA	Ticino imm.-Brenno	1617	24	21	38	137	180	151	121	142	93	60	30	80	1074
ACQUACALDA	Ticino imm.-Brenno	1775	31	36	29	64	147	114	173	97	68	51	27	53	889
PASSO MUAZ	Ticino imm.-Brenno	1698	28	27	38	139	165	125	159	87	94	56	29	58	1005
OLIVONE	Ticino imm.-Brenno	905	7	8	31	75	125	125	84	93	73	55	16	55	745
COPERA	Lago Maggiore	665	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VERBANO CENTRALE	Lago Maggiore	202	0	0	91	226	137	247	68	211	118	78	19	74	1269
LAGO DELIO	Lago Maggiore	835	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIANO DEI CAMOSCI	Toce	2450	1	11	37	79	134	109	118	264	99	30	6	19	906
L. TOGGIA	Toce	2170	29	25	14	69	104	86	92	187	74	26	6	45	757
L. SABBIONE	Toce	2462	31	17	21	64	112	102	100	217	103	21	5	34	827
L. MORASCO	Toce	1820	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L. VANNINO	Toce	2175	23	7	20	45	61	49	48	160	108	32	10	45	608
PONTE FORMAZZA	Toce	1300	14	7	19	87	103	83	82	142	79	19	6	26	667
CRODO (Ist. Agrario)	Toce	560	4	0	36	112	110	108	94	148	133	47	7	24	823
CREVOLADOSSOLA	Toce	303	0	3	38	156	133	143	84	174	171	46	11	33	992
DOMODOSSOLA (Nosere)	Toce	252	0	0	36	148	115	160	60	201	133	56	7	30	947
DOMODOSSOLA	Toce	240	2	1	39	146	117	133	47	175	142	55	9	28	893
PALLANZENO	Toce	240	0	0	17	164	90	148	53	266	193	67	7	0	1005
CODELAGO	Toce-Devero	1885	32	16	43	118	147	121	96	177	136	42	12	0	940
DEVERO (Reg. Piem.)	Toce-Devero	1640	26	8	42	136	161	135	94	182	122	40	6	39	992
L. D'AGARO	Toce-Devero	1600	23	7	40	132	165	101	73	179	130	57	10	37	954

Tab. 2.1.1a. Continuazione.

Stazione	Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
SIMPLON DORF	Toce-Diveria	1495	11	8	36	132	69	69	83	191	115	67	13	50	844
LAGO D'AVINO	Toce-Diveria	2240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S. DOMENICO	Toce-Diveria	1300	27	13	38	121	134	112	64	187	123	50	6	37	912
AGRASINA	Toce-Isorno	1370	12	6	30	139	124	146	73	185	152	55	7	35	964
L. LARECCHIO	Toce-Isorno	1840	12	3	41	142	112	137	75	179	145	56	11	31	944
CIPATA	Toce-Isorno	937	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PONTETTO	Toce-Isorno	348	2	0	30	121	114	116	55	164	123	44	3	33	805
DRUOGNO	Toce-Melezzo occ.	831	1	1	37	142	110	184	60	186	145	59	7	25	955
MAGLIETTO	Toce-Melezzo occ.	657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lago PAIONE Superiore	Toce-Bogna	2269	0	6	66	96	163	117	73	235	178	67	12	22	1035
PIZZANCO	Toce-Bogna	1142	4	0	60	196	142	118	67	193	194	67	9	27	1077
L. ALPE CAVALLI	Toce-Ovesca	1510	13	2	53	158	124	125	56	208	171	106	12	49	1077
ALPE CHEGGIO	Toce-Ovesca	1460	16	4	60	202	132	152	55	186	144	111	13	23	1099
L. CAMPOSECCO	Toce-Ovesca	2281	2	0	33	79	127	117	77	199	149	118	16	27	944
L. CINGINO	Toce-Ovesca	2281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L. CAMPLICCIOLI	Toce-Ovesca	1320	10	5	52	205	134	110	64	197	131	72	2	29	1011
ROVESCA	Toce-Ovesca	760	8	1	49	203	104	108	45	161	116	92	8	23	918
MACUGNAGA (P.sso Moro)	Toce-Anza	2820	45	7	24	61	89	81	60	224	101	93	6	27	818
MACUGNAGA (Fornarelli)	Toce-Anza	1185	18	7	54	186	124	90	73	215	142	111	12	13	1045
CEPPO MORELLI (Battigio)	Toce-Anza	540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BANNIO ANZINO	Toce-Anza	687	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FORNO PREIA	Toce-Strona	880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SAMBUGHETTO	Toce-Strona	800	2	3	95	227	151	218	84	213	224	91	9	51	1370
OMEGNA	Toce-Strona	298	2	2	116	207	99	131	92	170	185	84	9	58	1156
BOLETO	Toce-L. d'Orta	695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ORTA - Sacro Monte	Toce-L. d'Orta	380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONTE MESMA	Toce-L. d'Orta	575	2	4	90	182	23	1	13	73	217	8	11	60	683
MOTTARONE (Baita CAI)	Toce-L. d'Orta	1302	1	6	132	228	113	144	80	161	254	104	13	35	1271
ROBIEI	Maggia	1898	62	29	54	317	196	161	148	199	139	58	15	94	1471
CEVIO	Maggia	418	10	5	35	116	122	132	90	147	89	39	8	50	844
BOSCO GURIN	Maggia	1505	51	18	51	168	149	146	132	178	140	59	10	65	1165
MOSOGNO	Maggia	760	5	7	48	155	104	173	62	173	94	59	7	63	950
CORTINO CAVAGNOLI	Maggia	2226	30	21	9	189	179	142	76	237	129	67	28	66	1175
CAVERGNO CENTRALE	Maggia	540	12	7	51	143	149	159	136	159	104	44	2	52	1017
PIANO DI PECCIA	Maggia	1020	28	10	41	150	194	132	175	160	123	46	11	53	1121
SAMBUCO DIGA	Maggia	1471	35	15	40	122	152	107	92	194	75	45	11	59	947
FUSIO	Maggia	1300	27	13	35	116	155	116	123	118	75	46	13	64	902
MAGGIA	Maggia	327	7	8	49	165	141	206	47	177	87	42	16	66	1010
PALAGNEDRA	Maggia	498	2	6	50	162	122	206	198	182	172	24	12	58	1194
CAMEDO	Maggia	550	3	2	54	181	126	237	72	195	137	73	6	68	1152
SONOGNO	Verzasca	925	5	12	51	146	158	169	129	137	87	58	19	64	1033
FRASCO	Verzasca	890	7	5	50	138	146	159	111	130	79	61	20	70	974
AROSIO	Tresa	860	4	11	66	190	124	81	112	147	150	90	28	68	1069
ISONE	Tresa	810	6	7	65	189	176	137	67	186	177	70	34	88	1201
LUGANO	Tresa	273	5	7	74	139	87	61	90	115	192	72	31	78	952
CRANA TORRICELLA	Tresa	1002	4	10	80	254	182	123	96	174	204	92	35	77	1330
PONTE TRESA	Tresa	274	2	1	96	159	118	61	211	94	166	102	24	35	1067
STABIO	Tresa	353	5	13	82	113	86	76	76	118	138	111	35	80	935
SOMAZZO	Tresa	580	7	13	119	143	78	59	59	141	223	100	38	91	1070
MENDRISIO	Tresa	290	5	10	93	131	74	65	77	140	188	102	31	60	975
CREVA	Tresa	233	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GERMIGNAGA	Tresa	203	4	12	79	179	104	103	101	144	123	81	22	75	1026
CADERO VEDDASCA	Giona	570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FALMENTA	Cannobino	662	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CURSOLO O. (M.te Pratini)	Cannobino	940	1	5	73	219	134	218	62	219	136	93	13	65	1238
LUNECCO	Cannobino	415	1	8	82	221	142	218	70	189	133	77	12	53	1206
CANNOBIO	Cannobino	220	-	-	-	-	-	-	-	-	106	74	16	61	258
MOTTAC	S. Bernardino	1695	1	7	70	147	138	234	97	216	229	84	14	36	1274
IN LA PIANA	S. Bernardino	960	14	6	71	242	151	-	-	-	-	-	-	-	485
CICOGNA	S. Bernardino	770	0	5	125	226	163	32	-	-	269	97	13	74	1003
MIAZZINA	S. Bernardino	721	0	2	64	78	59	117	41	159	165	81	7	23	795
UNCHIO	S. Bernardino	283	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIANCAVALLO	S. Giovanni	1240	16	10	115	227	162	173	108	175	163	111	22	63	1346
MERGOZZO	L. di Mergozzo	195	0	3	85	199	116	171	73	247	313	84	9	78	1378
CANDOGGLIA	Toce	201	0	2	64	192	137	162	60	197	270	72	9	53	1220
PIAN DI SOLE	Lago Maggiore	920	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PALLANZA	Lago Maggiore	211	1	4	110	202	126	147	69	169	231	102	15	74	1252
CAMPO DEI FIORI	Bardello	1226	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S. MARIA DEL MONTE	Bardello	881	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GAVIRATE	Bardello	284	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VARESE (Ist. Geofisico)	Bardello	410	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 2.1.1a. Continuazione.

Stazione	Bacino	m s.l.m.	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
AZZATE	Bardello	320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOMERARO	Lago Maggiore	470	1	4	127	199	113	132	79	156	220	105	11	59	1206
ISPRA	Lago Maggiore	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOTTARONE VETTA	Erno	1491	1	6	132	228	113	144	80	161	254	104	13	35	1014
ARONA	Vevera	334	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MIORINA	Ticino emissario	195	0	2	57	127	52	48	46	123	84	86	23	34	682
	2005		11	8	55	145	126	129	86	167	135	63	15	50	991
	1978-04		76	62	100	175	211	160	136	154	188	211	140	74	1693
	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 precipitazioni è di 991 mm, valore molto al di sotto della media pluriennale (1693 mm per il periodo 1978-2004), che rappresenta solo il 58% della pioggia che mediamente cade in un anno sul bacino imbrifero del Lago Maggiore e costituisce il nuovo anno più siccitoso degli ultimi 50 anni.

In particolare, va sottolineato che fino a Settembre le piogge registrate nel 2005 non si discostavano di molto dalla media pluriennale ed erano superiori di quelle cadute nello stesso periodo nel 2003, il precedente anno più siccitoso degli ultimi 50 anni. La particolarità climatica del 2005 si è registrata infatti, negli ultimi mesi dell'anno, da Ottobre a Dicembre, quando sono caduti solo 130 mm, contro i 430 mm che mediamente cadono, nel bacino, in quel periodo. Le piogge del periodo autunnale sono quelle più importanti per l'equilibrio idrologico del lago, in quanto sono poco ostacolate dalla vegetazione, raggiungono più velocemente il suolo e vanno ad incrementare le acque superficiali in modo più incisivo.

La scarsità di pioggia dei mesi di Ottobre e Novembre, in particolare, ha portato un notevole abbassamento del livello del lago che ha dovuto affrontare il periodo "siccitoso" invernale in carenza idrica.

Le stazioni dove si sono registrate le minori precipitazioni sono L. Vannino (608 mm) e Ponte Formazza (667 mm), nel bacino del Toce, mentre quelle più piovose sono risultate Robiei (1472 mm) in Val Maggia, Mergozzo (1378 mm) e Sambughetto (1370 mm) nel bacino Toce-Strona.

I mesi meno piovosi sono stati Gennaio, Febbraio e Novembre con solo, rispettivamente, il 16%, 12% e 10% della pioggia mediamente registrata nello stesso periodo.

I mesi più piovosi sono stati Agosto con 167 mm, valore superiore alla media pluriennale per il periodo 1978-2004 (154 mm) e leggermente inferiore rispetto alla media per il periodo 1921-1977 (172 mm) e Aprile con 145 mm, inferiore di circa 20 mm rispetto ai valori dei periodi di riferimento.

Dalla figura 2.1.1a si può vedere chiaramente l'andamento mensile delle piogge nel 2005, confrontato con gli andamenti medi pluriennali. Le piogge si sono mantenute molto al di sotto delle medie pluriennali per i mesi di Gennaio, Febbraio, Maggio, Luglio, Ottobre e Novembre. A Marzo, Aprile, Giugno, Settembre e Dicembre, al di sotto delle medie pluriennali, con una quantità media di pioggia caduta, tra il 60% e l'80%. Solo ad Agosto si sono registrate consistenti piogge.

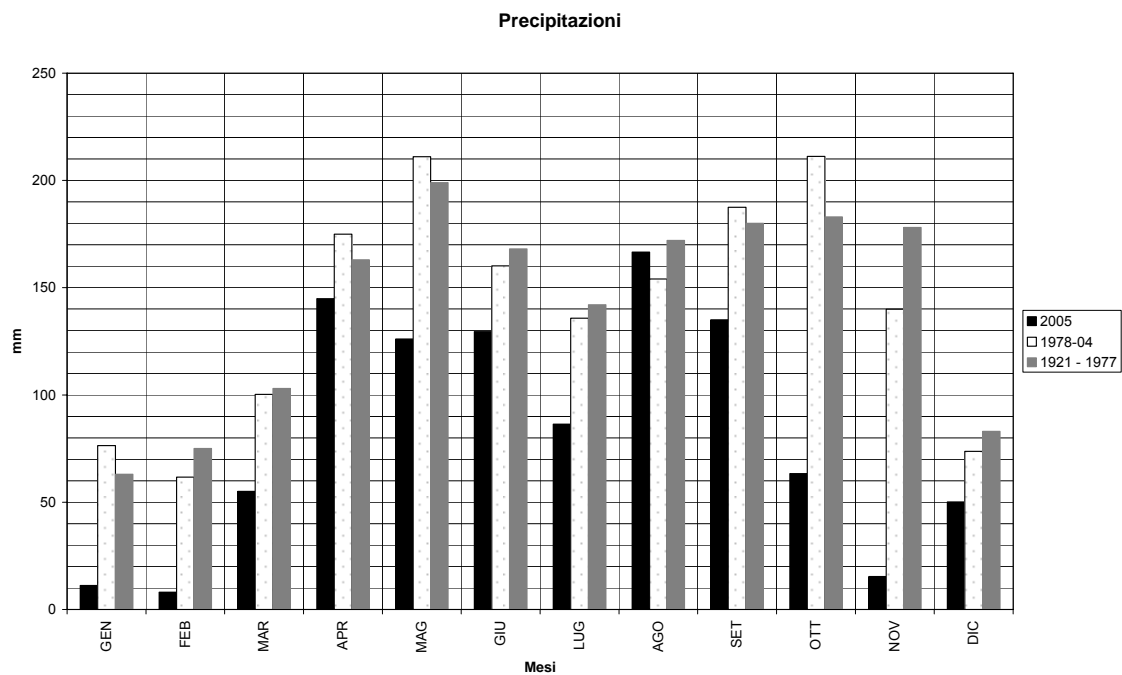


Fig. 2.1.1a. Lago Maggiore 2005. Regime delle precipitazioni dell'intero bacino.

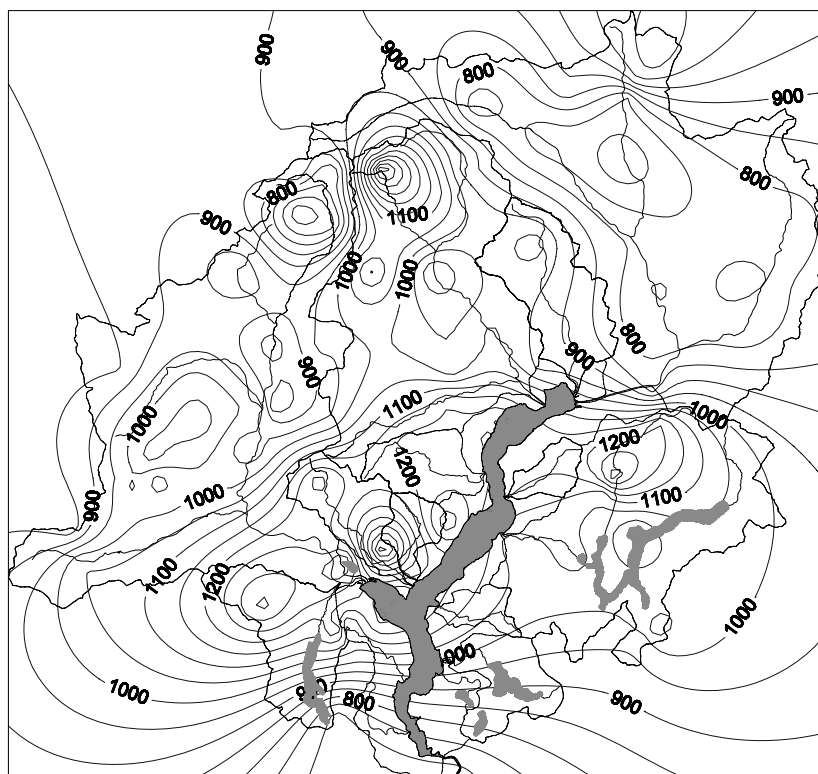


Fig. 2.1.1b. Lago Maggiore 2005. Carta delle isoiete annue (mm).

Dall'analisi della distribuzione spaziale delle piogge (Fig. 2.1.1b), si individuano quattro zone particolari: una, quella dell'alto Toce, caratterizzata dalle piogge meno abbondanti, le altre tre, invece, caratterizzate da nuclei a maggior piovosità. L'alta Valle Maggia, la zona del Lago di Mergozzo e del bacino Toce-Strona e il bacino del Tresa, anche se in misura minore rispetto alle zone precedenti.

Per quanto riguarda l'andamento stagionale delle piogge, nella tabella 2.1.1b, si riassumono i valori registrati. In particolare si nota che le stagioni caratterizzate da minori precipitazioni sono state l'inverno e l'autunno con solo il 40% della pioggia che mediamente cade nel bacino imbrifero del Lago Maggiore nello stesso periodo.

Tab. 2.1.1b. Piogge stagionali del 2005 e per i periodi di riferimento.

Periodo	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
2005	86	326	382	214
1978-04	212	486	450	539
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 2005, 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.

I valori di portata più elevati si sono registrati ad Aprile per la maggior parte dei corsi d'acqua, a Maggio per il Ticino Immissario, il Toce e il Bardello e a Giugno per il Ticino Emissario.

Tab. 2.1.2a. Lago Maggiore 2005. Bacini idrografici dei principali immissari e dell'immissario: regioni di appartenenza, aree (km²) e caratteristiche altimetriche (m).

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

Tab. 2.1.2b. Portate medie mensili e annue del 2005 e dei periodi pluriennali di confronto.

Corso d'acqua	Periodo	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
TICINO IMM.	2005 *	31.64	27.81	30.20	37.65	61.83	54.49	30.25	30.77	29.55	22.46	23.21	19.94	33.33
	1978-04	33.37	31.74	36.99	53.69	110.80	121.08	95.73	65.16	70.40	82.12	60.08	36.77	66.70
	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	2005 *	4.08	3.76	4.87	11.99	8.28	7.68	4.98	6.14	8.34	7.25	5.34	4.62	6.65
	1978-04	2.33	2.30	4.23	7.98	9.31	6.45	4.46	3.42	6.29	8.61	5.62	2.88	5.33
S. GIOVANNI	2005 *	0.36	0.22	0.65	1.71	1.31	0.86	0.51	0.50	0.92	0.52	0.39	0.46	0.70
	1978-04	1.23	1.03	1.83	3.63	3.96	2.93	2.03	1.26	2.85	4.16	2.96	1.34	2.44
S. BERNARDINO	2005 *	1.02	0.44	1.48	7.50	4.85	4.88	0.80	2.41	6.54	2.50	0.53	0.44	2.78
	1978-04	2.23	2.24	5.11	12.02	15.64	8.42	5.05	3.70	9.32	12.85	7.41	3.07	7.24
	1955-69	2.10	2.92	4.74	9.76	10.60	10.50	4.92	5.85	8.93	9.17	9.42	3.76	6.88
TOCE	2005 *	23.21	19.91	20.09	42.23	64.49	63.18	37.40	55.14	57.16	32.44	19.48	16.38	37.65
	1978-04	28.06	27.48	35.97	61.99	116.09	117.63	86.82	62.73	69.47	90.70	62.79	34.66	66.30
	1936-64	30.90	30.00	34.90	59.70	105.10	127.10	93.40	74.30	73.50	72.10	64.90	37.80	67.10
NIGUGLIA	2005 *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	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	2005 *	0.45	0.29	0.40	1.04	0.65	0.38	0.21	0.26	0.62	0.57	0.31	0.27	0.45
	1978-04	0.71	0.59	0.96	1.48	1.58	1.10	0.69	0.53	0.88	1.63	1.06	0.68	0.99
VEVERA	2005 *	0.12	0.15	0.16	0.42	0.25	0.13	0.10	0.10	0.19	0.06	0.04	0.04	0.14
	1978-04	0.62	0.51	0.62	0.83	0.97	0.74	0.43	0.32	0.41	0.96	0.70	0.52	0.64
BARDELLO	2005 *	2.28	1.72	1.58	2.57	2.57	2.01	1.26	0.80	0.91	1.30	1.16	1.13	1.64
	1978-04	2.72	2.56	2.96	3.31	4.40	4.03	2.73	1.41	2.40	3.23	3.05	2.55	2.96
	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	2005 *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	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	2005 *	0.94	0.54	0.66	2.77	1.84	1.54	0.34	0.18	0.25	0.43	0.18	0.34	0.90
	1978-04	2.69	2.37	3.55	4.81	5.64	4.25	2.41	1.62	2.63	5.74	4.80	2.48	3.61
TRESA	2005 *	4.09	4.22	4.21	21.74	15.02	9.51	7.69	5.47	10.09	5.49	1.85	0.76	7.50
	1978-04	14.81	11.98	17.90	30.58	40.81	34.45	22.31	15.70	22.23	33.31	26.72	16.17	23.94
	1923-74	16.10	14.90	17.70	27.80	36.60	34.60	25.30	19.10	20.70	24.10	33.80	23.30	24.50
TICINO EMISS.	2005 *	139.00	139.00	141.90	208.87	243.65	243.77	187.87	162.10	158.33	138.10	109.00	83.16	162.90
	1978-04	152.16	146.04	186.17	296.66	471.29	436.98	350.16	255.79	267.70	416.55	260.18	177.61	286.64
	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

I valori minimi si sono registrati a Febbraio per il Cannobino, il San Giovanni e il San Bernardino, ad Agosto per la Margorabbia, a Dicembre per tutti gli altri corsi d'acqua.

I valori di portata mensili e annuali si sono mantenuti al di sotto della media pluriennale per tutti i corsi d'acqua, tranne che per il Cannobino che ha fatto registrare un valore di portata medio annuale più elevato rispetto a quello medio pluriennale e valori maggiori in quasi tutti i mesi.

Tali valori mediamente più elevati sono dovuti principalmente alle maggiori precipitazioni che si sono registrate in Valle Cannobina, rispetto alle altre valli, e perché il Canobino risulta essere ancora un corso d'acqua naturale, senza prelievi o captazioni

che possono diminuire i suoi deflussi naturali, come avviene per altri immissari del Lago Maggiore.

I corsi d'acqua che maggiormente hanno risentito delle scarse precipitazioni del 2005 sono stati la Vevera, la Margorabbia, il San Giovanni, la Tresa e il San Bernardino con una portata media annuale pari, rispettivamente al 22%, 25%, 29%, 31%, 39% di quella media pluriennale.

Va sottolineato che, ad eccezione della Vevera, gli altri corsi d'acqua sono anche soggetti a prelievi e captazioni di diverso genere, che in occasione di poche piogge causano un maggiore impatto per quanto riguarda la reale quantità d'acqua a disposizione dell'ecosistema fluviale, soprattutto se il bacino da essi drenato non è particolarmente esteso. Infatti il Toce, pur avendo fatto registrare una portata media annuale pari al 56% rispetto a quella media pluriennale, non è mai sceso al di sotto di tale valore se non per i mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre quando, proprio per le scarsissime piogge si sono avuti valori di portata rispettivamente del 36%, 31% e 47% rispetto ai valori medi mensili pluriennali.

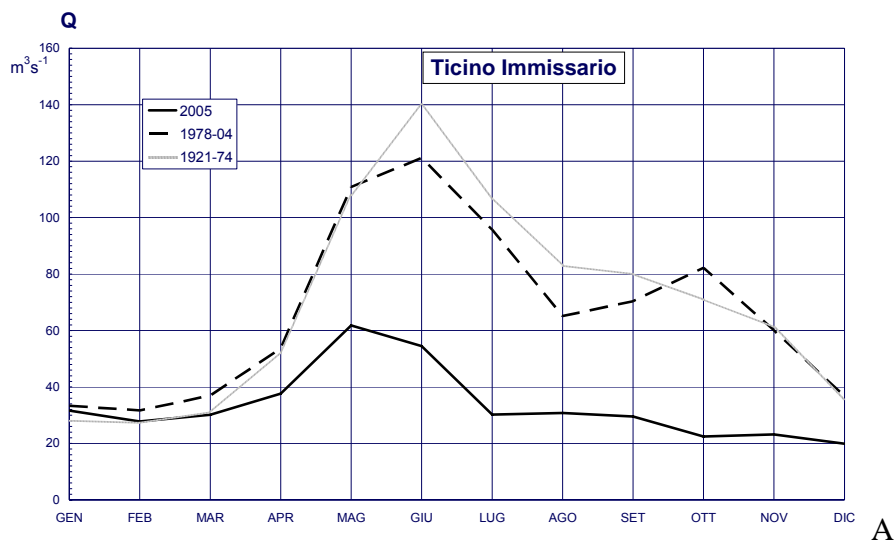
Per quanto riguarda il Torrente Niguglia, non ci sono portate per tutto il 2005, in quanto non è stato possibile ripristinare il funzionamento della stazione, precedentemente danneggiata, fino alla primavera del 2006, quando è stata installata una nuova stazione.

Non sono disponibili, per il 2005, le portate del Torrente Boesio, a causa di alcuni lavori effettuati nell'alveo del corso d'acqua che hanno reso inutilizzabile l'idrometro a ultrasuoni, per un lungo periodo e, in seguito, a causa del furto della cella fotovoltaica che alimenta la stazione.

Per quanto riguarda il Ticino Immissario, l'Erno, il Bardello e il Ticino Emissario i valori medi annuali di portata sono stati tra il 46% e il 56% delle portate medie pluriennali.

Un'ulteriore indicazione riguardo l'andamento annuale dei principali immissari a lago, si può ottenere dall'analisi dei grafici di figura 2.1.2a, b, c.

Dai grafici delle figure 2.1.2a, b, c, si nota come, nel 2005, sono mancati gli elevati deflussi primaverili e autunnali che hanno sempre caratterizzato il regime dei deflussi dei corsi d'acqua del bacino del Lago Maggiore.



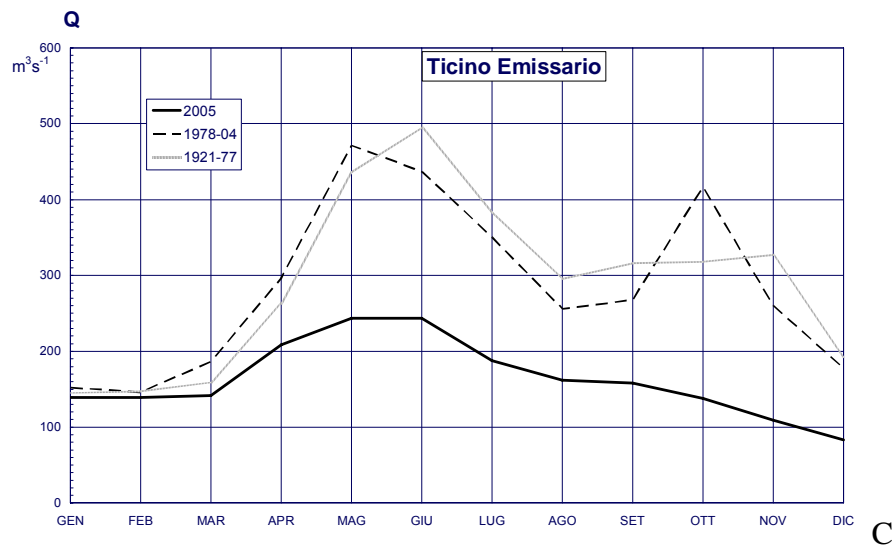
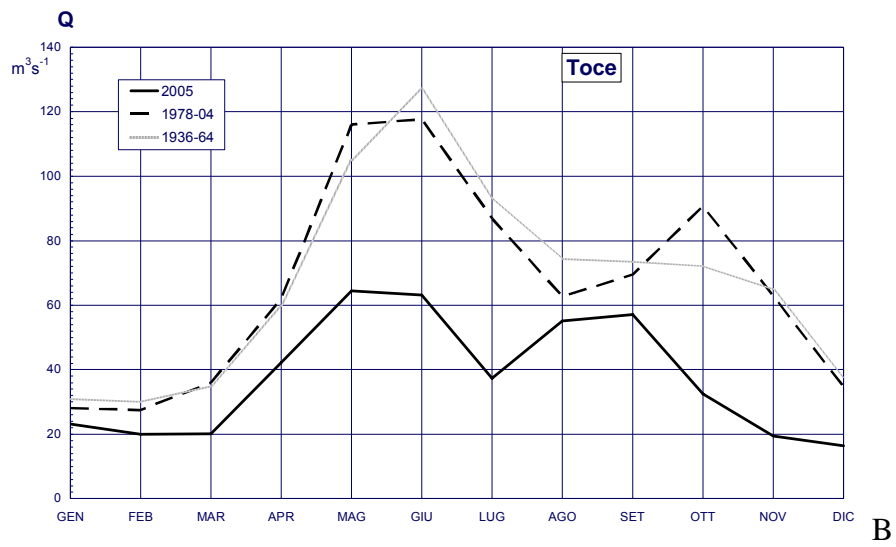


Fig. 2.1.2a, b, c. Lago Maggiore 2005. Regime delle portate.

2.2. Meteorologia dell'areale lacustre

Come per gli anni precedenti anche il rapporto sugli studi e sulle ricerche condotte sul Lago Maggiore e sul suo bacino imbrifero durante il 2005 presenta un capitolo dedicato alle caratteristiche meteorologiche riscontrate in questi ultimi dodici mesi sull'areale interessato. Lo scopo è quello di inquadrare la complessa fenomenologia "interna" dell'ecosistema lacustre, e cioè l'aspetto limnologico, nel contesto di un quadro meteorologico "esterno", essendo ben nota l'interdipendenza tra le due serie di fenomeni.

Saranno qui presentati, commentati nelle loro linee essenziali e posti a confronto con i corrispondenti valori medi degli anni precedenti i dati raccolti alla stazione di Pallanza (CNR-ISE) relativi a quei parametri che con maggiore efficacia partecipano al controllo dei processi limnologici; vale a dire: radiazione solare, temperatura atmosferica, evaporazione e direzione del vento.

2.2.1. Radiazione solare

	2005 (cal cm ⁻²)	1951-2004 (cal cm ⁻²)			
totale annuo	114785		104894		
totale invernale	14139		11914		
totale primaverile	35081		32105		
totale estivo	47354		42293		
totale autunnale	18239		18583		
mese con rad. minima	3371	Dic	1978	Dic	1951
mese con rad. massima	16746	Giu	18034	Lug	1984
giorno con rad. minima	10,0	27 Dic	0,0	27 Nov	2003
giorno con rad. massima	725,5	10 Giu	840,0	27 Giu	1956

La quantità di radiazione solare registrata a Pallanza nel corso del 2005 (114.785 cal cm⁻²) è risultata superiore del 9% circa a quella del periodo di confronto e colloca quest'ultimo anno tra quelli a radiazione alta (quinto nella serie). A livello stagionale l'incremento maggiore si è verificato in inverno (+ 19%), in primavera (+ 9%) ed in estate che con 47.354 cal cm⁻² (+ 12%) costituisce per questa stagione il terzo valore più alto degli ultimi 50 anni. Leggermente al di sotto della media invece, anche se di sole 344 cal cm⁻², i valori registrati in autunno. Per quanto riguarda la regimazione mensile (Fig. 2.2.1), occorre rilevare che l'energia radiante si è mantenuta sotto la media solo nei mesi di Aprile e di Ottobre e che nei mesi di Gennaio (4.951 cal cm⁻²), Maggio (15.376 cal cm⁻²) e Giugno (16.746 cal cm⁻²) si sono avvicinati i massimi assoluti registrati in precedenza. Il giorno con radiazione minima è risultato il 27 Dicembre (10 cal cm⁻²) mentre la massima si è avuta il 10 Giugno con 725,5 cal cm⁻², ambedue questi valori sono comunque lontani dai rispettivi estremi.

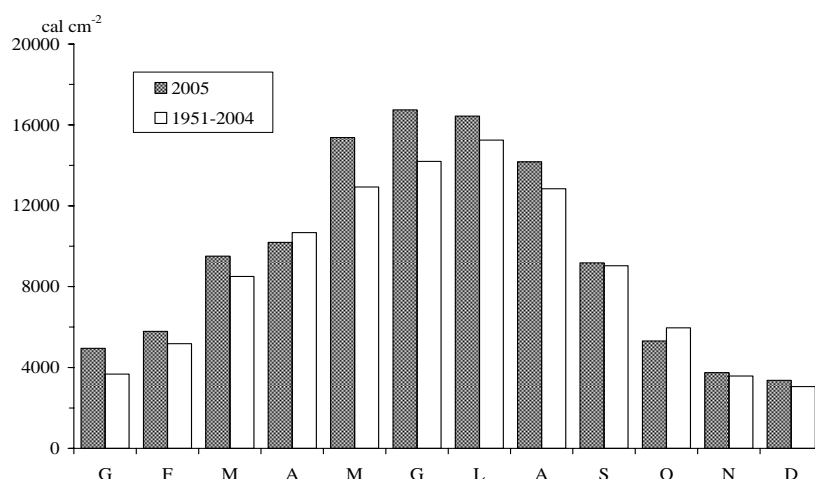


Fig. 2.2.1. Lago Maggiore 2005. Confronto tra i regimi mensili della radiazione solare a Pallanza nel 2005 e nel periodo 1951-2004.

2.2.2. Temperatura atmosferica

	2005 (°C)		1951-2004 (°C)		
media annua	12,97		12,38		
media invernale	3,54		3,63		
media primaverile	12,90		11,88		
media estiva	22,67		21,34		
media autunnale	13,38		12,67		
minima invernale	-5,2	29 Gen	-8,2	6 Gen	1985
minima primaverile	-5,1	2 Mar	-7,1	6 Mar	1971
minima estiva	11,0	10 Giu	7,0	18 Giu	1978
minima autunnale	-2,2	28 Nov	-3,6	23 Nov	1998
massima invernale	16,6	21 Gen	21,0	22 Feb	2001
massima primaverile	31,9	31 Mag	32,7	29 Mag	2001
massima estiva	34,5	28 Giu	38,1	11 Ago	2003
massima autunnale	30,9	2 Set	32,6	13 Set	1962

La fase “calda” che da qualche anno caratterizza la termica atmosferica di Pallanza è continuata anche nel 2005: la temperatura media (12,97°C) ha superato infatti in modo abbastanza netto quella media di confronto (12,38°C), pur evidenziando tendenzialmente, una riduzione dei più marcati incrementi termici che avevano caratterizzato gli anni precedenti. Per quanto attiene ai regimi stagionali, la temperatura media invernale è rimasta essenzialmente nella norma (- 0,09°C), mentre in aumento sono risultate quelle primaverili (+ 1,02°C), estive (+ 1,33°C) ed autunnali (+ 0,71°C).

Quanto al regime delle temperature medie mensili figura 2.2.2 sono state quasi tutte superiori alla media, con incrementi assai pronunciati in Giugno 22,56°C (inferiore solo ai 26,00°C registrati nel 2003), Maggio (+ 2,15°C), Agosto (+ 1,44°C) e Settembre (+ 1,19°C). Hanno invece avuto temperature medie inferiori a quelli corrispondenti della serie pluriennale, Dicembre (- 1,41°C), Febbraio (- 0,85°C) ed Agosto (- 0,41°C). Va

infine rilevato che il minimo giornaliero è stato rilevato il 29 Gennaio (- 5,2°C) mentre il massimo è stato quello del 28 Giugno con 34,5°C quindi con un'escursione annua di 39,7°C. Va infine sottolineato il fatto che nella prima decade di Marzo si sono registrate temperature medie giornaliere al di sotto dello zero superando anche il grado centigrado, come non accadeva dal 6 Marzo 1971 (- 3,27°C) e dall'11 Marzo 1958 (- 0,53°C).

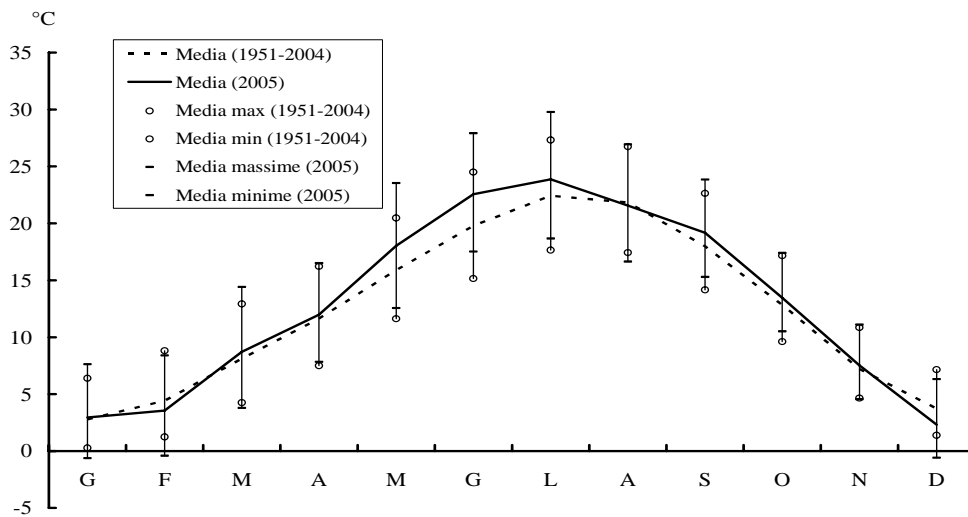


Fig. 2.2.2. Lago Maggiore 2005. Confronto tra i regimi mensili della temperatura a Pallanza nel 2005 e nel periodo 1951-2004.

2.2.3. Evaporazione

	2005 (mm)	1951-2004 (mm)		
totale annuo	1094,6	1101,6		
totale invernale	129,5	106,2		
totale primaverile	308,0	322,4		
totale estivo	501,8	489,9		
totale autunnale	146,7	183,1		
mese con evap. minima	32,0	Nov	9,9	Gen 1996
mese con evap. massima	183,0	Lug	258,0	Lug 1959
giorno con evap. massima	12,7	4 Ago	18,7	16 Lug 1984

Il totale annuo di evaporazione nel 2005 presenta solo una limitata diminuzione rispetto al valore medio annuo (1094,6 mm rispetto a 1101,6 mm) ma la sua distribuzione stagionale mostra invece notevoli diversità sintetizzabili in un sensibile incremento invernale (+ 22%) che costituisce il quarto massimo del periodo e in una altrettanto marcata diminuzione autunnale (- 34%) che risulta il terzo minimo della serie pluriennale: sono invece leggermente al di sotto (primavera) e al di sopra (estate) della media degli ultimi 50 anni le altre due stagioni.

Anche la distribuzione mensile figura 2.2.3 si presenta quanto mai articolata; troviamo infatti valori sopra la media nei primi due mesi dell'anno, Marzo ed Aprile con evaporazione bassa e il periodo successivo sino a Luglio con valori nuovamente sopra la media. Seguono quattro mesi con valori evaporimetrici superiori alla norma ed infine Dicembre ove si ha una nuova inversione di tendenza.

Quanto all'evaporazione giornaliera si deve rilevare che in 6 giorni è risultata nulla, mentre il giorno con evaporazione massima è risultato il 14 Agosto con 12,7 mm.

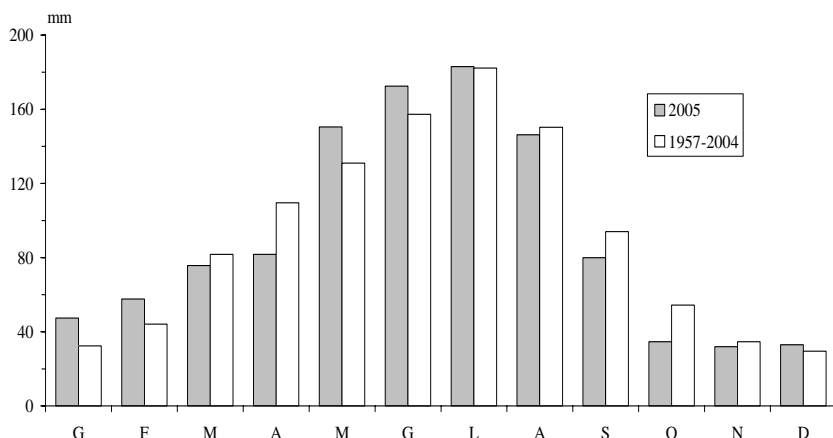


Fig. 2.2.3. Lago Maggiore 2005. Confronto tra i regimi mensili dell'evaporazione a Pallanza nel 2005 e nel periodo 1957-2004.

2.2.4. Intensità e direzione del vento

	2005 (km)		1997 - 2004 (km)	
percorso annuo	50423,0		47066,1	
percorso invernale	12256,2		10395,1	
percorso primaverile	12488,8		12840,6	
percorso estivo	12780,4		12657,9	
percorso autunnale	11599,9		11172,6	
velocità media (km h ⁻¹)	5,8		5,4	
direzione prevalente	W		SSE	
mese più ventoso	4642,6	Mag	5578,6	Apr 2004
giorno più ventoso	504,4	14 Feb	633,2	2 Dic 2004
raffica massima (km h ⁻¹)	82	17 Dic	101	17 Ago 2000

La quantità di vento filato nel corso del 2005 è stata di 50.423 km ed è il valore più elevato registrato dal 1997, da quando cioè è entrato in funzione il nuovo anemometro a coppe di Robinson con trasduttore di velocità a stato solido ad alta frequenza, molto più sensibile ai venti deboli. L'incremento annuo rispetto alla media degli ultimi 8 anni (7%) si è verificato soprattutto in inverno (+ 17%) e in parte nella stagione autunnale

(circa + 4%). In media invece risulta il valore estivo e leggermente inferiore alla norma quello primaverile (circa - 3%).

Il confronto tra i regimi mensili di vento filato nell'ultimo anno e nel periodo 1977-2004, rappresentato dagli istogrammi di figura 2.2.4a, evidenzia i nuovi valori assoluti, con i massimi in Gennaio (4.631 contro 4.306 km del 2004) e Febbraio (4.363 contro 4.337 km del 1999) ed un minimo in Giugno (4.026 km contro 4.039 km del 2004). Negli altri mesi dell'anno si riscontrano, rispetto alla media, scostamenti sia in senso positivo che negativo, comunque compresi entro i limiti già misurati in passato.

Quanto alla direzione di provenienza la figura 2.2.4b indica che il vento prevalente è stato da W seguito da quello da ESE e NNE, mentre la situazione media indica una prevalenza dei quadranti ESE, W e NNE.

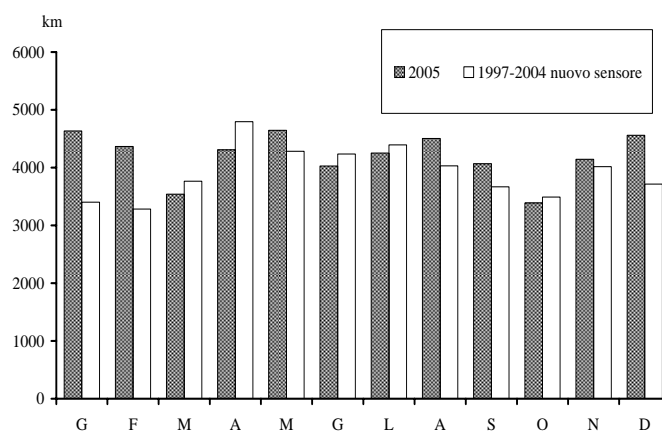


Fig. 2.2.4a. Lago Maggiore 2005. Regimi della quantità di vento filato a Pallanza nel 2005 e nel periodo 1997-2004.

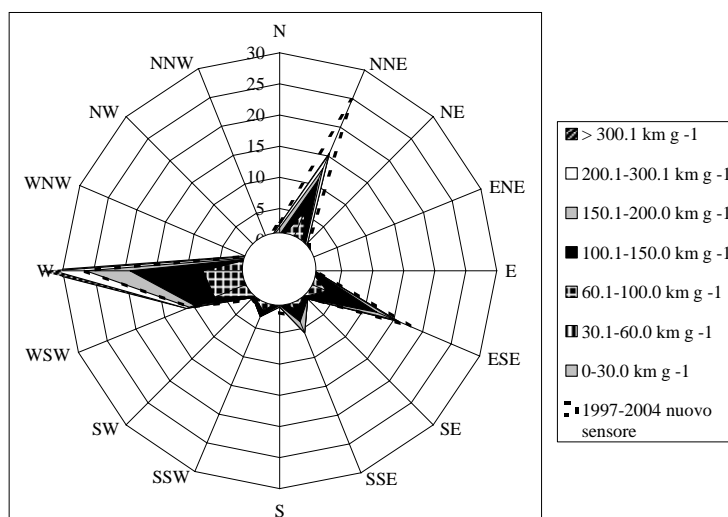


Fig. 2.2.4b. Lago Maggiore 2005. Rosa dei venti a Pallanza nel 2005 e per il periodo 1997-2004.

2.3. Apporti chimici dai tributari

2.3.1. Caratteristiche chimiche e chimico fisiche

In merito alle caratteristiche chimiche di base riscontrate mensilmente alla foce dei 14 corsi d'acqua oggetto d'indagine e sul Ticino emissario (Tab. 2.3.1), i valori medi annuali più bassi di pH, alcalinità totale e conducibilità a 20°C riguardano i bacini fluviali impostati prevalentemente in rocce ignee (Cannobino, Verzasca, Maggia, S. Giovanni, S. Bernardino, Strona, Erno e Giona). Tali valori risultano rispettivamente compresi tra 7,0 e 7,7 unità di pH, 0,2 e 0,5 meq l⁻¹ e tra 45 e 122 µS cm⁻¹. Sui tributari che drenano areali in gran parte costituiti da rocce sedimentarie, nel caso di Vevera, Bardello e Tresa si sono misurati pH leggermente più alti (intorno a 8,0) e tenori significativamente più elevati di alcalinità totale (1,9–3,3 meq l⁻¹) e conducibilità (211–406 µS cm⁻¹); per il Boesio, recettore di scarichi industriali ad alto tenore di bicarbonati e di sali, si sono registrati i massimi delle medie annuali (5,6 meq l⁻¹ e 695 µS cm⁻¹). Toce (bacino Ossola) e Ticino immissario presentano valori intermedi, con pH di 7,5 e 7,7 nonchè di alcalinità pari a 0,9 e 1,1 meq l⁻¹ e conducibilità di 190 e 273 µS cm⁻¹.

Su scala stagionale, le principali variazioni riguardano il pH delle acque emissarie, quali quelle del Ticino emissario e del Tresa, con massimi estivi e minimi invernali, andamento che si avverte in misura assai più contenuta sul Bardello (Fig. 2.3.1a).

Tab. 2.3.1. Valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche sui tributari e sull'emissario del Lago Maggiore campionati nel 2005.

	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	5,55	695	0,30	3,16	0,71	4,17	396	2,8
Bardello	(BAR)	7,99	3,25	406	0,31	1,91	0,65	2,87	468	1,9
Tresa (a)	(TRE)	8,05	1,94	218	0,10	1,10	0,27	1,47	42	0,7
Giona	(GIO)	7,65	0,44	93	0,02	1,40	0,13	1,56	55	3,7
Tributari piemontesi										
Vevera	(VEV)	7,82	1,80	231	0,06	2,88	0,23	3,16	43	5,0
Strona	(STR)	7,54	0,47	112	0,02	1,45	0,16	1,63	19	2,9
Toce Ossola	(TOC)	7,53	0,85	190	0,06	0,67	0,12	0,85	20	2,4
San Giovanni	(SGI)	7,41	0,28	64	0,01	1,35	0,16	1,52	15	4,1
Erno	(ERN)	7,47	0,37	122	0,03	1,69	0,17	1,90	36	4,2
San Bernardino	(SBE)	7,60	0,34	62	0,01	1,18	0,12	1,32	78	3,0
Cannobino	(CAN)	7,38	0,24	45	0,01	0,77	0,12	0,90	8	3,1
Tributari svizzeri										
Maggia	(MAG)	7,71	0,46	69	0,01	0,89	0,11	1,01	9	3,0
Ticino immissario	(TIM)	7,80	1,07	273	0,03	0,82	0,11	0,96	8	2,4
Verzasca	(VER)	6,98	0,25	47	0,02	0,86	0,12	0,99	7	2,7
Emissario										
Ticino emissario	(TEM)	8,20	0,83	146	0,02	0,70	0,16	0,87	13	0,7

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

Anche per il 2005 vengono quindi confermate sia la dipendenza di alcalinità e conducibilità e, in misura inferiore del pH, dalle caratteristiche litologiche dei bacini versanti, sia una sostanziale stabilità del chimismo di base di ciascun corso d'acqua

messa in luce dalla identità tra i valori medi annuali osservati nell'anno in studio e quelli medi del quinquennio precedente (Fig. 2.3.1b).

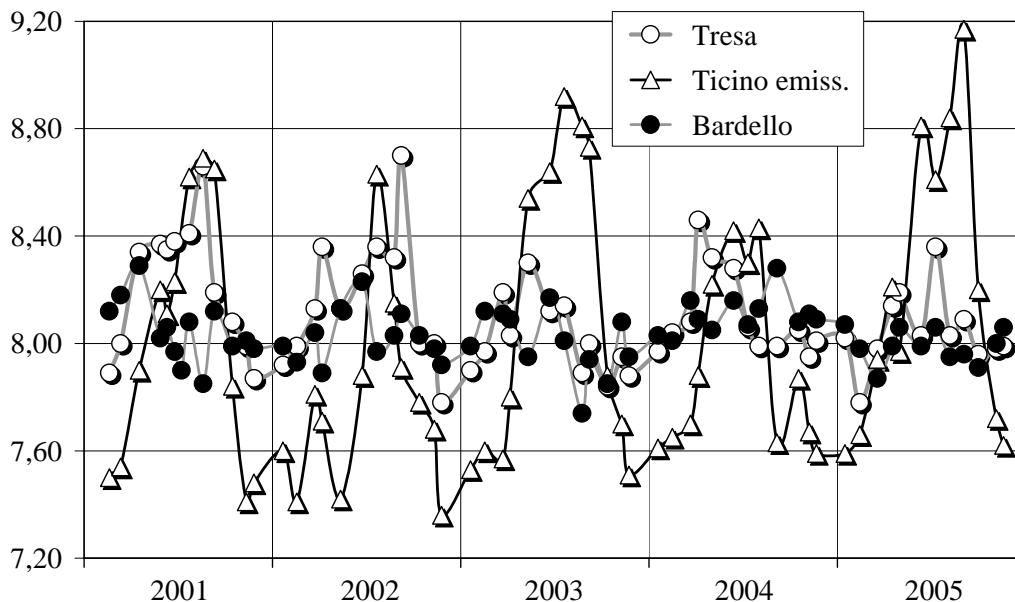


Fig. 2.3.1a. Valori di pH riscontrati nel quinquennio 2001-2005 nelle acque emissarie dei laghi di Lugano (Tresa), Varese (Bardello) e Maggiore (Ticino emissario).

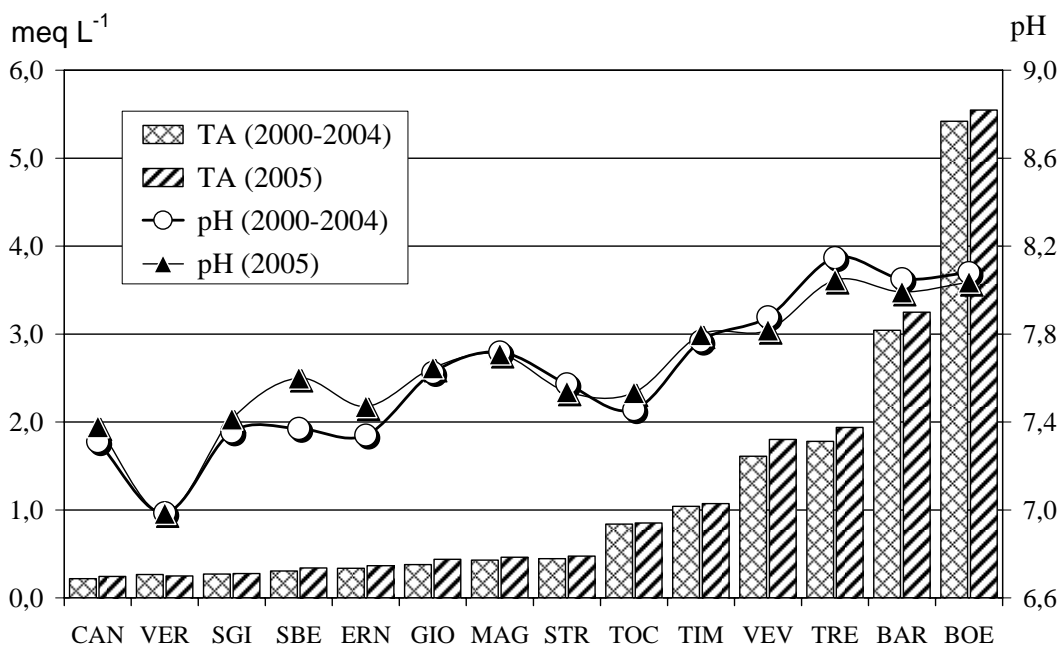


Fig. 2.3.1b. Tributari del Lago Maggiore: valori medi annuali di pH e alcalinità totale relativi al 2005 in confronto con le medie del quinquennio precedente (2000-2004).

I modesti scostamenti osservabili nel grafico sono dovuti quasi esclusivamente alla variabilità idrologica interannuale. Di fatto essa ha avuto un ruolo importante in questi ultimi sei anni durante i quali si sono susseguiti eventi estremi, quali le piene del 2000 e del 2002, ed anni caldi e siccitosi come il 2003 ed il 2005, caratterizzati da afflussi sull'intero bacino imbrifero del Lago Maggiore rispettivamente pari ad appena 1043 e 991 mm, vale a dire i due minimi storici registrati dal 1978 ad oggi. In termini generali, la situazione del 2005 è quindi stata favorevole all'aumento delle concentrazioni e, come si vedrà nel successivo capitolo, ad una riduzione dei carichi veicolati a lago. Tuttavia i livelli di inquinamento, definiti attraverso la presenza di nutrienti quali i composti di fosforo e azoto, appaiono del tutto simili a quelli già registrati nel passato.

Bardello e Boesio continuano a presentare una situazione di pesante degrado ecologico messa in luce da concentrazioni medie annuali (Tab. 2.3.1 e Fig. 2.3.1c) molto elevate di fosforo totale (rispettivamente 468 e 396 $\mu\text{g P l}^{-1}$), azoto ammoniacale (0,31 e 0,30 mg N l^{-1}), organico (0,65 e 0,71 mg N l^{-1}) e totale (2,87 e 4,17 mg N l^{-1}).

Nel caso del Bardello, i tenori medi di azoto sono inferiori o analoghi a quelli dell'anno precedente, ma le concentrazioni di fosforo risultano fortemente aumentate tanto da collocarsi sui livelli massimi riscontrati nel 2003 (Fig. 2.3.1d). Questo fatto, essendo ormai cessati gli interventi di sifonamento di acque ipolimniche dal Lago di Varese, non sembra imputabile soltanto alle condizioni idrologiche più siccitose rispetto all'anno precedente, ma è da mettere in relazione con un incremento di apporti di reflui civili e/o industriali scarsamente depurati.

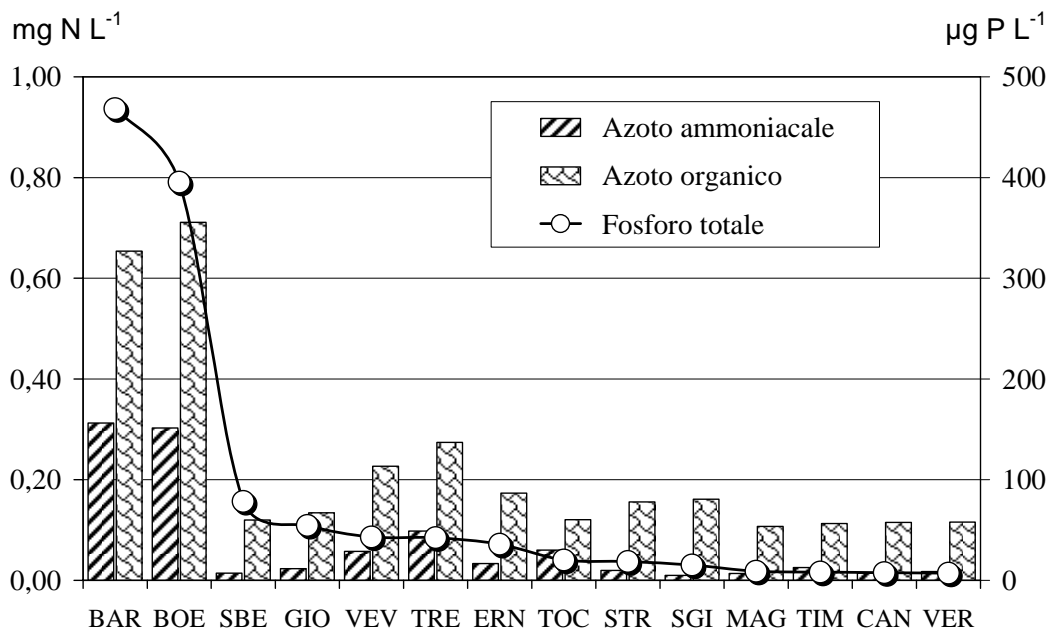


Fig. 2.3.1c. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate nel 2005 sui principali tributari del Lago Maggiore.

Dall'esame della figura 2.3.1e emerge che cinque tributari (Verzasca, Cannobino, Ticino immissario, Maggia, San Giovanni) presentano medie annuali di fosforo comprese tra 7 e 15 $\mu\text{g P l}^{-1}$, mentre i valori medi di Strona e Toce risultano rispettivamente pari a 19 e 20 $\mu\text{g P l}^{-1}$, vale a dire concentrazioni che rientrano nell'obiettivo di qualità da rispettare per il mantenimento dello stato oligotrofico delle

acque lacustri. Le condizioni di questi corsi d'acqua variano dunque da uno stato ottimale fino a livelli decisamente buoni o quantomeno accettabili. Del resto una conferma è data anche dai loro contenuti medi di azoto ammoniacale ed organico, sempre inferiori a 0,06 e 0,16 mg N l⁻¹ (Tab. 2.3.1 e Fig. 2.3.1c).

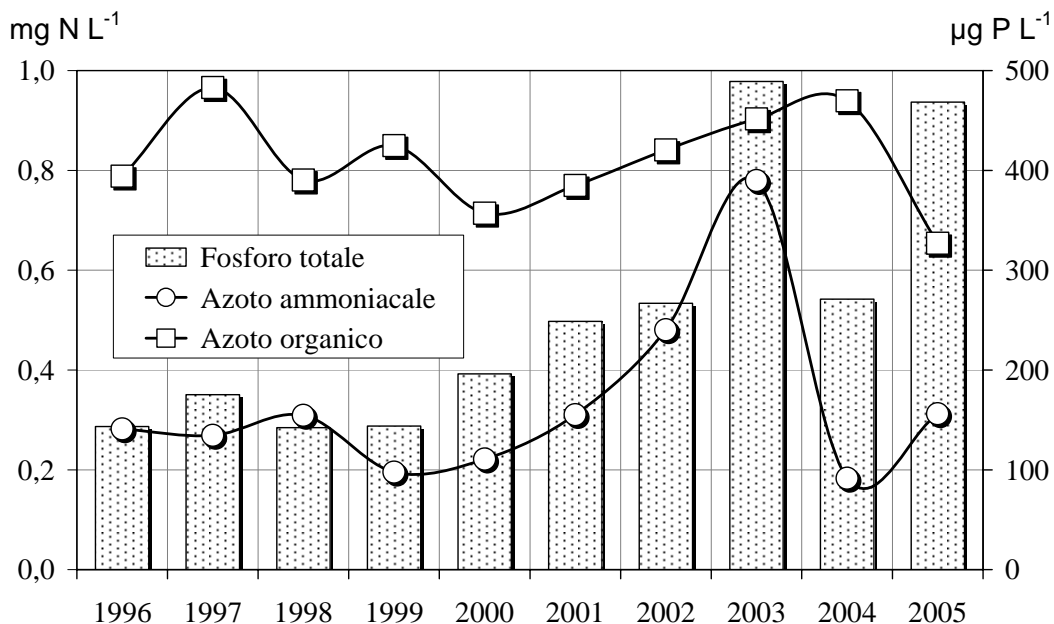


Fig. 2.3.1d. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate dal 1996 al 2005 alla foce del Fiume Bardello.

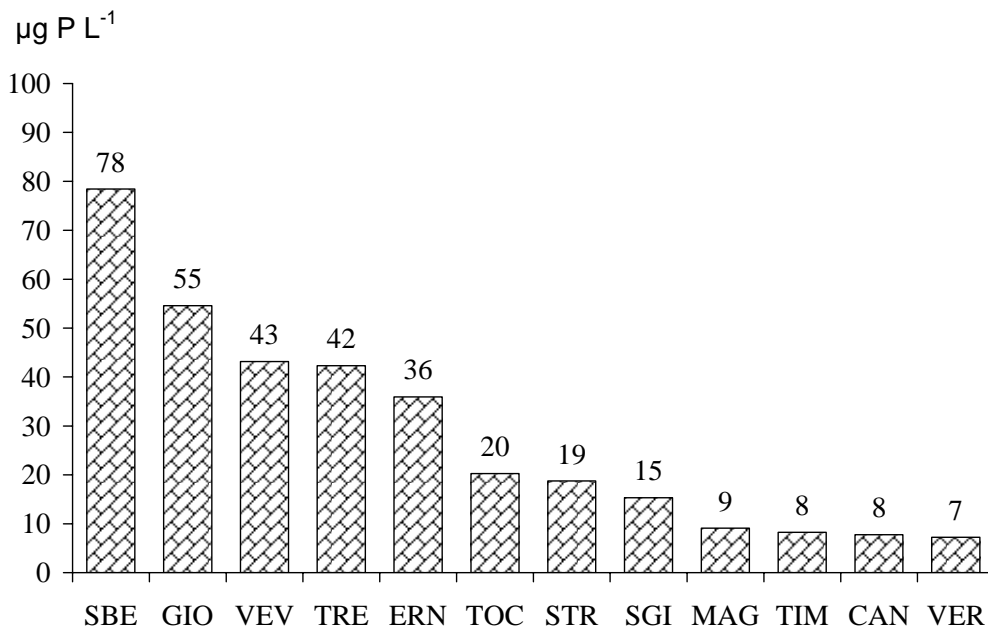


Fig. 2.3.1e. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel 2005 sui corsi d'acqua campionati ad esclusione di Boesio e Bardello.

Situazioni più compromesse e preoccupanti, dovute alla presenza nei bacini drenanti di scarichi non sufficientemente depurati, riguardano nell'ordine Giona, Vevera, Tresa ed Erno che mostrano medie annuali di fosforo ancora troppo elevate, rispettivamente decrescenti da 55 a 36 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (Fig. 2.3.1e), anche se l'ambito di variazione delle concentrazioni di azoto ammoniacale (0,02 e 0,06 mg N l^{-1}) ed organico (0,13 e 0,27 mg N l^{-1}) indica come esse siano assai meno rischiose per l'ambiente lacustre (Tab. 2.3.1).

Infine va segnalato che, rispetto al 2004, si è drasticamente modificata la situazione del San Bernardino. Nell'anno in studio si sono infatti riscontrate alla sua foce concentrazioni di fosforo totale elevatissime ed anomale in due campionamenti: il 3 Ottobre 2005 con 771 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (110 $\mu\text{g P l}^{-1}$ di fosforo reattivo) e il 7 Novembre con 93 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (56 $\mu\text{g P l}^{-1}$ di fosforo reattivo). Tale situazione è stata subito riferita alla Provincia e ai responsabili dell'ARPA locale affinché si attivassero per individuarne le cause, ma i sopralluoghi effettuati non hanno evidenziato anomalie degli scarichi civili e degli sfioratori esistenti. Molto probabilmente i due eventi sono invece da associare a qualche immissione improvvisa di sostanze fosforate in tombinature che recapitano le acque bianche urbane in prossimità del tratto terminale del torrente. Del resto, la sporadicità di tali eventi sembra confermata anche da un campionamento di controllo in data 11 Ottobre che ha evidenziato tenori di fosforo totale del tutto normali (4 $\mu\text{g P l}^{-1}$), nonchè dal fatto che gli elevati valori riscontrati non erano accompagnati da concentrazioni anomale dei composti dell'azoto e risultano difficilmente inquadrabili sia all'interno degli altri 9 campionamenti mensili (concentrazioni comprese tra 3 e 18 $\mu\text{g P l}^{-1}$), sia dei valori misurati in tutti i campionamenti dell'ultimo quinquennio (media di 8 con un massimo di 43 $\mu\text{g P l}^{-1}$).

Il quadro della distribuzione geografica della qualità delle acque tributarie in termini di apporti eutrofizzanti mette in rilievo condizioni eccellenti nell'areale ticinese, accettabili in quello piemontese e alterate nella zona lombarda. In effetti, nell'ultimo decennio (1996-2005), le concentrazioni medie areali annuali continuano a mostrare rapporti ben diversi tra Cantone Ticino, Piemonte e Lombardia: mediamente 1,0 : 4,2 : 11,5 per l'azoto ammoniacale (Fig. 2.3.1f); 1,0 : 1,4 : 3,4 per l'azoto organico (Fig. 2.3.1g); 1,0 : 3,1 : 9,9 per il fosforo totale (Fig. 2.3.1h).

Infine, le concentrazioni medie di fosforo totale e di azoto ammoniacale relative al 2005 degli afflussi complessivi al lago dai tributari hanno presentato un andamento diverso (Fig. 2.3.1i): le prime, pari a 32 $\mu\text{g P l}^{-1}$, si sono incrementate fino ad avvicinare i livelli del 2003 (35 $\mu\text{g P l}^{-1}$); le seconde sono rimaste praticamente invariate rispetto all'anno precedente, attestandosi a 0,05 mg N l^{-1} , cioè sul valore medio dell'ultimo decennio che è stato sensibilmente superato soltanto nel 2003 (0,09 mg N l^{-1}).

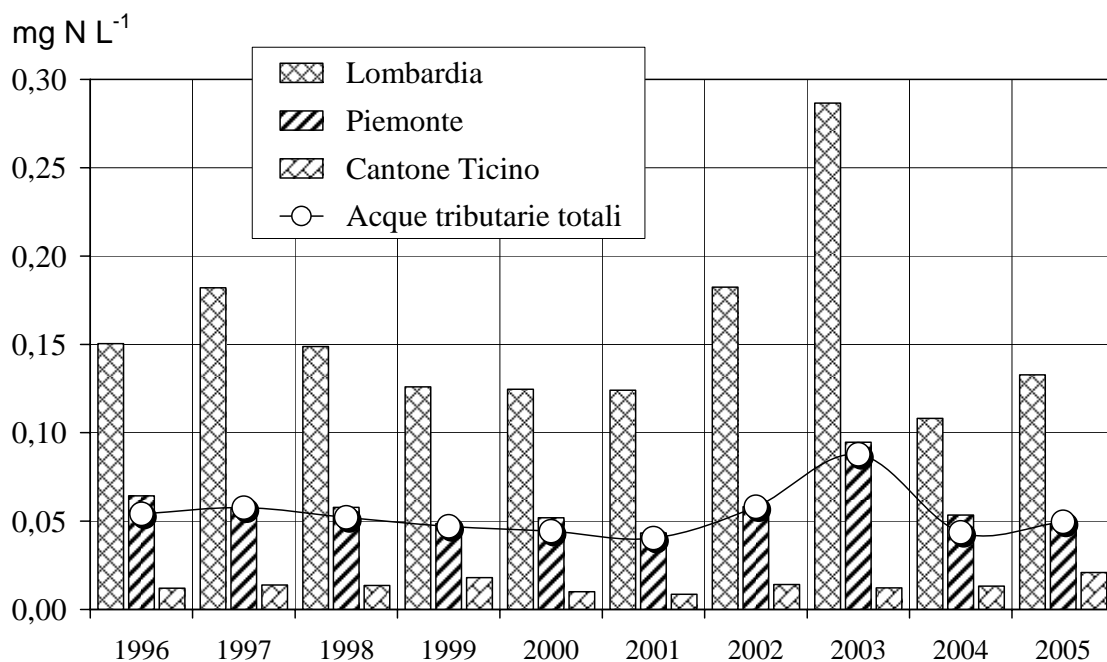


Fig. 2.3.1f. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale nel decennio 1996-2005 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte, Cantone Ticino.

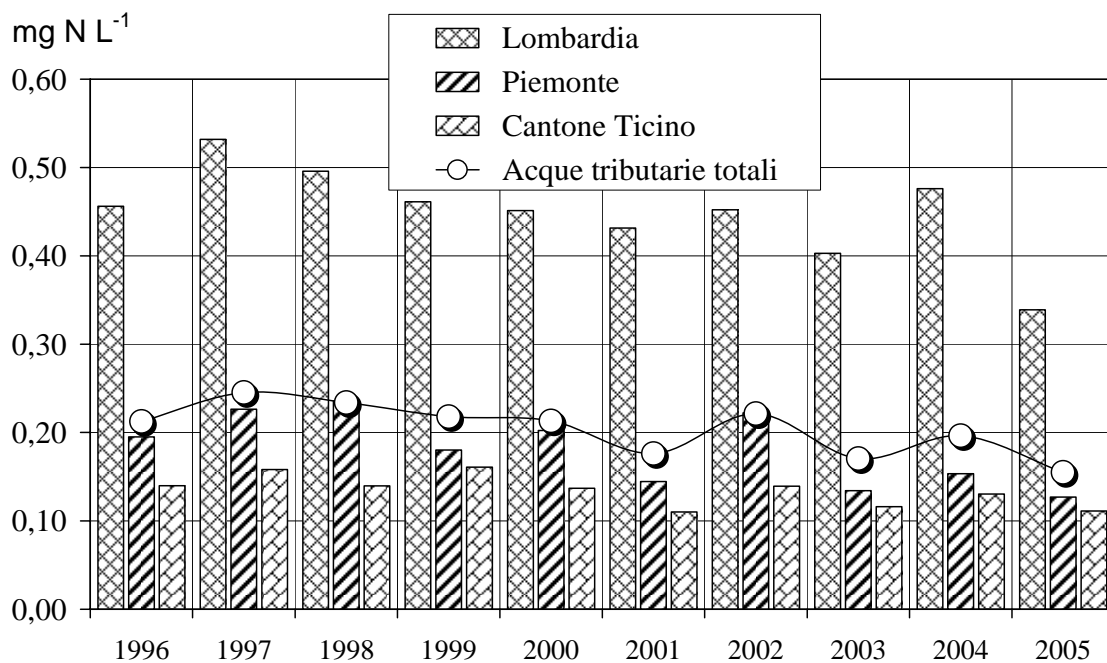


Fig. 2.3.1g. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto organico nel decennio 1996-2005 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

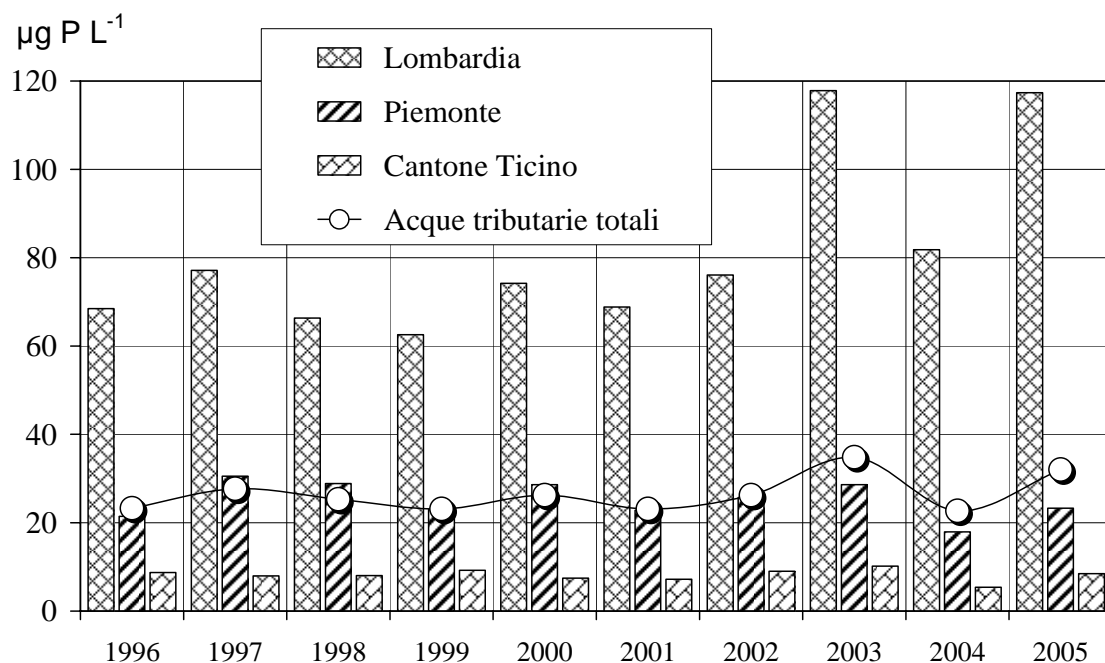


Fig. 2.3.1h. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di fosforo totale nel decennio 1996-2005 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

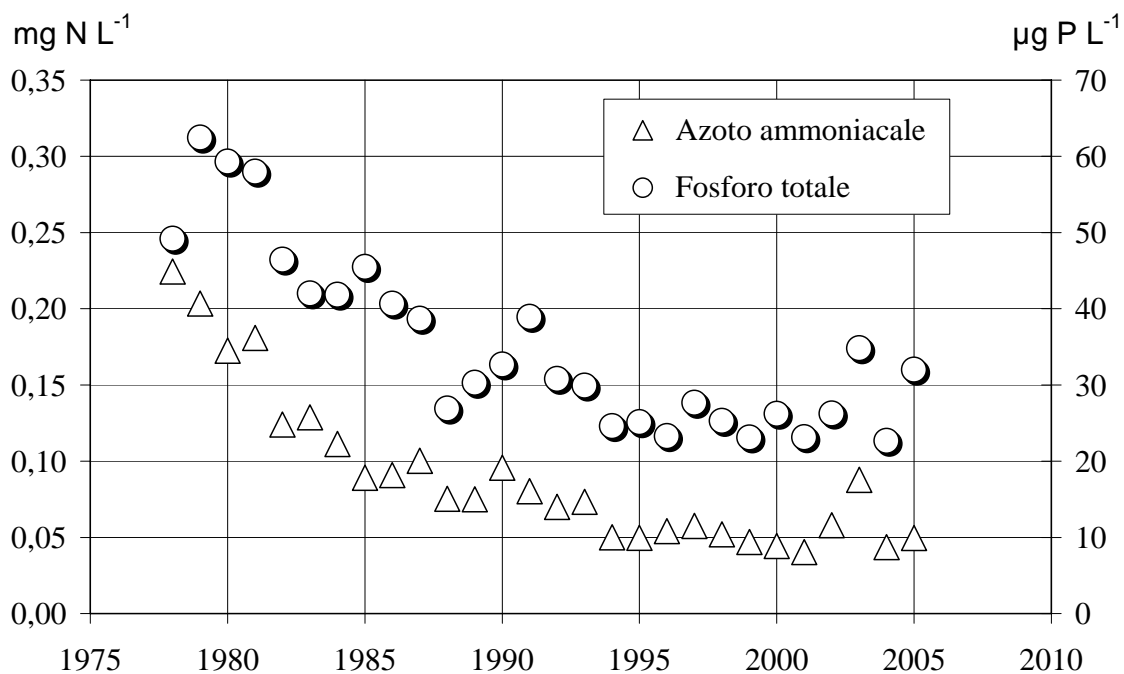


Fig. 2.3.1i. Lago Maggiore. Evoluzione delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale e azoto ammoniacale negli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

2.3.2. Carichi chimici

Gli apporti relativi al 2005 dei principali nutrienti algali dai tributari e in uscita dall'emissario sono stati misurati utilizzando le 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. Per i rimanenti tributari (Maggia, Verzasca e Giona), che coprono un ulteriore 18% del bacino imbrifero, gli apporti sono stati stimati dalla regressione lineare tra i contributi areali e le concentrazioni medie annuali. Come per gli anni passati, i carichi calcolati 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 nonché di fosforo totale veicolati dai tributari ed in uscita dall'emissario nell'ultimo biennio. In conseguenza del forte calo degli afflussi meteorici sull'intero bacino imbrifero, che sono passati da 1504 mm del 2004 a 991 mm del 2005 (-34,1%), la diminuzione degli apporti al lago ha riguardato tutte le variabili oggetto di indagine seppure con quantità diverse. In effetti i carichi complessivi dalle acque tributarie di azoto nitrico, organico e totale si sono ridotti rispettivamente del 45,5% (da 7390 a 4030 t N a⁻¹), del 46,8% (da 1280 a 681 t N a⁻¹) e del 44,8% (da 8930 a 4930 t N a⁻¹).

Tab. 2.3.2a. Lago Maggiore. Apporti annuali (t a⁻¹) di azoto e fosforo dai tributari campionati ed uscite attraverso l'emissario nel biennio 2004–2005 (totali arrotondati a tre cifre significative).

	N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Ticino Immissario ^(a)	38	51	1907	969	260	140	2205	1160	12	10
Maggia ^(b)	0,1	18	1294	762	135	98	1429	878	5,2	7,0
Verzasca ^(b)	1,3	5,1	331	194	30	25	362	223	1,4	1,6
Cannobino ^(a)	2,4	8,5	175	187	24	34	202	229	1,6	2,3
San Giovanni ^(a)	0,7	0,3	82	33	8	5	91	38	0,6	0,4
San Bernardino ^(a)	2,0	1,4	372	109	31	13	405	123	1,2	2,5
Toce Ossola ^(a)	117	61	1663	842	309	158	2089	1061	36	23
Strona ^(a)	18	5,4	447	283	67	34	532	322	6,5	3,4
Erno ^(a)	0,2	0,8	51	23	5	3	56	27	0,5	0,6
Vevera ^(a)	0,8	0,3	38	13	4	1	43	15	0,4	0,2
Bardello ^(a)	20	24	139	147	97	52	256	222	27	34
Boesio ^(a)	23	7,8	155	76	59	15	238	99	15	9
Tresa ^(a)	41	31	647	350	232	98	920	479	22	12
Giona ^(b)	0,3	1,2	87	45	13	7	100	54	2,4	1,5
Totale campionati	266	215	7390	4030	1280	681	8930	4930	132	108
Ticino emissario ^(a)	127	81	6363	3590	1486	843	8000	4500	116	65

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

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

Una diminuzione meno consistente ha invece riguardato le due variabili più direttamente dipendenti da scarichi di origine civile quali l'azoto ammoniacale e il fosforo totale. I loro apporti annuali sono infatti rispettivamente calati del 19,2% (da

266 a 215 t N a⁻¹) e del 18,2% (da 132 a 108 t P a⁻¹). Anche i carichi in uscita dal Ticino emissario, per il quale si è riscontrato un deflusso medio annuale di 162,9 m³ s⁻¹ contro i 270,7 m³ s⁻¹ del 2004, sono risultati nettamente più bassi, sia per l'azoto totale (4500 contro 8000 t N a⁻¹) che per il fosforo totale (65 contro 116 t P a⁻¹).

Gli apporti di azoto totale dai tributari campionati (4900 t N a⁻¹), dall'areale non campionato (420 t N a⁻¹), dalla popolazione rivierasca (700 t N a⁻¹) e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre (500 t N a⁻¹) ammontano complessivamente nel 2005 a 6500 t N a⁻¹, con una ritenzione in lago calcolata in base al carico in uscita dall'emissario di circa il 31% (Tab. 2.3.2b). Il confronto con i dati storici mostra come nell'anno in studio si sia toccato il minimo assoluto degli apporti annuali di azoto totale, che coincide anche con il minimo di afflussi meteorici sul bacino imbrifero (Fig. 2.3.2a). Questo fatto conferma ulteriormente la stretta dipendenza tra queste due variabili ed indica la larga prevalenza dell'origine dell'azoto da sorgenti diffuse quali le deposizioni atmosferiche e il dilavamento superficiale. I contributi di azoto totale di maggior rilievo derivano dal Toce, comprensivo dello Strona (28,1%), dal Ticino immissario (23,5%), dal Maggia (17,8%), dal Tresa con Margorabbia (9,7%), mentre i corsi d'acqua rimanenti rappresentano il 20,9%. (Fig. 2.3.2b).

Tab. 2.3.2b. Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 1996-2005 di azoto totale (t N a⁻¹). I totali parziali e complessivi sono approssimati alle centinaia.

<i>Tributari campionati</i>	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05
Ticino Immissario	1809	1760	2088	2658	2704	2216	2359	1356	2205	1160
Maggia	1377	1010	1267	1203	1568	1143	1704	953	1429	878
Verzasca	356	217	300	293	435	291	449	230	362	223
Cannobino	129	107	134	134	138	117	137	229	202	229
San Giovanni	133	91	137	88	100	82	179	31	91	38
San Bernardino	315	203	273	257	416	278	359	186	405	123
Toce (Ossola + Strona)	2276	1729	2212	2422	3692	1718	3070	1492	2621	1383
Erno	70	48	64	50	86	45	80	48	56	27
Vevea	69	61	71	43	107	50	61	75	43	15
Bardello	371	333	291	250	281	240	322	332	256	222
Boesio	218	206	221	237	233	134	196	110	238	99
Tresa	1328	1280	1344	1369	2141	1308	1904	697	920	479
Giona	89	66	82	78	112	75	111	64	100	54
<i>Tributari campionati</i>	8500	7100	8500	9100	12000	7700	10900	5800	8900	4900
Areale non campionato	732	609	728	780	1028	660	934	500	760	420
<i>Totale bacino emerso</i>	9200	7700	9200	9900	13000	8400	11800	6300	9700	5300
Fascia rivierasca	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Precipitazioni sul lago	570	400	600	600	800	700	840	400	500	500
<i>Totale apporti</i>	10500	8800	10500	11200	14500	9800	13300	7400	10900	6500
Uscite da emissario	7800	6700	8200	9000	12900	8600	11800	4600	8000	4500
Ritenzione in lago	26%	24%	22%	20%	11%	12%	11%	38%	27%	31%

Anche nel caso del fosforo totale si è accertata una consistente diminuzione degli apporti complessivi dai tributari (Tab. 2.3.2a). Rispetto all'anno precedente, essa è risultata pari a 24 t P a⁻¹ ed ha riguardato soprattutto Toce (-13 t), Tresa (-10 t), Boesio (-6 t), Strona (-3 t) e Ticino immissario (-2 t), mentre i carichi dagli altri corsi d'acqua sono rimasti invariati o hanno presentato variazioni modeste. Fa però eccezione il

Bardello, i cui apporti sono invece cresciuti da 27 a 34 t P a⁻¹, con un incremento di circa il 26% legato al forte aumento delle concentrazioni medie annuali già descritto nel precedente capitolo (da 271 a 468 µg P l⁻¹).

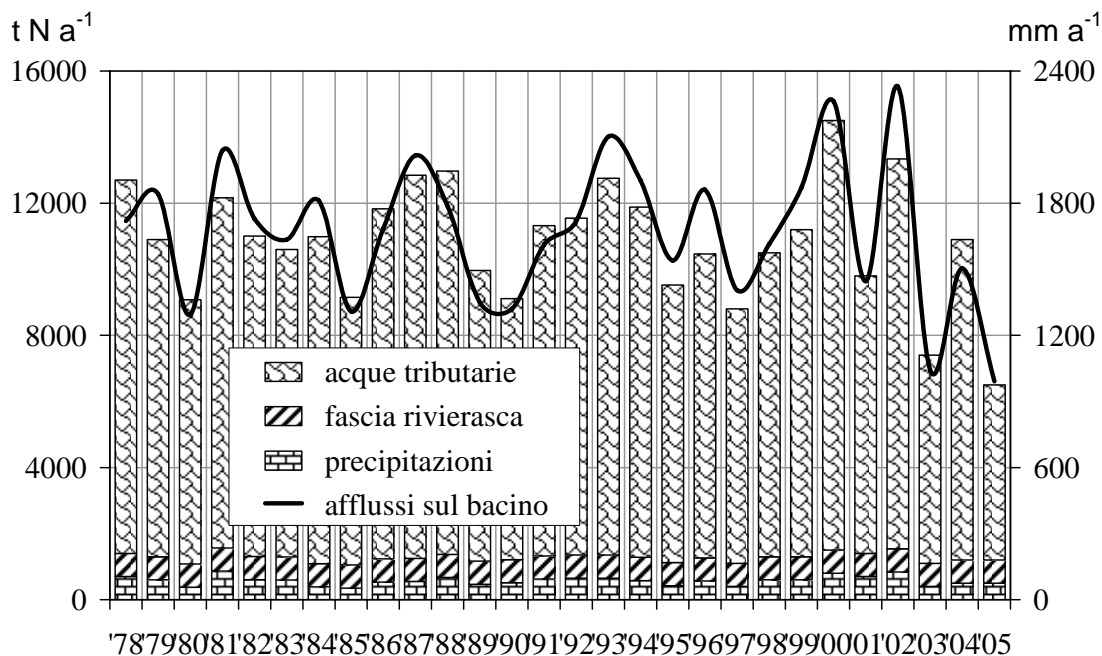


Fig. 2.3.2a. Lago Maggiore. Apporti annuali d'azoto totale al lago dall'areale emerso, dalla zona rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre, in relazione con gli afflussi meteorici annuali sul bacino imbrifero.

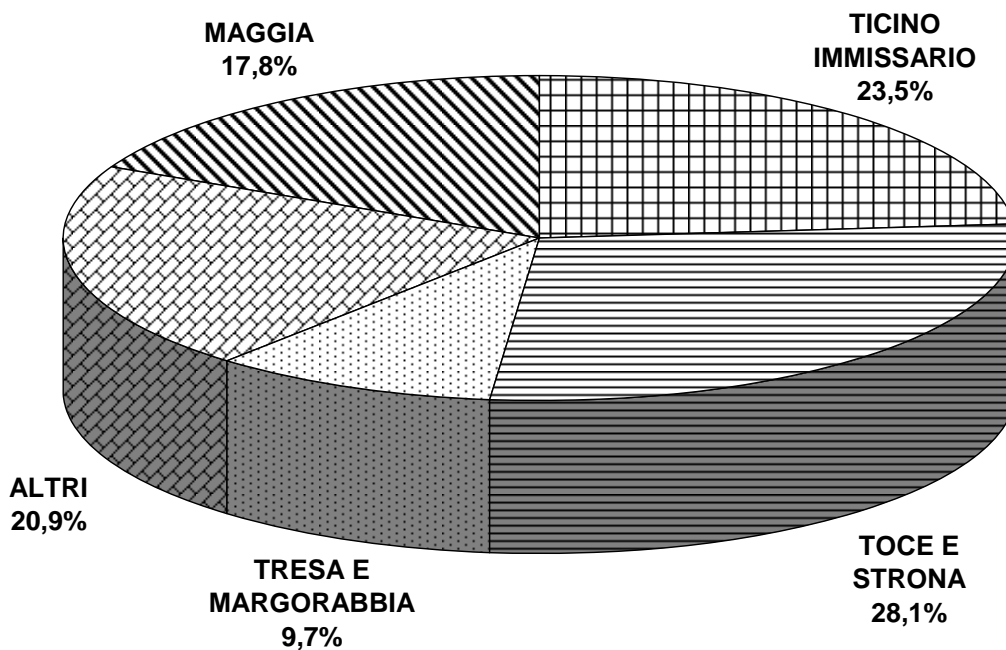


Fig. 2.3.2b. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di azoto totale dai diversi tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2005.

Come per l'azoto, gli apporti di fosforo al lago nel 2005 hanno toccato il nuovo minimo dell'intero periodo di osservazione (1978-2005): essi sono risultati pari a 176 t P a^{-1} (Tab. 2.3.2c e Fig. 2.3.2c) e derivano dai tributari campionati (108 t P a^{-1}), dall'areale non campionato (9 t P a^{-1}) e dalla zona rivierasca (58 t P a^{-1}). I carichi fluviali più consistenti (Fig. 2.3.2b), che fino al 2004 provenivano principalmente dall'intero bacino del Toce comprensivo dello Strona, nell'anno in studio riguardano il Bardello (31,8%). Risultano invece più bassi i contributi percentuali di Toce (24,6%), Tresa e Margorabbia (11,3%), Ticino immissario (9,5%), Boesio (8,0%), Maggia (4,0%) mentre i rimanenti tributari hanno contribuito al carico globale per l'8,3% (Fig. 2.3.2d).

Queste differenze tra il 2005 e il 2004 risultano ancor più accentuate se si considerano i carichi dei composti dell'azoto per unità di superficie drenata dalle acque tributarie (Tab. 2.3.2d); in effetti diminuiscono fortemente i contributi annuali di azoto nitrico (da $1,26$ a $0,69 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), organico (da $0,22$ a $0,12 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e totale (da $1,52$ a $0,84 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), mentre il calo è più leggero per l'azoto ammoniacale (da $0,045$ a $0,037 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Anche il contributo fluviale complessivo di fosforo totale ha mostrato una riduzione significativa (da $0,022$ a $0,018 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), che ha riguardato Vevera (da $0,021$ a $0,008 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), Strona (da $0,029$ a $0,015 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), Tresa (da $0,029$ a $0,016 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e Toce (da $0,023$ a $0,015 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$).

Persino il Boesio ha mostrato un notevole calo dei suoi contributi di fosforo (da $0,329$ a $0,192 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e di azoto ammoniacale ed organico (Tab. 2.3.2d e Fig. 2.3.2e), ma i valori restano tuttora alti ed inaccettabili. Al contrario, il Bardello, dopo il calo dei suoi contributi areali di fosforo ed azoto ammoniacale evidenziato nel 2004, ha mostrato un aumento consistente dei primi (da $0,20$ a $0,26 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e meno pronunciato dei secondi (da $0,15$ a $0,18 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), mentre i contributi di azoto organico sono calati da $0,72$ a $0,38 \text{ g N m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (Tab. 2.3.2d e Fig. 2.3.2f). Lo stato di questi due tributari rimane comunque pesantemente alterato, tanto che i rispettivi contributi areali di fosforo risultano da 13 a 9 volte più alti di quelli dei corsi d'acqua in condizioni appena accettabili.

Assumendo come obiettivo un contributo areale massimo di fosforo pari a $0,02 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ e tenendo conto dei suoi andamenti medi nell'ultimo triennio (Fig. 2.3.2g), nonché di quelli di azoto ammoniacale (Fig. 2.3.2h) ed organico (Fig. 2.3.2i), appaiono in condizioni decisamente buone Maggia, Verzasca e Ticino immissario. Viceversa, Tresa, Giona e Vevera risultano ancora sensibilmente compromessi, mentre Toce Ossola, Strona, Erno, San Giovanni, San Bernardino e Cannobino presentano alterazioni sensibili, anche se spesso saltuarie e modeste.

Su scala regionale si riconfermano le conclusioni già documentate nell'ultimo decennio: a fronte di una situazione ottimale delle acque ticinesi e moderatamente accettabile di quelle piemontesi, i contributi medi areali dalle acque tributarie lombarde continuano anche nel 2005 e nell'ultimo triennio (Tab. 2.3.2e) e destano preoccupazione soprattutto per i valori elevati di fosforo totale e di azoto ammoniacale, che tuttavia sembrano presentare una tendenza alla diminuzione che potrà essere meglio confermata soltanto negli anni successivi. Infine va segnalato come i carichi areali di fosforo veicolati complessivamente dalle acque tributarie nell'ultimo triennio (rispettivamente $0,025 - 0,022 - 0,018 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) sono compatibili con il mantenimento di uno stato oligotrofo delle acque lacustri, anche se gli effetti nella fascia rivierasca dipendono comunque dai contributi dei singoli tributari.

Tab. 2.3.2c. Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 1996-2005 del fosforo totale (t P a⁻¹).

<i>Tributari campionati</i>	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05
Ticino Immissario	20	20	21	30	22	27	22	19	12	10
Maggia	15	7	9	6	11	12	20	8	5	7
Verzasca	3	1	1,7	1,2	4	2,6	5,8	2,5	1,4	1,6
Cannobino	1	1	0,8	1,2	1	1,0	1,7	1,6	1,6	2,3
San Giovanni	1	1	0,9	0,7	1	0,9	3,1	0,6	0,6	0,4
San Bernardino	2	1	0,8	1,0	2	1,4	3,4	2,0	1,2	2,5
Toce (Ossola + Strona)	44	58	65	65	99	51	57	42	43	27
Erno	1	0	0,6	0,4	1	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6
Vevera	1	1	1,2	0,6	1	0,7	0,8	1,4	0,4	0,2
Bardello	19	18	16	15	20	23	27	42	27	34
Boesio	11	12	12	13	9	6,3	7,8	6,0	14,9	9
Tresa	39	27	35	33	59	26	40	20	22	12
Giona	2	1	1,5	1,4	2	1,3	2,0	1,3	2,4	1,5
<i>Tributari campionati</i>	158	148	165	169	231	153	191	148	132	108
Areale non campionato	14	13	15	14	20	13	16	13	11	9
<i>Totale bacino emerso</i>	172	161	180	183	251	166	207	160	143	118
Fascia rivierasca	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Totale apporti	230	219	238	241	309	224	265	218	201	176
Uscite da emissario	99	93	93	109	171	114	115	84	116	65
Ritenzione in lago	57%	57%	61%	55%	45%	49%	57%	61%	42%	63%

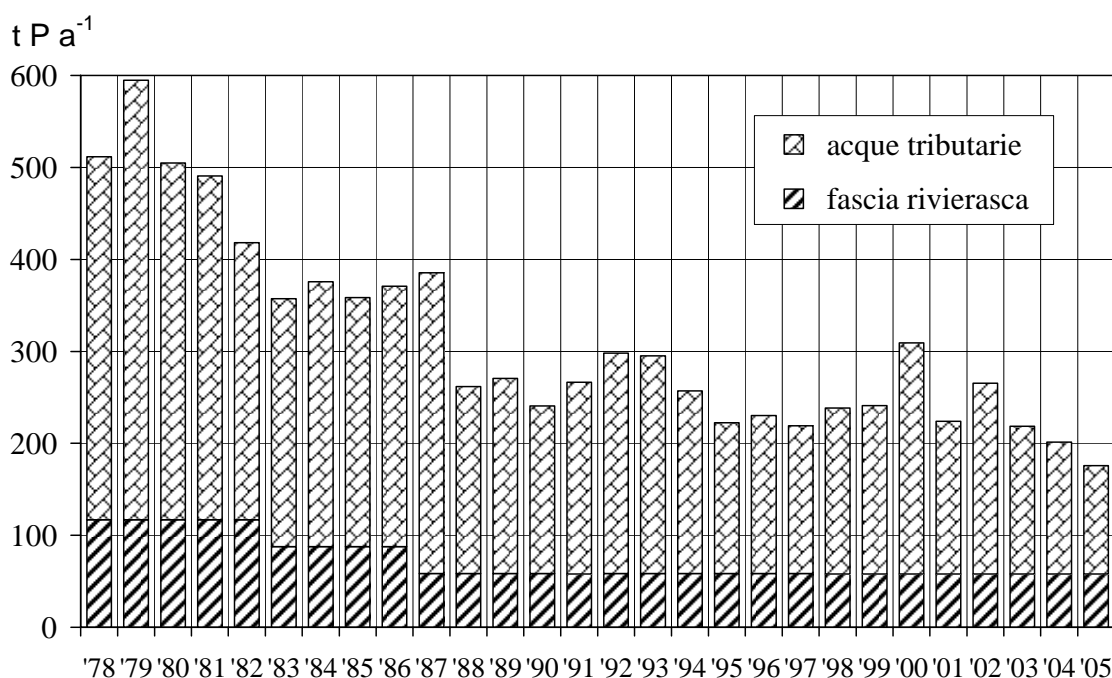


Fig. 2.3.2c. Lago Maggiore. Apporti annuali di fosforo totale al lago dall'areale emerso e dalla zona rivierasca.

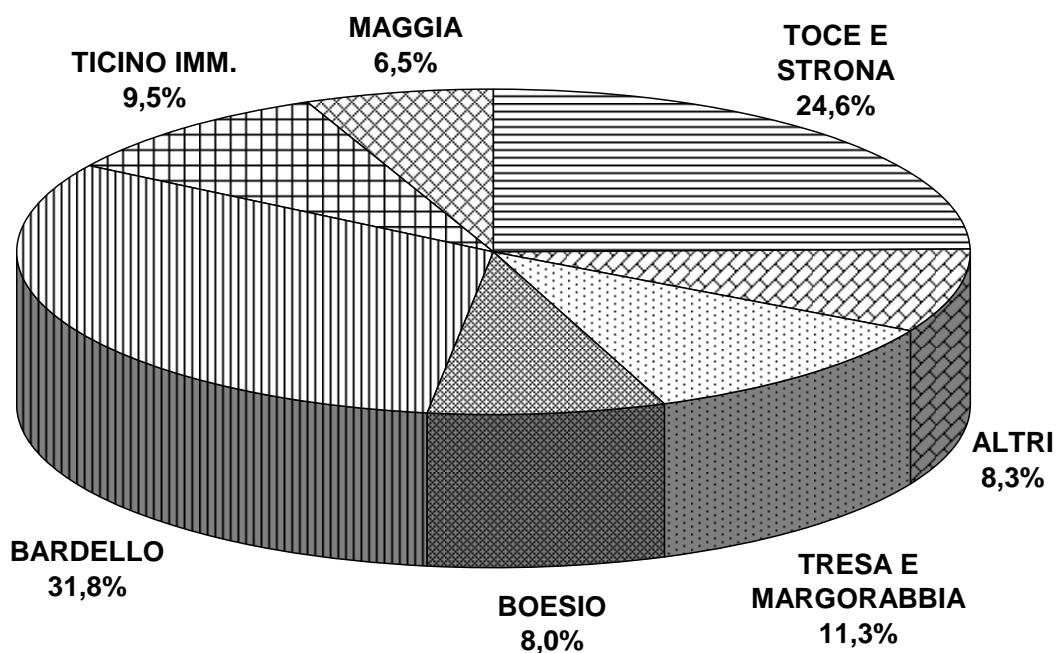


Fig. 2.3.2d. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di fosforo totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2005.

Tab. 2.3.2d. Lago Maggiore. Contributi areali annuali ($\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$) di azoto ammoniacale, nitrico, organico, totale e fosforo totale nel biennio 2004-2005 dai tributari campionati e dall'emissario.

		N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Ticino Immissario	TIM	0,023	0,031	1,180	0,600	0,161	0,086	1,364	0,717	0,007	0,006
Maggia	MAG	0,000	0,019	1,397	0,823	0,146	0,106	1,544	0,948	0,006	0,008
Verzasca	VER	0,006	0,021	1,396	0,818	0,128	0,105	1,530	0,944	0,006	0,007
Cannobino	CAN	0,021	0,077	1,589	1,689	0,222	0,304	1,832	2,070	0,015	0,021
San Giovanni	SGI	0,011	0,005	1,347	0,546	0,139	0,074	1,498	0,625	0,010	0,006
San Bernardino	SBE	0,015	0,011	2,842	0,833	0,235	0,097	3,092	0,941	0,010	0,019
Toce Ossola	TOC	0,076	0,040	1,075	0,544	0,200	0,102	1,351	0,686	0,023	0,015
Strona	STR	0,080	0,024	2,004	1,269	0,298	0,150	2,382	1,443	0,029	0,015
Erno	ERN	0,009	0,030	1,999	0,914	0,195	0,124	2,203	1,069	0,020	0,022
Vevera	VEV	0,036	0,014	1,777	0,625	0,205	0,056	2,018	0,695	0,021	0,008
Bardello	BAR	0,149	0,176	1,035	1,092	0,724	0,384	1,908	1,652	0,202	0,256
Boesio	BOE	0,516	0,173	3,419	1,676	1,306	0,334	5,242	2,183	0,329	0,192
Tresa	TRE	0,055	0,041	0,858	0,465	0,307	0,130	1,220	0,635	0,029	0,016
Giona	GIO	0,006	0,024	1,742	0,908	0,258	0,145	2,006	1,078	0,047	0,031
Totale campionati		0,045	0,037	1,256	0,686	0,217	0,116	1,518	0,838	0,022	0,018
Ticino emissario	TEM	0,019	0,012	0,964	0,544	0,225	0,128	1,209	0,682	0,018	0,010

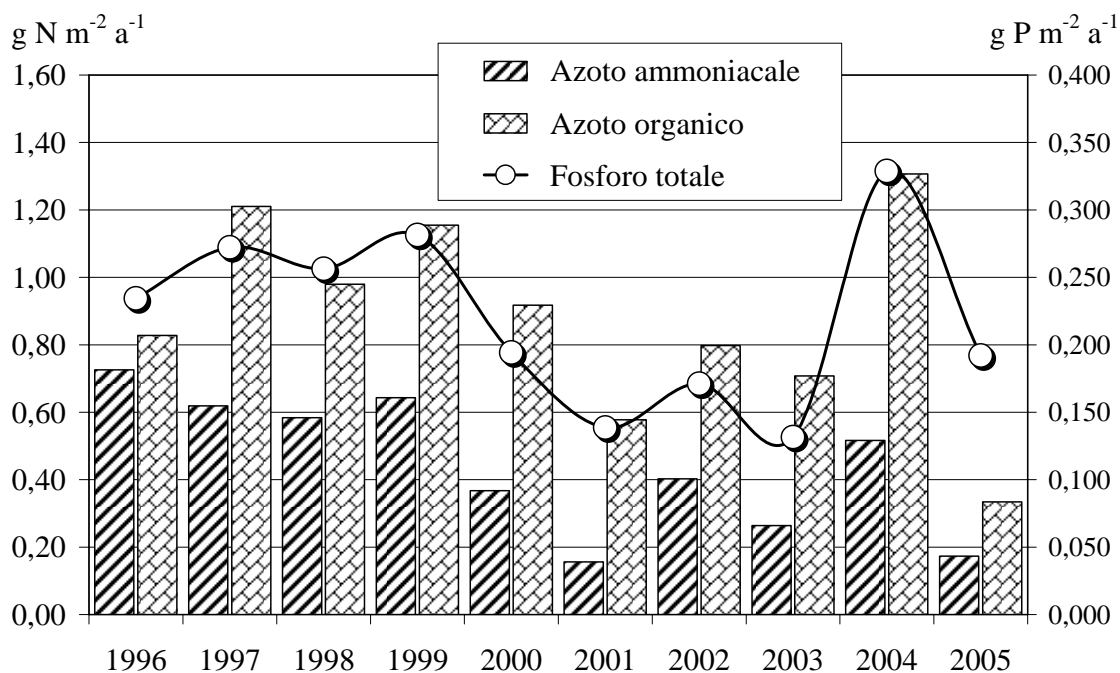


Fig. 2.3.2e. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Boesio dal 1996 al 2005.

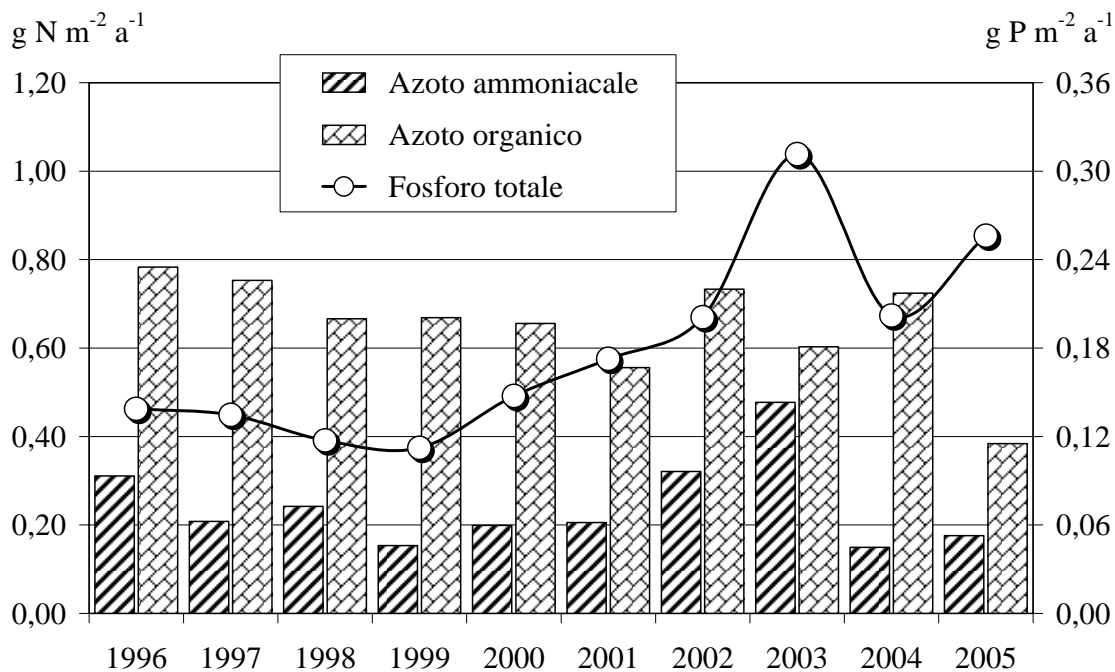


Fig. 2.3.2f. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Bardello dal 1996 al 2005.

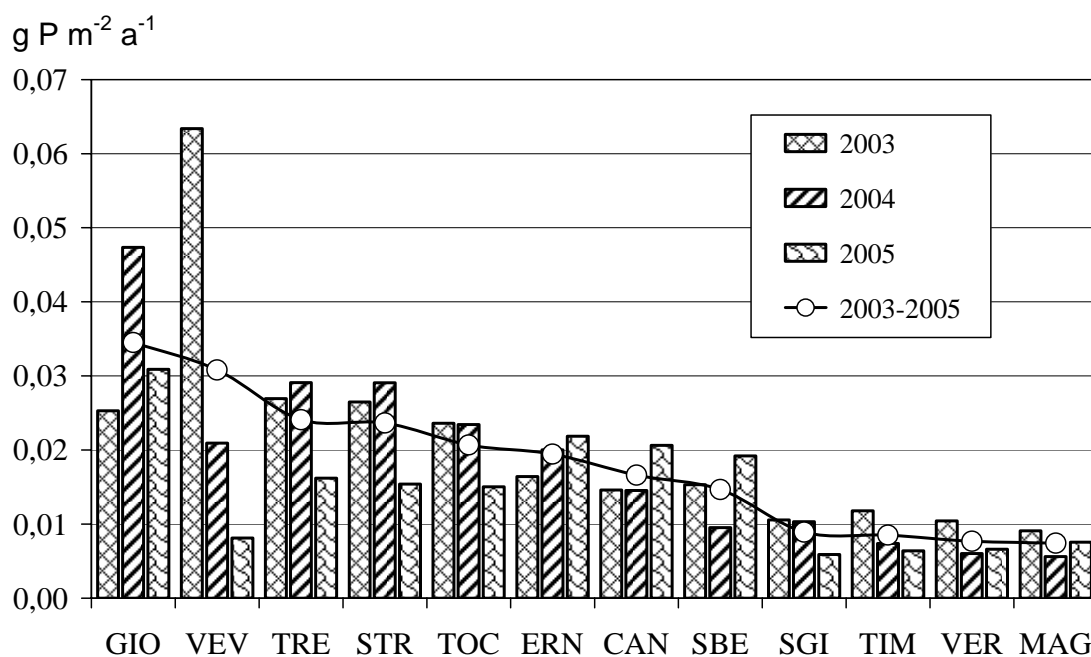


Fig. 2.3.2g. Lago Maggiore. Contributi areali di fosforo totale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2003-2005.

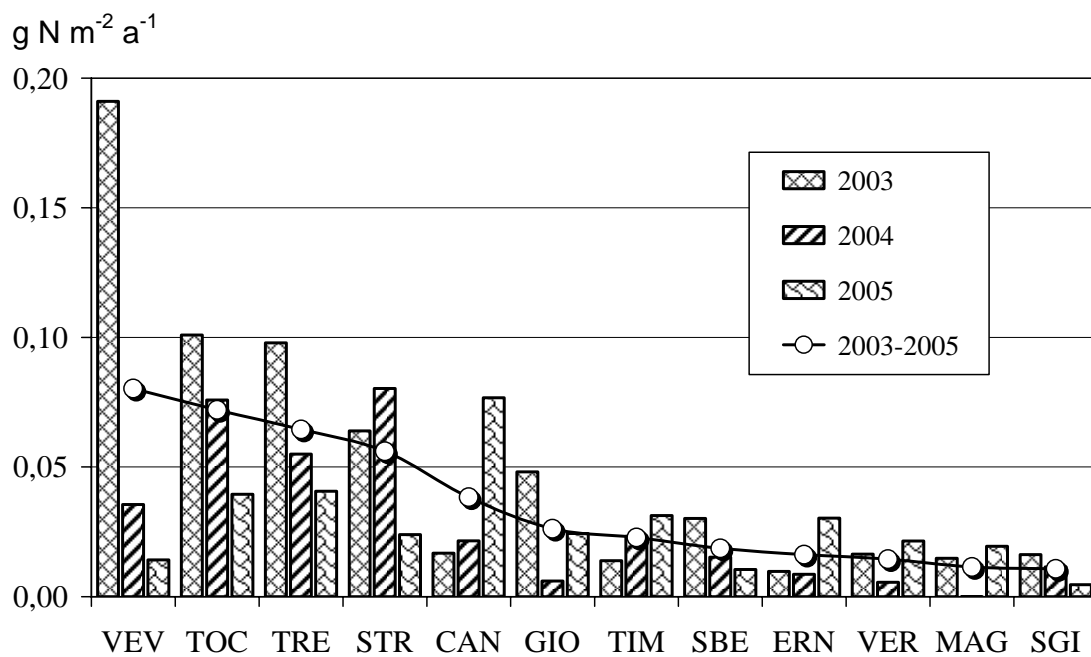


Fig. 2.3.2h. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto ammoniacale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2003-2005.

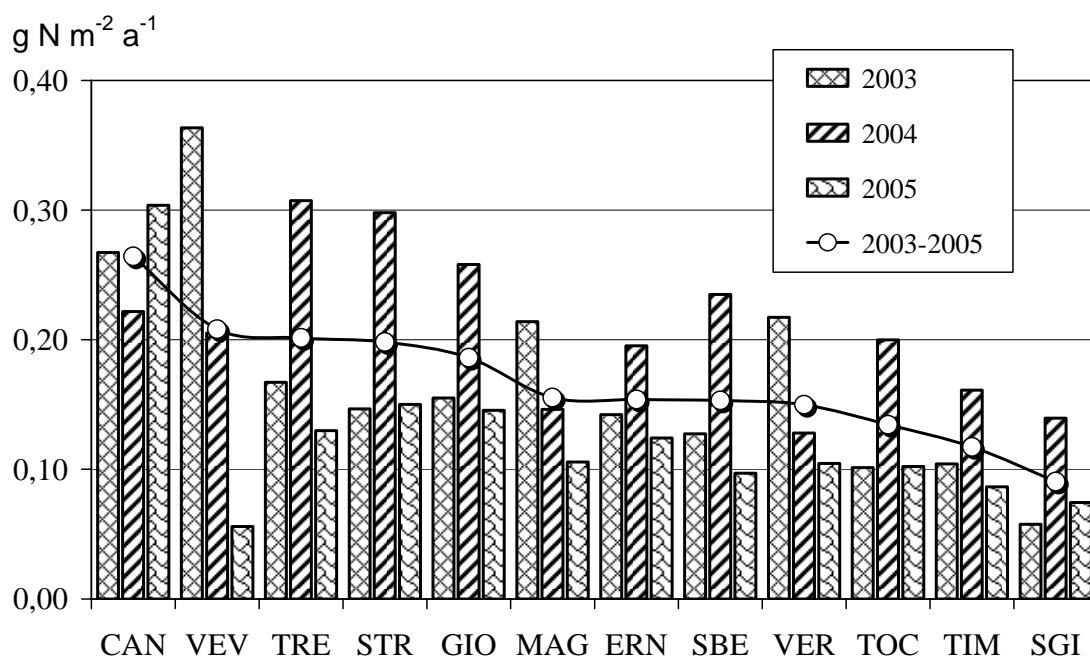


Fig. 2.3.2i. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto organico, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 2003–2005.

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 2003-2005.

	2003			2004			2005		
	<i>TP</i>	<i>NH₄</i>	<i>Norg</i>	<i>TP</i>	<i>NH₄</i>	<i>Norg</i>	<i>TP</i>	<i>NH₄</i>	<i>Norg</i>
Cantone Ticino	0,011	0,014	0,150	0,007	0,014	0,153	0,007	0,027	0,09
Piemonte	0,023	0,086	0,118	0,022	0,067	0,212	0,015	0,037	0,12
Lombardia	0,071	0,155	0,251	0,067	0,087	0,408	0,058	0,064	0,17
Acque tributarie	0,025	0,064	0,156	0,022	0,045	0,217	0,018	0,037	0,12

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 l⁻¹, misurate in ciascun campionamento sono presentate nella tabella 2.3.3. Le concentrazioni di TOC nelle acque dei fiumi Boesio e Bardello hanno presentato, come in passato, valori ben più elevati rispetto a quelli delle acque pelagiche del Lago Maggiore. Le concentrazioni di TOC misurate nel corso del 2005 hanno mostrato, come si può vedere dalla tabella, una media annua generalmente prossima a quella del 2004. L'eccezione è costituita dai fiumi Boesio e Bardello, nei quali si è avuto un modesto incremento della concentrazione rispetto al 2004.

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

2005	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	av 05	av 04
Verzasca	0,47	1,36	0,66	1,17	1,03	1,02	0,74	0,56	0,48	0,67	0,63	0,44	0,8	0,8
Cannobino	0,60	0,60	0,68	1,00	0,65	2,97	0,85	1,29	0,86	1,49	0,71	0,65	1,0	0,9
Erno	0,83	0,74	0,72	1,28	1,35	2,85	1,10	1,02	1,78	2,42	1,03	0,91	1,3	1
Ticino E.	0,98	0,88	1,28	1,05	0,73	1,36	0,95	1,15	1,29	0,90	0,72	0,90	1,0	0,9
Giona	0,73	0,79	0,66	0,95	0,60	1,93	0,57	0,78	0,53	1,58	0,59	0,63	0,9	0,8
Maggia	0,81	0,57	0,59	1,09	0,56	1,61	0,67	0,73	0,53	0,61	0,36	0,54	0,7	0,7
Ticino I.	0,51	0,45	0,60	0,55	0,53	1,44	0,45	0,56	0,48	0,64	0,41	0,55	0,6	0,6
S. Giovanni	0,62	0,70	0,85	0,95	0,62	0,79	0,73	0,90	3,07	2,18	0,87	0,86	1,1	0,8
S. Bernardino	0,59	1,03	0,69	0,82	0,50	0,59	0,71	0,67	0,90	1,24	0,55	0,67	0,7	0,7
Toce	0,66	0,82	0,71	1,25	0,72	0,58	0,67	0,69	0,60	0,93	0,50	0,61	0,7	0,8
Strona	1,08	1,06	0,85	0,73	0,53	0,86	0,88	0,74	0,98	1,04	0,63	0,92	0,9	0,9
Tresa	1,38	1,70	1,47	1,83	1,26	2,16	1,70	1,80	1,76	1,81	1,35	1,56	1,6	1,5
Boesio	3,78	4,14	5,17	3,68	2,44	4,88	2,89	3,85	4,70	3,15	3,69	3,82	3,8	3,3
Bardello	4,03	5,06	4,38	4,01	3,44	4,97	3,61	3,78	3,99	3,87	3,96	4,37	4,1	3,3
Vevera	1,12	0,92	0,91	1,27	0,65	1,52	1,04	0,96	0,91	1,75	0,85	0,87	1,1	1,2

3. INDAGINI SULL'AMBIENTE PELAGICO

3.1. Limnologia fisica

L'analisi dei principali parametri fisici che hanno caratterizzato le acque del Lago Maggiore durante il 2005 consentirà di verificare, in prosecuzione ed in continuità con quanto svolto negli anni precedenti, gli aspetti più importanti dell'idrodinamica lacustre; in particolar modo sarà possibile accertare la profondità raggiunta dal mescolamento tardo invernale, valutare le conseguenze di eventi idrologici rilevanti e definire i meccanismi di stratificazione e destratificazione termica delle acque. Verranno valutati anche il bilancio termico della massa lacustre su scala mensile, nonché i flussi di calore attraverso le singole superfici isobatimetriche.

Tutte queste problematiche hanno potuto essere affrontate grazie alla disponibilità dei dati, completi nell'intero 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, utilizzato questo ultimo come parametro di sintesi idrologica. Tutto questo complesso di dati è stato considerato anche alla luce delle caratteristiche meteorologiche locali, soprattutto per quanto attiene agli elementi che con maggiore efficacia intervengono nell'idrodinamica lacustre; si veda a questo proposito quanto riportato nel capitolo 2.

3.1.1. Livello del lago

	2005 (m s.l.m.)		1952-2004 (m s.l.m.)	
livello medio annuo	193,47		193,88	
livello minimo	192,59	g.d. Dic	192,38	18 Mar 1956
livello massimo	194,37	1 Gen	197,86	17 Ott 2000
livello medio invernale	194,27		193,91	
livello medio primaverile	193,80		193,86	
livello medio estivo	193,37		193,89	
livello medio autunnale	193,03		193,84	
escursione massima giornaliera	0,26	2-3 Ago	1,89	30 Nov – 1 Dic 2003
escursione massima mensile	0,82	Lug	4,04	Set 1981
escursione massima annua	1,78		5,14	2000

Nel 2005 l'altezza idrometrica del Lago Maggiore (193,47 m s.l.m.) si è mantenuta nettamente al di sotto della media (193,88 m s.l.m.), il che significa che sono venuti a mancare, rispetto alla norma, circa 87 milioni di metri cubi d'acqua. Al di là del fatto che il lago è sottoposto al suo incile a regolazione idraulica e che nel suo bacino imbrifero siano presenti numerosi serbatoi artificiali, il cui rilascio avviene in tempi e con modalità diverse da bacino a bacino comportando alterazioni nell'afflusso e nel deflusso naturale dell'acqua, è evidente che la magra del 2005 è stata determinata essenzialmente dalla scarsità di precipitazioni che hanno interessato tutto il bacino versante. Il ridotto afflusso meteorico del 2005 (1.265 mm a Pallanza) ha lasciato un'impronta molto netta sul regime idrometrico del Maggiore: infatti il valore

dell'ultimo anno rappresenta la quota media più bassa mai raggiunta dal lago dopo quella di 193,41 m s.l.m. del 1965. I dati medi stagionali hanno evidenziato una progressiva diminuzione delle quote idrometriche a partire dalla fine del periodo invernale (+ 36 cm): altezze chiaramente inferiori alla norma si sono avute soprattutto in estate (- 52 cm) e in misura ancora maggiore in autunno (- 81 cm), mentre più contenuto è risultato il divario dalla media in primavera (- 6 cm).

A livello mensile, come risulta dalla figura 3.1.1 dopo i primi due mesi durante i quali il lago si è mantenuto al di sopra della media si è assistito nel secondo semestre ad un drastico e progressivo abbassamento del livello (salvo una leggera ripresa in Ottobre): le medie idrometriche mensili hanno sfiorato i minimi assoluti, da Luglio a Novembre mentre a Dicembre con 192,65 m s.l.m. si è scesi sotto i 192,66 m s.l.m. del 1986 che costituiva il minimo storico precedente per questo mese.

A livello giornaliero il valore più basso si è avuto negli ultimi tre giorni dell'anno con 192,59 m s.l.m. minimo assoluto del mese, ed è stato inferiore negli ultimi 50 anni solo a quello del Dicembre 1965 (192,69 m s.l.m.). Quanto all'escursione annua è risultata di 1,78 m valore molto contenuto in rapporto agli analoghi degli anni precedenti.

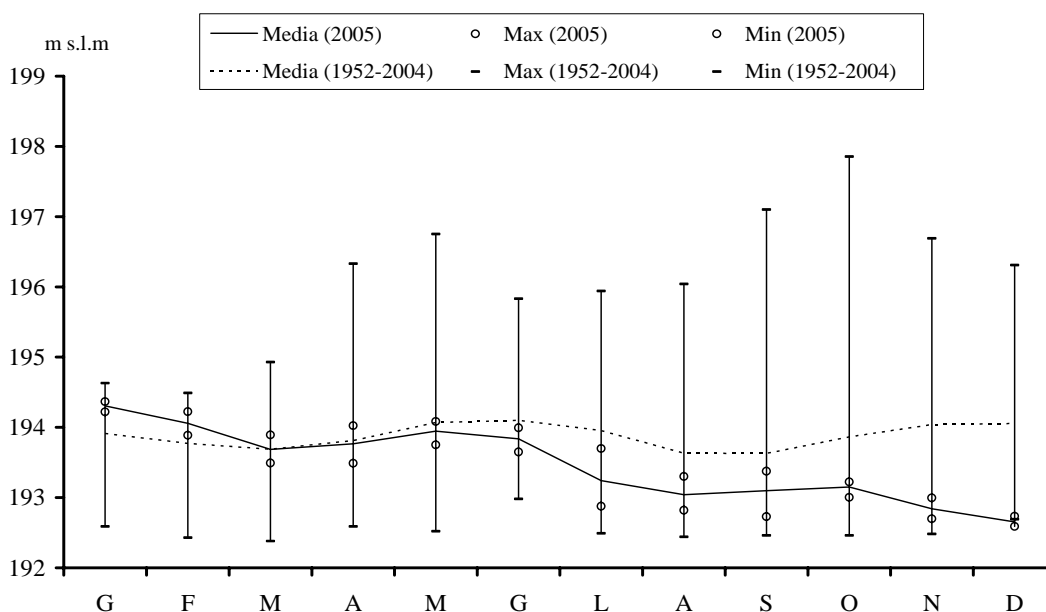


Fig. 3.1.1. Lago Maggiore 2005. Regimi mensili dei livelli, valori estremi di ciascun mese e confronto con il periodo 1952-2004.

3.1.2. Trasparenza delle acque lacustri

Il quadro annuale riguardante la trasparenza delle acque del Lago Maggiore è stato definito come di consueto, sulla base di rilevamenti di scomparsa del disco di Secchi, eseguiti con cadenza circa decadici. La variazione di detto parametro nell'arco annuale segue, per grandi linee, quello che è il suo andamento normale, essenzialmente legato, come è noto, al ciclo di produzione algale. La massima profondità della scomparsa del disco si è raggiunta il 14 Marzo con 19,5 m (Fig. 3.1.2), una profondità abbastanza

ragguardevole che non si riscontrava dalla metà degli anni ottanta e che è probabilmente legata alla scarsa produzione algale, dovuta alle basse temperature dell'aria di questo mese e allo scarso apporto di materiale in sospensione per la secca invernale dei fiumi. I valori minimi compresi tra 4,5 e 4,8 m si sono avuti in primavera e nella tarda estate probabilmente legati all'aumento dell'intensità produttiva del lago.

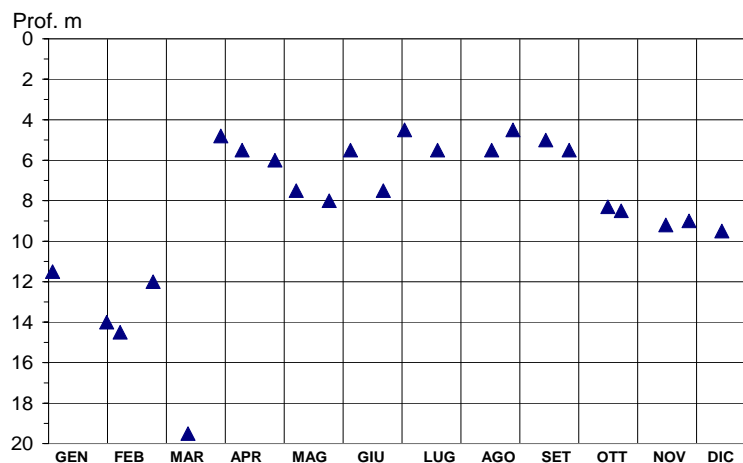


Fig. 3.1.2. Lago Maggiore 2005. Andamento della trasparenza (disco di Secchi).

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 riscontrata nelle acque superficiali (0-20 m) nel corso del 2005. Rispetto all'anno precedente si deve rilevare che lo strato superficiale ha subito nel periodo invernale un generale raffreddamento, quantizzabile mediamente in 0,1–0,2 °C. Nei mesi successivi si verifica invece un graduale aumento termico entro quasi tutti i 20 metri di lago: in particolare le isoterme 11°C e 12°C scendono sotto i -20 metri con un mese di anticipo mentre la 13°C che nel 2004 si fermava a -16 m nel corso di questo anno si porta sotto i 20 metri già ad Agosto. Al termine dell'anno l'incremento termico dello strato superficiale è ancora evidente: infatti a Dicembre è ancora presente l'isoterma 10°C totalmente assente nel 2004.

La temperatura più elevata è stata misurata in superficie il 23 Giugno con 24,6°C e l'isoterma 23°C, che superava i -5 m nel 2004, nell'ultimo anno viene sostituita da quella quotata 22°C. Da rilevare infine che da un confronto delle temperature rilevate nell'anno qui considerato rispetto a quelle medie del periodo 1963-2004 si nota, nei primi tre mesi, un lieve raffreddamento entro tutto lo strato superficiale mentre nel resto dell'anno le isolinee mostrano una buona coincidenza, cioè non si riscontrano evidenti differenze.

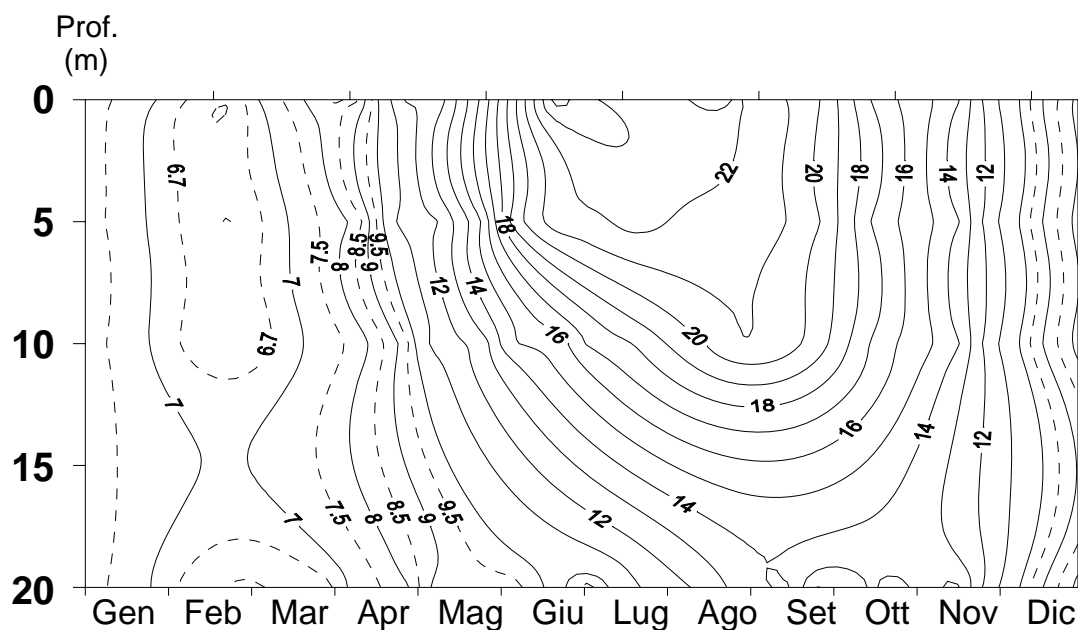


Fig. 3.1.3.1. Lago Maggiore 2005. Isotherme nello strato superficiale (°C).

3.1.3.2. Acque profonde

Nella figura 3.1.3.2 è rappresentato l'andamento dei dati di termica lacustre raccolti durante i sopralluoghi effettuati con frequenza all'incirca decadica nella porzione centrale del lago, al largo di Ghiffa dove il fondale raggiunge i 370 m.

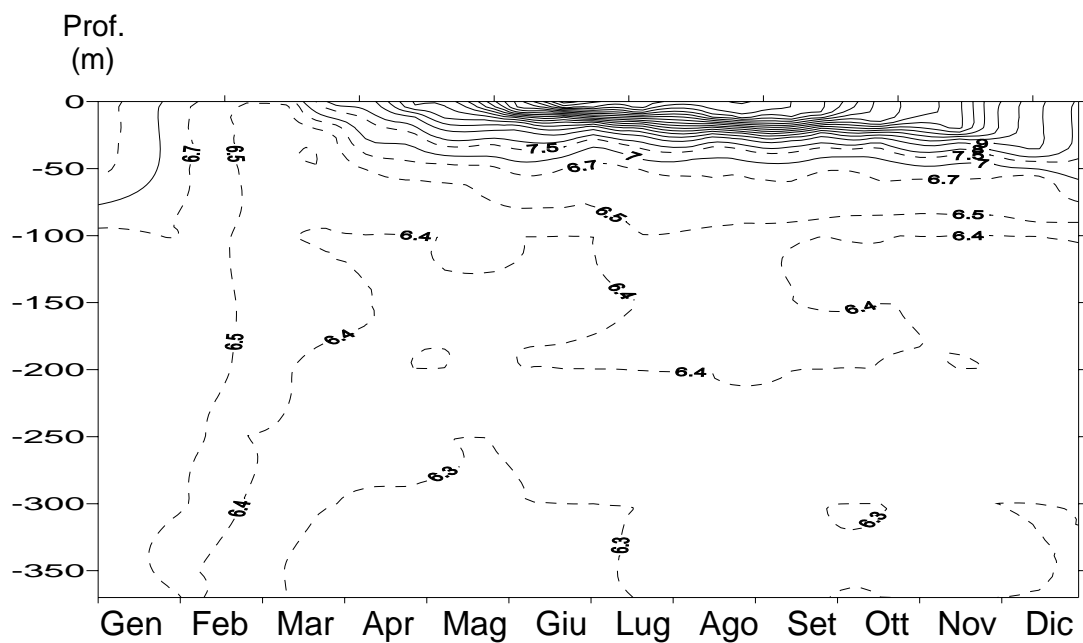


Fig. 3.1.3.2. Lago Maggiore 2005. Isotherme lungo l'intera colonna (°C).

La considerazione più importante che si ricava dall'analisi della figura riguarda il fatto che l'intera massa ipolimnica ha subito nel 2005, rispetto agli anni precedenti, un netto raffreddamento. Infatti l'isoterma 6,5°C, appena accennata sul fondo del lago nel 2004, da Febbraio sino a Dicembre si situa al di sopra di 100 metri di profondità e le isoterme 6,3 e 6,4°C assenti nel 2004, vanno ad occupare un ampio volume di acqua ipolimnica. Da rilevare che il 31 Marzo di questo anno si sono misurati sotto i 300 metri di profondità 6,25°C valori che non si rilevavano dal 1991. Il cospicuo raffreddamento delle acque ipolimniche del lago nel 2005 è chiaramente dovuto, come sottolineato nel capitolo riguardante la meteorologia, alle basse temperature atmosferiche della prima decade di Marzo che hanno contribuito alla discesa di acqua fredda negli strati più profondi del lago (vedi 3.1.6).

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 quelli riguardanti il mescolamento verticale tardo invernale.

Le linee di ugual concentrazione di O₂ tracciate per il 2005 (Fig. 3.1.4) pongono in evidenza, al termine dell'inverno limnologico, una notevole ossigenazione d'acqua ipolimnica.

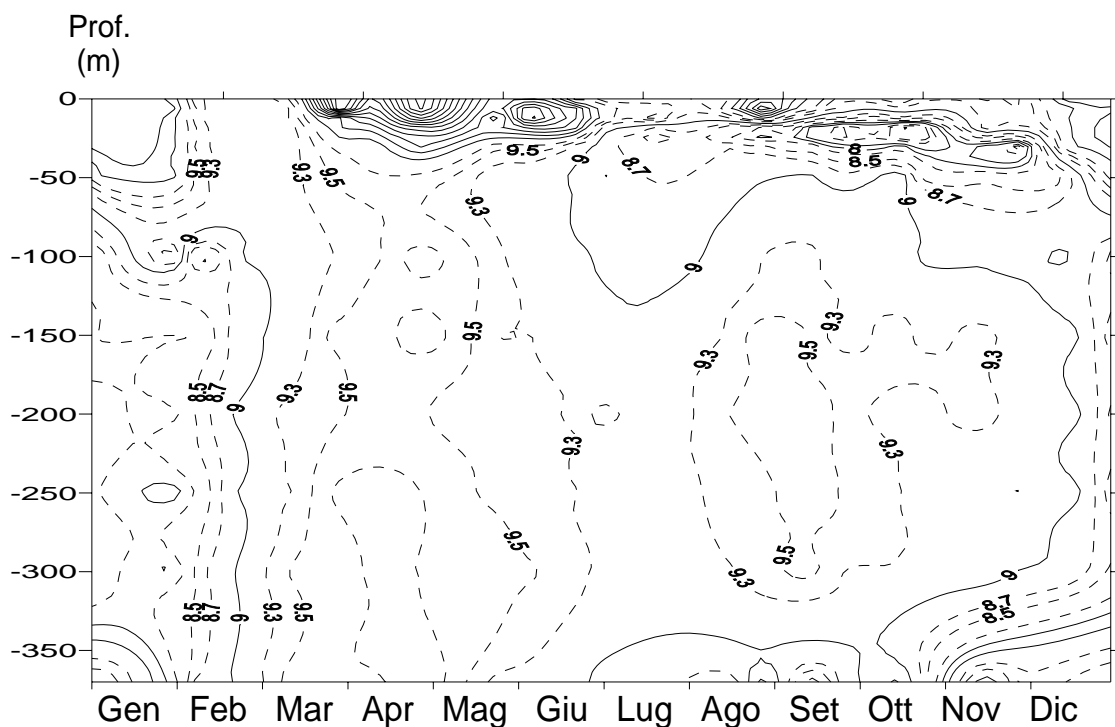


Fig. 3.1.4. Lago Maggiore 2005. Andamento delle concentrazioni di ossigeno disciolto lungo l'intera colonna (mg l^{-1}).

Da Gennaio a circa metà Febbraio sotto i 100 metri di profondità persisteva una concentrazione di ossigeno compresa tra 8,0 e 8,5 mg^l⁻¹ che, nello spazio di poco più di un mese, sino a metà Marzo, ha raggiunto una concentrazione su tutta la colonna di 9,5 mg^l⁻¹ per poi mantenersi all'incirca sugli stessi livelli per tutto l'anno, tranne che sotto i -300 metri nei mesi di Novembre e Dicembre dove si è trovata una concentrazione di O₂ attorno agli 8,5 mg^l⁻¹. La distribuzione di ossigeno nel Lago Maggiore nel 2005 fa supporre l'avvenuto mescolamento completo delle sue acque anche se non accompagnato da una omogeneizzazione termica su tutta la colonna.

3.1.5. Bilancio termico

Il bilancio calorico su base mensile del lago Maggiore nel 2005 è stato determinato, come di consueto, con la metodica usuale [1] 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:

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

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 2005 unitamente a quelli relativi alla radiazione solare effettiva Q_{se}=Q_s-Q_r, alla radiazione netta Q_N= Q_s - Q_r - Q_b ed a R =Q_h / Q_e (rapporto di Bowen) sono riportati, nella tabella che segue.

Tab. 3.1.5. Lago Maggiore 2005. 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	160	22	137	183	-46	-214	111	58	0,52
Feb	207	23	184	173	11	-182	142	51	0,36
Mar	307	28	279	111	168	-43,9	303	-91	-0,30
Apr	340	27	313	80	233	148	148	-63	-0,43
Mag	496	35	461	97	365	330	49	-14	-0,29
Giu	558	39	519	107	412	220	201	-8	-0,04
Lug	530	37	493	120	373	131	257	-15	-0,06
Ago	457	32	425	117	308	82,8	218	7	0,03
Set	306	28	278	104	174	31,7	125	17	0,13
Ott	171	17	154	155	-0,4	-174	100	74	0,74
Nov	125	16	109	197	-88	-159	51	20	0,39
Dic	109	16	92	196	-103	-286	110	73	0,66

Rispetto ai corrispondenti valori degli anni precedenti è possibile verificare come Q_{se} nel mese di Gennaio abbia raggiunto, con $137 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ il, nuovo massimo assoluto del mese per il periodo 1963-2004 superando le $134 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ registrate nel 1968; in Giugno invece con $519 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ si è avvicinato il massimo assoluto del 1976 ($554 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$). I dati degli altri mesi leggermente al di sopra o al di sotto della media rientrano nei valori già registrati in precedenza. Il netto dello scambio di radiazione ad onda lunga presenta un nuovo minimo assoluto in Settembre ($104 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ contro le $108 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 1999), mentre in Novembre si avvicina con $197 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ di molto al valore massimo di $198 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 1978. Come per le quantità energetiche analizzate in precedenza i valori di Q_b nei restanti mesi dell'anno rientrano nei limiti già rilevati in precedenza. Per quanto riguarda Q_N vanno rilevate le quantità di Gennaio, Marzo, Maggio e Settembre che si avvicinano ai massimi assoluti e in particolare quella di Giugno che con $412 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ si colloca subito dopo le $458 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 2001. Per contro al di sotto della media risultano gli ultimi tre mesi dell'anno.

Infine da rilevare alti immagazzinamenti di calore, in Maggio e Settembre (mese solitamente negativo) che sfiorano i massimi assoluti mentre perdite di energia inferiori alla media si sono avute in Novembre soprattutto perchè i processi evaporativi e di conduzione sono risultati in questi mesi alquanto ridotti (Fig. 3.1.5a). Per contro l'energia persa dal lago è risultata alquanto elevata in Febbraio e soprattutto in Marzo, quando con $-44 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ si è quasi raggiunto il minimo assoluto di $-48 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ del 1986 e evidentemente questo per le condizioni meteorologiche che si sono instaurate sull'areale lacustre in questo mese e di cui si è detto nel capitolo riguardante la meteorologia.

Le perdite di calore (Q_t) sono su valori medio alti in Gennaio, Febbraio e Marzo che hanno portato il contenuto entro tutta la colonna d'acqua alla fine di quest'ultimo mese a $115.131 \text{ cal cm}^{-2}$ valore inferiore di $3.703 \text{ cal cm}^{-2}$ a quello minimo dell'anno precedente ($118.834 \text{ cal cm}^{-2}$).

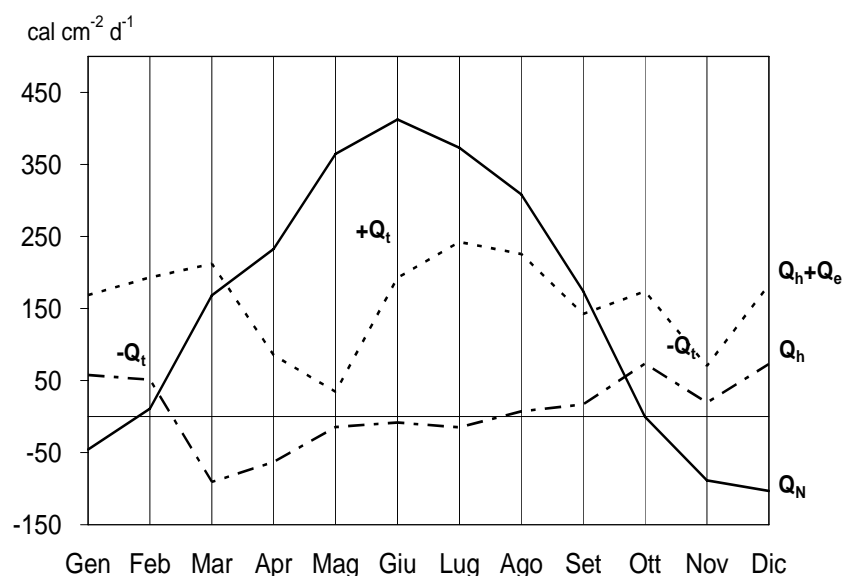


Fig. 3.1.5a. Lago Maggiore 2005. Bilancio termico.

Dopo gli elevati immagazzinamenti in Maggio e quelli ridotti in Luglio e Agosto il contenuto totale entro la massa d'acqua ha raggiunto il suo massimo in Settembre con $143.962 \text{ cal cm}^{-2}$, valore di 540 cal cm^{-2} inferiore al massimo di Agosto del 2004 e di $9.512 \text{ cal cm}^{-2}$ al di sotto di quello assoluto del 1998 ($153.474 \text{ cal cm}^{-2}$). Le perdite nei mesi successivi, piuttosto contenute, hanno portato l'immagazzinamento energetico alla fine di Dicembre a $124.939 \text{ cal cm}^{-2}$ valore che non si verificava dal 1991. Il bilancio termico dell'anno è risultato di $28.832 \text{ cal cm}^{-2}$, quasi identico alla media del periodo 1963-2004.

Il quadro di sintesi dei flussi di calore che hanno attraversato, durante l'anno ciascun piano batimetrico del lago è rappresentato in figura 3.1.5b; l'immagazzinamento è come al solito rappresentato da aree a fondo chiaro, mentre quelle scure sono indice di perdita di calore. Il predominare delle seconde nella prima parte dell'anno evidenzia come al di sotto dei 100 m di profondità sia stata prevalente la perdita di energia, almeno sino alla fine di Aprile facilitando così una quasi completa circolazione della massa d'acqua per moti convettivi. Nella norma invece gli accumuli e le perdite di calore nella seconda parte dell'anno.

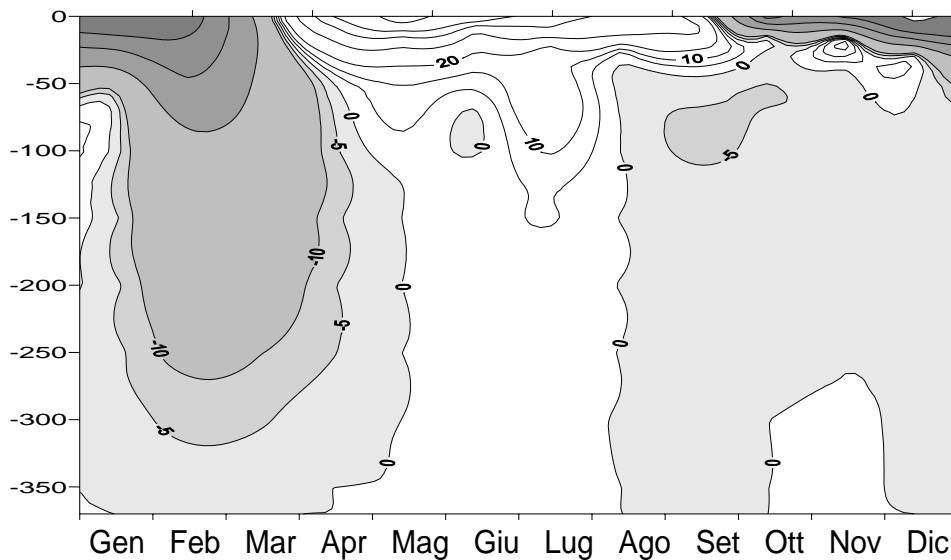


Fig. 3.1.5b. Lago Maggiore 2005. Flussi di calore. Le isolinee sono quotate in $\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

3.1.6. Profondità di mescolamento

I dati raccolti nel 2005 lungo l'intera colonna d'acqua nei sopralluoghi a Ghiffa hanno consentito di seguire il graduale approfondimento dello strato mescolato sino al termine dell'inverno limnologico. Alla fine di Gennaio aveva raggiunto una profondità di 100 metri: infatti al termine di questo mese esisteva ancora tra i 100 e i 150 metri un gradiente termico di $0,13^\circ\text{C}$ ed una netta differenziazione di concentrazione di O_2 .

Alla fine di Febbraio la stratificazione termica differenziava ancora abbastanza nettamente lo strato sino a 200 m ($6,48^\circ\text{C}$) da quello sottostante ($6,40^\circ\text{C}$) mentre la concentrazione di ossigeno lungo la colonna presentava solo una leggera diminuzione nella sua parte centrale.

In seguito alle rigide temperature d'inizio Marzo, di cui si è detto nel capitolo riguardante la meteorologia, lo strato mescolato si è ulteriormente approfondito raggiungendo, secondo la distribuzione termica verticale, una profondità di almeno 250 m. Le concentrazioni di ossigeno rilevate il 14 e il 31 Marzo danno invece una quasi completa omogeneizzazione entro tutta la colonna verticale con un lieve aumento al di sotto dei 250 m di profondità.

A nostro avviso non si è trattato di un circolazione verticale per moti convettivi di tutta la massa lacustre ma è presumibile che acqua fredda, di provenienza fluviale o litorale spinta dal vento sia scesa nella parte più depressa del lago durante la prima decade di Marzo ed abbia ossigenato gli strati più profondi anche perché alla termine di questo mese troviamo tra 300 e 370 m temperature di 6,25°C nettamente differenziate da quelle soprastanti.

Le modalità di approfondimento dello strato mescolato è confermato anche dai valori di stabilità del lago, che rappresenta la quantità di energia necessaria per omogeneizzare l'intera massa d'acqua. Qui è calcolata secondo Walker [2] e non viene considerata la pressione idrostatica che aumenterebbe ulteriormente i suoi valori per effetto della profondità. Il valore totale entro l'intera colonna il 31 Gennaio è di 668,3 Jm⁻², il 24 Febbraio 171,2 Jm⁻² e risale il 14 Marzo a 212,8 Jm⁻², valori che stanno ad indicare la non completa isotermità lungo l'intera colonna, in concomitanza della quale il valore di stabilità totale sarebbe zero.

Dall'analisi delle curve verticali di figura 3.1.6 ove sono rappresentate le stabilità metro per metro dalla superficie al fondo del lago, appare quanto segue: nella prima curva, quella di Gennaio, è presente una resistenza a -100 metri che si oppone ai moti convettivi verticali, mentre in quella di Febbraio lo stesso ostacolo lo troviamo a -200 metri. La curva di fine Marzo mostra invece che il mescolamento ha raggiunto almeno 250 metri mentre al di sotto dei 300 m si osserva una diminuzione di stabilità dovuto all'inserimento di acqua più fredda.

L'andamento del processo di destratificazione nel 2005 è confermato, sino alla fine di Febbraio anche dall'applicazione della formulazione del coefficiente M [3], che tiene conto delle condizioni meteorologiche che si sono riscontrate nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio, con riguardo particolare ad alcune variabili atmosferiche quali temperatura, radiazione solare e vento: il modello indica che alla fine di Febbraio lo strato mescolato ha raggiunto una profondità di 180 m.

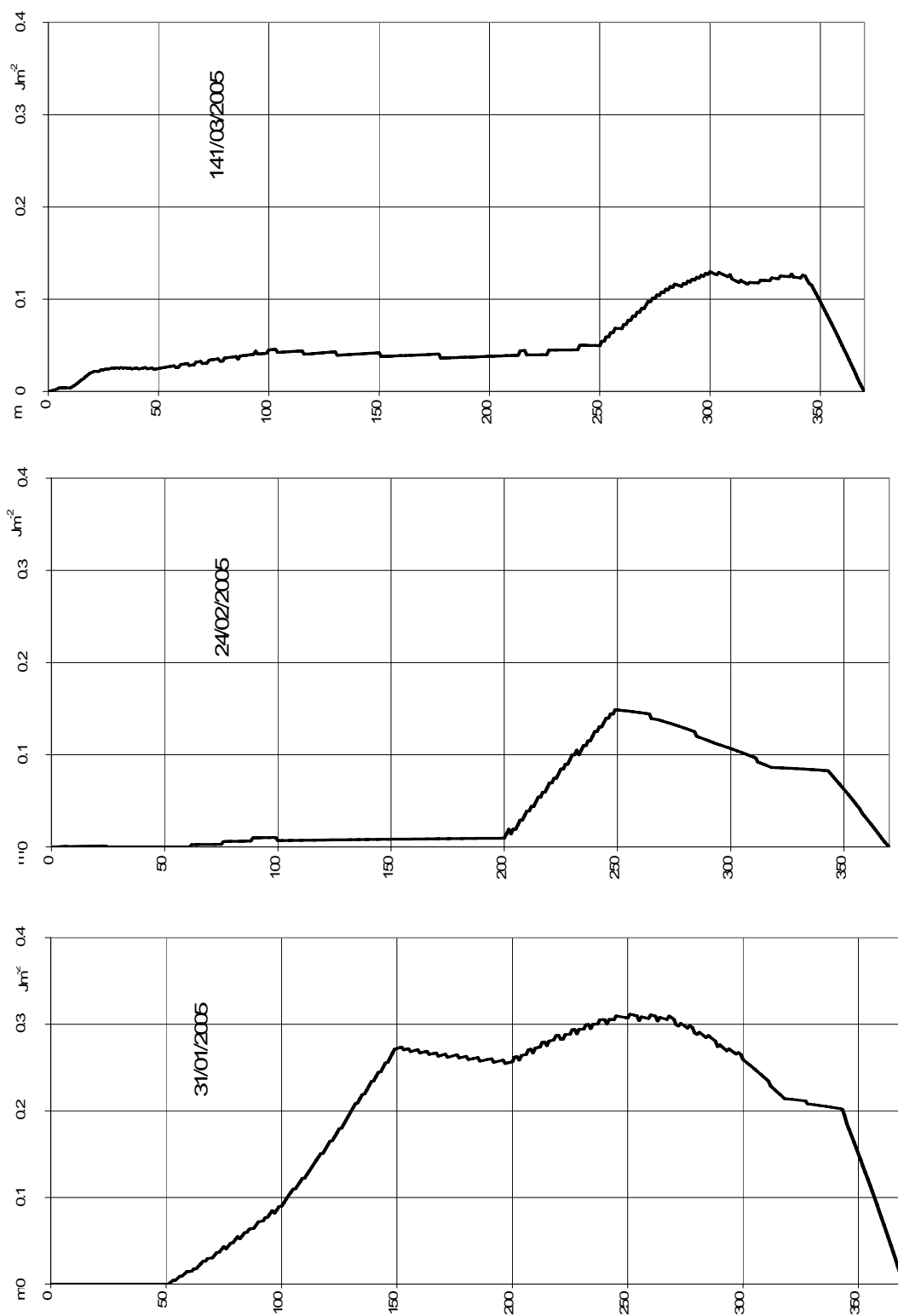


Fig. 3.1.6. Curve verticali della stabilità ($J m^{-2}$) del lago calcolate metro per metro dalla superficie al fondo del lago.

3.2. Chimica lacustre

3.2.1. Chimismo di base

Anche nel 2005 i campionamenti nella zona di massima profondità del Lago Maggiore (bacino di Ghiffa) si sono svolti con frequenza mensile ed hanno riguardato le seguenti quote: superficie, -5, -10, -20, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 metri. Inoltre il 15 Marzo e il 26 Settembre si è proceduto a campionamenti (superficie, -5, -10, -20, -30, -50, -100 metri) nella stazione di Lesa ubicata nella parte meridionale del Lago Maggiore al fine di valutarne le possibili differenze con la zona settentrionale.

Nella tabella 3.2.1 sono riportati pH, conducibilità e bilancio ionico relativi al quinquennio 2001-2005 per la stazione di Ghiffa e al triennio 2003-2005 per quella di Lesa. La figura 3.2.1a mostra invece la ripartizione percentuale dei diversi ioni nel campionamento del Marzo 2005. In entrambi i casi i dati si riferiscono a valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo delle misure effettuate su campioni raccolti in Marzo, quando generalmente è massima l'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		
	20.03.01	18.03.02	17.03.03	15.03.04	14.03.05	18.03.03	16.03.04	26.09.05
HCO ₃ ⁻	0,82	0,82	0,80	0,81	0,81	0,79	0,82	0,81
SO ₄ ^{- -}	0,59	0,61	0,58	0,60	0,61	0,55	0,61	0,59
Cl ⁻	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
NO ₃ ⁻	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Σ anioni	1,54	1,56	1,51	1,54	1,55	1,46	1,56	1,53
Ca ⁺⁺	1,08	1,10	1,06	1,11	1,13	1,02	1,12	1,12
Mg ⁺⁺	0,30	0,29	0,29	0,29	0,31	0,28	0,29	0,30
Na ⁺	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11	0,13	0,12
K ⁺	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Σ cationi	1,53	1,54	1,50	1,56	1,59	1,45	1,58	1,58
Σ ioni	3,07	3,10	3,01	3,10	3,14	2,91	3,14	3,11
pH	7,41	7,34	7,39	7,30	7,38	7,57	7,49	7,49
Conducibilità	147	146	143	147	147	142	149	146

Le acque del lago si caratterizzano per la prevalenza di calcio tra i cationi e bicarbonati tra gli anioni. Queste due specie ioniche, insieme a solfati e magnesio, rappresentano più del 90% del contenuto ionico delle acque, mentre le altre contribuiscono in misura compresa tra l'1 ed il 4%. Il contenuto ionico delle acque nella stazione di Ghiffa è rimasto pressoché invariato nel quinquennio di studio: da un anno all'altro infatti si osservano variazioni minime nelle concentrazioni degli ioni principali, così come nei valori medi di pH e conducibilità. Il contenuto ionico totale si è mantenuto stabile 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 non ha presentato differenze degne di nota rispetto agli anni precedenti. I valori di pH (7,38), conducibilità (147 μS cm⁻¹) e

contenuto ionico ($3,14 \text{ meq l}^{-1}$) alla circolazione primaverile sono risultati del tutto simili a quelli del quinquennio considerato.

Anche confrontando la stazione di Ghiffa, a centro lago, con quella di Lesa, non si sono evidenziate differenze significative: solo i valori di pH appaiono leggermente più elevati a Lesa (7,49-7,57) rispetto a Ghiffa (7,30-7,41). I valori medi dell'anno di studio a Lesa sono risultati pressoché identici a quelli del 2004, mentre si discostano leggermente dai quelli del 2003, caratterizzato da un contenuto ionico inferiore ($2,91 \text{ meq l}^{-1}$ rispetto ai $3,11 \text{ meq l}^{-1}$ del 2005).

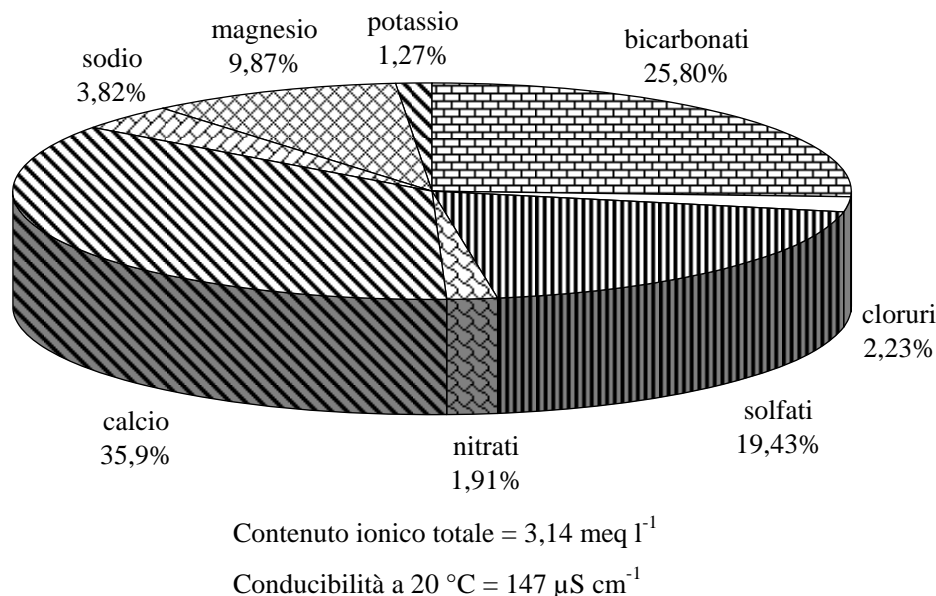


Fig. 3.2.1a. Lago Maggiore: ripartizione percentuale dello spettro ionico e valori medi di pH e conducibilità al 14 Marzo 2005 (valori medi ponderati sui volumi alla circolazione primaverile nella stazione di massima profondità).

La figura 3.2.1b riporta gli andamenti dei valori medi di pH nello strato epilimnico ed ipolimnico e quello dell'ossigeno in epilimnio per il periodo 1996-2005. Gli andamenti stagionali delle due variabili dipendono dai processi fotosintetici che interessano le acque superficiali e dal rimescolamento delle acque. I massimi di pH e di ossigeno, espresso come percentuale di saturazione, si registrano nelle acque superficiali nei mesi estivi, quando è massimo lo sviluppo delle alghe fitoplanctoniche e quindi la 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, con l'eccezione dell'inverno 1998-99, quando, in occasione di un evento di circolazione completa delle acque, si è registrato un minimo di 7,1.

L'ossigeno in superficie raggiunge valori di 110-115% come percentuale di saturazione in Luglio 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%). Nell'estate del 2003, in occasione di un periodo con temperature particolarmente elevate, si sono raggiunti valori particolarmente elevati di pH (8,5) e ossigeno (120%).

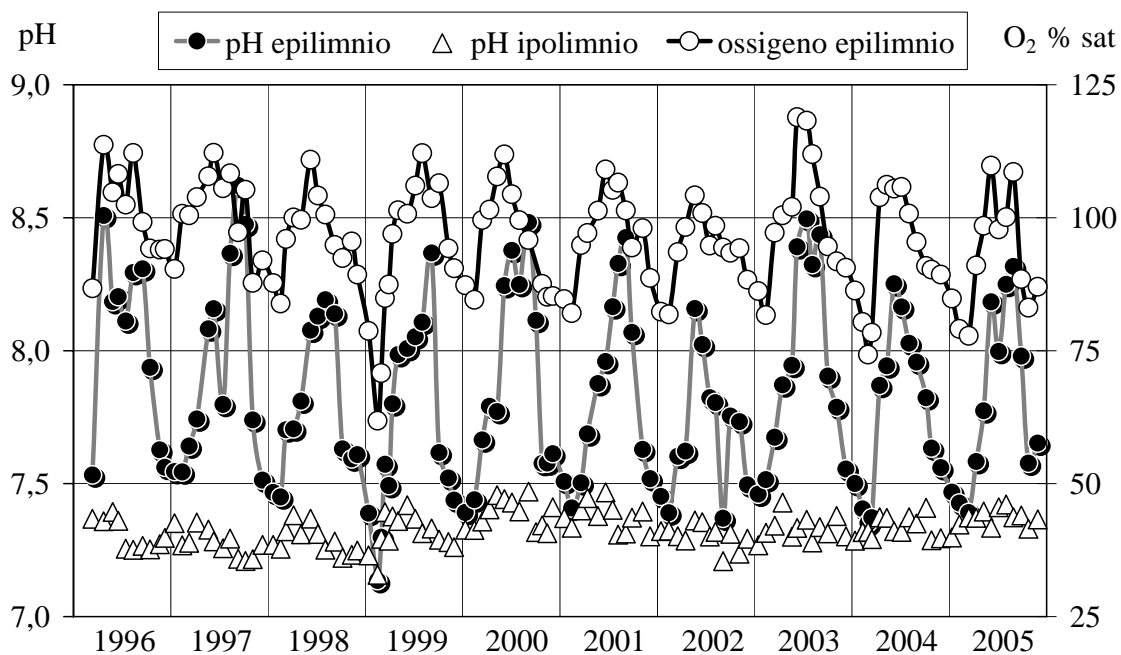


Fig. 3.2.1b. Lago Maggiore nel periodo 1996-2005: pH nello strato epilimnico (0-25 m) ed ipolimnico (25-370 m) e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

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. Durante tutto il periodo considerato, i valori si sono mantenuti stabilmente tra 7,2 e 7,4.

L'anno di studio non ha mostrato andamenti particolari per quanto riguarda pH ed ossigeno. In generale i valori sono stati molto simili a quelli del 2004, con massimi di pH (8,32) ed ossigeno (110%) in epilimnio ad Agosto. I massimi sono stati solo leggermente inferiori a quelli del 2004, ma comunque in linea con quelli registrati nel decennio considerato. I valori di pH nell'autunno 2005 (7,6-7,7 a Ottobre-Novembre) sono risultati invece leggermente più elevati rispetto al 2004, e più in generale agli anni del periodo riportato in figura 3.2.1b.

Il 2005 è stato caratterizzato da un marcato raffreddamento delle acque lacustri e da un rimescolamento quasi totale dell'intera colonna d'acqua nella seconda metà di Marzo (vedi paragrafo 3.1.6). L'omogeneizzazione della massa d'acqua ha interessato però in modo completo solo i primi 250 m di profondità. Questo spiega perché l'andamento delle variabili chimiche nel 2005 non sia stato analogo a quello del 1999, caratterizzato da un mescolamento completo, bensì simile a quello degli altri anni del decennio considerato.

Il 2005 ha presentato diverse analogie con il 2003 per quanto riguarda l'andamento stagionale di alcune variabili chimiche. Entrambi gli anni sono stati caratterizzati da prolungati periodi di siccità e da volumi di precipitazione ridotti. Nel 2005 i valori di alcalinità e conducibilità si sono assestati attorno a 0,81-0,82 meq l⁻¹ e 145 μS cm⁻¹ a 20 °C, rispettivamente (Figg. 3.2.1c, d). Come nel 2003, anche nel 2005 non si è osservata la diminuzione estiva dei valori epilimnici di queste due variabili, che ha invece caratterizzato gli anni dal 1996 al 2002 ed il 2004.

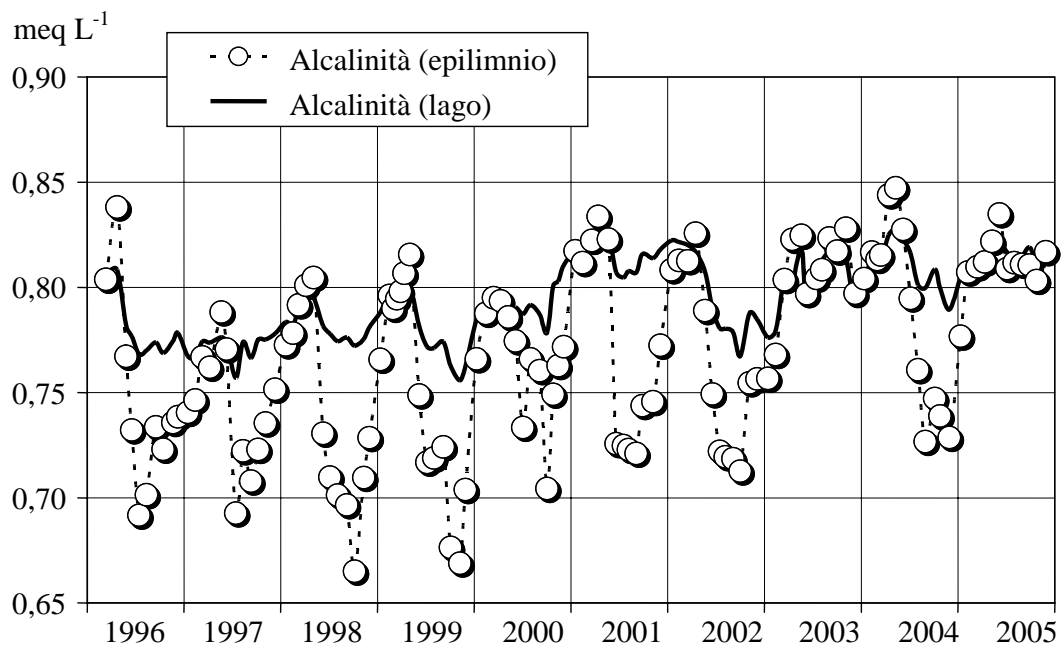


Fig. 3.2.1c. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1996–2005 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

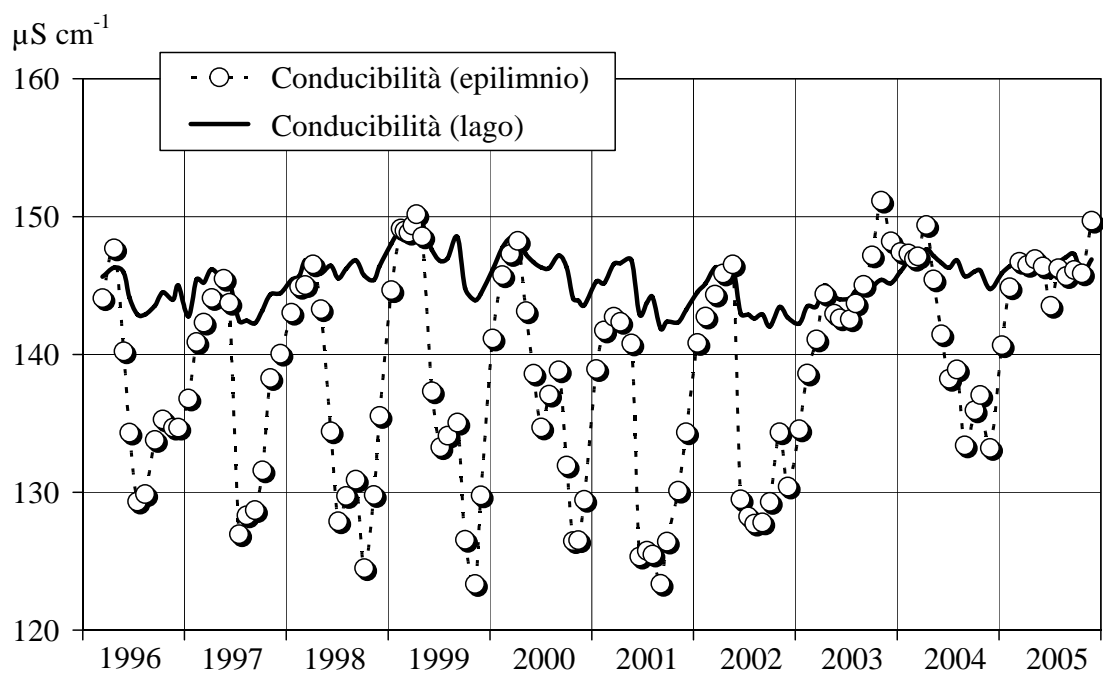


Fig. 3.2.1d. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1996–2005 dei valori medi ponderati sui volumi di conducibilità a 20°C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

3.2.2. Composti dell'azoto

Le concentrazioni medie di azoto nitrico e totale rilevate nel 2005 nella stazione di Ghiffa ($0,84-0,86 \text{ mg N l}^{-1}$ e $0,89-1,02 \text{ mg N l}^{-1}$, rispettivamente) sono risultate del tutto simili a quelle dell'anno precedente ed ai valori misurati nel periodo 1996-2004 (Fig. 3.2.2a). Osservando l'andamento a lungo termine dei valori di nitrati si può tuttavia notare una lieve tendenza all'aumento: da $0,81-0,82$ a metà degli anni '90 si è passati a $0,85-0,86 \text{ mg N l}^{-1}$. L'azoto totale mostra invece valori costanti nel tempo, ma in generale più dispersi rispetto a quelli dell'azoto nitrico, soprattutto a partire dal 2000: le concentrazioni restano comprese tra $0,88$ a $1,03 \text{ mg N l}^{-1}$.

Nella stazione di Lesa si sono registrate concentrazioni medie di azoto nitrico e totale analoghe a quelle della zona di massima profondità sia in Marzo (rispettivamente $0,85$ e $0,96 \text{ mg N l}^{-1}$) che alla fine di Settembre ($0,77$ e $0,93 \text{ mg N l}^{-1}$).

L'azoto organico rappresenta mediamente il 10-15% del contenuto totale di azoto delle acque e, come si può osservare in figura 3.2.2b, presenta variazioni minime nel corso dell'anno. Anche nel 2005 è rimasto pressoché costante, con valori compresi tra $0,09$ e $0,18 \text{ mg N l}^{-1}$. Le concentrazioni degli altri composti dell'azoto sono risultate trascurabili. L'azoto ammoniacale infatti è sempre stato inferiore a $6 \mu\text{g N l}^{-1}$ sull'intera colonna d'acqua, raggiungendo valori di $17-18 \mu\text{g N l}^{-1}$ in epilimnio nei mesi di Maggio e Giugno. L'azoto nitroso è risultato praticamente assente nelle acque del lago a Marzo, e presente con concentrazioni di $9-10 \mu\text{g N l}^{-1}$ nelle acque superficiali in Settembre.

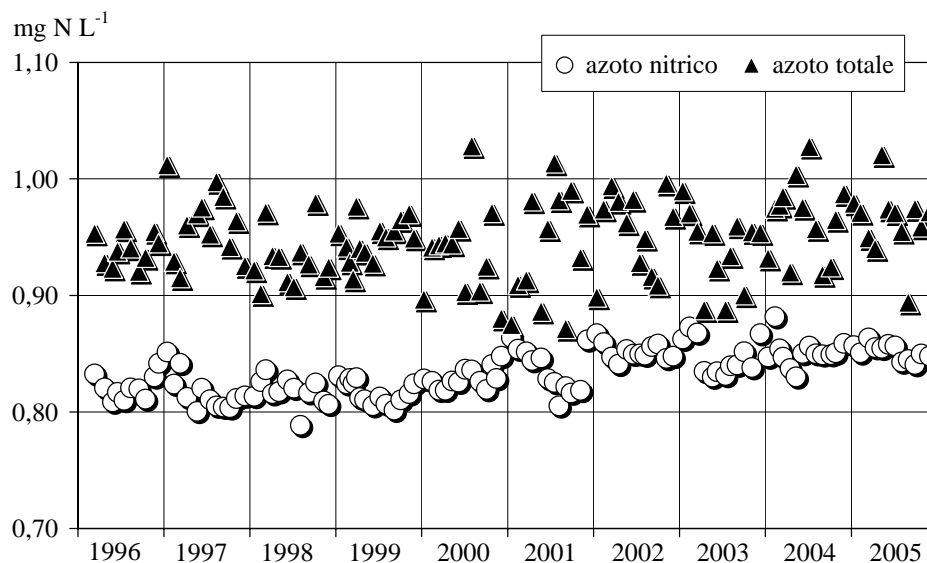


Fig. 3.2.2a. Lago Maggiore: concentrazioni di azoto totale e nitrico nel decennio 1996-2005 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

Gli andamenti dei principali composti dell'azoto nelle acque epilimniche nel corso del 2005 non si sono discostati da quelli degli anni precedenti. I valori massimi di azoto nitrico ($0,86 \text{ mg N l}^{-1}$) sono stati rilevati nei mesi tardo invernali ed i minimi ($0,70-0,71$) in Agosto e Settembre, a causa del consumo da parte delle alghe fitoplanctoniche durante i mesi estivi. Questo andamento si è ripetuto in modo analogo per tutti gli anni dal 1996 al 2005; i minimi di nitrati nei mesi tardo estivi ed autunnali sono dovuti, oltre

che ai processi biologici a lago, al ridotto apporto da parte dei tributari nei mesi estivi, quando è massimo lo sviluppo vegetativo nei bacini e quindi il sequestro di azoto. L'azoto totale, rappresentato per l'85-90% da azoto nitrico, presenta un andamento analogo a quello dei nitrati, con minimi estivi attorno a 0,80 e massimi tardo invernali compresi tra 0,95 e 1,00 mg N l⁻¹.

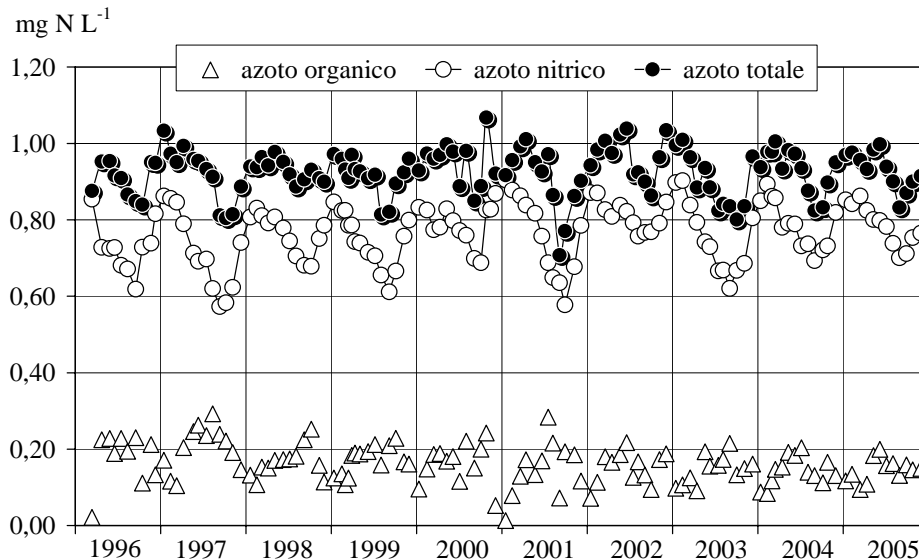


Fig. 3.2.2b. Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel decennio 1996-2005 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

3.2.3. Composti del fosforo

Nel 2005, nella stazione di massima profondità, si sono misurate concentrazioni medie annue di fosforo reattivo e totale in epilimnio (rispettivamente 3 e 7 $\mu\text{g P l}^{-1}$), ipolimnio (7 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$) e nell'intero lago (7 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$) confrontabili con quelle rilevate negli anni tra il 1996 ed il 2004. I valori medi sulla colonna d'acqua nei diversi mesi dell'anno sono risultati compresi tra 4 e 9 $\mu\text{g P l}^{-1}$ per il fosforo reattivo e tra 9 e 13 $\mu\text{g P l}^{-1}$ per il fosforo totale (Fig. 3.2.3). Una situazione del tutto analoga si è osservata a Lesa, dove i tenori medi sulla colonna sono risultati identici a quelli di Ghiffa: 6 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$ rispettivamente di fosforo reattivo e totale nel campionamento di Marzo, nonché 6 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$ il 26 Settembre.

Come si può osservare dagli andamenti in figura 3.2.3, il contenuto di fosforo nelle acque non è variato in modo significativo nell'ultimo decennio, con concentrazioni di fosforo totale stabilmente comprese tra 8 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$. Questi livelli sono ragionevolmente attribuibili all'intera zona pelagica del lago, che può quindi essere definita oligotrofa. Non necessariamente questo giudizio positivo può però essere esteso anche alla zona litorale. Alcune zone rivierasche risultano infatti marcatamente affette dalla presenza di scarichi o dall'immissione a lago di acque tributarie ad elevato contenuto di nutrienti. In queste aree le acque costiere risultano di scarso valore qualitativo, a causa della presenza di fioriture algali, colorazioni anomale delle acque e

presenza di odori molesti. Di conseguenza, non essendo più idonee alla balneazione e in generale alla fruizione turistica o ricreativa, queste aree costiere vedono notevolmente diminuito il loro valore come risorsa idrica.

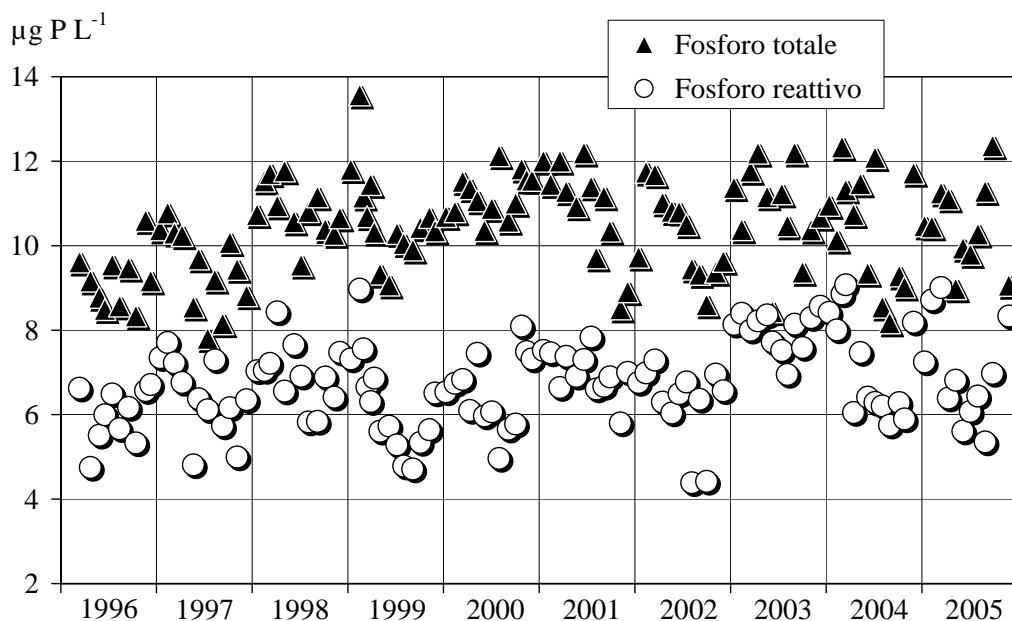


Fig. 3.2.3. Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel decennio 1996-2005 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

3.2.4. Ossigeno disciolto

Come già discusso in precedenza, l'andamento del contenuto di ossigeno nelle acque epilimniche nel corso del 2005 non si è differenziato in modo significativo da quello degli anni precedenti (Fig. 3.2.1b). Il contenuto medio di ossigeno nelle acque della zona profonda, tra -200 e -370 metri, che rimane in genere separata dalla massa d'acqua sovrastante, è risultato invece sensibilmente maggiore nel 2005 rispetto agli anni precedenti (Fig. 3.2.4a). Le concentrazioni medie sono state infatti comprese tra $7,6 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (67% di saturazione) in Gennaio e $9,8 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (80% di saturazione) in Aprile, valori superiori anche a quelli registrati nel corso della piena circolazione del Febbraio 1999 ed indicativi di una consistente ossigenazione delle acque profonde. Come evidenziato nel paragrafo 3.1.6, il 2005 è stato infatti caratterizzato da un consistente raffreddamento delle acque lacustri e da un rimescolamento quasi completo delle acque nella seconda metà di Marzo.

La figura 3.2.4a mostra inoltre come i valori di ossigeno nella zona profonda si siano mantenuti su livelli di eccellente ossigenazione per tutto il periodo 1999-2005, a dimostrazione del buon livello qualitativo raggiunto dalle 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 $7,8$ e $9,7 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (66-80% di saturazione) negli anni tra il 1999 ed il 2005 (Fig. 3.2.4b).

Da ultimo vanno segnalati contenuti medi di ossigeno nelle acque ipolimniche (strato 25-100 m) della stazione di Lesa simili a quelli di Ghiffa in Marzo (10,0 mg O₂ l⁻¹) e leggermente più bassi alla fine di Settembre (8,1 mg O₂ l⁻¹).

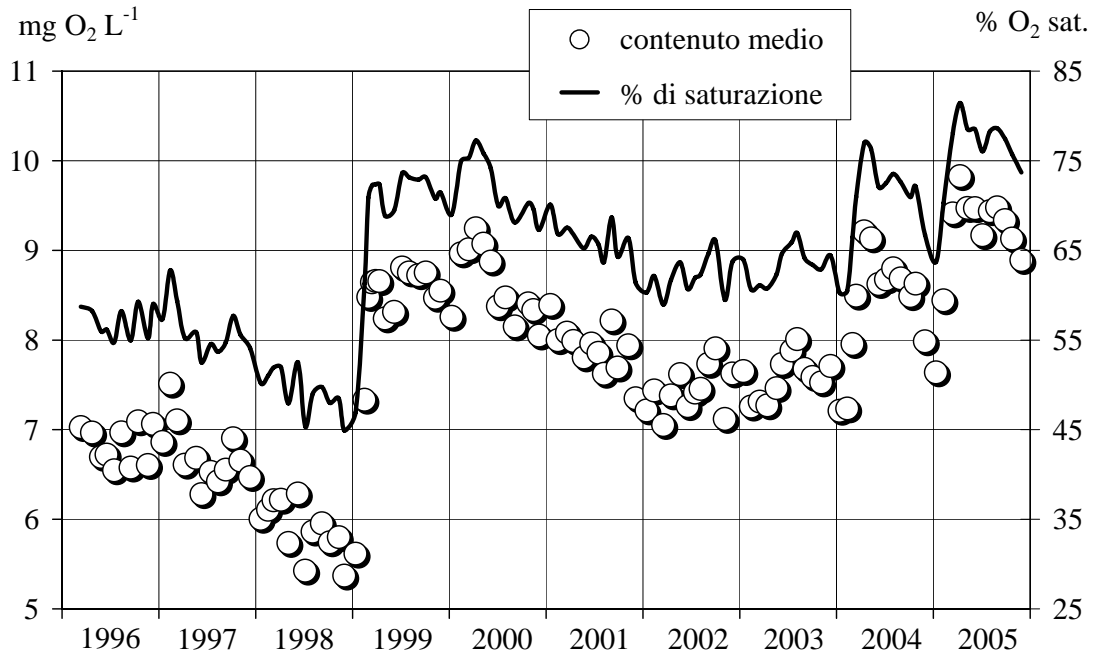


Fig. 3.2.4a. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1996-2005 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 200-370 m.

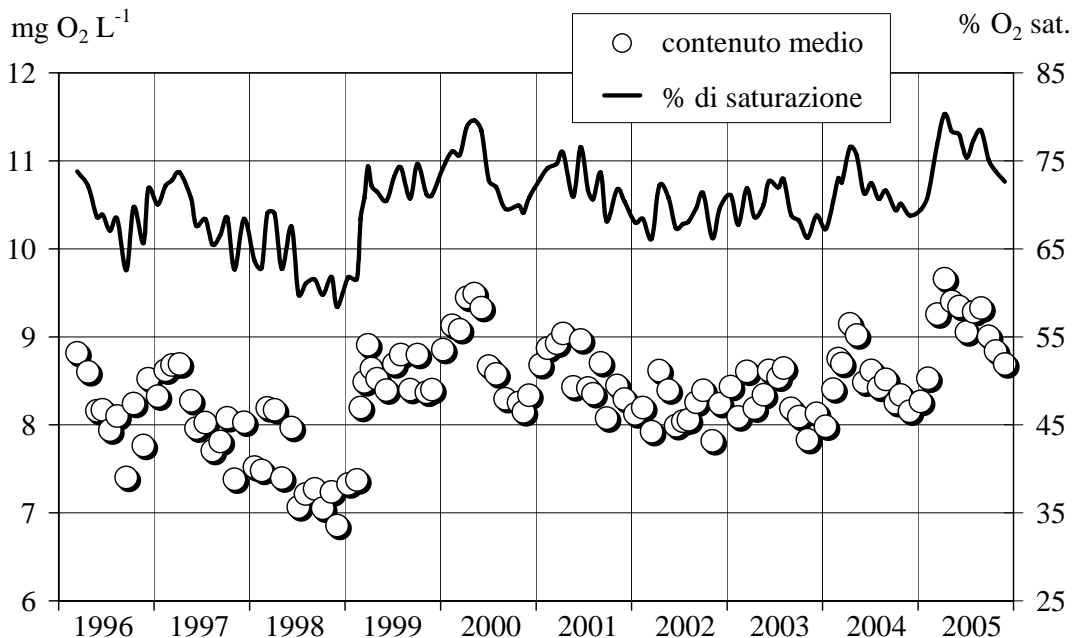


Fig. 3.2.4b. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1996-2005 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 30-370 m

3.2.5. Silicati reattivi

Nel 2005 le concentrazioni medie annue di silicati reattivi in epilimnio, ipolimnio e sull'intera colonna d'acqua sono risultate pari rispettivamente a 1,11, 1,70 e 1,62 mg Si l⁻¹. Come già osservato negli anni precedenti, i valori minimi nelle acque superficiali sono stati misurati nei mesi tardo primaverili ed estivi (0,6-0,8 mg Si l⁻¹) in corrispondenza delle fioriture di diatomee. I minimi estivi nel corso del 2005 sono risultati lievemente maggiori rispetto a quelli del 2003 e 2004 ma in linea con quelli degli anni tra il 1998 ed il 2002 (Fig. 3.2.5).

Nella parte meridionale del lago, a Lesa, nei due campionamenti effettuati nel 2005 si sono riscontrati valori leggermente più bassi sia nell'intera colonna (1,4 mg Si l⁻¹) che in epilimnio (0,3 mg Si l⁻¹).

Osservando l'andamento delle concentrazioni di silicati reattivi nell'ultimo decennio si nota come i valori misurati nel corso del 2005 siano stati simili a quelli degli ultimi 5 anni ma più elevati rispetto a quelli del periodo 1996-2000. I contenuti medi sull'intera colonna d'acqua nell'ultimo quinquennio risultano infatti attorno a 1,6 mg Si l⁻¹, leggermente più elevati rispetto a quelli del quinquennio precedente (1,4 mg Si l⁻¹). Gli studi sui popolamenti fitoplanctonici portano ad escludere una riduzione delle diatomee come possibile spiegazione per questo aumento nelle concentrazioni di silicati. Si può invece ipotizzare un aumento della riserva lacustre di materiali silicei a seguito delle piene degli anni 2000 e 2002, nel corso delle quali sono state veicolate a lago elevati quantitativi di particolato inorganico fine e scarsamente sedimentabile

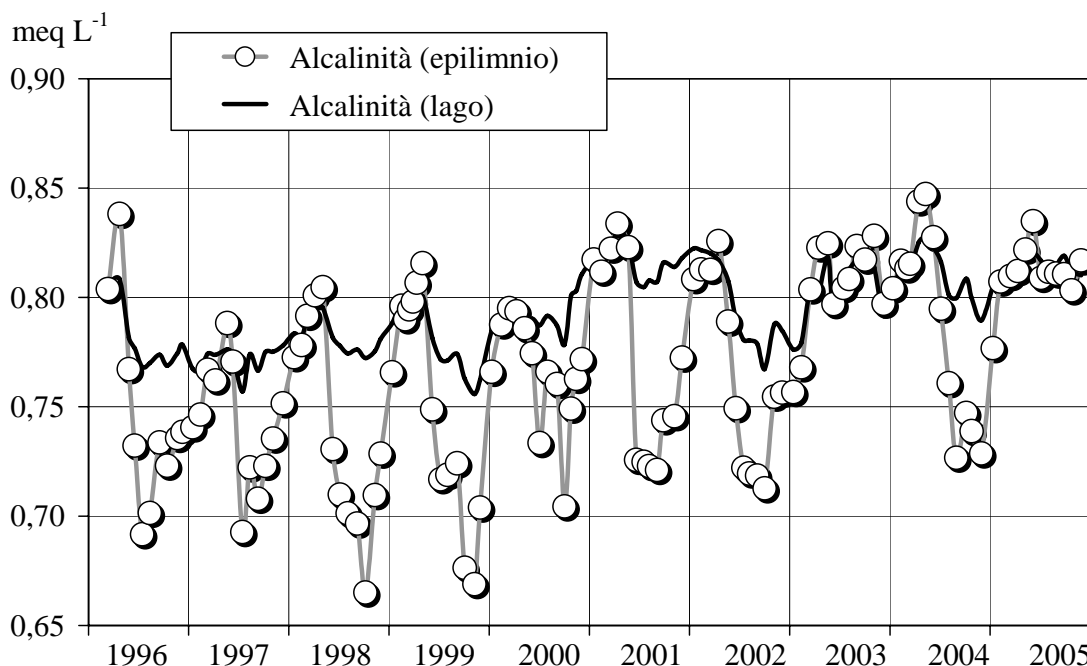


Fig. 3.2.5. Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 1996-2005.

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 2005, alla serie storica dei campionamenti sul Lago Maggiore. Nella stazione al largo di Ghiffa sono stati effettuati, tra il 12 Gennaio ed il 14 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, nella maggior parte dei casi la metodica di estrazione e lettura spettrometrica utilizzata solitamente.

Il numero totale dei *taxa* censiti durante il 2005 è stato di 90 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.

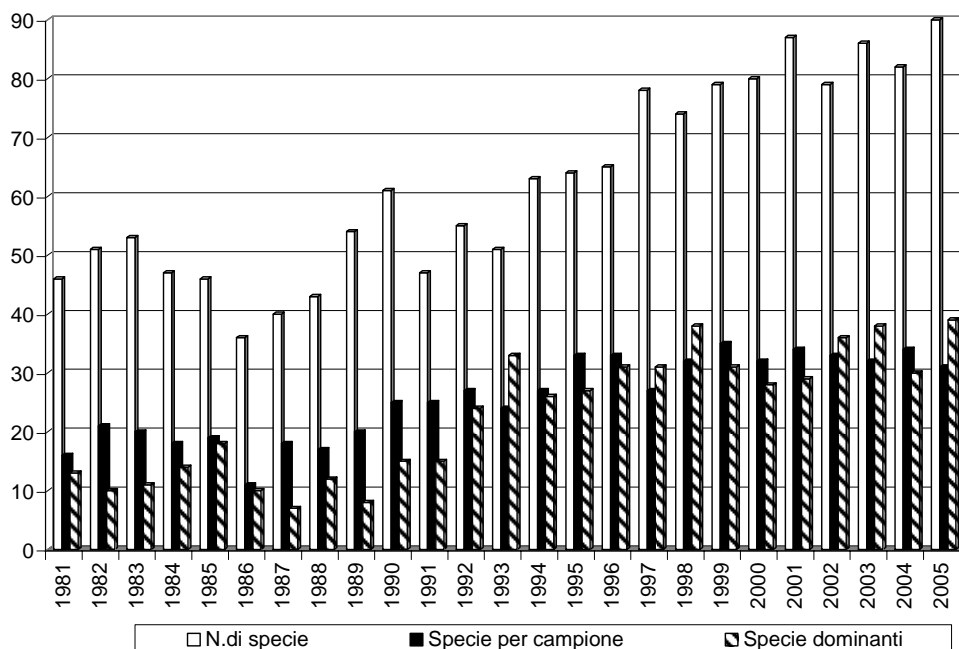


Fig. 3.3.1.1. Evoluzione del numero totale di specie censite, del numero medio di specie per campione e del numero di specie significative (v. testo).

Nel 2005 il numero medio di specie per campione è risultato uguale a 31 (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 8 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 incremento rispetto al 2004, raggiungendo il valore di 39 specie, massimo fino ad ora registrato dal 1981 (Fig. 3.3.1.1). Un gran numero di specie dominanti è indicativo di una ripartizione decisamente omogenea degli individui tra le specie presenti di volta in volta nel corso della successione stagionale e testimonia una alta biodiversità dell'ambiente. Le specie o generi censiti globalmente durante l'anno mostrano alcune differenze rispetto al 2004 nella loro ripartizione numerica tra le categorie sistematiche maggiori. La classe con il maggior numero di *taxa* si conferma quella delle diatomee, che contano, nel 2005, 21 unità tassonomiche, seguita da cloroficee e cianobatteri, entrambe con 20 unità: tutte e tre le classi dominanti rimangono attestate sui valori pressoché identici a quelli osservati nel 2004. Seguono, in ordine di importanza, le crisoficee, con 14 unità, le criptoficee e le dinoficee, che con 10 e 5 unità tassonomiche rispettivamente, sono, come di consueto, i gruppi meno rappresentati nella flora pelagica del Lago Maggiore.

La successione stagionale si è svolta, nel 2005, con una dinamica complessivamente simile a quella solitamente osservata nel Lago Maggiore (Fig. 3.3.1.2a). Diatomee e cianobatteri hanno rappresentato, come di consueto, i gruppi dominanti, sebbene un contributo significativo sia 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 2005, all'inizio di Marzo, con un primo picco delle diatomee, seguito da una sensibile diminuzione all'inizio di Maggio, che si protrae fino alla metà del mese, quando il biovolume delle diatomee tocca il minimo stagionale, scendendo sotto $100 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$. In Giugno si osserva una nuova crescita delle diatomee, che, tuttavia, si arresta nell'arco di poche settimane. Il nuovo minimo registrato alla fine di Luglio è seguito da una nuova fase di sviluppo, che culmina nel mese di Agosto (Fig. 3.3.1.2a, b).

Recenti analisi delle relazioni tra variabili meteorologiche e dinamica del fitoplancton nel Lago Maggiore [4] hanno messo in luce la relazione positiva tra intensità del vento e sviluppo primaverile delle diatomee. In questo quadro, le condizioni meteorologiche dei primi mesi del 2005 sarebbero state, potenzialmente, molto favorevoli ad un abbondante sviluppo primaverile delle diatomee: infatti, la stagione invernale è risultata eccezionalmente ventosa (Ambrosetti, Barbanti e Rolla, rapporto presente), con un incremento della quantità di vento filato del 17% rispetto alle medie del periodo 1997-2004. Tuttavia, nella prima decade di Marzo 2005 si è avuto un sensibile raffreddamento dell'aria, che ha determinato un conseguente raffreddamento delle acque del lago, innescando una dinamica di mescolamento della colonna d'acqua che ha interessato la massa lacustre fino a 250 metri di profondità (Ambrosetti, Barbanti e Rolla, rapporto presente). Questi eventi hanno, probabilmente, causato il brusco rallentamento della crescita delle diatomee, che proprio all'inizio di Marzo cominciavano a svilupparsi in modo significativo. Sia il raffreddamento della colonna d'acqua che il trascinarsi degli organismi algali ad elevate profondità potrebbero

spiegare come mai il picco primaverile di biovolume delle diatomee si è mantenuto su valori relativamente bassi.

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 2005 è stata limitata al 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 2005. Tra gli altri cianobatteri, da segnalare l'assenza quasi completa di *Planktothrix rubescens/agardhii*, fino ad oggi elemento tipico della flora algale pelagica del Lago Maggiore e lo sviluppo notevole di *Anabaena lemmermannii*, fatto del tutto nuovo per il Lago Maggiore, anche se non insolito per i laghi profondi del distretto subalpino [5]. Tra i cianobatteri, la specie che ha raggiunto la maggiore abbondanza nella stazione pelagica di Ghiffa è stata però *Oscillatoria* cfr. *tenuis*.

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 è osservato un nuovo decremento di entrambi i parametri, particolarmente evidente a carico del biovolume, che ha raggiunto il valore minimo storico (dal 1981) con $0,62 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$. La concentrazione media annua della clorofilla *a*, pur diminuita rispetto al 2004, è stata di $2,7 \text{ mg m}^{-3}$, valore che rientra perfettamente nella serie di quelli misurati negli anni 2000.

Il sensibile decremento del biovolume medio annuo è stato determinato da una scarsa produzione algale nel periodo tardo invernale e di inizio primavera: in particolare, in Febbraio la media mensile è stata di soli $0,05 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ ed in Marzo, mese solitamente produttivo per il consistente sviluppo delle diatomee, questo valore non ha superato $1,00 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$. 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 2005 il picco massimo di biovolume totale è stato registrato il 20 Aprile (circa $1800 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$; Fig. 3.3.1.2a), decisamente inferiore al massimo del 2004, che sfiorava i $3000 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$.

La successione primaverile delle diatomee osservata nel 2005 segue uno schema piuttosto classico per il Lago Maggiore, con un primo sviluppo dovuto a *Cyclotella pseudostelligera*, specie opportunistica 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 significativa presenza di *Plagioselmis nannoplanctica*, una criptoficea che, generalmente, caratterizza i popolamenti invernali del Lago Maggiore. Possiamo ipotizzare che le basse temperature di inizio primavera abbiano permesso a questa specie di crescere anche in una stagione non usuale, raggiungendo un biovolume significativo, grazie anche ad una disponibilità di nutrienti più elevata di quella che si misura normalmente in periodo invernale. Da segnalare, nel 2005, la quasi totale assenza di *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*, di solito tra le diatomee dominanti in

questa fase della successione. Altra anomalia rispetto agli anni immediatamente precedenti, la forte riduzione di *Tabellaria flocculosa*, che mostra un unico picco spostato verso la tarda primavera (Fig. 3.3.1.2b).

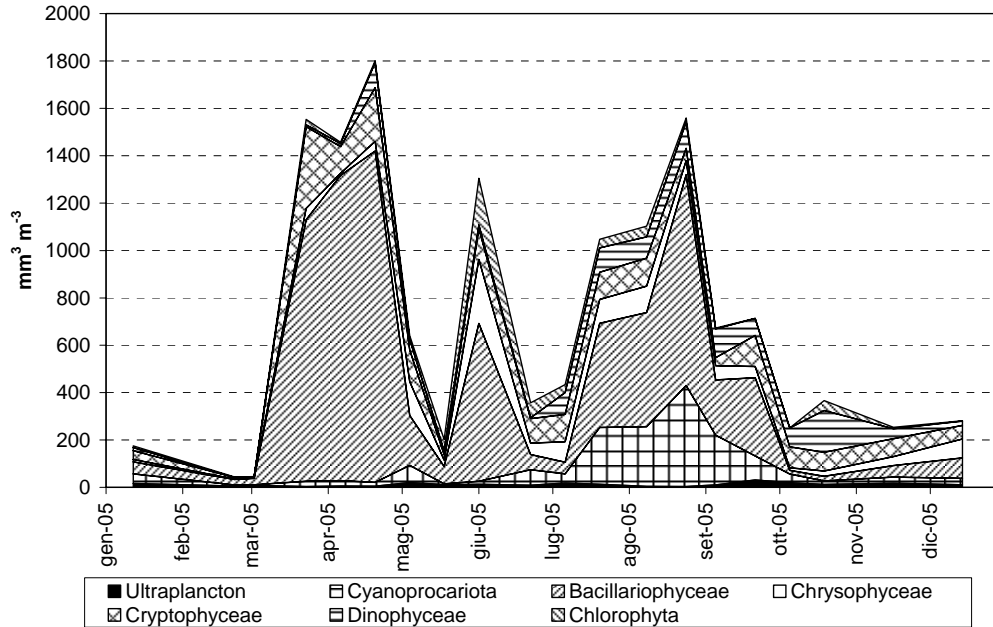


Fig. 3.3.1.2a. Biovolumi cumulati dei principali raggruppamenti sistematici per il 2005.

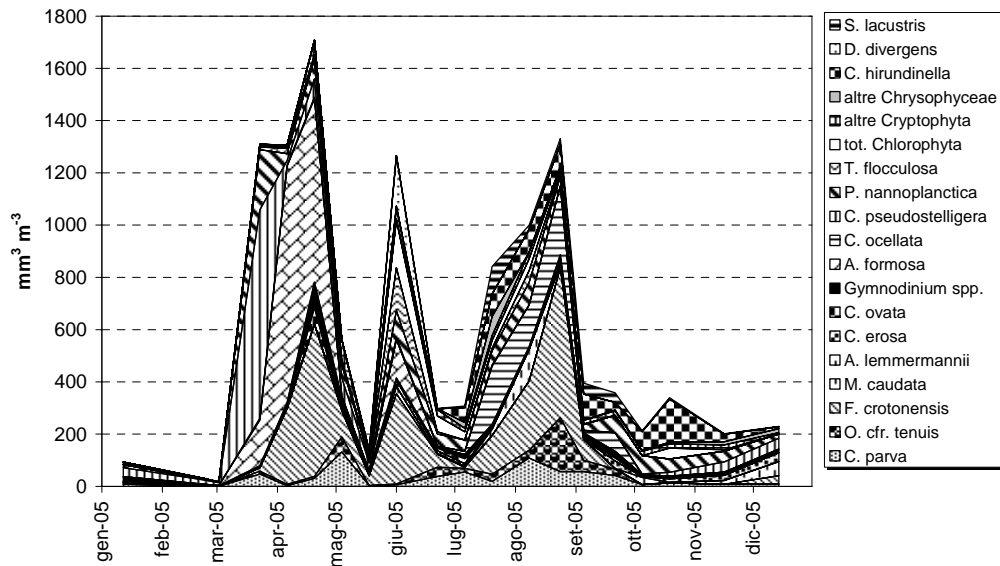


Fig. 3.3.1.2b. Biovolumi cumulati di entità sistematiche particolarmente significative. S. lacustris=*Scenedesmus lacustris*, D. divergens=*Dinobryon divergens*, C. hirundinella=*Ceratium hirundinella*, T. flocculosa=*Tabellaria flocculosa*, P. nannoplantica=*Plagioselmis nannoplantica*, C. pseudostelligera=*Cyclotella pseudostelligera*, C. ocellata=*Cyclotella ocellata*, A. formosa=*Asterionella formosa*, C. ovata=*Cryptomonas ovata*, C. erosa=*Cryptomonas erosa*, A. lemmermannii=*Anabaena lemmermannii*, M. caudata=*Mallomonas caudata*, F. crotonensis=*Fragilaria crotonensis*, O. cfr. tenuis=*Oscillatoria cfr. tenuis*, C. parva=*Chrysochromulina parva*.

Tra Maggio e Giugno si osserva il crollo delle diatomee, fenomeno comune nella dinamica stagionale di questo gruppo nel Lago Maggiore, che, tuttavia, appare particolarmente pronunciato nel 2005, a causa del picco di biovolume relativamente modesto raggiunto in Aprile. Questa fase di declino interessa tutte le specie di diatomee presenti e, considerata l'entità della riduzione e la rapidità con cui si sviluppa il fenomeno, possiamo ipotizzare che quanto osservato sia il risultato della pressione di predazione, piuttosto che l'effetto di una mancanza di nutrienti, che, in questo periodo dell'anno non mostrano una diminuzione significativa.

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 Tilman *et al.* [6].

Nei mesi estivi si osservano due picchi di diatomee, essenzialmente dovuti entrambi a *Fragilaria crotonensis*, che colonizza probabilmente la nicchia metalimnetica, secondo la strategia descritta in Morabito *et al.* [7].

Per quanto riguarda gli altri gruppi algali, i cianobatteri si ritrovano soprattutto in estate, seppure con biovolumi modesti. Dominanti, nell'estate 2005, sono *Oscillatoria* cfr. *tenuis*, *Snowella lacustris* ed *Anabaena lemmermannii*. Abbiamo già accennato alla fioritura di quest'ultima specie nell'estate del 2005: il fenomeno ha avuto inizio alla fine di Luglio e si è protratto fino alla fine di Agosto, interessando praticamente tutta la fascia costiera del Lago Maggiore, in particolare l'estremità meridionale del bacino e sviluppandosi anche in ambiente pelagico, come evidenziato dalle indagini, condotte da CNR-ISE ed ARPA Piemonte, Dipartimento del VCO. 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 [5] 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. Le informazioni meteorologiche di cui disponiamo per il 2005 (si veda anche il capitolo di Ambrosetti, Barbanti e Rolla, rapporto presente) evidenziano come questo sia stato un anno caldo, con una radiazione solare nei mesi estivi superiore del 12% rispetto al periodo di confronto 1951-2004. Inoltre, nel mese di Luglio, il vento filato è stato leggermente inferiore alla media del periodo 1997-2004. Lo strato d'acqua superficiale del Lago Maggiore presentava dunque le condizioni favorevoli per essere colonizzato con successo da *Anabaena lemmermannii*. Tuttavia, questa situazione climatica si era già presentata in passato nel Lago Maggiore, senza che si sviluppasse alcuna fioritura di questa specie, probabilmente perchè essa, se presente nelle flora algale del Lago Maggiore, lo era in concentrazioni troppo modeste.

È lecito ipotizzare che, nel 2005, la fioritura si sia sviluppata a partire da un inoculo più consistente rispetto al passato: l'origine di questo organismo rimane, tuttavia, oscura e solo gli eventi dei prossimi anni ci potranno dire se la fioritura del 2005 è stata un episodio occasionale o se, viceversa, *Anabaena lemmermannii* diventerà un componente stabile della biocenosi a cianobatteri.

Tra i dinoflagellati, *Ceratium hirundinella* ha raggiunto, come nel 2004, valori di biovolume significativi, con un periodo di dominanza che ha avuto inizio in Giugno e si

è protratto fino ai mesi autunnali (Fig. 3.3.1.2b), confermando quindi l'estensione temporale della sua presenza, già osservata nel 2004.

Le Cryptophyta (Fig. 3.3.1.2a), oltre alla già menzionata *Plagioselmis nannoplantica*, danno un contributo con alcune specie di *Cryptomonas*, prevalentemente concentrate tra la primavera e l'estate.

Nonostante una certa ricchezza in specie, la presenza delle Chrysophyceae in termini di biovolume è stata, nel 2005, poco significativa: oltre alla presenza ormai consueta di *Chrysochromulina parva* nel gruppo delle dominanti, da segnalare un isolato, ma significativo, picco primaverile di *Dinobryon divergens*.

Analogamente all'anno passato, l'importanza delle Chlorophyta risulta drasticamente ridotta: in pratica, delle 20 specie rinvenute, nessuna entra mai nel gruppo delle dominanti e solo *Pauschulzia pseudovolvox* mostra un picco di poco superiore a $100 \text{ mm}^3 \text{ m}^{-3}$, misurato all'inizio di Giugno.

In conclusione, le osservazioni compiute nell'anno 2005 confermano, in generale, il raggiungimento di una 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 2005 ha mostrato alcuni elementi di novità rispetto agli anni immediatamente precedenti, quali la forte riduzione di specie solitamente importanti (*Planktothrix rubescens*, *Tabellaria flocculosa*, *Aulacoseira islandica* morf. *helvetica*) e la comparsa della già citata fioritura di *Anabaena lemmermannii*.

Ancora una volta è stato possibile mettere in relazione alcuni scostamenti dallo schema di successione caratteristico con particolari vicende meteorologiche e climatiche, sebbene sia difficile individuare le cause della scomparsa di alcune specie o dello sviluppo della fioritura osservata nell'estate del 2005. Bisogna comunque rilevare che la tendenza al continuo riscaldamento climatico nel bacino del Lago Maggiore, confermata anche dai dati meteorologici del 2005, potrebbe avere un ruolo decisivo nel promuovere lo sviluppo di alcune specie o la scomparsa di altre ed essere un fattore importante anche nell'insorgenza di nuove fioriture.

Al momento, i dati disponibili non ci consentono di fare delle previsioni in una direzione o nell'altra e solo il proseguimento degli studi ci permetterà di capire se le modificazioni osservate siano il risultato di cambiamenti profondi e duraturi dell'ecosistema, oppure rientrino nella normale variabilità interannuale delle biocenosi algali.

3.3.2. Dinamica stagionale del popolamento zooplanctonico

Come si può osservare nel grafico in figura 3.3.2a la crescita numerica del popolamento zooplanctonico nel corso del 2005 ha avuto inizio ad Aprile e con il mese di Maggio si è raggiunta la massima densità di popolazione, pari a circa 120 ind l⁻¹, lievemente inferiore a quella registrata nell'anno precedente [8]. Lo sviluppo numerico è dovuto prevalentemente ai rotiferi, presenti nell'arco dell'anno con densità di popolazione elevate, superiori a quelle degli anni 2000-2003 anche se inferiori a quelle, eccezionali, registrate nel 2004.

Anche la dinamica stagionale dei rotiferi (Fig. 3.3.2b) è stata abbastanza diversa da quella dell'anno precedente, con un anticipo nel raggiungimento del picco (registrato a Maggio, anziché a Giugno, quest'ultimo essendo caratterizzato da un forte declino numerico del popolamento) e valori di densità di popolazione elevati anche a Luglio e a Novembre. Diverso il contributo delle varie specie nei tre momenti di crescita, con la dominanza di *Notholca acuminata labis* a Maggio, di *Conochilus unicornis hippocrepis* a Luglio e di *Polyarthra*, principalmente del gruppo *vulgaris dolichoptera* a Novembre. In termini di struttura del popolamento mediamente l'anno 2005 è risultato comunque abbastanza simile al 2004 e dunque differente da quello degli anni precedenti per l'accresciuta importanza di *Notholca acuminata labis* e delle specie del genere *Polyarthra*, queste ultime particolarmente abbondanti nel 2005.

L'anticipo nella crescita ed il picco autunnale ben si accordano con il regime termico del lago nello strato d'acqua campionato (0-50 metri): come è possibile osservare in figura 3.3.2c l'anno 2005 è stato caratterizzato da un riscaldamento precoce delle acque, con il raggiungimento a Giugno della massima temperatura con un picco confrontabile con quello registrato nel 2004 in Agosto.

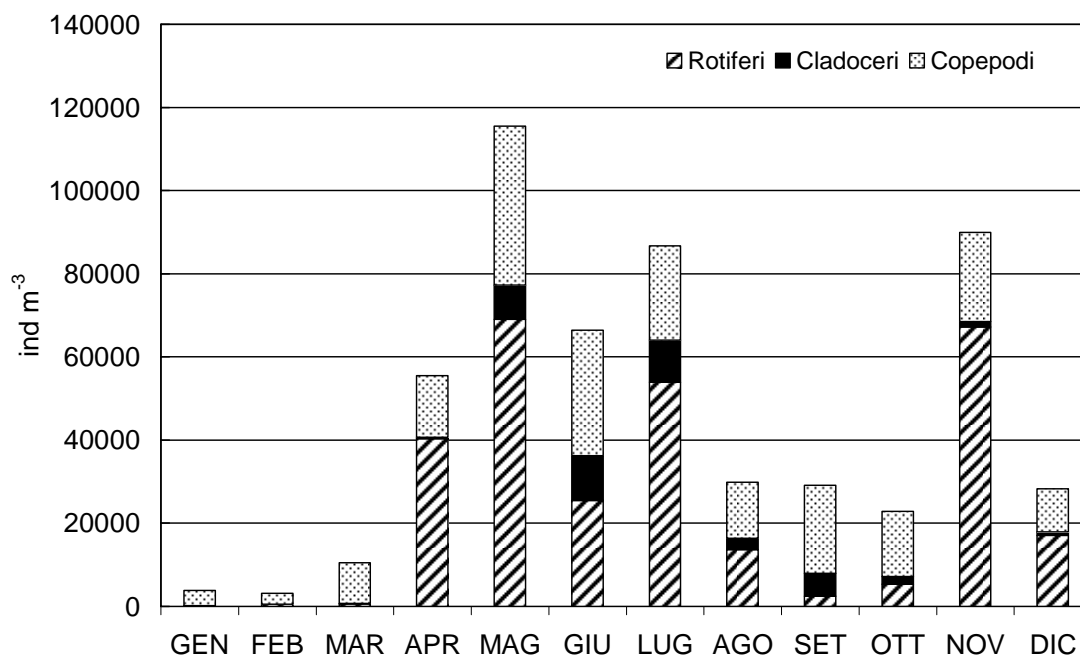


Fig. 3.3.2a. Dinamica stagionale delle diverse componenti del popolamento mesozooplanctonico durante il 2005.

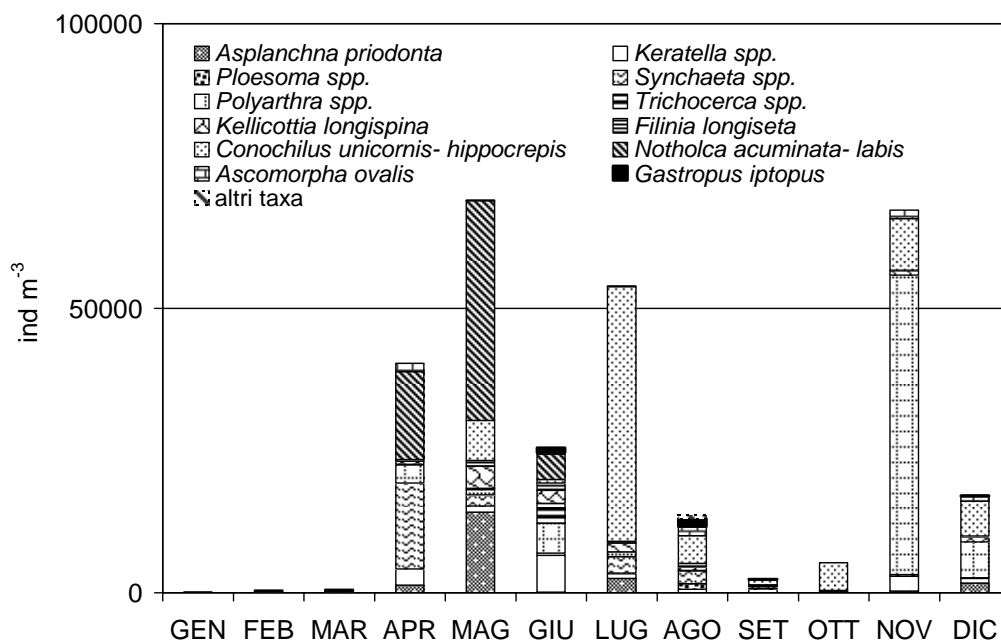


Fig. 3.3.2b. Dinamica stagionale del numero di specie e dell'abbondanza numerica dei rotiferi zooplanctonici nel 2005.

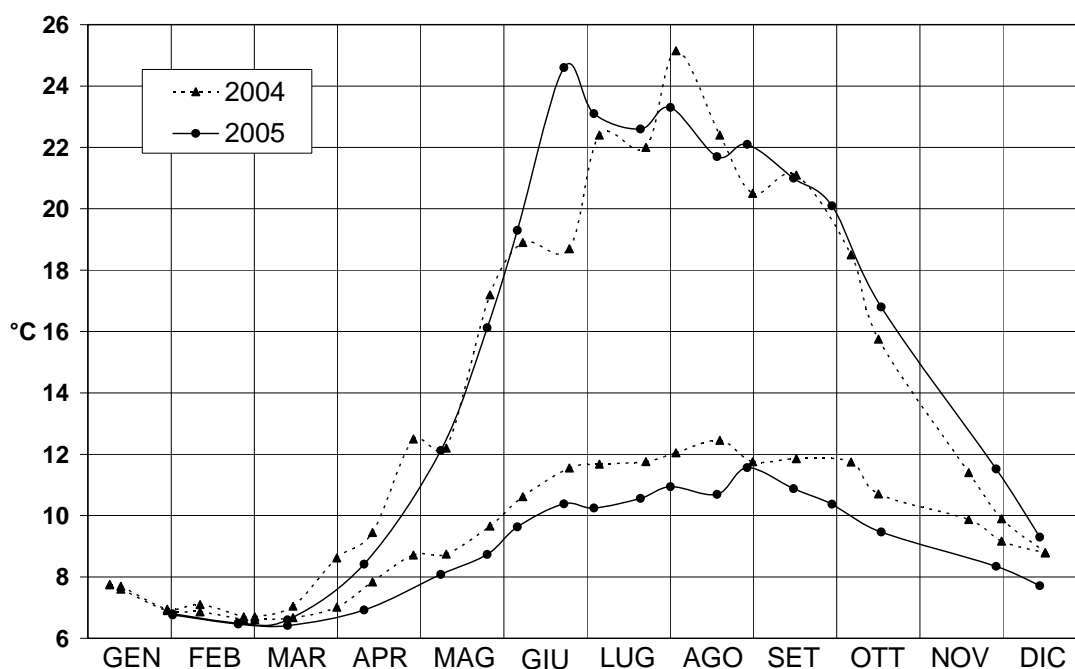


Fig. 3.3.2c. Andamento delle temperature medie e massime delle acque del Lago Maggiore registrate nello strato 0-50 m durante il 2005; a titolo di confronto vengono riportati i dati relativi al 2004.

La temperatura è il parametro ambientale dal quale dipende, in misura esponenziale, il ritmo delle funzioni vitali degli organismi zooplanctonici.

Il precoce riscaldamento corrisponde ad una più rapida e pronunciata stratificazione termica delle acque. Le temperature massime sono risultate abbastanza elevate anche nel periodo autunnale (Ottobre-Novembre).

Più elevata rispetto al 2004 è risultata la presenza numerica dei copepodi (Fig. 3.3.2d), che nel mese di Maggio hanno raggiunto la massima densità di popolazione di 38 ind l⁻¹. Vi è stata, nel corso dell'anno una netta dominanza dei calanoidi e, in linea con quanto osservato negli ultimi 5 anni, una prevalenza di *Mesocyclops leuckarti* su *Cyclops abyssorum*. Quest'ultima potrebbe essere collegata con l'aumento delle temperature e la più pronunciata e durevole stratificazione termica ad esso conseguente [9], poiché *M. leuckarti* è specie che predilige le acque calde, mentre *C. abyssorum* è specie tipica di acque fredde e profonde.

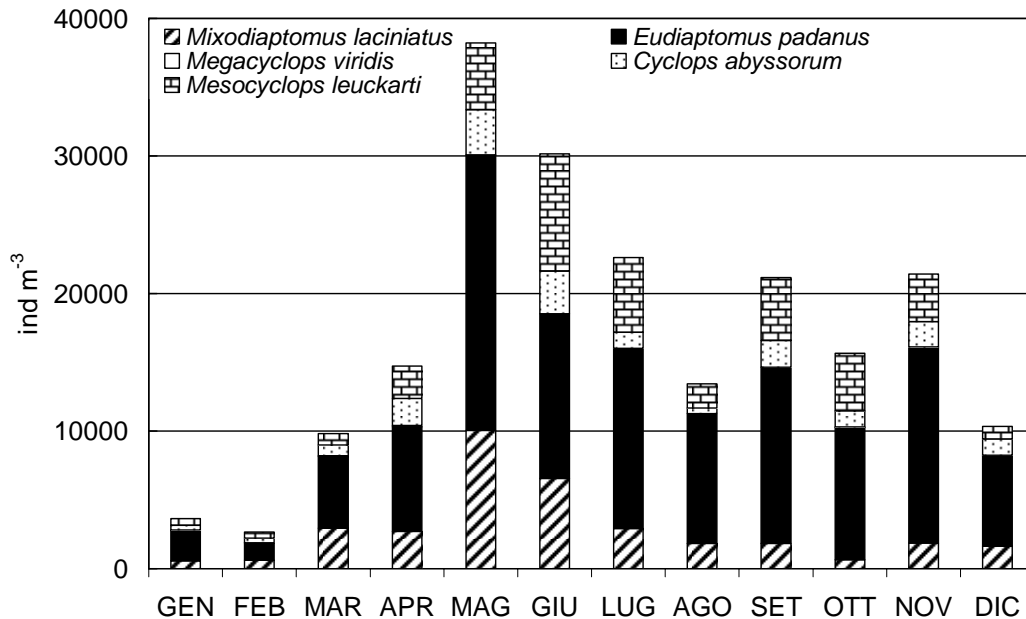


Fig. 3.3.2d. Dinamica stagionale delle diverse specie di copepodi zooplanctonici durante il 2005.

L'anno 2005 ha confermato il dato relativo ad una netta ripresa del popolamento a cladoceri (Fig. 3.3.2e), osservata a partire dal 1998. La densità di popolazione è risultata elevata particolarmente da Maggio a Luglio, con un picco di entità ragguardevole a Giugno, in concomitanza con il raggiungimento della massima temperatura nello strato 0-50 m. Tale crescita numerica è stata in larga misura determinata da *Daphnia hyalina galeata*, mentre *Diaphanosoma brachyurum* è risultata la specie più importante del mese di Luglio. Una seconda fase di incremento numerico a Settembre è stata determinata da *Eubosmina*; la sua densità di popolazione media, pari a quella del 2004, è risultata circa doppia di quella dei tre anni precedenti. Inoltre, la presenza nel 2005 di una fase di crescita primaverile (a Maggio) sembra confermare la ripresa del ciclo stagionale tipico del periodo pre-oligotrofizzazione del lago.

Tra i predatori è da segnalare una notevole presenza numerica di *Leptodora kindtii*, specie che, analogamente a quanto osservato nel 2004, ha raggiunto a Luglio densità di popolazione superiori ai 400 ind m⁻³. Alla sua crescita numerica può essere ascritto il declino numerico di *Daphnia* tra Giugno e Luglio.

In media, nel 2005 la densità di popolazione totale dello zooplancton è risultata più bassa di quella registrata nel 2004, in conseguenza della diminuita presenza numerica dei rotiferi. I valori registrati in questi due anni sono comunque quasi doppi di quelli registrati nei tre anni precedenti.

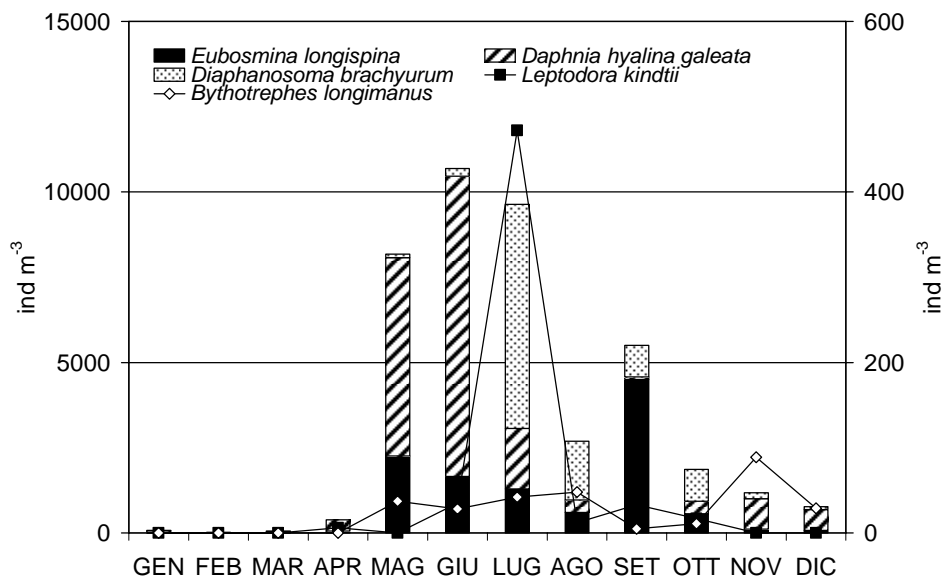


Fig. 3.3.2e. Dinamica stagionale dei cladoceri nel corso del 2005.

In termini di biomassa, invece, l'anno 2005 si caratterizza rispetto al precedente per una maggiore importanza di rotiferi e cladoceri rispetto ai copepodi (Fig. 3.3.2f).

In generale i dati relativi al 2005 sembrano riconfermare quella tendenza ad un ritorno alle condizioni precedenti l'oligotrofizzazione dal lago messa in luce negli ultimi anni, in termini di densità di popolazione, struttura del popolamento e ciclo stagionale delle diverse specie componenti lo zooplancton.

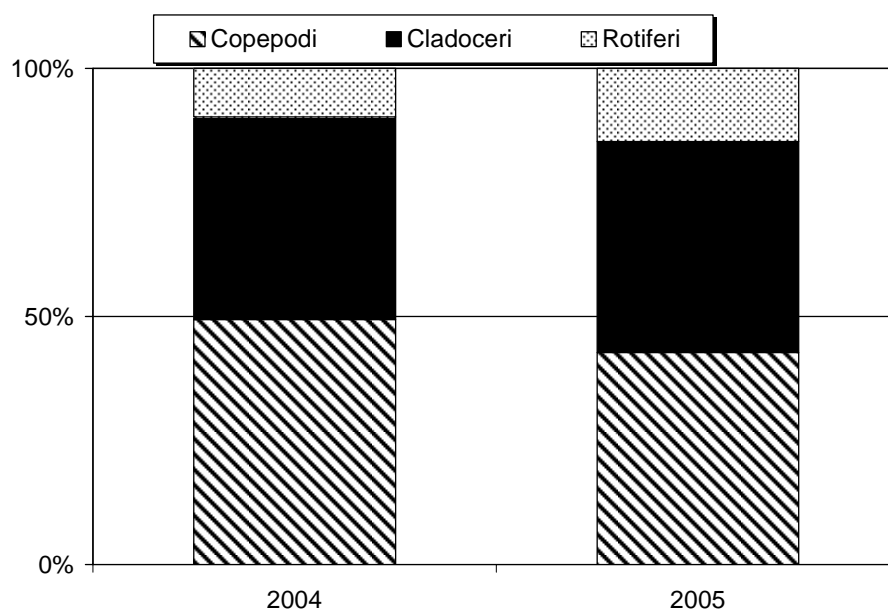


Fig. 3.3.2f. Contributo dei diversi gruppi alla biomassa totale media dello zooplancton nell'anno 2005.

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 3.4a 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 particolato totale (seston); sono pure riportate le densità del popolamento batterico misurate nel corso dell'anno. Da essa e dalla figura 3.4a, dove è presentata l'evoluzione delle concentrazioni di TOC negli anni 2004 e 2005 nelle zone eufotica ed afotica del Lago Maggiore, si può constatare che nel 2005 la concentrazione di TOC (mg l^{-1}) è stata, in generale, su valori di poco superiori a quelli misurati nel corso del 2004. Nei mesi estivi ed autunnali la concentrazione di TOC si è mantenuta comunque su valori inferiori al mg l^{-1} , con un picco estivo a fine Luglio – inizio Agosto di $1,6 \text{ mg l}^{-1}$ nella zona eufotica, probabilmente in relazione al decadimento della fioritura di *Anabaena lemmermannii* che ha interessato tutto il Lago Maggiore nel corso del mese di Luglio.

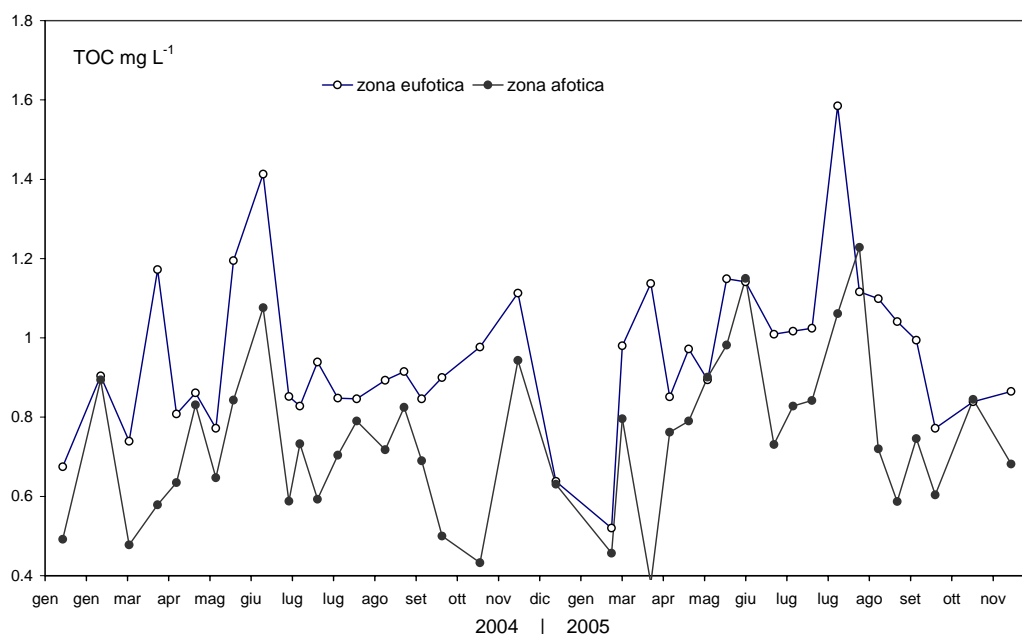


Fig. 3.4a. Valori della concentrazione di carbonio organico totale (TOC: mg l^{-1}) nelle zone eufotica ed afotica del Lago Maggiore: confronto tra gli anni 2004 e 2005.

Esaminando l'evoluzione stagionale della frazione particellata (POC) nella zona eufotica del Lago Maggiore, si vede (Fig. 3.4b) come la frazione particella, che nel 2004 aveva presentato i suoi valori massimi nel periodo primaverile, nel 2005 ha assunto valori piuttosto elevati durante il periodo della fioritura di cianobatteri (Luglio – inizi Agosto). Come emerge dal confronto con i dati dell'anno precedente, non si tratta comunque di valori eccezionalmente elevati, in relazione al fatto che anche quando la fioritura esita in accumuli macroscopici di materiale algale, essi sono comunque confinati allo strato più superficiale del lago, interessando soltanto uno strato dell'ordine del centimetro di spessore.

Tab. 3.4a. Concentrazioni di seston, carbonio organico particolato (POC), carbonio organico totale (TOC) e densità del popolamento batterico eterotrofo (CMD) misurate nel Lago Maggiore nel corso del 2005.

2005	12/1	22/2	2/3	23/3	6/4	20/4	4/5	18/5	1/6	22/6	6/7	20/7	8/8	24/8	7/9	21/9	5/10	19/10	16/11	14/12	
Seston mg l⁻¹																					
zona eufotica	0,47	0,30	0,24	1,14	1,72	1,83	0,92	0,64	0,99	1,07	0,89	0,68	1,32	1,30	1,33	1,27	0,79	0,53	0,50	0,23	
zona afotica	0,32	0,30	0,33	0,39	0,45	0,58	0,22	0,32	0,14	0,34	0,26	0,33	0,45	0,21	0,45	0,39	0,30	0,18	0,23	0,22	
POC µg l⁻¹																					
zona eufotica	86	59	52	314	325	386	264	108	274	276	253	291	322	351	312	249	146	151	151	135	
zona afotica	55	68	12	72	76	82	78	56	92	79	66	75	108	72	87	60	44	49	52	60	
TOC mg l⁻¹																					
20 m	0,555	0,418	0,823	0,311	0,735	0,814	1,234	0,902	1,055	1,389	0,761	0,812	0,84	3,135	0,921	0,655	0,669	0,615	0,768	0,738	
50 m	0,565	0,407	0,750	0,316	0,761	0,621	0,975	0,881	1,009	0,766	0,633	0,631	0,713	0,689	0,636	0,551	0,563	0,496	0,576	0,627	
100 m	0,413	0,431	0,730	0,335	0,738	0,615	1,064	0,834	1,017	0,588	0,676	0,686	0,635	0,774	0,647	0,563	0,54	0,517	0,583	0,635	
200 m	0,351	0,419	0,756	0,310	0,765	0,596	1,046	0,854	1,122	0,683	0,636	0,637	0,826	0,716	0,615	0,56	0,539	0,505	0,568	0,625	
300 m	0,35	0,407	0,741	0,360	0,718	0,542	1,013	0,858	1,004	0,674	0,674	0,676	0,64	0,629	0,648	0,555	0,532	0,514	0,600	0,653	
350 m	0,404	0,415	0,736	0,400	0,726	0,653	0,996	0,855	0,975	0,835	0,707	0,842	0,686	0,801	0,733	0,573	0,576	0,524	0,642	0,693	
zona eufotica	0,638	0,52	0,980	1,137	0,851	0,972	0,894	1,149	1,141	1,009	1,017	1,024	1,585	1,116	1,099	1,041	0,994	0,772	0,839	0,865	
zona afotica	0,631	0,457	0,796	0,381	0,762	0,790	0,901	0,982	1,15	0,731	0,828	0,842	1,061	1,228	0,72	0,587	0,746	0,604	0,845	0,682	
CMD cell 10⁶ ml⁻¹																					
zona eufotica	1,9	1,5	1,2	2,8	9,2	2,1	2,6	1,9	4,0	4,0	3,2	3,3	3,3	2,6	2,6	3,5	3,1	3,7	2,4	1,7	
zona afotica	1,5	1,0	1,1	1,8	1,8	1,5	2,2	0,7	2,0	1,7	2,2	1,6	2,0	1,9	1,3	1,9	1,3	1,8	1,3	1,1	

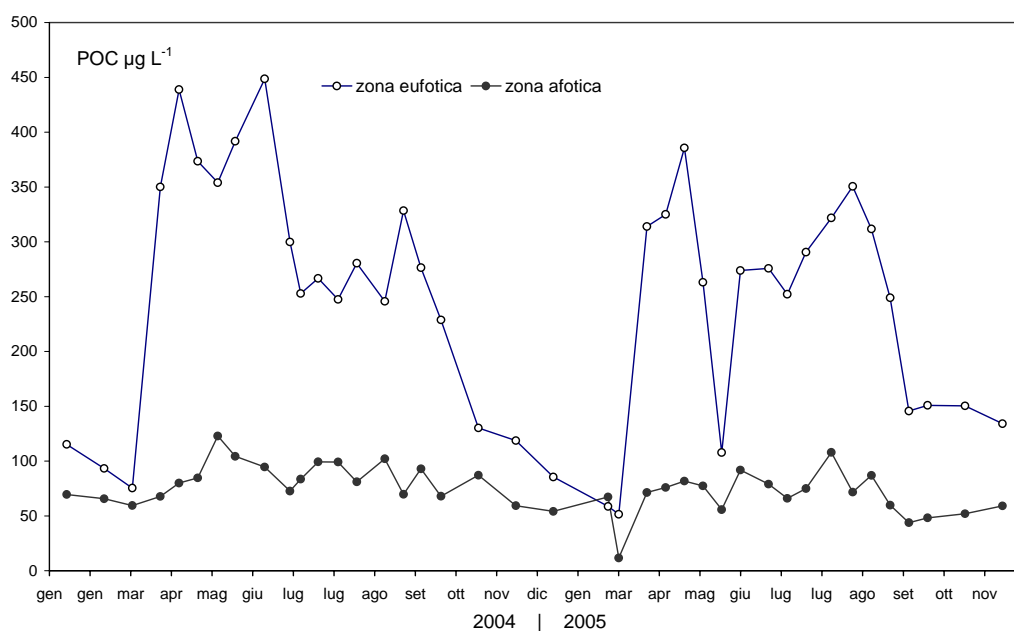


Fig. 3.4b. Valori della concentrazione del POC (carbonio organico particellato con dimensioni >1,2 µm) nelle zone eufotica ed afotica del Lago Maggiore nel 2005.

Passando ad esaminare i risultati relativi ai popolamenti batterici eterotrofi, la loro abbondanza ed il loro biovolume sono stati, come in passato, valutati in un campione integrato 0-20 m, considerato rappresentativo della zona eufotica, ed uno integrato 20-350 m rappresentativo della zona afotica.

L'abbondanza delle cellule batteriche ha presentato una maggiore variabilità nella zona eufotica dove l'influenza dei cambiamenti climatici stagionali e le dinamiche del fito- e dello zooplankton si fanno sentire maggiormente. In questa zona inoltre si ha la principale fonte autoctona di carbonio organico cioè la produzione primaria fitoplanctonica che fornisce il maggiore substrato organico ai batteri.

L'evoluzione temporale del popolamento batterico nel 2005, presentata nel grafico in figura 3.4c, mostra una prima evidente differenza tra la zona eufotica e quella afotica. Il valore medio annuo del numero di batteri nelle due zone è di $3,02 \times 10^6$ cell ml⁻¹ e di $1,59 \times 10^6$ cell ml⁻¹ rispettivamente.

Nella zona eufotica sono presenti minimi invernali con valori medi di $1,7 \times 10^6$ cell ml⁻¹, un picco molto pronunciato ($9,2 \times 10^6$ cell ml⁻¹) all'inizio della primavera e valori medi di $3,53 \times 10^6$ cell ml⁻¹ durante la stagione estiva. L'evoluzione temporale del batterioplancton nella zona afotica appare invece piuttosto costante e con valori di densità del popolamento sempre al di sotto di quelli illustrati in precedenza.

Se si confronta il numero dei batteri del 2005 con quello dei due anni precedenti (Fig. 3.4d) si osserva che i valori più alti sono stati raggiunti nella primavera del 2004 ed i valori minimi nell'inverno 2005. L'andamento del 2005 è molto simile a quello del 2004, mentre nel 2003 sembra essere mancato un alto picco primaverile. La variabilità presente nella zona eufotica è molto attenuata nella zona afotica dove il popolamento sembra essere costante attorno ai 1,4-1,8 milioni di batteri per millilitro.

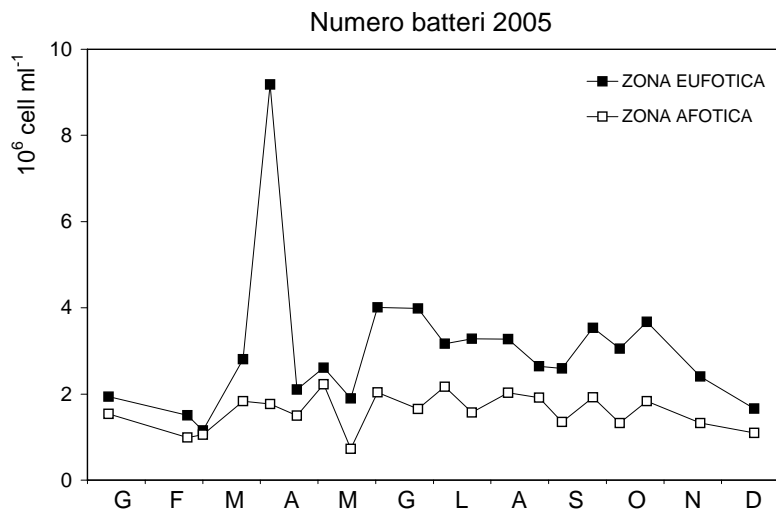


Fig. 3.4c. Variazione del numero totale di batteri nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005.

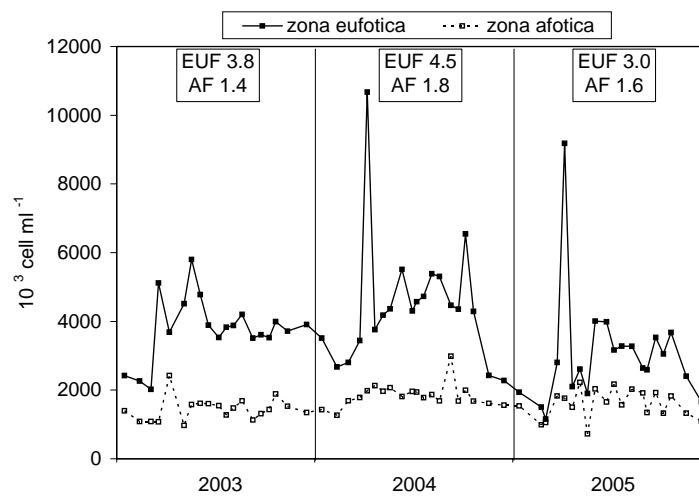


Fig. 3.4d. Variazione del numero totale di batteri nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore, anni 2003-2005. Nei riquadri sono presentati i numeri medi dei batteri (10^3 cell ml^{-1}), nelle due zone del lago, nei diversi anni.

Anche dai dati di biovolume batterico totale (Fig. 3.4e) appare evidente la differenza tra la zona eufotica e quella afotica. Tuttavia si osserva una maggiore variabilità, evidente soprattutto nella zona eufotica, nei mesi di Aprile e Agosto. La media annua nella zona eufotica ed afotica è di 282 e 159 mm^3 m^{-3} , rispettivamente.

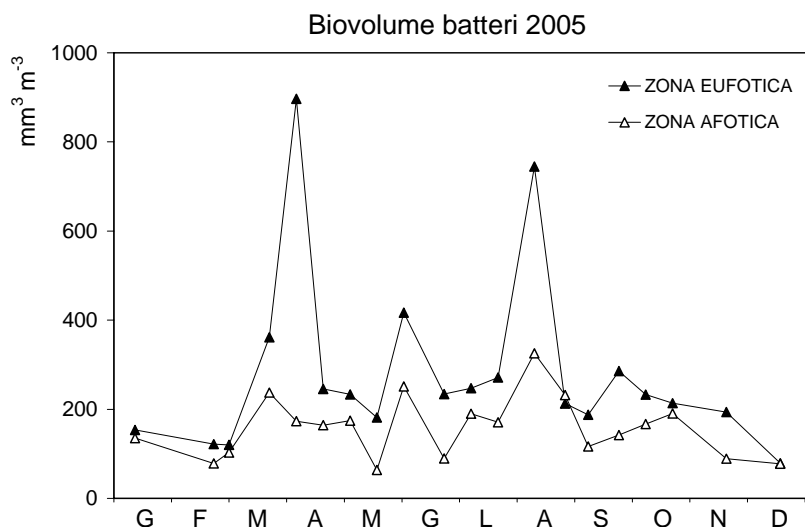


Fig. 3.4e. Variazione del biovolume totale di batteri nella zona euphotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005.

La biomassa batterica è stata calcolata moltiplicando il numero di cellule per il biovolume cellulare medio ed il carbonio è stato calcolato usando il modello allometrico di Norland (1993) ($m = CV^a$, cioè $C = 0,12 \cdot V^{0,72}$). L'evoluzione del carbonio batterico, presentata in figura 3.4f, rispecchia bene quella del biovolume e la media annua nella zona euphotica ed afotica è di 65 e 36 $\mu\text{g C l}^{-1}$, rispettivamente, con valori che sono mediamente quasi il doppio nella zona euphotica rispetto alla zona afotica. Al contrario la percentuale del carbonio batterico sul POC è il 56% nella zona afotica e il 32% in quella euphotica, più produttiva. Questo fatto indica come nella zona del lago meno adatta alla vita di organismi, i batteri siano una componente importante del carbonio particellato totale e la loro attività e composizione andrebbero studiate più in dettaglio per capire se, nei momenti di piena circolazione, un "inoculo" di batteri dal fondo potrebbe colonizzare anche la zona trofogenica e con quale successo.

Per quanto riguarda il biovolume cellulare medio si può notare come nel 2005 il morfotipo coccoide abbia assunto, in momenti particolari, dimensioni considerevoli, in alcuni casi superando le dimensioni dei bacilli. Tuttavia mediamente i bacilli hanno un biovolume maggiore rispetto ai cocci, soprattutto nella zona afotica. Nella tabella 3.4b sono presentate le dimensioni medie dei batteri nell'anno 2005 e un confronto con i dati del 2004. Permane una differenza nelle dimensioni sia dei cocci che dei bacilli nelle due zone ed il volume medio sembra essere lievemente aumentato.

Considerate le fluttuazioni delle dimensioni cellulari, per capire se ci fossero delle differenze nel volume dei batteri delle due zone si è proceduto ad una trasformazione dei dati di biovolume con una funzione di smoothing esponenziale (Statistica6: time series forecasting) che permette di ridurre la "stagionalità" dei dati. In figura 3.4g sono presentati, nel pannello superiore, i dati grezzi di biovolume e nel pannello inferiore quelli trasformati.

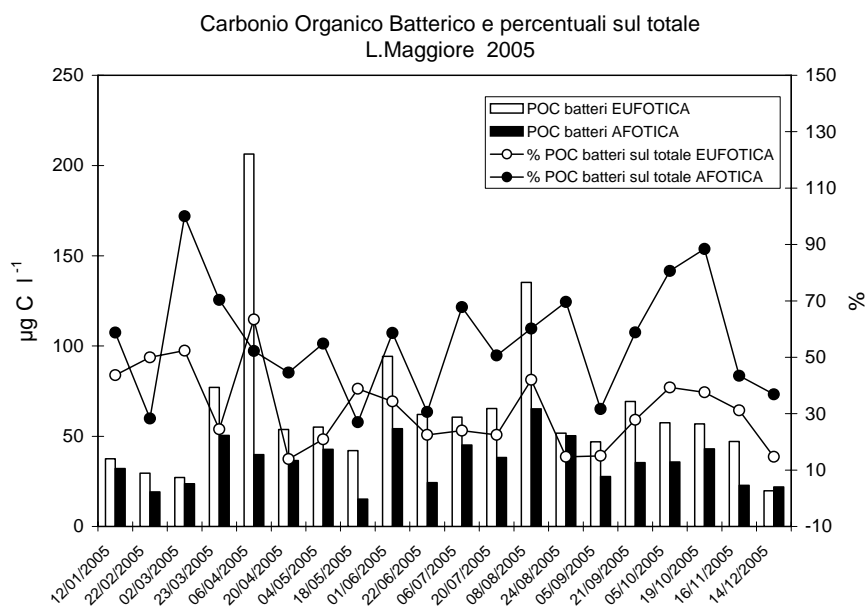


Fig. 3.4f. Variazione del carbonio batterico e della sua percentuale sul POC totale nella zona eufotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005.

Tab. 3.4b. Dimensioni medie dei batteri nel 2005 e confronto con il 2004, L. Maggiore.

2005	asse maggiore	asse minore	volume
	μm	μm	μm^3
bacilli eufotica	0,682	0,400	0,089
bacilli afotica	0,707	0,407	0,103
cocchi eufotica	0,532	0,445	0,088
cocchi afotica	0,541	0,458	0,093
tot euf			0,088
tot af			0,096

2004	asse maggiore	asse minore	volume
	μm	μm	μm^3
bacilli eufotica	0,613	0,345	0,062
bacilli afotica	0,644	0,363	0,073
cocchi eufotica	0,450	0,369	0,056
cocchi afotica	0,472	0,394	0,067
tot euf			0,059
tot af			0,069

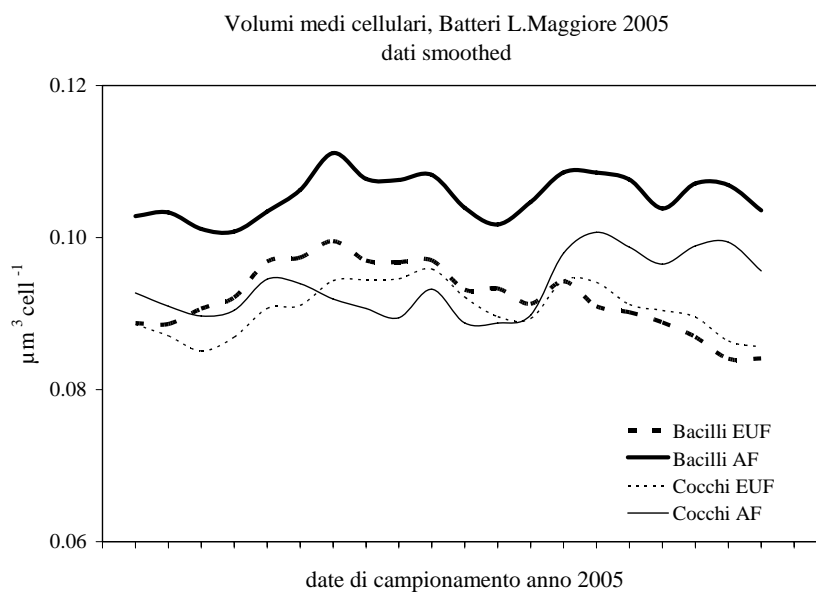
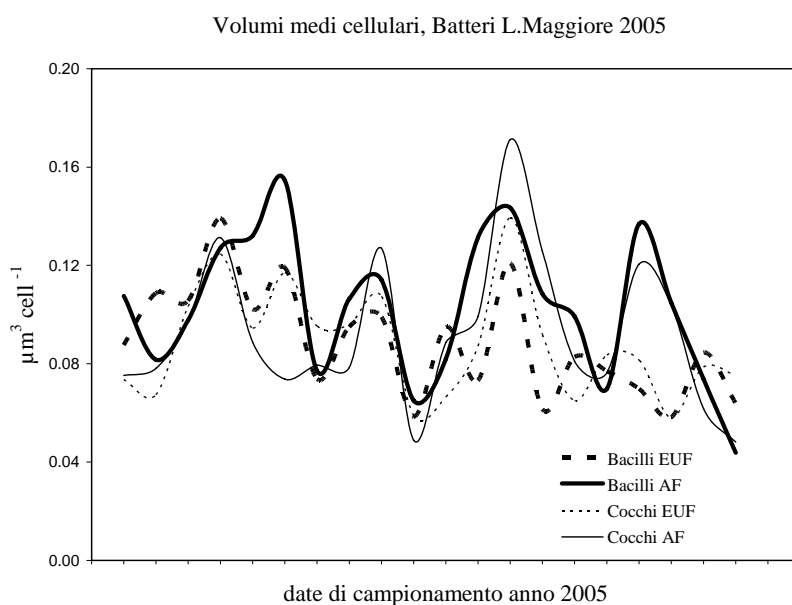


Fig. 3.4g. Variazione del biovolume medio cellulare dei batteri, suddivisi nei morfotipi a cocco e bacillo nella zona euphotica ed afotica del Lago Maggiore, anno 2005. Nel pannello superiore ci sono i dati grezzi ed in quello inferiore i dati smoothed.

Il confronto statistico dei volumi medi cellulari dei due morfotipi così trasformati ha mostrato che esiste una differenza significativa con $P < 0,01$ tra la zona euphotica ed afotica: in quest'ultima i batteri sono significativamente più grandi. Questa differenza può dipendere 1) dalle condizioni fisico-chimiche delle acque ipolimnetiche profonde dove la temperatura può limitare la duplicazione e dove il substrato organico è in

concentrazione inferiore ed è più refrattario, 2) da una pressione di grazing dimensionalmente selettiva, da parte della frazione più grande del microzooplancton, che potrebbe controllare la struttura della comunità 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 e costituiscono circa il 60% del carbonio organico particellato totale della zona profonda, mentre nella zona eufotica soltanto il 30%.

4. CONCLUSIONI

Il totale annuo delle precipitazioni è stato, nel 2005, di 991 mm, valore molto al di sotto della media pluriennale (1693 mm per il periodo 1978-2004) che rappresenta solo il 58% della pioggia che mediamente cade in un anno sul bacino imbrifero del Lago Maggiore e costituisce il nuovo anno più siccitoso degli ultimi 50 anni; quello precedente è stato il 2003.

In particolare, va sottolineato che fino a Settembre le piogge registrate nel 2005 non si sono discostate di molto dalla media pluriennale e sono state superiori a quelle cadute, nello stesso periodo, nel 2003. La particolarità climatica del 2005 si è registrata infatti, negli ultimi mesi dell'anno, da Ottobre a Dicembre, quando sono caduti solo 130 mm, contro i 430 mm che mediamente cadono, nel bacino, in quel periodo. Le piogge del periodo autunnale sono quelle più importanti per l'equilibrio idrologico del lago, in quanto sono poco ostacolate dalla vegetazione, raggiungono più velocemente il suolo e vanno ad incrementare le acque superficiali in modo più incisivo.

La scarsità di pioggia dei mesi di Ottobre e Novembre, in particolare, ha portato un notevole abbassamento del livello del lago che ha dovuto affrontare il periodo "siccitoso" invernale in carenza idrica.

I mesi meno piovosi sono stati Gennaio, Febbraio e Novembre con solo, rispettivamente, il 16%, 12% e 10% della pioggia mediamente registrata nello stesso periodo.

Dall'analisi della distribuzione spaziale delle piogge, si individuano quattro zone particolari: una, quella dell'alto Toce, caratterizzata dalle piogge meno abbondanti, le altre tre, invece, caratterizzate da nuclei a maggior piovosità. L'alta Valle Maggia, la zona del Lago di Mergozzo e del bacino Toce-Strona e il bacino del Tresa, anche se in misura minore rispetto alle zone precedenti.

Per quanto riguarda i deflussi, i valori di portata mensili e annuali si sono mantenuti al di sotto della media pluriennale per tutti i corsi d'acqua, tranne che per il Cannobino che ha fatto registrare un valore di portata medio annuale più elevato rispetto a quello medio pluriennale e valori maggiori in quasi tutti i mesi.

Tali valori mediamente più elevati sono dovuti principalmente alle maggiori precipitazioni che si sono registrate in Valle Cannobina, rispetto alle altre valli, e al fatto che il Cannobino risulta essere ancora un corso d'acqua naturale, senza prelievi o captazioni che possono diminuire i suoi deflussi naturali, come avviene per altri immissari del Lago Maggiore.

I corsi d'acqua che maggiormente hanno risentito delle scarse precipitazioni del 2005 sono stati la Vevera, la Margorabbia, il San Giovanni, la Tresa e il San Bernardino con una portata media annuale pari, rispettivamente al 22%, 25%, 29%, 31% e 39% di quella media pluriennale.

Va sottolineato che, ad eccezione della Vevera, gli altri corsi d'acqua sono anche soggetti a prelievi e captazioni di diverso genere, che in occasione di poche piogge causano un maggiore impatto per quanto riguarda la reale quantità d'acqua a disposizione dell'ecosistema fluviale, soprattutto se il bacino da essi drenato non è particolarmente esteso. Infatti il Toce, pur avendo fatto registrare una portata media annuale pari al 56% rispetto a quella media pluriennale, non è mai sceso al di sotto di tale valore se non per i mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre quando, proprio per le scarsissime piogge si sono avuti valori di portata rispettivamente del 36%, 31% e 47% rispetto ai valori medi mensili pluriennali.

Per quanto riguarda il Torrente Niguglia, non ci sono portate per tutto il 2005, in quanto non è stato possibile ripristinare il funzionamento della stazione, precedentemente danneggiata, fino alla primavera del 2006, quando è stata installata una nuova stazione.

Non sono disponibili, per il 2005, le portate del Torrente Boesio, a causa di alcuni lavori effettuati nell'alveo del corso d'acqua che hanno reso inutilizzabile l'idrometro a ultrasuoni, per un lungo periodo e, in seguito, a causa del furto della cella fotovoltaica che alimenta la stazione.

Come per gli anni precedenti, anche nel 2005 le indagini sull'idrochimica del Lago Maggiore, dei suoi principali tributari e del Ticino emissario, sono state effettuate con frequenza mensile. I prelievi delle acque lacustri sono stati eseguiti nella stazione di massima profondità, a Ghiffa. In aggiunta a questi campionamenti, nei mesi di Marzo e Settembre, sono stati effettuati dei prelievi nella stazione di Lesa, ubicata nella parte meridionale del lago.

Le caratteristiche chimiche delle acque nelle due stazioni sono risultate molto simili, ed hanno presentato variazioni minime rispetto agli anni precedenti. I valori medi annui di pH (7,38), conducibilità ($147 \mu\text{S cm}^{-1}$) e contenuto ionico ($3,14 \text{ meq l}^{-1}$) rilevati nella stazione di Ghiffa nel 2005 sono risultati confrontabili con quelli dell'ultimo quinquennio. I massimi di pH (8,32) ed ossigeno (110 %), registrati in epilimnio ad Agosto, sono stati solo leggermente inferiori a quelli del 2004. I valori di pH nell'autunno 2005 (7,6-7,7 a Ottobre-Novembre) sono risultati invece più elevati rispetto al 2004, e più in generale a quelli dell'ultimo decennio.

Il 2005 è stato caratterizzato da un marcato raffreddamento delle acque lacustri e da un rimescolamento quasi totale dell'intera colonna d'acqua nella seconda metà di Marzo. Nonostante ciò, l'andamento delle variabili chimiche nel 2005 non è stato analogo a quello del 1999, caratterizzato da un mescolamento completo. Questo perché la omogeneizzazione della massa d'acqua nel 2005 ha interessato in modo completo solo i primi 250 m di profondità.

L'andamento stagionale di alcune variabili chimiche, quali conducibilità e alcalinità, è risultato, nel 2005, del tutto simile a quello osservato nel 2003. Entrambi gli anni sono stati infatti caratterizzati da prolungati periodi di siccità e da volumi di precipitazione ridotti. Nel 2005 i valori di alcalinità e conducibilità si sono mantenuti stabilmente attorno a $0,81-0,82 \text{ meq l}^{-1}$ e $145 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C rispettivamente e, come già accaduto nel 2003, non è stata osservata la diminuzione estiva dei valori epilimnici di queste due variabili.

I contenuti medi di azoto nitrico e totale ($0,84-0,86 \text{ mg N l}^{-1}$ e $0,89-1,02 \text{ mg N l}^{-1}$, rispettivamente), così come di fosforo reattivo e totale (7 e $10 \mu\text{g P l}^{-1}$) nel 2005 sono risultati confrontabili con quelli dell'ultimo decennio. Nella stazione di Lesa, i corrispondenti valori, sia per i composti dell'azoto che del fosforo, misurati in Marzo e Settembre sono risultati del tutto simili a quelli della stazione di massima profondità.

Su scala decennale si può osservare una lieve tendenza all'aumento delle concentrazioni di nitrati, da $0,81-0,82$ a metà degli anni '90 a $0,85-0,86 \text{ mg N l}^{-1}$, mentre l'azoto totale è rimasto pressoché costante.

I contenuti medi di fosforo totale nelle acque lacustri nel corso degli ultimi 10 anni si sono mantenuti compresi tra 8 e $12 \mu\text{g P l}^{-1}$, livelli che confermano l'attuale condizione di oligotrofia. Questi livelli sono ragionevolmente attribuibili all'intera zona pelagica del lago, ma non necessariamente alla zona litorale. Alcune zone rivierasche risultano infatti

influenzate dalla presenza di scarichi o dall'immissione a lago di acque tributarie ad elevato contenuto di nutrienti, tali da pregiudicare il livello qualitativo e la fruizione delle acque.

I valori medi annui di pH, alcalinità totale e conducibilità nelle acque dei 14 tributari considerati, sono risultati nel 2005 del tutto simili a quelli degli anni precedenti, in quanto dipendenti dalle caratteristiche litologiche dei bacini imbriferi. Le modeste differenze osservabili da un anno all'altro sono dovute quasi esclusivamente alla variabilità idrologica interannuale. Quest'ultima ha avuto un ruolo importante nell'ultimo periodo, in quanto si sono susseguiti anni caratterizzati da precipitazioni elevate (2000 e 2002) ed anni caldi e siccitosi come il 2003 ed il 2005.

Per quanto riguarda le concentrazioni dei principali nutrienti, i valori più elevati hanno interessato le acque di Bardello e Boesio, che continuano a presentare una situazione di pesante degrado ecologico (rispettivamente 468 e 396 $\mu\text{g P l}^{-1}$ come fosforo totale, 2,87 e 4,17 mg N l^{-1} come azoto totale). Nel caso del Bardello in particolare, i tenori medi di azoto si sono mantenuti simili a quelli dell'anno precedente, ma le concentrazioni di fosforo sono nettamente aumentate, collocandosi su livelli simili a quelli del 2003. Essendo ormai cessato il prelievo ipolimnico nel Lago di Varese, questa situazione, oltre che alle condizioni idrologiche, è da attribuire ad aumento di apporti di reflui civili e/o industriali scarsamente depurati.

Le condizioni delle altre acque tributarie variano da uno stato buono o comunque accettabile (Verzasca, Cannobino, Ticino immissario, Maggia, San Giovanni, Strona e Toce) a situazioni più compromesse, dovute alla presenza nei bacini drenanti di scarichi non sufficientemente depurati (Giona, Vevera, Tresa ed Erno). Nell'anno 2005 inoltre, in occasione di due campionamenti, si sono riscontrate alla foce del S. Bernardino concentrazioni molto elevate di fosforo totale (771 e 93 $\mu\text{g P l}^{-1}$ rispettivamente il 3 Ottobre ed il 7 Novembre). I successivi controlli effettuati non hanno riscontrato anomalie degli scarichi civili e degli sfioratori esistenti. I due eventi sono quindi probabilmente attribuibili ad immissioni di sostanze fosforate in tombature che recapitano le acque bianche urbane in prossimità del tratto terminale del corso d'acqua.

Per quanto riguarda i carichi veicolati a lago, a seguito dei limitati afflussi meteorici sul bacino imbrifero che hanno caratterizzato il 2005, tutte le variabili oggetto di studio hanno mostrato una diminuzione degli apporti. Lo stesso andamento ha riguardato i carichi dei composti di azoto e fosforo per unità di superficie drenata dalle acque tributarie. L'unica eccezione è rappresentata dal Bardello, i cui apporti di fosforo totale sono cresciuti da 27 a 34 t P a^{-1} , a causa del forte aumento delle concentrazioni medie annue.

Su scala regionale si riconferma il quadro già emerso dai dati dell'ultimo decennio: a fronte di una situazione ottimale delle acque ticinesi e moderatamente accettabile di quelle piemontesi, i contributi medi areali dalle acque tributarie lombarde, soprattutto per fosforo totale e azoto ammoniacale, continuano anche nel 2005 a mantenersi su livelli preoccupanti. In generale va comunque segnalato come i carichi areali di fosforo veicolati complessivamente dalle acque tributarie negli ultimi tre anni (rispettivamente 0,025 – 0,022 – 0,018 $\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$) sono compatibili con il mantenimento di uno stato oligotrofo delle acque lacustri.

Per quanto riguarda l'evoluzione del popolamento fitoplanctonico, se, da un lato, i dati del 2005 hanno confermato la sostanziale stabilità delle caratteristiche generali della biocenosi algale (elevata biodiversità, bassi valori di biovolume e clorofilla), dall'altro la

successione stagionale ha visto alcuni importanti rimaneggiamenti della composizione in specie, di cui il più eclatante è, senza dubbio, la fioritura del cianobattere *Anabaena lemmermannii*. Tra le cause di questa variabilità dei popolamenti autotrofi vi sono, ancora una volta, situazioni meteorologiche estreme, che, perdurando l'attuale tendenza climatica, potrebbero avere un ruolo decisivo nel promuovere lo sviluppo di alcune specie o la scomparsa di altre ed essere un fattore importante anche nell'insorgenza di nuove fioriture.

È il caso di sottolineare che l'impatto delle fioriture cianobatteriche sulla fruibilità delle acque lacustri può essere assai rilevante, impedendone l'uso alimentare ed anche ricreazionale perché molti ceppi di cianobatteri possono produrre tossine dannose per uomini ed animali. Per questo motivo il CNR-ISE ha compiuto in occasione della fioritura di *Anabaena lemmermannii* uno sforzo di ricerca particolare, coinvolgendo risorse umane e finanziarie aggiuntive rispetto a quelle rese disponibili dalla CIP AIS a fronte del contratto in essere per l'esecuzione delle ricerche limnologiche, che ha permesso di valutarne meglio la potenziale tossicità e la distribuzione spaziale.

Esistono evidenze ormai numerose che le fioriture di cianobatteri potenzialmente tossici non sono limitate agli ambienti eutrofici. Anche in laghi oligotrofici e mesotrofici sono state documentati numerosi casi di fioriture, spesso imputabili al genere *Anabaena*, che si ritiene siano indotte dalle modificazioni climatiche in atto, anche se la scarsità di dati disponibili e la complessità dei sistemi ecologici non consentono per ora di identificare relazioni semplici tra clima e fioriture. È certo che temperature elevate, bassa turbolenza, luminosità elevata ma non eccessiva, possano essere condizioni ideali per lo sviluppo della fioritura.

È possibile anche ipotizzare che l'ampia fascia litorale, esposta per il basso livello estivo del lago, abbia potuto liberare nutrienti, ed in particolare fosforo, per decadimento degli organismi epilitici viventi in quella che era la zona di bagnasciuga prima dell'abbassamento di livello. La capacità di *Anabaena* sp. di sfruttare il fosforo organico, evidenziata dalla sua ingente produzione di fosfatasi alcalina, potrebbe averne favorito lo sviluppo massivo che è culminato in una fioritura che ha interessato l'intera superficie lacustre, come ha dimostrato l'analisi delle foto satellitari effettuata del CNR-IREA di Milano.

Il ripperimento, con metodo analitico (HPLC), di microcistina in quantità misurabili dimostra le potenzialità tossiche del ceppo che ha generato la fioritura nel Lago Maggiore, anche se, fortunatamente, la concentrazione in lago della tossina non ha raggiunto valori tali da determinare una situazione di pericolo. Tuttavia per completare il quadro delle potenzialità tossiche del cianobattere sarebbe necessario condurre analisi genetiche ad hoc.

Il verificarsi della fioritura di *Anabaena lemmermannii* ha dimostrato la vulnerabilità biologica dell'ecosistema Lago Maggiore. A salvaguardia dell'utilizzabilità delle acque di questo lago, risulta quindi importante ampliare il quadro conoscitivo dell'ecologia delle fioriture algali in un ambiente oligotrofo anche in relazione all'evoluzione climatica in atto.

A riguardo del popolamento zooplanctonico, in generale i dati relativi al 2005 consentono di confermare la netta tendenza ad un ritorno alle condizioni precedenti l'oligotrofizzazione già messa in luce negli ultimi anni. Le densità di popolazione sono risultate del tutto raffrontabili a quelle rilevate nella prima metà degli anni ottanta,

quando venivano di frequente registrate fioriture algali. Tuttavia, la biomassa del popolamento zooplanctonico risulta di gran lunga superiore, a causa della molto maggiore presenza dei predatori invertebrati. La struttura del popolamento e delle singole popolazioni appare inoltre caratterizzata da una situazione che ricorda, sia pure in condizioni di una mutata fenologia, quella degli anni di bloom algale. Si può davvero affermare che in generale lo zooplancton del lago tende in questo periodo a mimare condizioni di aumentata trofia.

Nel 2005 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 2004. In generale, nei mesi estivi ed autunnali la concentrazione di TOC si è mantenuta su valori inferiori al mg l^{-1} , con un picco estivo a fine Luglio – inizio Agosto di $1,6 \text{ mg l}^{-1}$ nella zona eufotica, probabilmente in relazione al decadimento della fioritura di *Anabaena lemmermannii* che ha interessato tutto il Lago Maggiore nel corso del mese di Luglio.

Il popolamento batterico eterotrofo, ha presentato la consueta eterogeneità temporale sia come numero che come biomassa. Più in dettaglio, i batteri sono risultati, come al solito, numericamente più abbondanti nella zona eufotica che in quella afotica. Tuttavia si è confermato che i popolamenti che vivono in profondità sono costituiti da cellule significativamente più grandi e arrivano a costituire circa il 60% del carbonio organico particellato totale della zona profonda, mentre nella zona eufotica soltanto il 30% del carbonio è ascrivibile alla biomassa batterica. Questo risultato non è privo di significato perché, costituendo un primo criterio generale di valutazione della diversità batterica, sarà utile ad individuare possibili future variazioni di biodiversità a livello microbico. La possibilità che questa differenza nei morfotipi dipenda dalla diversa disponibilità di substrato nelle due zone potrebbe costituire un elemento di distinzione tra popolamenti batterici caratteristici di situazioni troficamente differenziate. In altre parole, questa diversità, affiancata da evidenze ottenibili con tecniche di ecologia molecolare, potrebbe assumere in futuro un significato diagnostico di rilievo nella valutazione della biodiversità dei popolamenti batterici del Lago Maggiore e dell'influenza su di essi dell'evoluzione climatica in atto.

In conclusione, dopo un anno collocabile in una situazione di normalità climatica come il 2004, il 2005 è stato un anno particolarmente caldo in estate, con una radiazione solare nei mesi estivi superiore del 12% rispetto al periodo di confronto 1951-2004. Inoltre, il ridotto afflusso meteorico del 2005 (1.265 mm a Pallanza) ha lasciato un'impronta molto netta sul regime idrometrico del Maggiore. Infatti il livello dell'ultimo anno è la quota media più bassa raggiunta dal lago dopo quella di 193,41 m s.l.m. del 1965. I dati medi stagionali hanno mostrato una progressiva diminuzione delle quote idrometriche dalla fine del periodo invernale e altezze inferiori alla norma si sono avute in estate (-52 cm) e in misura maggiore in autunno (-81 cm), mentre più contenuto è risultato il divario dalla media in primavera (-6 cm). È possibile che questa situazione 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.

L'impossibilità di elencare con ragionevole certezza lo spettro di variabili, climatiche o di altra natura, capaci di determinare l'insorgenza di fenomeni, come le fioriture di cianobatteri, che influiscono negativamente sulla qualità delle acque lacustri, ci rende percepibile la dimensione della complessità degli ecosistemi e ci dà l'idea dello sforzo di ricerca che deve essere ancora affrontato per vincere la sfida della gestione sostenibile degli ecosistemi lacustri, sforzo che, ovviamente, va ben oltre il mero monitoraggio delle acque lacustri previsto dal legislatore.

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. 2002. Physical limnology of Italian lakes. 2. Relationship between morphometric parameters, stability and Birgean work. *J. Limnol.*, 61(2): 159-167.
- [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] 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.
- [5] Salmaso, N. 2000. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. *Hydrobiologia*, 438: 43-63.
- [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] 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.
- [9] Ambrosetti, W. & L. Barbanti. 1999. Deep water warming in lakes: an indicator of climate change. *J. Limnol.*, 58: 1-9.

ELENCO DEGLI AUTORI E DEI COLLABORATORI

RESPONSABILE DELLA RICERCA

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

COORDINATORE DELLA RICERCA

Dr. Roberto Bertoni

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. Marzia Ciampittello	Limnologo fisico
Per. Ind. Mario Contesini	Tecnico in Microbiologia
Dr. Riccardo de Bernardi	Idrobiologo
Sig.re 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
Dr. Roberta Piscia	Idrobiologo
Per. Ind. Alfredo Pranzo	Tecnico in Idrochimica
Dr. Serena Rasconi	Microbiologo Acquatico
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 2005).

- Morabito, G., A. Oggioni & E. Caravati. 2005. Decadal trends of pelagic algal biomass capacities in Lago Maggiore (N. Italy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29: 231-234.
- Manca, M. & M. Portogallo. 2005. Changes in phenology of the spiny water flea, *Bythotrephes longimanus* and its success following the re-oligotrophication of a large and deep subalpine lake, Lago Maggiore, Italy. VII International Symposium on Cladocera Herzberg, 3-9 September 2005: 26-27.
- Baudo, R., M. Beltrami & M. Gazzola. 2005. Muschi acquatici come bioindicatori per la valutazione del rischio potenziale dei tributari del Lago Maggiore. *Atti 2° Convegno Nazionale di Ecotossicologia Biomarcatori ed organismi sentinella: Nuove frontiere per valutare e controllare lo stato di salute dell'ambiente e dell'uomo*. Torino, 12-13 maggio 2005: 151-155.
- Ciampittiello, M. 2005. Il Lago Maggiore: Curiosità, origine e caratteristiche. Corso di Aggiornamento Guide Turistiche. CNR ISE Verbania Pallanza, Febbraio 2005.
- Morabito, G., A. Oggioni & E. Caravati. 2005. Decadal trends of pelagic algal biomass capacities in Lago Maggiore (N. Italy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29: 231-234.
- Ciampittiello, M. & F. Breganni. 2005. Relazione tecnico-ambientale sullo sfalcio della vegetazione spondale di un tratto del Torrente San Bernardino (briglia – ponte a lago). Committente: Comune di Verbania.
- Ambrosetti, V., A. Calderoni, M. Manca & G. Morabito. 2005. Indagini limnologiche nell'area antistante la foce del Torrente S. Bernardino (Sopralluogo del 16 Marzo 2005). Report CNR-ISE 03.05: 18 pp.
- Ambrosetti, V. & A. Calderoni. 2005. Indagini termiche nell'area lacustre antistante la foce del torrente San Bernardino (Sopralluoghi del 17 e 31 Maggio 2005). Report CNR-ISE 04.05: 16 pp.
- Ambrosetti, V., A. Calderoni, M. Manca & G. Morabito. 2005. Indagini limnologiche nell'area antistante la foce del Torrente San Bernardino (Sopralluogo del 7 Giugno 2005). Report CNR-ISE 05.05: 20 pp.
- Ambrosetti, V., A. Calderoni, M. Manca & G. Morabito. 2005. Indagini limnologiche nell'area antistante la foce del Torrente San Bernardino (Sopralluogo del 28 Settembre 2005). Report CNR-ISE 06.05: 20 pp.
- Ambrosetti, V., A. Calderoni, M. Manca & G. Morabito. 2005. Indagini limnologiche nell'area antistante la foce del Torrente San Bernardino (Sopralluogo del 29 Novembre 2005) Report CNR-ISE 07.05: 20 pp.