

Commissione Internazionale
per la protezione delle acque italo-svizzere

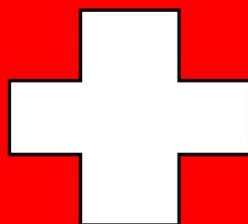
Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore

Aspetti limnologici

Programma quinquennale 2008 - 2012
Campagna 2008

a cura di Roberto Bertoni

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



5. IDROCHIMICA LACUSTRE E DEI TRIBUTARI, BILANCIO DEI NUTRIENTI

5.1. Chimica lacustre

5.1.1. Chimismo di base

Nel corso dell'anno 2008 i campionamenti nella zona di massima profondità del Lago Maggiore (bacino di Ghiffa) sono proseguiti con le stesse modalità utilizzate negli anni precedenti. I prelievi sono stati eseguiti mensilmente alle profondità 0, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 metri. In data 11 Marzo e 22 Settembre si sono effettuati inoltre dei prelievi (superficie, -5, -10, -20, -30, -50, -100 metri) nella stazione di Lesa, collocata nella parte meridionale del lago, allo scopo di evidenziare eventuali differenze rispetto alla stazione di centro lago.

Nella tabella 5.1 sono riportati i valori di pH, la conducibilità ed il bilancio ionico per la stazione di Ghiffa e per quella di Lesa rilevati nel campionamento di Marzo negli anni dal 2004 al 2008. La figura 5.1 mostra invece il contributo percentuale dei diversi ioni al contenuto ionico totale nel campionamento eseguito a Marzo 2008. I dati si riferiscono in entrambi i casi a valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo. I valori relativi al mese di Marzo rappresentano la situazione in cui è massima l'estensione verticale del mescolamento tardo invernale.

Tab. 5.1. Bilancio ionico (meq l⁻¹), pH e conducibilità a 20 °C (Cond.; μS cm⁻¹) alla circolazione primaverile delle acque del Lago Maggiore (valori medi ponderati sui volumi) nelle stazioni di Ghiffa e Lesa nel quinquennio 2004-2008.

	GHIFFA					LESA				
	15.03.04	14.03.05	13.03.06	12.03.07	10.03.08	16.03.04	15.03.05	14.03.06	13.03.07	11.03.08
HCO ₃ ⁻	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,82	0,81	0,82	0,82	0,83
SO ₄ ^{- -}	0,60	0,61	0,63	0,61	0,61	0,61	0,60	0,63	0,61	0,64
Cl ⁻	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
NO ₃ ⁻	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Σ anioni	1,54	1,55	1,58	1,58	1,57	1,56	1,54	1,58	1,58	1,61
Ca ⁺⁺	1,11	1,13	1,13	1,16	1,15	1,12	1,12	1,16	1,17	1,15
Mg ⁺⁺	0,29	0,31	0,31	0,31	0,31	0,29	0,30	0,31	0,31	0,31
Na ⁺	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,14
K ⁺	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Σ cationi	1,56	1,59	1,60	1,63	1,63	1,58	1,58	1,63	1,65	1,64
Σ ioni	3,10	3,14	3,18	3,21	3,20	3,14	3,11	3,21	3,23	3,25
pH	7,30	7,38	7,45	7,49	7,38	7,49	7,49	7,42	7,56	7,54
Cond.	147	147	148	150	153	149	146	150	150	154

Sia le concentrazioni ioniche che i valori di pH e conducibilità non variano in modo significativo da un anno all'altro. Il contenuto ionico totale, negli anni considerati, sembra però mostrare una lieve tendenza all'aumento sia a Ghiffa che a Lesa (da circa 3,10 a 3,20 meq l⁻¹ e da 3,15 a 3,25 meq l⁻¹ rispettivamente). Poiché un'analogha tendenza si osserva per il valore della conducibilità, aumentata di circa 5 μS cm⁻¹ in

entrambe le stazioni, si può ipotizzare un progressivo, seppur contenuto, arricchimento in soluti delle acque lacustri negli anni più recenti.

Tra le due stazioni considerate non si sono riscontrate differenze significative, se non un contenuto in soluti leggermente maggiore a Lesa, dovuto essenzialmente alla maggior concentrazione di solfati. Anche i valori di pH sono risultati più elevati nella stazione di Lesa rispetto a quella a centro lago (7,54 e 7,38 rispettivamente, nel 2008), ma come si può osservare dalla tabella 5.1 tali valori non si discostano da quelli registrati nel quinquennio, sempre compresi tra 7,30 e 7,56 unità di pH (Tab. 5.1).

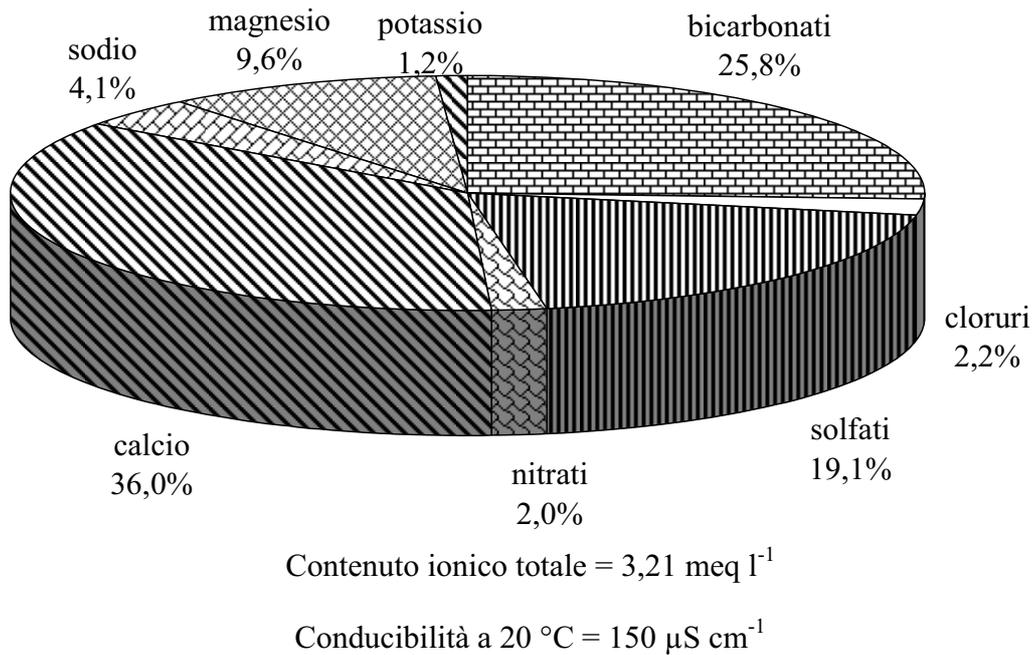


Fig. 5.1. Lago Maggiore: ripartizione percentuale dello spettro ionico e valori medi di pH e conducibilità al 10 Marzo 2008 (valori medi ponderati sui volumi alla circolazione primaverile nella stazione di massima profondità).

La composizione chimica delle acque lacustri descritta dai dati del 2008 conferma quanto già emerso nelle indagini precedenti, e cioè una prevalenza di calcio e bicarbonati che rappresentano insieme più del 60 % del contenuto ionico totale. Solfati, magnesio e sodio contribuiscono in misura del 19, 10 e 4 % circa, mentre gli altri ioni sono presenti in percentuali dell'1-2 % (Fig. 5.1).

La figura 5.2 mostra i valori medi di pH misurati nello strato epilimnico ed ipolimnico e quelli dell'ossigeno in epilimnio, espresso come percentuale di saturazione, negli anni dal 1999 al 2008. Gli andamenti stagionali di queste variabili sono regolati dai processi biologici che interessano le acque superficiali (fotosintesi e respirazione) e dal rimescolamento delle acque: i valori massimi sia di pH che di ossigeno caratterizzano le acque superficiali nei mesi estivi, a causa della produzione da parte delle alghe fitoplanctoniche, mentre i minimi, sempre nelle acque superficiali, si rilevano invece nei mesi tardo invernali. Il pH mostra variazioni molto più contenute nelle acque ipolimniche, non interessate dai processi di produzione e respirazione algale.

Nel decennio considerato i massimi estivi di pH sono risultati compresi tra 8,3 e 8,5, con un massimo di 8,7-8,8 nell'estate 2007 ed un minimo di 8,2 nel 2008. I minimi dei mesi invernali si sono mantenuti attorno a 7,3-7,4 (Fig. 5.2).

L'ossigeno in superficie ha raggiunto valori massimi di 120 % come percentuale di saturazione nell'estate del 2003, in corrispondenza di mesi particolarmente caldi, mentre nel 2008 non ha presentato valori al di fuori della norma, rimanendo al di sotto del 105% nei mesi estivi. Il valore minimo del Febbraio 1999 visibile in figura 5.2 (62 %) è da attribuire alla circolazione dell'inverno 1998-99.

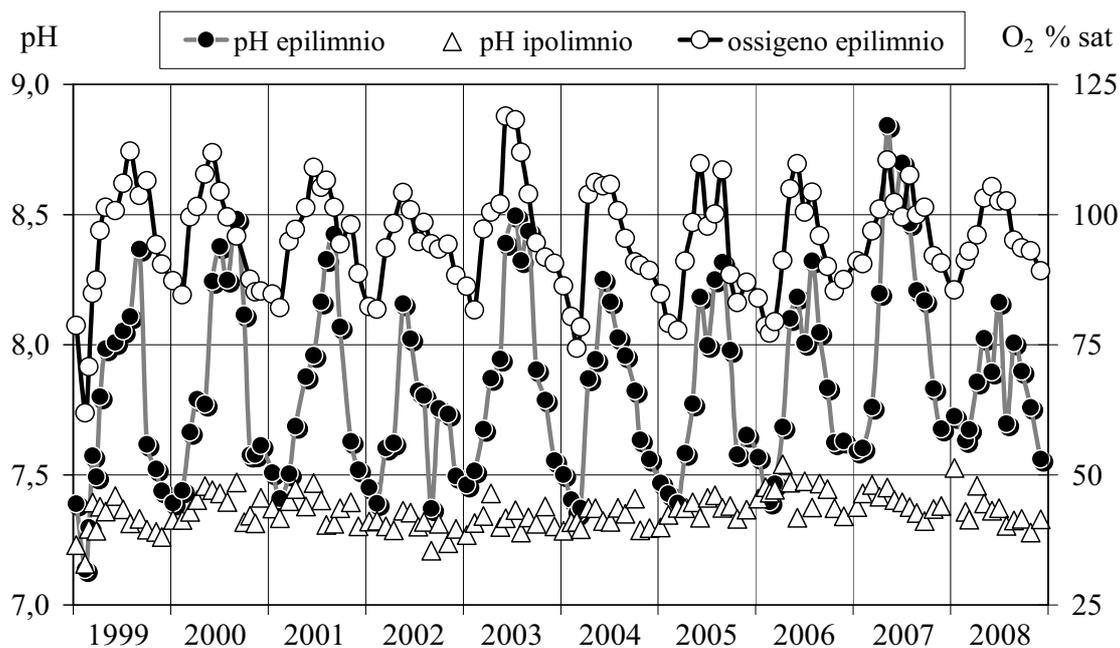


Fig. 5.2. Lago Maggiore nel periodo 1999-2008: pH nello strato epilimnico (0-25 m) ed ipolimnico (25-370 m) e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

Anche il pH in epilimnio nel corso del 2008 si è mantenuto in linea con i valori normalmente riscontrati nelle acque lacustri, variando tra il massimo di 8,16 in Giugno ed i minimi invernali di 7,5-7,6.

Dalla figura 5.2 si può osservare come i valori di pH in epilimnio, sia i minimi invernali che i massimi estivi, abbiano mostrato una tendenza all'aumento nell'ultimo decennio, culminata nei valori massimi del 2007. Questo trend potrebbe essere dovuto ad un progressivo riscaldamento delle acque lacustri, e quindi ad un'intensificazione dei processi di produzione e respirazione. Nel 2008 i minimi invernali hanno confermato questa tendenza, non scendendo al di sotto di 7,6 unità, mentre i massimi estivi non hanno invece raggiunto i livelli degli anni precedenti. L'ipotesi del riscaldamento non trova inoltre riscontro nell'andamento dei valori di ossigeno, che si sono mantenuti pressoché costanti. Ulteriori dati, ed in particolare il continuo aggiornamento delle serie storiche, si rendono quindi necessari per valutare gli eventuali effetti del riscaldamento climatico sulle acque lacustri.

Gli andamenti di alcalinità e conducibilità, in epilimnio e nell'intero lago, nel periodo 1999-2008 sono riportati nelle figure 5.3 e 5.4. Come già accaduto nel 2007,

anche nel 2008 l'andamento stagionale di queste variabili chimiche non ha presentato anomalie, come accaduto invece negli anni 2003, 2005 ed in parte nel 2006.

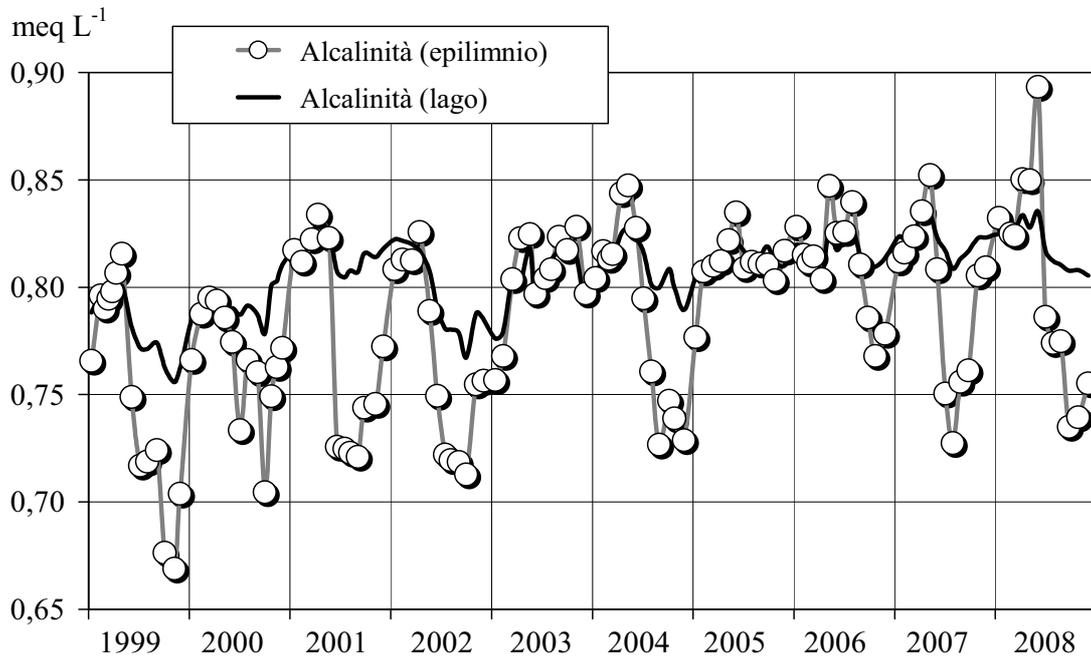


Fig. 5.3. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1999-2008 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

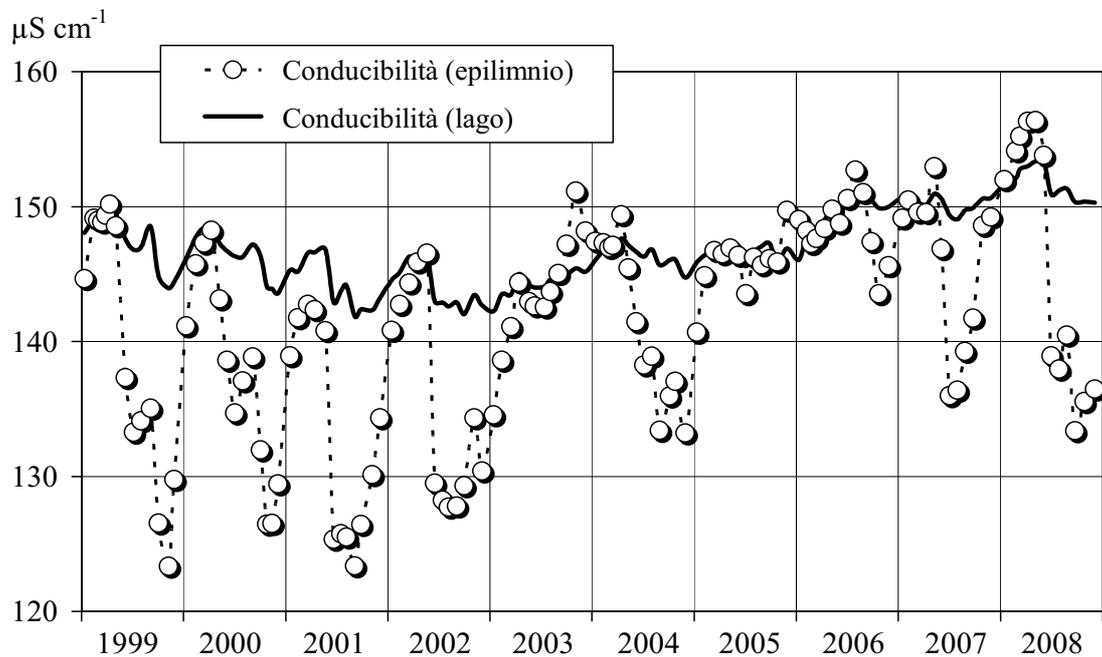


Fig. 5.4. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1999-2008 dei valori medi ponderati sui volumi di conducibilità a 20 °C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

Nel corso del 2008 si è osservato l'andamento tipico che caratterizza le acque lacustri e che consiste in un picco di alcalinità e conducibilità nei mesi primaverili, seguito da un calo nel periodo estivo, a seguito del fenomeno della precipitazione del carbonato di calcio. Questo andamento si era verificato con regolarità dal 1999 al 2002, nel 2004, e nuovamente negli ultimi due anni, mentre era stato solo parziale nel 2006 e del tutto assente negli anni 2003 e 2005. L'andamento anomalo di questi due anni può essere spiegato dalle condizioni meteo-climatiche, con temperature estive elevate e precipitazioni estremamente ridotte o addirittura assenti nei mesi invernali e primaverili.

Il 2008 è stato caratterizzato da un massimo di alcalinità ad inizio Giugno ($0,86 \text{ meq l}^{-1}$) che non ha precedenti nel decennio considerato. I massimi di conducibilità sono stati invece rilevati ad Aprile-Maggio ($156 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C), seguiti dai minimi dei mesi estivi ($133\text{-}139 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C), con un andamento simile a quello del 2007 ma con valori estremi più accentuati.

I dati del 2008 confermano quindi una tendenza all'aumento dei valori di conducibilità e alcalinità, già evidenziata dalle indagini precedenti e visibile soprattutto a partire dal 2003 (da $0,77\text{-}0,78$ a $0,82\text{-}0,83 \text{ meq l}^{-1}$ e da $145\text{-}146$ a $152\text{-}153 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C come valori medi a lago; Figg 5.3 e 5.4).

5.1.2. Composti dell'azoto

La figura 5.5 mostra i valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo di azoto nitrico e totale nella stazione di Ghiffa dal 1999 al 2008. In quest'ultimo anno le concentrazioni sono risultate in linea con quelle normalmente rilevate nelle acque del lago, ed hanno confermato una lieve tendenza all'aumento dei valori di azoto nitrico (da $0,80\text{-}0,82$ alla fine degli anni '90 a $0,86\text{-}0,88$ negli ultimi anni). Questa tendenza può essere spiegata dall'aumento degli apporti di nitrati a lago dalle acque dei tributari, a sua volta dovuto ai carichi atmosferici di azoto che risultano particolarmente elevati nel bacino imbrifero del Lago Maggiore. A causa della collocazione geografica, a nord delle principali sorgenti di emissione collocate in Pianura Padana, quest'area è infatti soggetta alla rideposizione di inquinanti atmosferici trasportati con le masse d'aria, in particolare di composti dell'azoto. Questi apporti elevati determinano una progressiva saturazione di azoto dei suoli nei bacini imbriferi, con rilascio di nitrati alle acque superficiali (Rogora *et al.*, 2006). Per l'azoto totale risulta più difficile individuare un'eventuale trend a causa dei valori più dispersi rispetto a quelli dei nitrati (Fig. 5.5).

Le concentrazioni medie di azoto nitrico ed azoto totale nel 2008 sono state comprese tra $0,83 \text{ mg N l}^{-1}$ e $0,88 \text{ mg N l}^{-1}$ e tra $0,92$ e $0,98 \text{ mg N l}^{-1}$, rispettivamente, e non hanno mostrato una stagionalità definita (Fig. 5.5).

Quasi il 90 % del contenuto di azoto totale delle acque è rappresentato dall'azoto nitrico, mentre la parte restante è rappresentata dall'azoto organico, le cui concentrazioni sono riportate in figura 5.6, insieme a quelle di azoto nitrico e totale nello strato epilimnico (0-25 m).

Gli andamenti di queste variabili nel corso del 2008 non hanno presentato scostamenti significativi rispetto agli anni precedenti. L'azoto organico, in particolare, è risultato compreso tra $0,09$ e $0,18 \text{ mg N l}^{-1}$. Le concentrazioni di azoto nitrico e totale nelle acque superficiali hanno mostrato il tipico andamento stagionale, con massimi tardo invernali ($0,85$ e $0,99 \text{ mg N l}^{-1}$, rispettivamente), seguiti da un calo dei valori nel periodo estivo ($0,71$ e $0,86 \text{ mg N l}^{-1}$ ad Agosto) a causa del consumo di nitrati da parte delle alghe fitoplanctoniche. Questo andamento si è ripetuto in modo abbastanza

regolare in tutti gli anni del periodo 1999-2008, in cui l'unica differenza è stata rappresentata dai minimi estivi di nitrati, scesi in alcuni anni a circa $0,60 \text{ mg N l}^{-1}$ (Fig. 5.6).

Dal confronto con la stazione di Lesa emerge come le concentrazioni sia di azoto nitrico che di azoto totale sono risultate inferiori rispetto a quelle della stazione di massima profondità, sia a Marzo ($0,86$ e $0,93 \text{ mg N l}^{-1}$ a Lesa rispetto a $0,88$ e $0,94 \text{ mg N l}^{-1}$ a Ghiffa) che a Settembre ($0,79$ e $0,91 \text{ mg N l}^{-1}$ a Lesa e $0,85$ e $0,96 \text{ mg N l}^{-1}$ a Ghiffa).

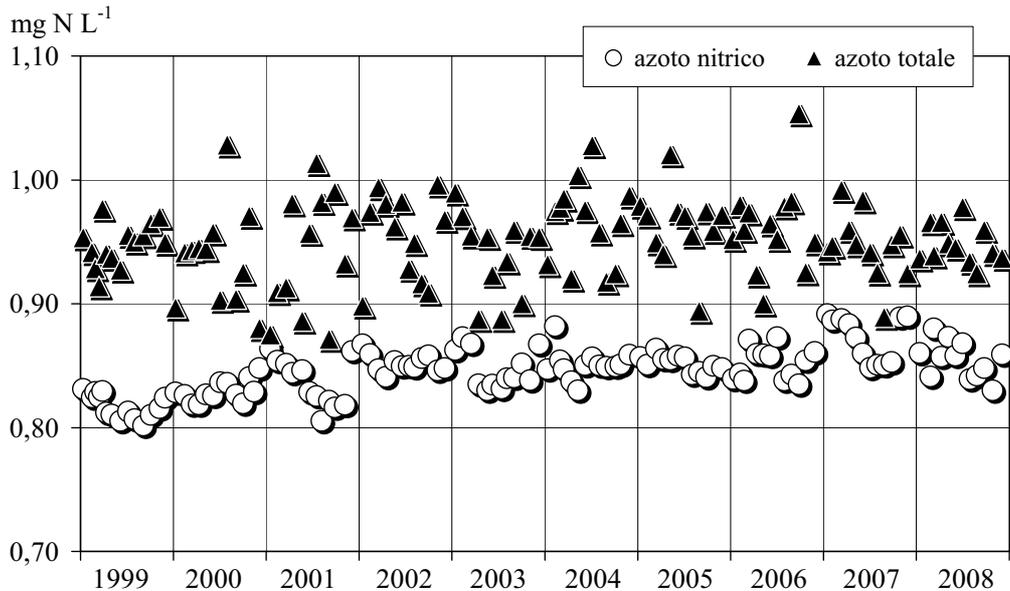


Fig. 5.5. Lago Maggiore: concentrazioni di azoto totale e nitrico nel decennio 1999-2008 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

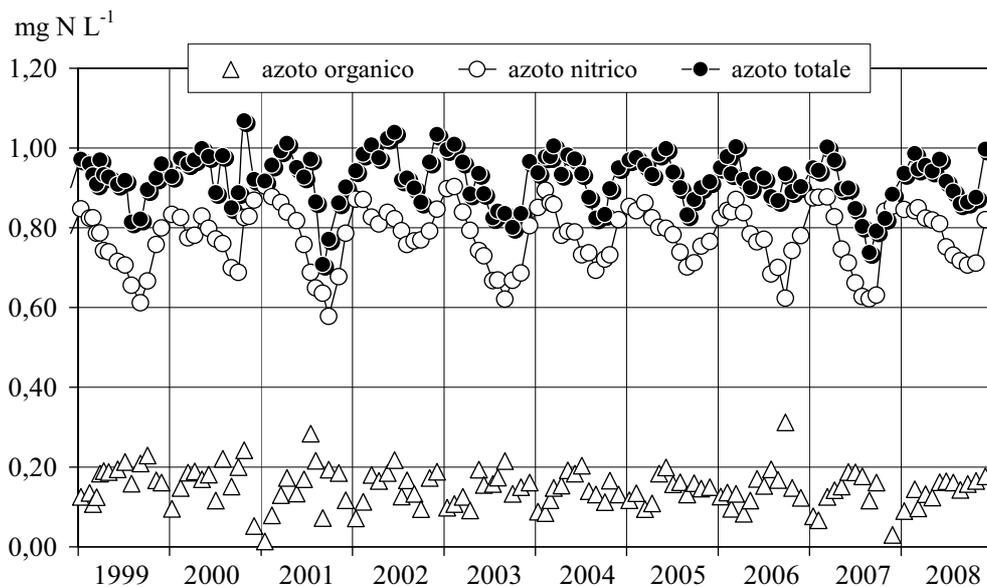


Fig. 5.6. Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel decennio 1999-2008 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

L'azoto nitroso è stato determinato nei campionamenti di Marzo e Settembre e, come già riscontrato nelle precedenti indagini, è pressoché assente nelle acque lacustri: nel 2008 le concentrazioni misurate sono state pari a 1 e 4 $\mu\text{g N l}^{-1}$ nelle acque epilimniche rispettivamente a Marzo e Settembre. Anche le concentrazioni medie sulla colonna d'acqua di azoto ammoniacale si sono mantenute al di sotto dei 5 $\mu\text{g N l}^{-1}$ nel corso di tutto il 2008. Valori leggermente più elevati, tra 10 e 12 $\mu\text{g N l}^{-1}$ sono stati rilevati nelle acque epilimniche nei mesi estivi.

A Lesa le concentrazioni medie sono state pari a 3 e 5 $\mu\text{g N l}^{-1}$ a Marzo e Settembre rispettivamente, con massimi di 15 e 17 $\mu\text{g N l}^{-1}$ a 0 m in Marzo ed a 20 m di profondità a Settembre.

5.1.3. Composti del fosforo

La figura 5.7 riporta le concentrazioni medie sulla colonna d'acqua di fosforo reattivo e totale misurate nella stazione di Ghiffa nel decennio 1999-2008. Nell'ultimo anno le concentrazioni medie annue sono state pari a 7 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$ rispettivamente sull'intera colonna d'acqua, 2 e 6 $\mu\text{g P l}^{-1}$ nelle acque epilimniche e 8 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$ in ipolimnio, valori pressoché identici a quelli del 2007. Rispetto ai valori dell'ultimo decennio, quelli del 2008 confermano un'ulteriore tendenza alla diminuzione dei valori osservata a partire dal 2006, da quando il fosforo totale non ha più superato gli 11 $\mu\text{g P l}^{-1}$ in nessun mese dell'anno. Anche le concentrazioni di fosforo reattivo si sono mantenute al di sotto dei 9 $\mu\text{g P l}^{-1}$ per tutto il 2008, scendendo a 5-6 $\mu\text{g P l}^{-1}$ in Agosto.

A Lesa, nella parte meridionale del lago, si sono misurate concentrazioni di fosforo simili a quelle della stazione di massima profondità: fosforo reattivo e totale sono stati pari rispettivamente a 6 e 9 $\mu\text{g P l}^{-1}$ a Marzo e 3 e 8 $\mu\text{g P l}^{-1}$ a Settembre.

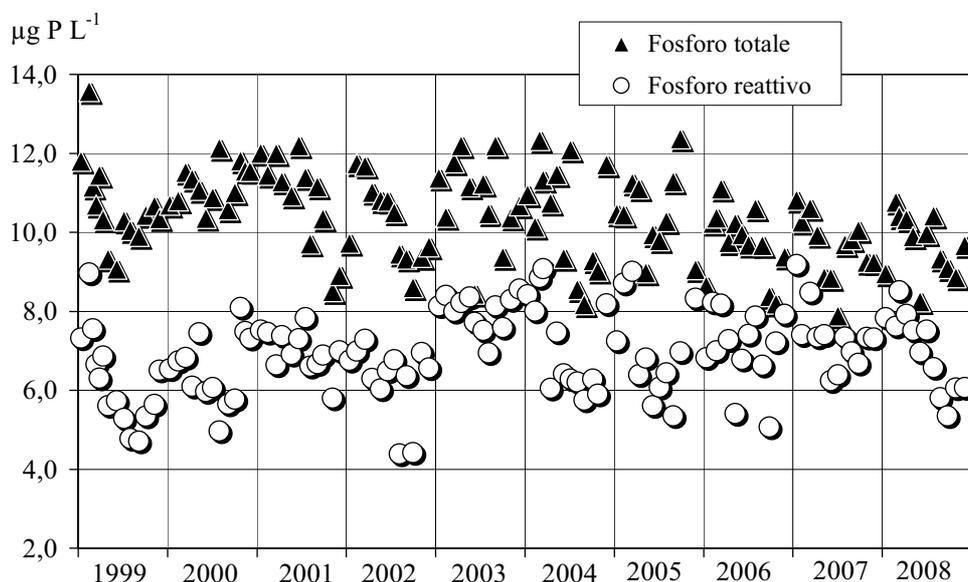


Fig. 5.7. Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel decennio 1999-2008 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

Nel complesso il contenuto di fosforo totale delle acque nell'ultimo decennio, compreso tra 8 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$, conferma una condizione di oligotrofia delle acque lacustri,

raggiunta a partire dagli anni '90. Un ulteriore miglioramento qualitativo delle acque, perlomeno per quanto riguarda la zona pelagica, sembra essersi verificato nell'ultimo triennio. Questo giudizio positivo non è però estendibile anche all'areale litorale, come dimostrano gli episodi estivi di fioriture algali, frequenti soprattutto in corrispondenza dell'immissione a lago di acque tributarie con elevato carico di nutrienti o di scarichi non sufficientemente depurati.

5.1.4. Ossigeno disciolto

L'andamento del contenuto medio e della saturazione di ossigeno, rispettivamente negli strati 200-370 m e 25-370 m, dal 1999 al 2008 è riportato nelle figure 5.8 e 5.9.

Nel 2008 le concentrazioni di ossigeno, sia nelle acque epilimniche che al di sotto dei 200 m di profondità, hanno presentato valori inferiori rispetto all'ultimo triennio (2005-2007), riportandosi su valori simili a quelli del periodo 1999-2004 (Fig. 5.9). In particolare il contenuto medio di ossigeno nelle acque profonde, tra -200 e -370 metri, che rimangono generalmente segregate dalla massa d'acqua sovrastante, era andato progressivamente aumentando a partire dal 2002, raggiungendo nel 2006 concentrazioni comprese tra 8,8 e 9,7 mg O₂ l⁻¹ (80 % come percentuale di saturazione), superiori anche a quelli registrati dopo la piena circolazione del 1999. Questa tendenza positiva si è interrotta nel 2007 e nel 2008 i valori sono scesi ulteriormente, fino a 7,3-7,8 mg O₂ l⁻¹ (60-65 % come percentuale di saturazione; Fig. 5.8). Anche considerando l'intero ipolimnio, cioè lo strato compreso tra -25 e -370 m, si conferma questa tendenza alla diminuzione dei valori di ossigeno nel biennio 2007-2008, anche se in misura meno accentuata rispetto allo strato profondo. Il contenuto medio di ossigeno nel 2008 è stato compreso tra 8,1 mg O₂ l⁻¹ nei mesi autunnali e 8,7 mg O₂ l⁻¹ a giugno (Fig. 5.9).

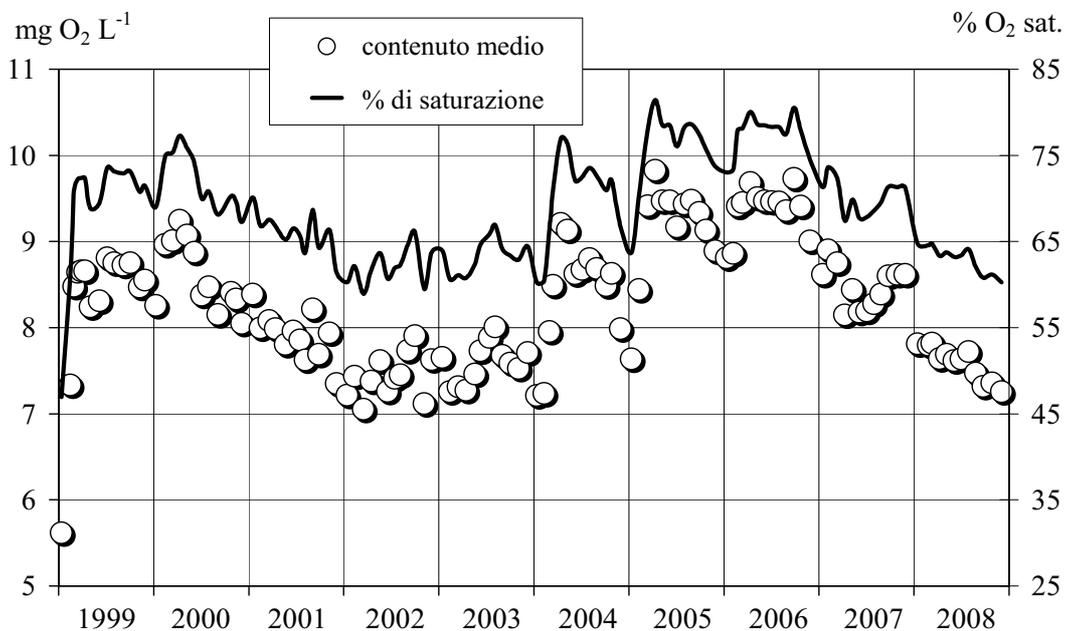


Fig. 5.8. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1999-2008 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 200-370 m.

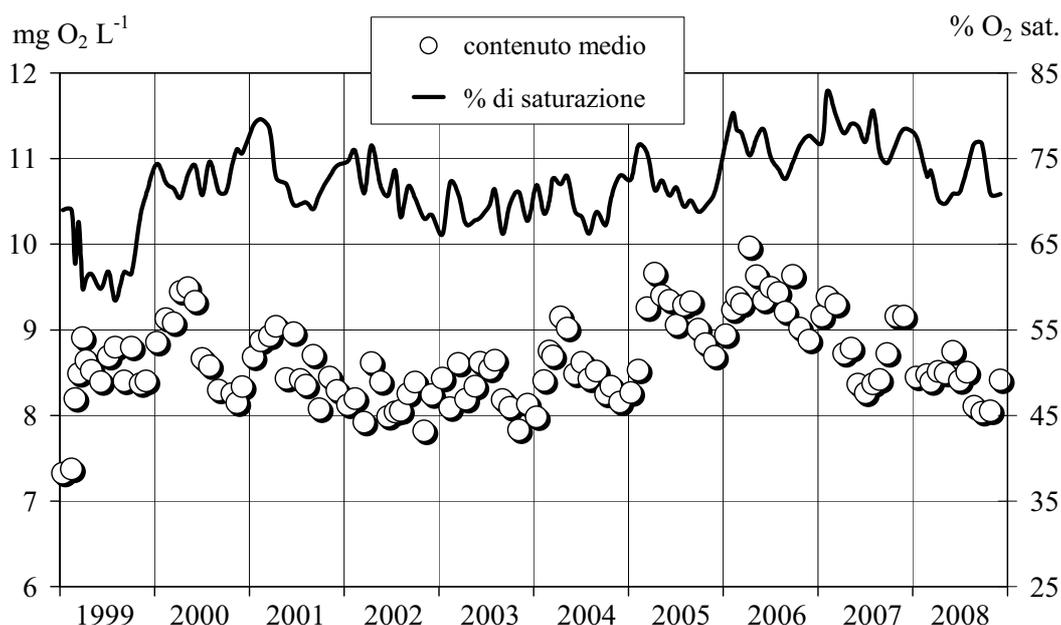


Fig. 5.9. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1999-2008 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 25-370 m.

Come già nel 2007, anche in quest'ultimo anno la causa del basso contenuto di ossigeno è da ricercarsi nella limitata circolazione verticale delle acque che non ha interessato gli strati profondi, impedendo così il loro arricchimento in ossigeno.

Nonostante ciò, si può osservare come i valori di ossigeno nell'ultimo decennio si siano comunque mantenuti al di sopra dei 7,0 mg O₂ l⁻¹ (60 % di saturazione) nello strato 200-370 m (Fig. 5.8) e di 8,0 mg O₂ l⁻¹ (70 % di saturazione) nell'intero ipolimnio (Fig. 5.9), confermando quindi un buon livello di ossigenazione delle acque profonde.

Nella stazione di Lesa, nello strato compreso tra 25 e 100 m di profondità, il contenuto di ossigeno è pari a 9,8 e 8,3 mg O₂ l⁻¹ (83 e 76 % come percentuale di saturazione), rispettivamente a Marzo e Settembre.

5.1.5. Silicati reattivi

Nel 2008 si sono misurate concentrazioni medie annue di silicati reattivi pari a 0,86, 1,60 e 1,50 mg Si l⁻¹, rispettivamente in epilimnio, ipolimnio e sull'intera colonna d'acqua, valori del tutto simili a quelli del 2007. La figura 5.10 riporta l'andamento dei valori di silicati in epilimnio e sull'intera colonna d'acqua nell'ultimo decennio. Come si può osservare, nel 2008 è proseguita la tendenza ad una lieve diminuzione dei valori medi a lago, iniziata a partire dal 2006. A differenza del 2007, i valori non sono scesi a livelli prossimi allo zero nemmeno nei mesi estivi, mantenendosi invece al di sopra di 0,3 mg Si l⁻¹. I massimi nei mesi invernali sono stati pari a 1,2-1,3 mg Si l⁻¹, comunque inferiori rispetto a quelli registrati negli anni precedenti (Fig. 5.10).

L'aumento delle concentrazioni di silicati che era stato messo in evidenza nelle indagini precedenti non trova quindi conferma nei dati dell'ultimo triennio.

Un incremento della riserva lacustre di materiali silicei a seguito delle piene degli anni 2000 e 2002 è stato verosimilmente l'evento che ha determinato il temporaneo aumento di silicati nelle acque, come emerge dal trend in figura 5.10.

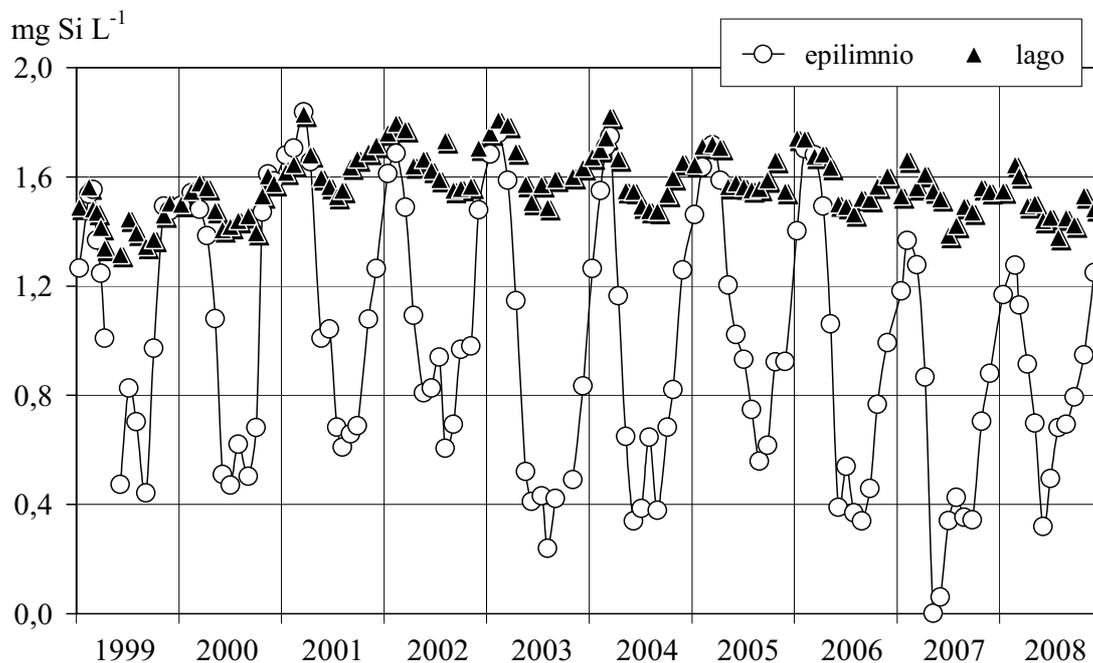


Fig. 5.10. Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 1999-2008.

Nella stazione di Lesa le concentrazioni medie sulla colonna di silicati reattivi nei campionamenti di Marzo e Settembre sono state pari rispettivamente a 1,31 e 1,23 mg Si l⁻¹, non discostandosi quindi dai valori della stazione di massima profondità.

BIBLIOGRAFIA

Rogora, M., R. Mosello, A. Calderoni & A. Barbieri. 2006. Nitrogen budget of a subalpine lake in North-Western Italy: the role of atmospheric input in the upward trend of nitrogen concentrations. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29: 2027-2030.

5.2. Apporti chimici dai tributari

5.2.1. Caratteristiche chimiche e chimico fisiche

Anche nel 2008 sono proseguite le indagini sulle caratteristiche chimiche dei 14 principali tributari del Lago Maggiore e del Ticino emissario. I campionamenti sono stati eseguiti mensilmente, ed i valori medi annui delle variabili principali sono riportati in tabella 5.2.

Tab. 5.2. Valori medi annuali delle principali variabili chimiche e chimico-fisiche sui tributari e sull'emissario del Lago Maggiore campionati nel 2008.

	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)	8,09	5,15	599	0,33	2,92	0,26	3,52	225	3,4
Bardello	(BAR)	8,09	3,14	372	0,22	1,85	0,41	2,48	266	1,7
Tresa (a)	(TRE)	8,15	1,80	206	0,08	1,08	0,11	1,28	31	0,9
Giona	(GIO)	7,50	0,36	79	0,02	1,18	0,01	1,21	29	4,1
Tributari piemontesi										
Veveva	(VEV)	7,79	1,51	215	0,03	2,76	0,09	2,88	34	5,6
Strona	(STR)	7,48	0,43	97	0,03	1,30	0,05	1,39	23	3,0
Toce Ossola	(TOC)	7,47	0,79	176	0,05	0,71	0,03	0,79	21	2,5
San Giovanni	(SGI)	7,36	0,25	58	0,03	1,24	0,05	1,32	21	4,3
Erno	(ERN)	7,43	0,33	123	0,01	1,58	0,04	1,62	20	4,3
San Bernardino	(SBE)	7,39	0,25	50	0,01	1,01	0,03	1,06	7	2,9
Cannobino	(CAN)	7,27	0,21	47	0,01	0,59	0,04	0,64	8	3,5
Tributari svizzeri										
Maggia	(MAG)	7,51	0,36	59	0,01	0,73	0,03	0,77	7	2,9
Ticino Immissario	(TIM)	7,73	0,95	227	0,01	0,84	0,02	0,88	9	2,5
Verzasca	(VER)	6,98	0,33	57	0,01	0,85	0,05	0,91	8	2,8
Emissario										
Ticino Emissario	(TEM)	8,06	0,82	145	0,02	0,75	0,06	0,83	12	0,6

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

I dati del 2008 confermano quanto già descritto nei precedenti rapporti relativamente al chimismo di base dei corsi d'acqua, rappresentato dai valori di pH, conducibilità e alcalinità. La maggior parte dei tributari campionati hanno un bacino formato prevalentemente da rocce ignee (Cannobino, Verzasca, Maggia, S. Giovanni, S. Bernardino, Strona, Erno e Giona) e le loro acque risultano quindi caratterizzate da bassi valori medi di pH, alcalinità totale e conducibilità: i valori di queste variabili nel 2008 sono stati compresi tra 7,0 e 7,5 unità di pH, 0,2 e 0,4 meq l⁻¹ e 47 e 123 μS cm⁻¹ a 20 °C rispettivamente. I tributari con bacino in gran parte costituito da rocce sedimentarie, più facilmente erodibili (Veveva, Tresa), si caratterizzano per valori più elevati delle stesse variabili (7,8-8,2 unità di pH, 1,5-1,8 meq l⁻¹ e 206-215 μS cm⁻¹). Il Toce (bacino Ossola) ed il Ticino immissario presentano valori intermedi sia di pH (7,5 e 7,7) che di alcalinità (0,8 e 1,0 meq l⁻¹), mentre i valori massimi di alcalinità e conducibilità si riscontrano nelle acque di Bardello e Boesio (3,1 e 5,2 meq l⁻¹ e 372 e 599 μS cm⁻¹ rispettivamente), a causa degli scarichi che interessano questi due corsi d'acqua e che presentano un elevato contenuto di bicarbonato e altri sali.

Nel caso di Ticino, Tresa e Bardello, trattandosi di acque emissarie rispettivamente del Lago Maggiore, del Lago di Lugano e del Lago di Varese, i valori di pH e le loro variazioni stagionali sono influenzate, oltre che dalle caratteristiche litologiche dei bacini, anche dai processi che avvengono a lago. L'andamento dei valori mensili di pH in questi tre corsi d'acqua nell'ultimo quinquennio è riportato in figura 5.11, dove si può osservare come le variazioni interannuali siano più accentuate nel caso del Ticino emissario, con massimi estivi e minimi invernali simili a quelli rilevati nelle acque epilimniche del Lago Maggiore, rispetto al Tresa. Anche in quest'ultimo corso d'acqua, negli ultimi tre anni si può comunque osservare come i valori di pH presentino una stagionalità più evidente e più simile a quella riscontrata nelle acque del Lugano. Nel Bardello invece i valori di pH risentono fortemente della presenza di scarichi non sufficientemente depurati e non mostrano quindi variazioni accentuate, oscillando tra 7,8 e 8,3 unità di pH (Fig. 5.11).

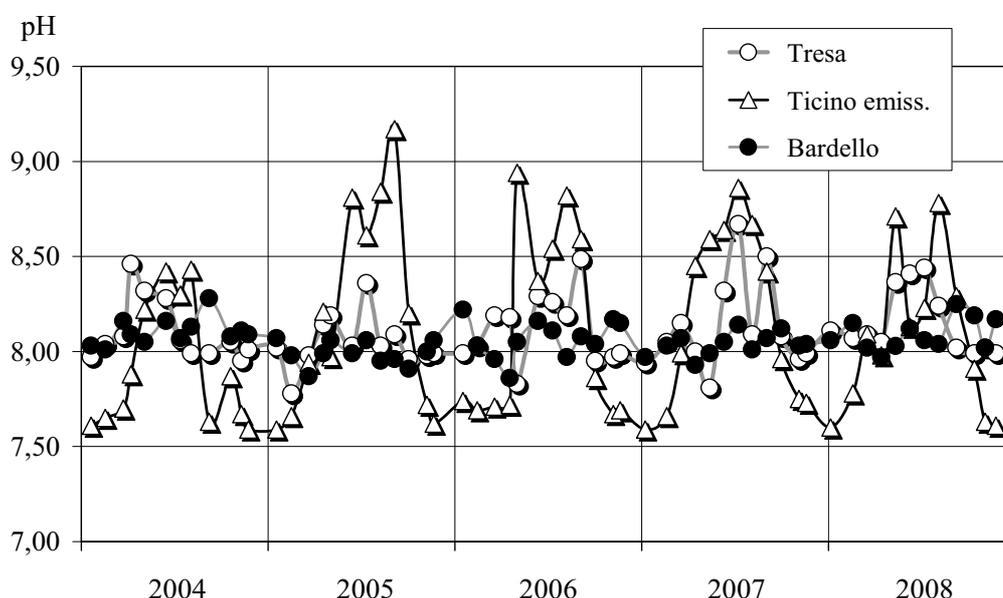


Fig. 5.11. Valori di pH riscontrati nel quinquennio 2004-2008 nelle acque emissarie dei laghi di Lugano (Tresa), Varese (Bardello) e Maggiore (Ticino Emissario).

Nella figura 5.12 vengono messi a confronto i valori medi annui di pH e alcalinità dei tributari campionati nel 2008 con quelli del quinquennio precedente (2003-2007). Come si può osservare, nel 2008 si sono registrati valori sia di pH che di alcalinità leggermente inferiori a quelli degli anni precedenti pressoché in tutti i corsi d'acqua. La causa è da ricercarsi nelle maggiori precipitazioni che hanno caratterizzato il 2008 e quindi in un effetto di diluizione delle acque dei torrenti e dei soluti in esse presenti. Solo nei torrenti con i valori più elevati di pH (Tresa, Bardello e Boesio) i valori del 2008 sono stati leggermente superiori o identici a quelli del quinquennio 2003-2007 (Fig. 5.12). I valori di alcalinità sono invece diminuiti nel 2008 anche in questi corsi d'acqua, in modo più evidente nel Bardello (5,15 rispetto a 5,74 meq l⁻¹). Questo risultato contrasta con quanto osservato negli anni precedenti e descritto nei precedenti rapporti, cioè una progressiva tendenza all'aumento dei valori di alcalinità, che potrebbe essere attribuita ad una maggior concentrazione di soluti dovuta alle scarse

precipitazioni e quindi alle portate ridotte. Il 2008 ha visto un arresto in questa tendenza perché, come già osservato, è stato caratterizzato da precipitazioni abbondanti, soprattutto nei mesi autunnali, e quindi da un aumento delle portate dei corsi d'acqua rispetto agli anni precedenti.

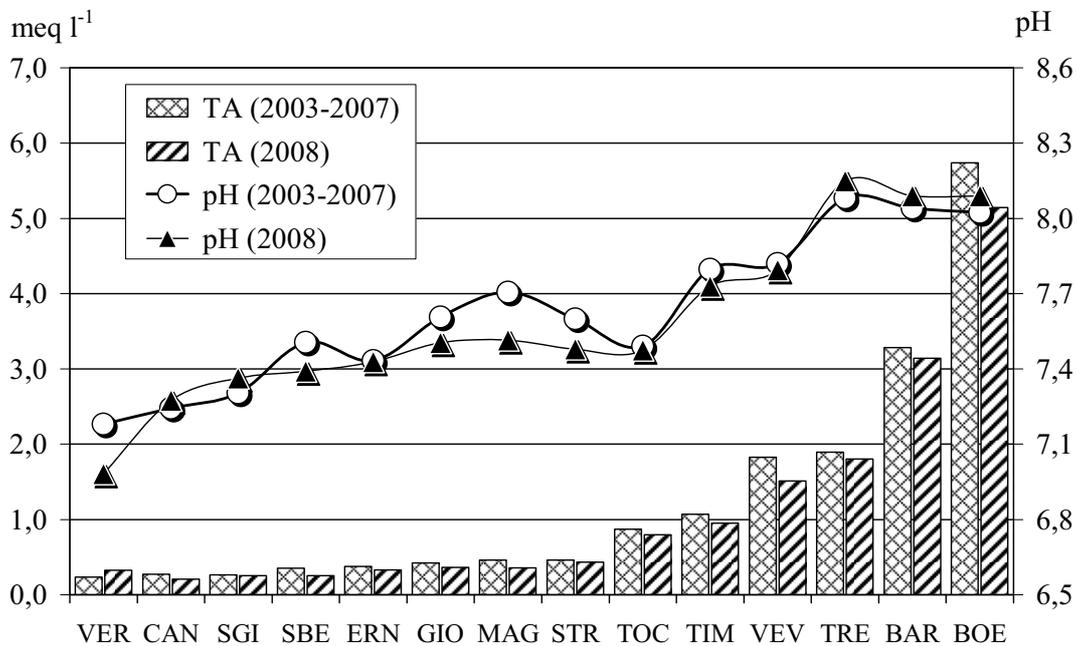


Fig. 5.12. Tributari del Lago Maggiore: valori medi annuali di pH e alcalinità totale relativi al 2008 a confronto con le medie del quinquennio precedente (2003-2007).

I torrenti Boesio e Bardello sono i due corsi d'acqua caratterizzati dal peggior livello qualitativo, come dimostrano le concentrazioni di fosforo totale (rispettivamente 225 e 266 $\mu\text{g P l}^{-1}$ come valori medi annui). Lo stato di compromissione delle acque è confermato dai livelli di azoto ammoniacale (0,33 e 0,22 mg N l^{-1}), organico (0,26 e 0,41 mg N l^{-1}) e totale (3,52 e 2,48 mg N l^{-1} ; Tab. 5.2 e Fig. 5.13). Confrontando questi dati con quelli del 2007 si evidenzia però un miglioramento per entrambi i tributari: in particolare, le concentrazioni di fosforo nel 2008 si sono pressoché dimezzate rispetto all'anno precedente. Una diminuzione sostanziale è stata osservata anche per l'azoto organico, soprattutto nel Boesio, dove le concentrazioni medie annue sono passate da 1,17 a 0,26 mg N l^{-1} .

Osservando i dati relativi all'ultimo decennio (Fig. 5.14), si evidenzia però come la diminuzione delle concentrazioni osservata nel Bardello nel 2008 non sia rappresentativa di una tendenza al miglioramento, ma probabilmente imputabile alle sole condizioni idrologiche, cioè ad una maggior diluizione degli apporti grazie a portate più elevate rispetto al 2007. Infatti, pur presentando oscillazioni marcate da un anno all'altro, i livelli sia di fosforo totale che di azoto ammoniacale ed organico rimangono troppo elevati. La situazione di questo corso d'acqua, così come quella del Torrente Boesio, è quindi tale da indicare la presenza costante di apporti di reflui civili e/o industriali scarsamente depurati.

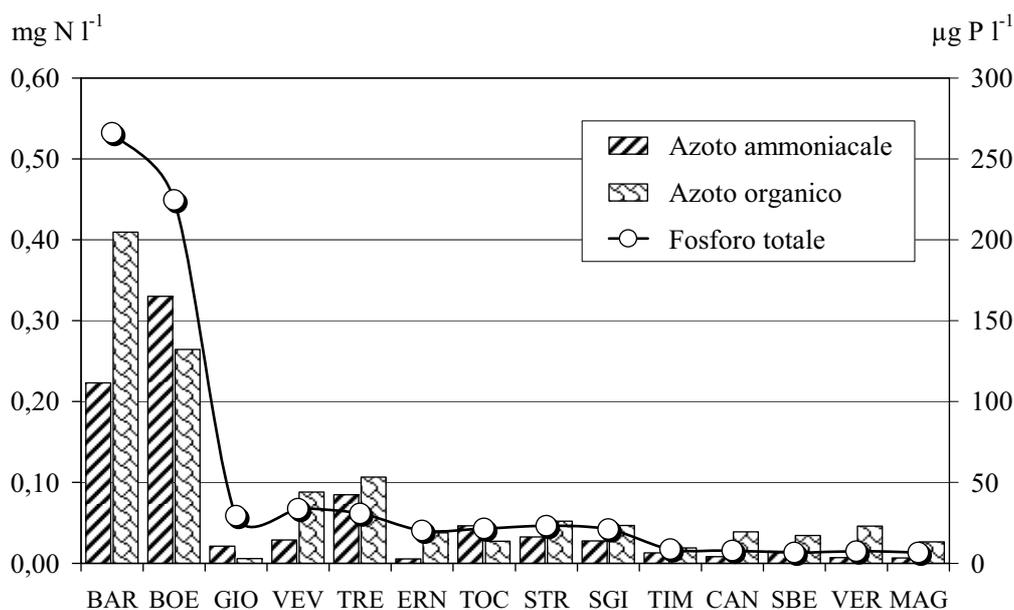


Fig. 5.13. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e d'azoto ammoniacale ed organico misurate nel 2008 sui principali tributari del Lago Maggiore.

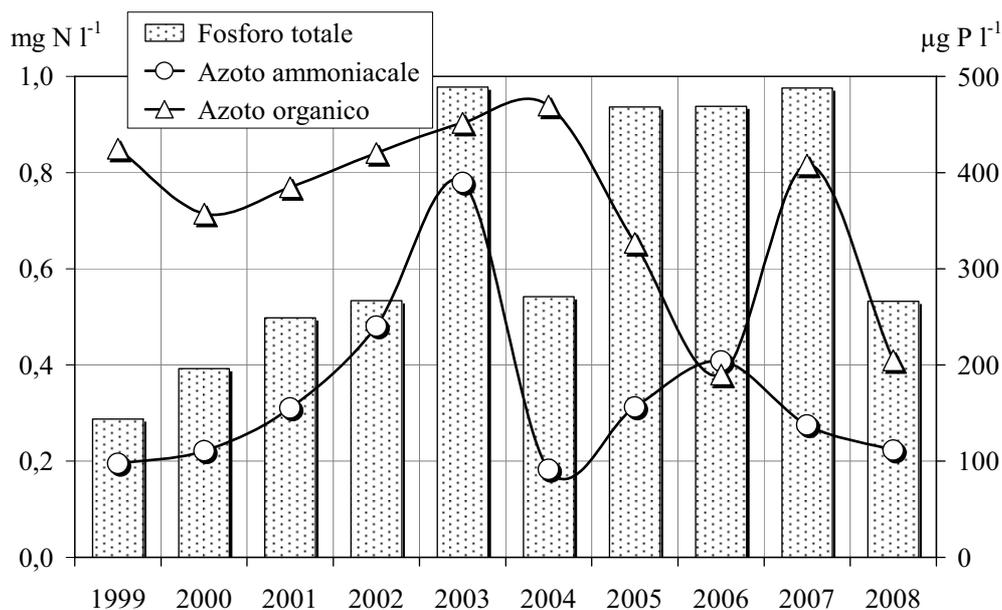


Fig. 5.14. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e di azoto ammoniacale ed organico misurate dal 1999 al 2008 alla foce del Torrente Bardello.

Negli altri tributari le concentrazioni di fosforo totale nel 2008 sono risultate inferiori a $10 \mu\text{g P l}^{-1}$ in 5 corsi d'acqua (Ticino immissario, Cannobino, S. Bernardino, Verzasca, Maggia), comprese tra 20 e $25 \mu\text{g P l}^{-1}$ in 4 corsi d'acqua (Erno, Toce, Strona, S. Giovanni), e tra 29 e $34 \mu\text{g P l}^{-1}$ in 3 corsi d'acqua (Giona, Vevera, Tresa; Fig. 5.15). I livelli di fosforo totale rispetto al 2007 sono diminuiti o rimasti invariati pressoché in tutti i corsi d'acqua, con l'eccezione del S. Giovanni in cui si è avuto un incremento dei valori medi da 10 a $21 \mu\text{g P l}^{-1}$.

Nel complesso i livelli di fosforo riscontrati nella maggior parte dei tributari sono compatibili con l'obiettivo di qualità da rispettare per il mantenimento dello stato oligotrofo delle acque lacustri. Anche considerando i livelli di azoto ammoniacale ed organico, solo Vevera e Tresa presentano un moderato stato di compromissione, con concentrazioni medie pari rispettivamente a 0,03 e 0,08 mg N l⁻¹ per l'azoto ammoniacale e 0,09 e 0,11 mg N l⁻¹ per l'azoto organico. Questa situazione è imputabile alla presenza nei bacini drenanti di scarichi non sufficientemente depurati. In tutti gli altri corsi d'acqua le concentrazioni di entrambe le forme di azoto nel 2008 si sono mantenute al di sotto di 0,05 mg N l⁻¹, confermando quindi un buon livello qualitativo delle acque (Tab. 5.2 e Fig. 5.13).

Dall'analisi delle concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale, azoto organico e fosforo totale, riportate rispettivamente nelle figure 5.16, 5.17 e 5.18, è possibile attribuire un livello qualitativo ottimale agli apporti di nutrienti a lago dalle acque tributarie dell'areale ticinese, medio-buono per quello piemontese, ed infine inaccettabile per quanto riguarda la zona lombarda. La differenza tra le tre aree in termini di concentrazioni medie areali annuali si è mantenuta in tutti gli anni dal 1999 al 2008. Nell'ultimo anno i rapporti tra Canton Ticino, Piemonte e Lombardia sono stati pari a 1,0:3,9:10,7 per l'azoto ammoniacale (Fig. 5.16); 1,0:1,2:3,5 per l'azoto organico (Fig. 5.17); 1,0:2,9:11,4 per il fosforo totale (Fig. 5.18).

Nel 2008 è proseguita la tendenza alla diminuzione dei valori di azoto organico dall'areale piemontese, che sono ormai prossimi a quelli del Canton Ticino, mentre non si segnalano trend in diminuzione o aumento per quanto riguarda i valori di fosforo totale ed azoto ammoniacale.

Considerando i dati dell'ultimo decennio, si può osservare come le concentrazioni medie di azoto ammoniacale ed organico e di fosforo totale negli afflussi complessivi a lago dai tributari siano diminuite nel 2008 rispetto all'anno precedente; per l'azoto organico in particolare è proseguita una tendenza alla diminuzione già evidenziata negli ultimi anni (Fig. 5.17).

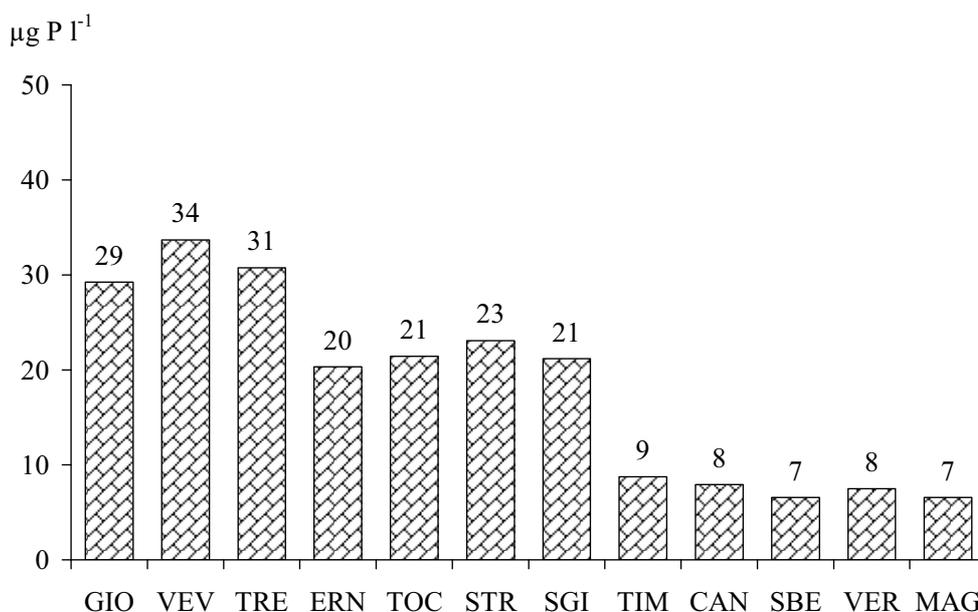


Fig. 5.15. Concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate nel 2008 sui corsi d'acqua campionati ad esclusione di Boesio e Bardello.

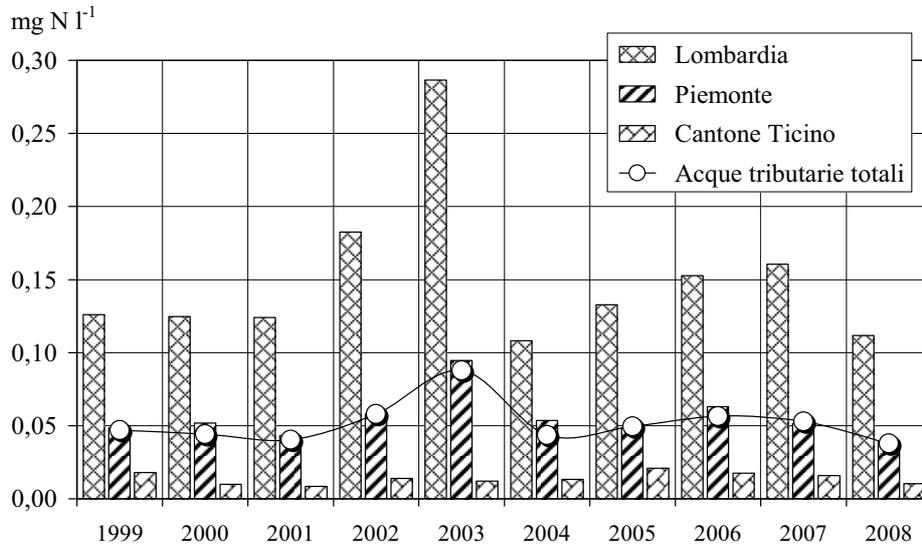


Fig. 5.16. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale nel decennio 1999-2008 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte, Cantone Ticino.

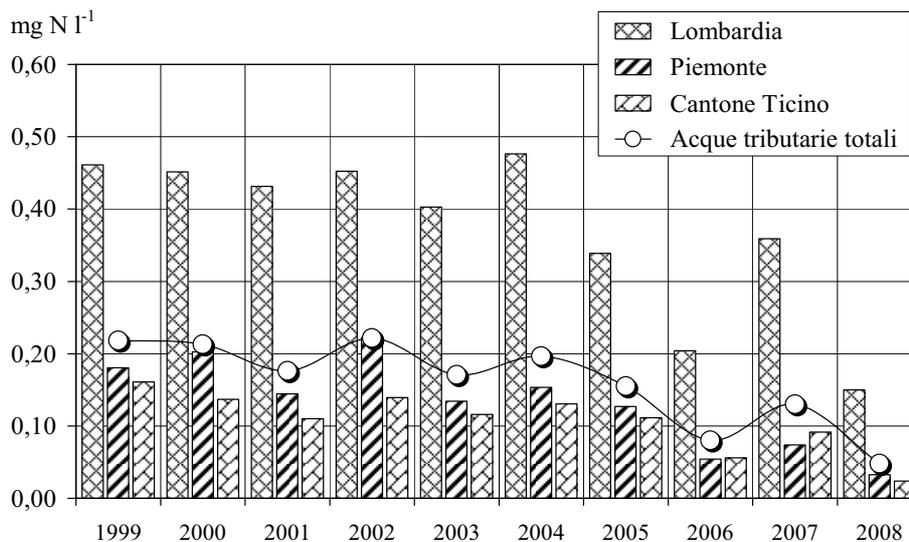


Fig. 5.17. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto organico nel decennio 1999-2008 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

Nella figura 5.19 vengono presi in considerazione anche i dati a partire dal 1978: si evidenzia chiaramente la diminuzione delle concentrazioni medie, sia di fosforo totale che di azoto ammoniacale, negli afflussi totali a lago. Negli ultimi anni in particolare, con l'eccezione di un massimo nel 2003 (0,09 mg N l⁻¹), gli afflussi medi di azoto ammoniacale si sono mantenuti attorno a 0,05 mg N l⁻¹, mentre quelli di fosforo totale dall'inizio degli anni '90 si mantengono compresi tra 20 e 30 µg P l⁻¹ (Fig. 5.19).

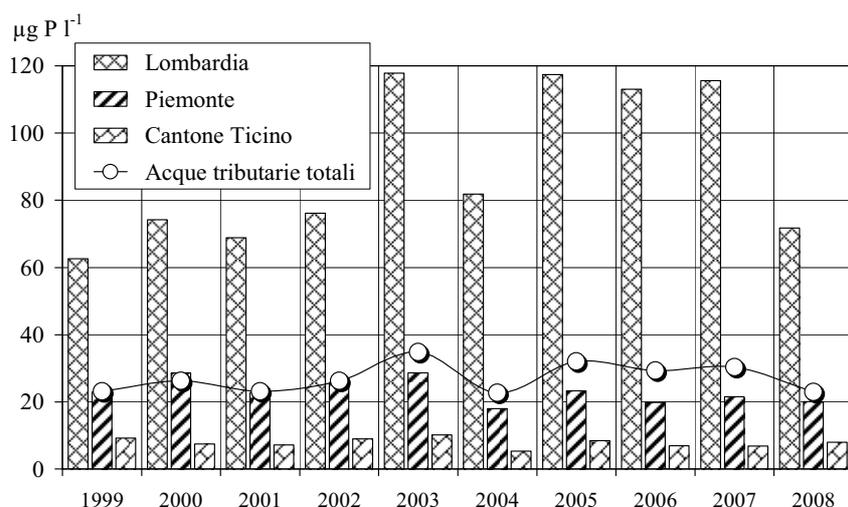


Fig. 5.18. Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di fosforo totale nel decennio 1999-2008 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

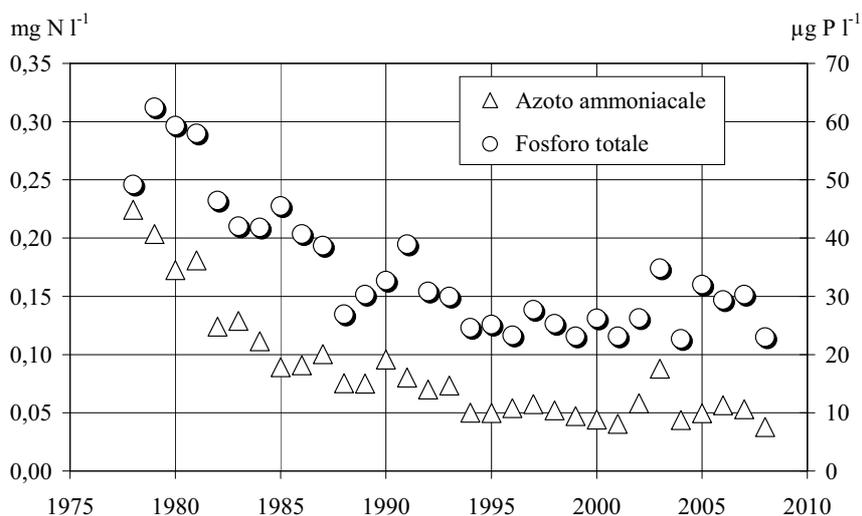


Fig. 5.19. Lago Maggiore. Evoluzione a lungo termine delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale e azoto ammoniacale negli afflussi totali al lago (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

5.2.2. Carichi chimici

Nel 2008 i carichi chimici dei principali nutrienti algali veicolati al Lago Maggiore dai tributari e in uscita attraverso il Ticino emissario sono stati calcolati con le stesse metodologie utilizzate negli anni precedenti. Per il Ticino emissario e 9 corsi d'acqua drenanti complessivamente circa il 70 % del bacino imbrifero (Ticino immissario, Cannobino, San Bernardino, Toce alla chiusura del bacino della Val d'Ossola, Strona, Vevera, Bardello, Boesio, Tresa) i carichi sono stati calcolati dai valori di concentrazione e dai deflussi giornalieri. Per i torrenti Erno e S. Giovanni, non essendo disponibili dati per il 2008 a causa del mancato funzionamento degli strumenti di misura, le portate sono state ricostruite sulla base della serie storica (1978-2007) e dei

dati disponibili per altri corsi d'acqua con andamento stagionale simile. Infine, per i tributari Maggia, Verzasca e Giona, che coprono una porzione di bacino imbrifero pari al 18 % circa, gli apporti sono stati stimati dalla regressione lineare tra i contributi areali e le concentrazioni medie annuali.

Nella tabella 5.3 sono riportati i carichi di azoto ammoniacale, nitrico, organico e totale e di fosforo totale veicolati dai tributari ed in uscita dall'emissario nel biennio 2007-2008.

Gli afflussi meteorici sull'intero bacino imbrifero del Lago Maggiore nel 2008 sono stati pari a 2105 mm, valore decisamente superiore a quelli degli ultimi anni (1342 mm nel 2006 a 1199 mm nel 2007) ed anche alla media storica del periodo 1978-2007 (1644 mm). L'aumento delle portate dei corsi d'acqua, a seguito delle abbondanti precipitazioni, ha fatto sì che gli apporti totali delle varie forme di azoto e fosforo risultassero maggiori nel 2008 rispetto al 2007, con l'eccezione dell'azoto organico (Tab. 5.3). I carichi complessivi veicolati dalle acque tributarie di azoto ammoniacale, nitrico e totale sono passati rispettivamente da 214 a 239 t N a⁻¹, da 4862 a 7532 t N a⁻¹ e da 5775 a 8326 t N a⁻¹, con variazioni percentuali corrispondenti di -11 %, +55 % e +44 %. I carichi di fosforo totale sono passati da 117 t P a⁻¹ a 161 t P a⁻¹, con un aumento percentuale del 38 %. I carichi di azoto organico sono invece diminuiti, passando da 699 a 555 t N a⁻¹ (-21 %).

Tab. 5.3. Lago Maggiore. Apporti annuali (t a⁻¹) di azoto e fosforo dai tributari campionati ed uscite attraverso l'emissario nel biennio 2007-2008.

	N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Ticino Immissario ^(a)	28	37	1412	2103	217	87	1658	2227	12	21
Maggia ^(b)	13	23,6	903	1272	60	95	976	1390	4,3	17,5
Verzasca ^(b)	3,5	5,1	231	322	16	25	250	352	1,2	4,1
Cannobino ^(a)	2,9	2,8	182	191	26	17	211	210	1,8	2,7
San Giovanni ^(a)	0,4	3,2	47	88	5,1	7,0	52	98	0,4	2,2
San Bernardino ^(a)	0,5	5,2	118	199	10	12	128	216	0,4	2,2
Toce Ossola ^(a)	68	46	878	1327	119	105	1066	1478	26	37
Strona ^(a)	6,8	7,9	281	416	24	24	311	448	5,0	7,2
Erno ^(a)	0,6	0,1	28	34	3,0	0,8	31	35	0,6	0,5
Vevera ^(a)	0,7	0,6	10	42	0,4	2,1	11	45	0,2	0,5
Bardello ^(a)	25	23,8	168	190	70	44	263	258	40	27
Boesio ^(a)	7,2	10,8	61	111	25	9	93	131	8,2	8,0
Tresa ^(a)	57	71,4	493	1163	117	123	667	1357	16	30
Giona ^(b)	0,9	1,6	49	74	7	5	57	80	1,5	1,6
Totale campionati	214	239	4862	7532	699	555	5775	8326	117	161
Ticino Emissario ^(a)	90	250	4419	7338	1023	588	5533	8175	66	116

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

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

Anche i carichi in uscita dal Lago Maggiore attraverso il Ticino emissario, il cui deflusso medio annuo nel 2008 è stato pari a 329,6 m³ s⁻¹, rispetto a 206,8 m³ s⁻¹ del 2007, sono aumentati per tutte le variabili, con l'eccezione anche in questo caso dell'azoto organico. L'aumento dei carichi in uscita è stato particolarmente accentuato per l'azoto ammoniacale (+178 %), seguito dal fosforo totale (+78 %), dall'azoto nitrico (+66 %) e dall'azoto totale (+44 %), mentre la diminuzione delle uscite di azoto organico è stata del 43 %.

Il bilancio annuale dell'azoto totale calcolato per il 2008 è messo a confronto in tabella 5.4 con gli stessi bilanci relativi al periodo 1999-2007. La somma degli apporti di azoto totale dai tributari campionati (8300 t N a⁻¹), dall'areale non campionato (711 t N a⁻¹), dalla popolazione rivierasca (700 t N a⁻¹) e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre (540 t N a⁻¹) nel 2008 è stata pari a 10200 t N a⁻¹, valore sensibilmente più elevato rispetto a quelli degli anni 2005-2007. La ritenzione a lago, calcolata considerando il totale degli apporti e le uscite attraverso il Ticino emissario, è stata pari al 20 % delle entrate, valore inferiore rispetto a quelli degli anni più recenti ma simile o superiore a quelli del periodo 1999-2002 (Tab. 5.4). I maggiori input di azoto e la minor ritenzione a lago del 2008 rispetto agli anni immediatamente precedenti sono da imputare principalmente alle precipitazioni più abbondanti, essendo queste ultime il principale veicolo di azoto. La serie storica dei dati disponibili dimostra infatti l'esistenza di una correlazione tra afflussi meteorici ed apporti di azoto a lago, a conferma di come l'azoto derivi principalmente da sorgenti diffuse quali le deposizioni atmosferiche e il dilavamento (Fig. 5.20).

Tab. 5.4. Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 1999-2008 di azoto totale (t N a⁻¹). I totali parziali e complessivi sono approssimati alle centinaia.

Tributari campionati	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08
Ticino Immissario	2658	2704	2216	2359	1356	2205	1160	1263	1658	2227
Maggia	1203	1568	1143	1704	953	1429	878	855	976	1390
Verzasca	293	435	291	449	230	362	223	224	250	352
Cannobino	134	138	117	137	229	202	229	206	211	210
San Giovanni	88	100	82	179	31	91	38	33	52	98
San Bernardino	257	416	278	359	186	405	123	188	128	216
Toce (Ossola + Strona)	2422	3692	1718	3070	1492	2621	1383	1288	1377	1926
Erno	50	86	45	80	48	56	27	34	31	35
Vevea	43	107	50	61	75	43	15	16	11	45
Bardello	250	281	240	322	332	256	222	117	263	258
Boesio	237	233	134	196	110	238	99	158	93	131
Tresa	1369	2141	1308	1904	697	920	479	721	667	1357
Giona	78	112	75	111	64	100	54	57	57	80
Tributari campionati	9100	12000	7700	10900	5800	8900	4900	5200	5800	8300
Areale non campionato	780	1028	660	934	500	760	420	446	497	711
Totale bacino emerso	9900	13000	8400	11800	6300	9700	5300	5600	6300	9000
Fascia rivierasca	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Precipitazioni sul lago	600	800	700	840	400	500	500	400	380	540
Totale apporti	11200	14500	9800	13300	7400	10900	6500	6700	7400	10200
Uscite da Emissario	9000	12900	8600	11800	4600	8000	4500	4200	5500	8200
Ritenzione in lago	20%	11%	12%	11%	38%	27%	31%	37%	26%	20%

I dati relativi agli ultimi anni, caratterizzati da un'alternanza di anni piovosi come il 2002 ed il 2008 (2330 e 2150 mm come afflusso totale sul bacino rispettivamente), ed anni con precipitazioni estremamente scarse come il 2003 ed il 2005 (1043 e 991 mm rispettivamente) hanno dimostrato come l'idrologia giochi un ruolo importante nella variabilità interannuale degli apporti dalle acque tributarie. Precipitazioni ridotte determinano in genere un aumento delle concentrazioni di nutrienti ma, allo stesso tempo, una loro diluizione e quindi una riduzione dei carichi veicolati a lago. Bisogna

però ricordare che l'afflusso totale sul bacino del Lago Maggiore non è necessariamente indicativo della situazione dei singoli bacini versanti a causa della distribuzione spaziale delle precipitazioni che può risultare estremamente eterogenea sul territorio.

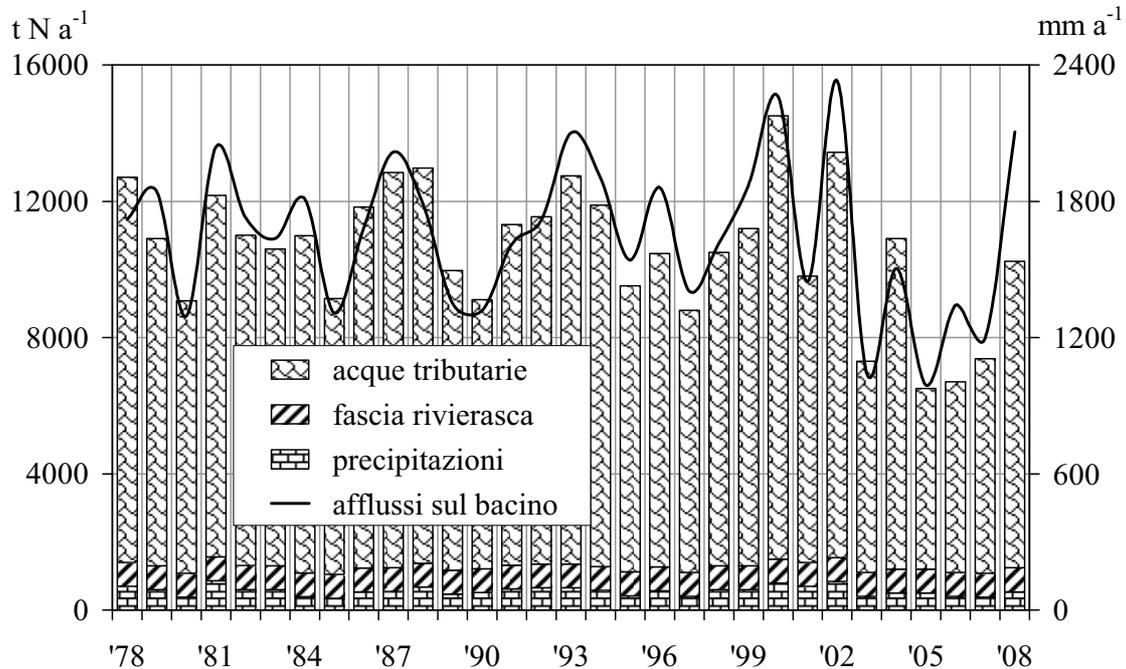


Fig. 5.20. Lago Maggiore. Apporti annuali di azoto totale al lago dall'areale emerso, dalla zona rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre, in relazione con gli afflussi meteorici annuali sul bacino imbrifero.

Per quanto riguarda il carico complessivo di azoto totale dai singoli tributari, gli apporti di maggior rilievo derivano dal Toce, comprensivo dello Strona (23,1 %), e dal Ticino immissario (26,7 %), seguiti da Maggia (16,7 %) e Tresa con Margorabbia (16,3 %). I rimanenti corsi d'acqua contribuiscono per il 17 % circa (Fig. 5.21). Queste percentuali non si sono discostate in maniera significativa da quelle calcolate per il 2007.

Come si può rilevare dai dati in tabella 5.3, la maggior parte dei tributari hanno visto un aumento degli apporti di fosforo totale calcolati per il 2008 rispetto all'anno precedente, con l'eccezione del Bardello, per il quale i carichi sono diminuiti passando da 40 a 27 t P a⁻¹. Poiché anche questo corso d'acqua è stato caratterizzato da portate più elevate nel 2008 rispetto all'anno precedente, la variazione nei carichi è da imputare alla diminuzione delle concentrazioni di fosforo totale (Tab. 5.2 e Fig. 5.14).

Per quanto riguarda gli apporti di fosforo totale a lago, riportati in tabella 5.5, il 2008 ha visto un aumento significativo rispetto agli anni precedenti, in quanto gli apporti sono passati da 170-180 t P a⁻¹ degli anni 2005-2007 a 233 t P a⁻¹. I contributi dai tributari campionati, dall'areale non campionato e dalla zona rivierasca sono stati pari a 161, 14 e 58 t P a⁻¹ rispettivamente (Tab. 5.5, Fig. 5.22).

I contributi percentuali dei vari corsi d'acqua sono ripostati in figura 5.23. Il contributo del Bardello è diminuito sensibilmente, passando dal 34 % del 2007 all'attuale 16,5 %.

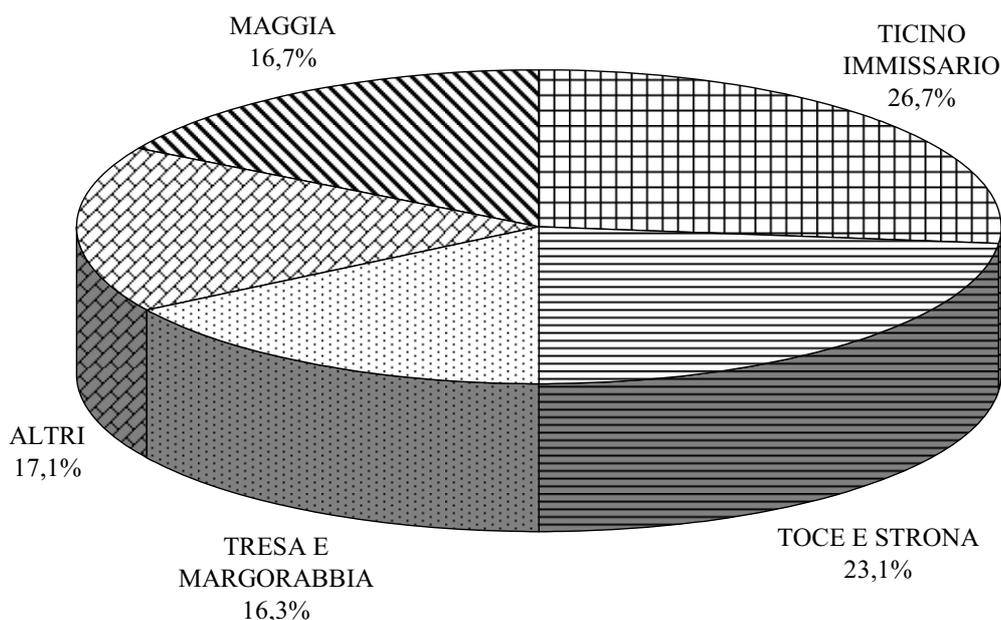


Fig. 5.21. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di azoto totale dai diversi tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2008.

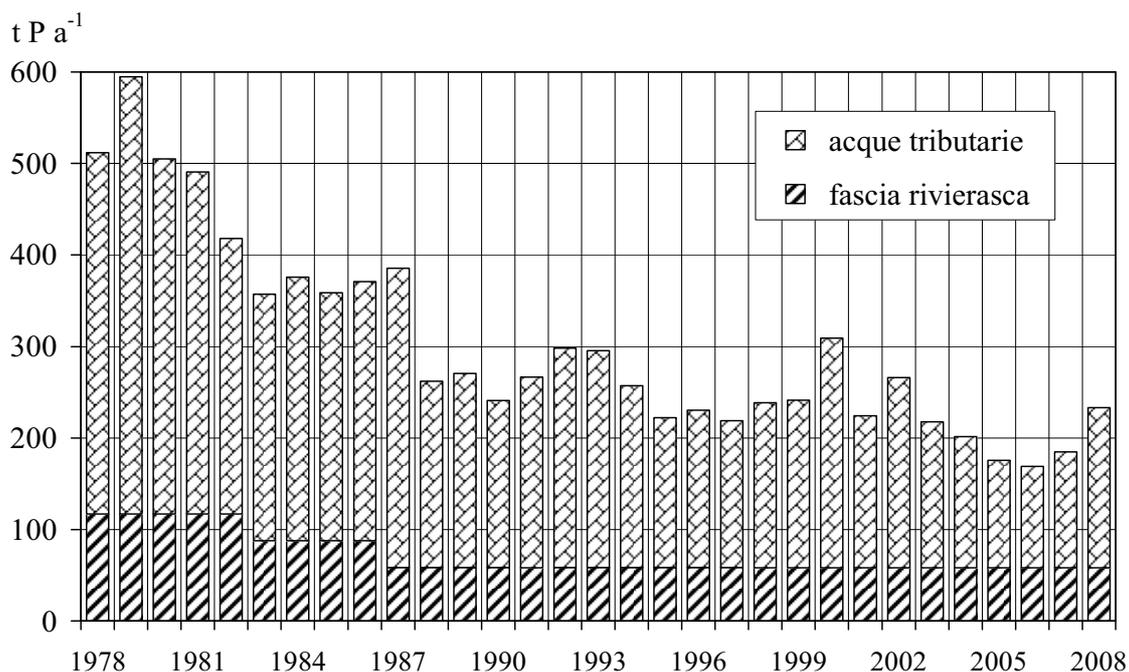


Fig. 5.22. Lago Maggiore. Apporti annuali di fosforo totale al lago dall'areale emerso e dalla zona rivierasca nel periodo 1978-2008.

Il contributo maggiore nel 2008 è stato quello del Toce, comprensivo dello Strona (27,2 %), seguito da Tresa e Margorabbia (18,5 %), Ticino immissario (13,3 %) e Maggia (10,9 %; Fig. 5.23). Con l'eccezione del Bardello, tutti i corsi d'acqua hanno visto un aumento dei carichi di fosforo rispetto al 2007. Gli aumenti più consistenti hanno riguardato il Tresa (da 16 a 30 t P a⁻¹), il Ticino immissario (da 12 a 21 t P a⁻¹) e

la Maggia (da 4 a 18 t P a⁻¹). Anche in questo caso l'aumento degli apporti è da attribuire alle portate più elevate che hanno caratterizzato i corsi d'acqua nel 2008.

Nonostante l'incremento del carico complessivo di fosforo veicolato a lago nel 2008, da attribuire principalmente alle condizioni idrologiche, i dati a lungo termine mostrano una diminuzione dei carichi a partire dagli anni '80 (Fig. 5.22).

Tab. 5.5. Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 1999-2008 del fosforo totale (t P a⁻¹).

Tributari campionati	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08
Ticino Immissario	30	22	27	22	19	12	10	10	12	21
Maggia	6	11	12	20	8	5	7	7	4	18
Verzasca	1,2	4	2,6	5,8	2,5	1,4	1,6	2	1,2	4,1
Cannobino	1,2	1	1,0	1,7	1,6	1,6	2,3	2	1,8	2,7
San Giovanni	0,7	1	0,9	3,1	0,6	0,6	0,4	0	0,4	2,2
San Bernardino	1,0	2	1,4	3,4	2,0	1,2	2,5	1	0,4	2,2
Toce (Ossola + Strona)	65	99	51	57	42	43	27	26	31	44
Erno	0,4	1	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6	0	0,6	0,5
Vevera	0,6	1	0,7	0,8	1,4	0,4	0,2	0	0,2	0,5
Bardello	15	20	23	27	42	27	34	19	40	27
Boesio	13	9	6,3	7,8	6,0	14,9	9	15	8	8
Tresa	33	59	26	40	20	22	12	19	16	30
Giona	1,4	2	1,3	2,0	1,3	2,4	1,5	2	1,5	1,6
Tributari campionati	169	231	153	191	148	132	108	102	117	161
Areale non campionato	14	20	13	16	13	11	9	9	10	14
Totale bacino emerso	183	251	166	207	160	143	118	111	127	175
Fascia rivierasca	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Totale apporti	241	309	224	265	218	201	176	169	185	233
Uscite da Emisario	109	171	114	115	84	116	65	62	66	116
Ritenzione in lago	55%	45%	49%	57%	61%	42%	63%	63%	64%	50%

I contributi areali annuali dei composti dell'azoto e del fosforo totale, riportati in tabella 5.6, confermano le differenze tra 2007 e 2008 già illustrate relativamente ai carichi: con l'eccezione dell'azoto organico, per il quale i contributi totali da tutto l'areale campionato sono diminuiti da 0,123 a 0,094 g N m⁻² a⁻¹, per tutti gli altri composti si è verificato un aumento dei contributi areali nel 2008 rispetto all'anno precedente. L'incremento per l'azoto totale (da 0,982 a 1,416 g N m⁻² a⁻¹) è principalmente dovuto all'aumento dei carichi areali di azoto nitrico (da 0,827 a 1,281 g N m⁻² a⁻¹), essendo minima la variazione per l'azoto ammoniacale (da 0,036 a 0,041 g N m⁻² a⁻¹). Anche per il fosforo totale il contributo medio per unità di superficie è aumentato, passando da 0,020 g N m⁻² a⁻¹ nel 2007 a 0,027 g P m⁻² a⁻¹ nel 2008 (Tab. 5.6). Considerando i dati dei singoli tributari, si osserva come la maggior parte di essi sia stata interessata da un aumento dei contributi, sempre con l'eccezione dell'azoto organico, i cui carichi reali sono diminuiti pressoché in tutti i corsi d'acqua. Un'eccezione alla tendenza generale si osserva per il Torrente Bardello, per il quale i contributi medi per unità di superficie di fosforo totale sono diminuiti, passando da 0,295 g P m⁻² a⁻¹ nel 2007 a 0,199 g P m⁻² a⁻¹ nel 2008. Nel Boesio invece la diminuzione ha riguardato il solo azoto organico (da 0,547 a 0,201 g N m⁻² a⁻¹) mentre il contributo di fosforo totale è rimasto pressoché invariato (Tab. 5.6, Figg 5.24 e 5.25). Per entrambi i corsi d'acqua i valori dei carichi areali, ed i carichi da essi veicolati alle

acque lacustri, soprattutto per quanto riguarda azoto organico e fosforo totale, rimangono a tutt'oggi troppo elevati.

Relativamente agli altri tributari, 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. 5.26), solo le condizioni dei corsi d'acqua Maggia, Verzasca, Ticino immissario e S. Bernardino possono essere considerate accettabili.

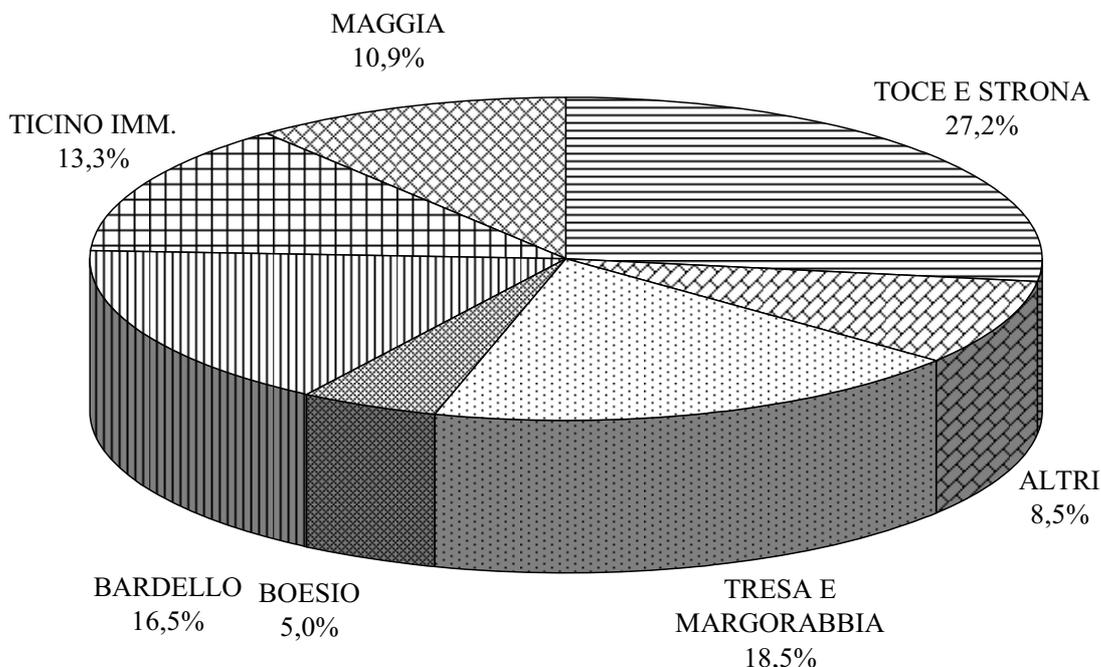


Fig. 5.23. Lago Maggiore. Ripartizione degli apporti di fosforo totale dai tributari campionati. Valori percentuali relativi al 2008.

Tab. 5.6. Lago Maggiore. Contributi areali annuali ($\text{g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) di azoto ammoniacale, nitrico, organico, totale e fosforo totale nel biennio 2007-2008 dai tributari campionati e dall'emissario.

		N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
		2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Ticino Immissario	TIM	0,017	0,023	0,874	1,301	0,134	0,054	1,026	1,378	0,007	0,013
Maggia	MAG	0,013	0,026	0,976	1,374	0,101	0,102	1,054	1,501	0,005	0,019
Verzasca	VER	0,015	0,021	0,975	1,360	0,113	0,106	1,055	1,487	0,005	0,017
Cannobino	CAN	0,026	0,026	1,652	1,730	0,231	0,150	1,909	1,906	0,017	0,025
San Giovanni	SGI	0,007	0,052	0,769	1,455	0,084	0,115	0,861	1,621	0,007	0,036
San Bernardino	SBE	0,004	0,040	0,901	1,521	0,074	0,091	0,980	1,651	0,003	0,017
Toce Ossola	TOC	0,044	0,030	0,568	0,858	0,077	0,068	0,689	0,955	0,017	0,024
Strona	STR	0,030	0,036	1,257	1,865	0,107	0,108	1,394	2,008	0,022	0,032
Erno	ERN	0,023	0,003	1,090	1,328	0,115	0,030	1,228	1,362	0,024	0,018
Vevera	VEV	0,031	0,027	0,478	1,982	0,021	0,100	0,529	2,109	0,009	0,024
Bardello	BAR	0,183	0,177	1,249	1,414	0,525	0,327	1,956	1,918	0,295	0,199
Boesio	BOE	0,159	0,238	1,352	2,449	0,547	0,201	2,059	2,888	0,180	0,177
Tresa	TRE	0,076	0,095	0,654	1,542	0,155	0,163	0,885	1,799	0,021	0,040
Giona	GIO	0,017	0,031	0,983	1,484	0,108	0,095	1,145	1,610	0,030	0,033
Totale campionati		0,036	0,041	0,827	1,281	0,123	0,094	0,982	1,416	0,020	0,027
Ticino Emissario	TEM	0,020	0,038	0,540	1,112	0,080	0,089	0,640	1,239	0,010	0,018

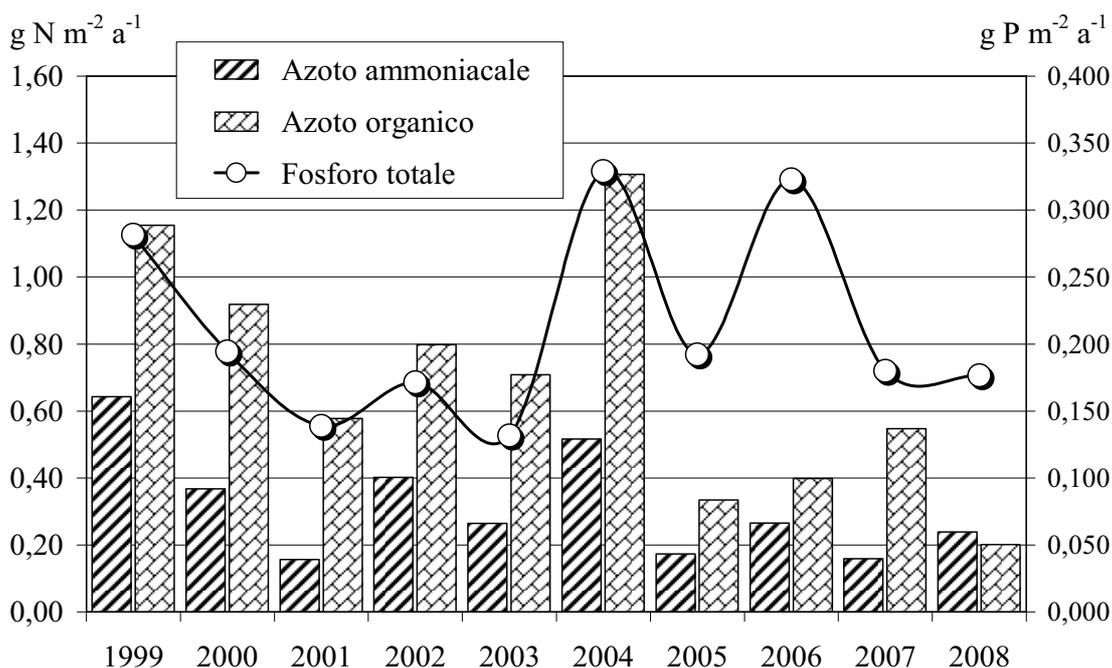


Fig. 5.24. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Boesio dal 1999 al 2008.

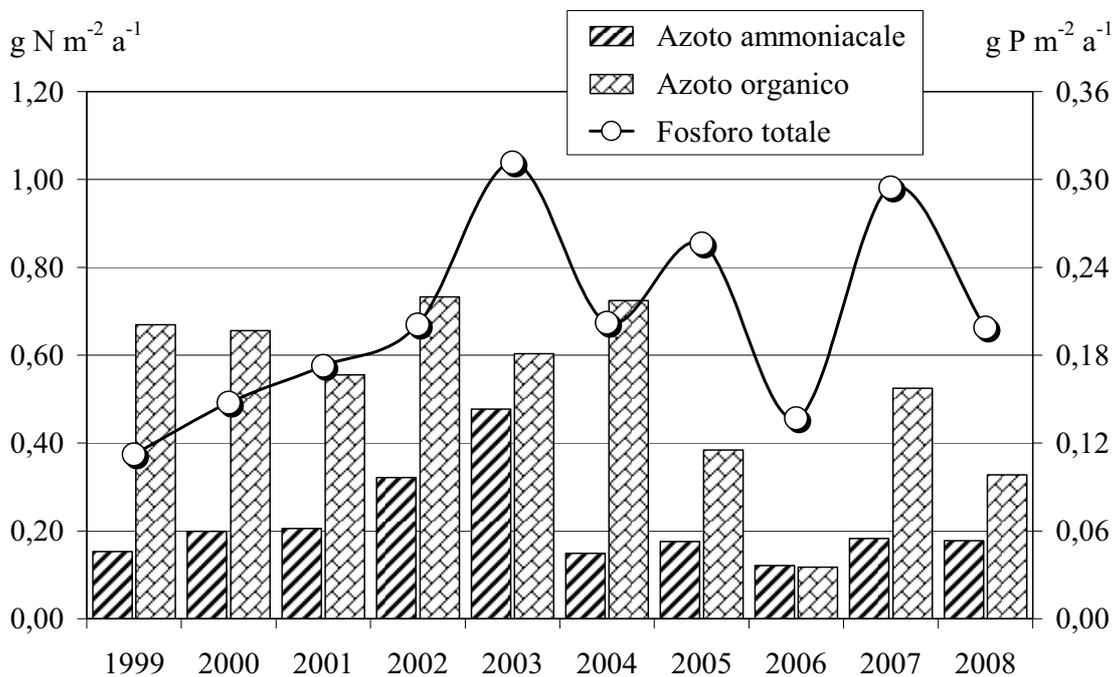


Fig. 5.25. Lago Maggiore. Contributi areali annuali di fosforo totale, azoto ammoniacale e azoto organico dal Bardello dal 1999 al 2008.

Il Torrente S. Giovanni, il cui stato qualitativo poteva essere definito buono fino al 2007, ha visto invece un aumento significativo dei carichi e dei contributi areali di fosforo nel 2008 (Fig. 5.26). Il proseguimento del monitoraggio chimico delle acque di

questo corso d'acqua consentirà di definire se tale variazione sia da imputarsi solo alle condizioni idrologiche o ad un effettivo peggioramento della qualità delle acque.

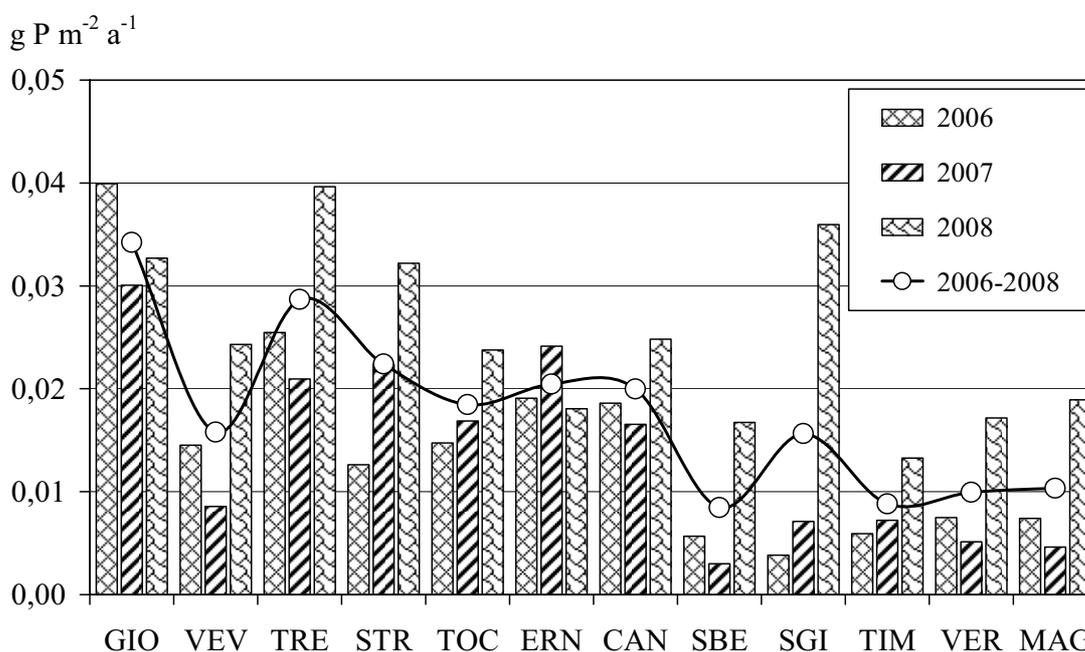


Fig. 5.26. Lago Maggiore. Contributi areali di fosforo totale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2006-2008.

Anche considerando i livelli di azoto ammoniacale nell'ultimo triennio, il giudizio sulla qualità dei corsi d'acqua viene confermato: Giona, Vevera, Tresa, Strona, Toce e Cannobino presentano un moderato grado di alterazione, più accentuato nel caso del Tresa (Fig. 5.27). Il Torrente Cannobino in particolare presenta un andamento fortemente discontinuo e valori mediamente elevati di azoto organico (Fig. 5.28). I dati dell'ultimo triennio in generale confermano un'elevata variabilità interannuale dei carichi areali, che in larga parte può essere attribuita all'idrologia, in quanto le concentrazioni dei nutrienti mostrano invece una maggior stabilità dei valori nel tempo (vedi paragrafo 5.2.1).

Considerando i contributi areali a scala regionale, riportati in tabella 5.7, i dati confermano quanto già evidenziato per i carichi: nonostante l'aumento dei contributi registrato nel 2008, le acque tributarie ticinesi continuano ad essere caratterizzate da un buon livello qualitativo, quelle piemontesi moderatamente accettabile, mentre per le acque lombarde lo stato di alterazione è a tutt'oggi elevato (Tab. 5.7). Data l'accennata variabilità interannuale dei carichi, più volte evidenziata, un controllo regolare dei singoli tributari si rende quindi necessario per seguirne l'evoluzione temporale, soprattutto ai fini degli effetti sulla qualità delle acque lungo la fascia rivierasca.

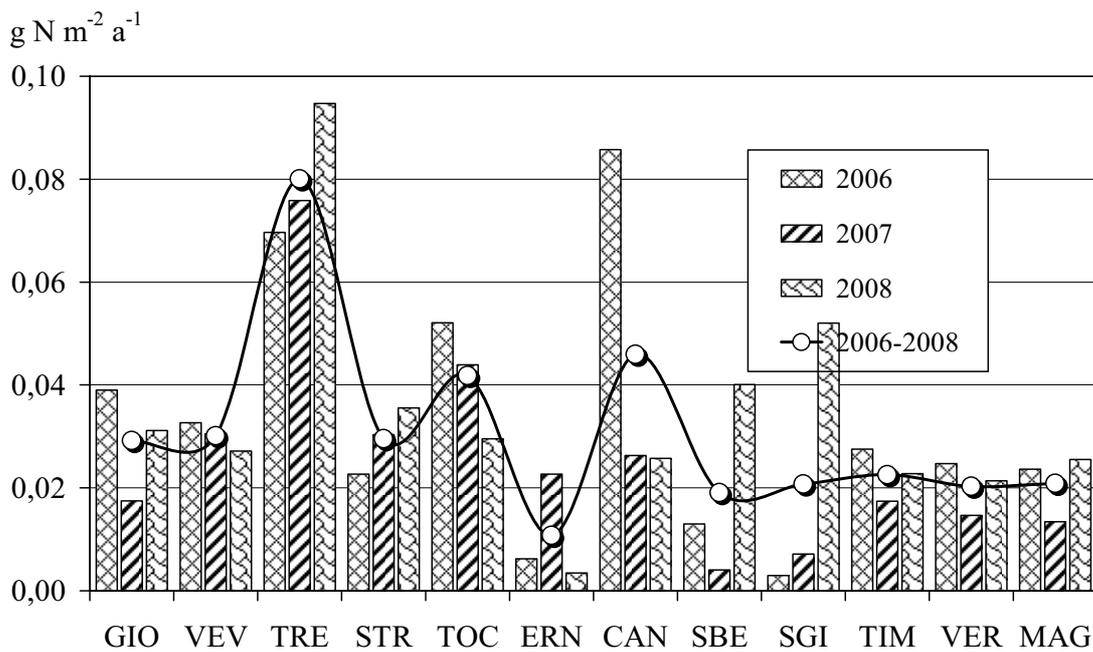


Fig. 5.27. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto ammoniacale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2006–2008.

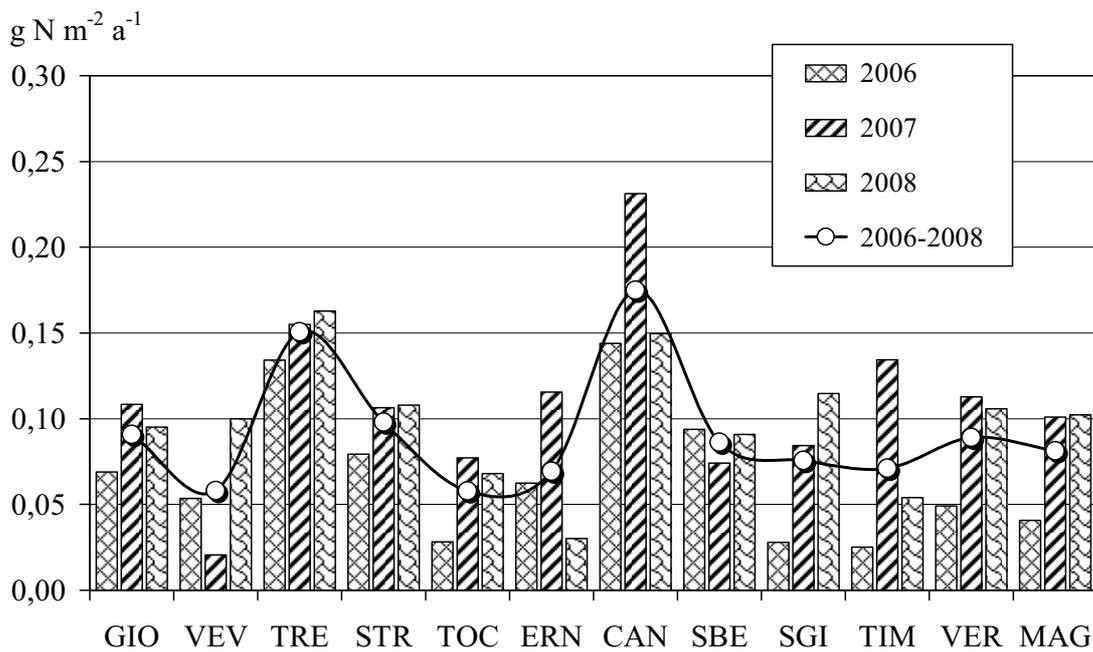


Fig. 5.28. Lago Maggiore. Contributi areali di azoto organico, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 2006–2008.

Tab. 5.7. Contributi areali di fosforo totale ($\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$) ed azoto ammoniacale ($\text{g N m}^{-2} \text{a}^{-1}$) e organico ($\text{g N m}^{-2} \text{a}^{-1}$) derivanti dalle acque tributarie ticinesi, piemontesi, lombarde e totali nel triennio 2006-2008.

	2006			2007			2008		
	<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	0,007	0,026	0,032	0,006	0,016	0,121	0,015	0,024	0,074
Piemonte	0,014	0,046	0,044	0,016	0,038	0,088	0,025	0,031	0,079
Lombardia	0,056	0,083	0,142	0,066	0,091	0,221	0,067	0,109	0,184
Acque tributarie	0,017	0,043	0,055	0,020	0,036	0,126	0,027	0,041	0,094