

5.0 IDROCHIMICA LACUSTRE E DEI TRIBUTARI, BILANCIO DEI NUTRIENTI

5.1 Chimica lacustre

5.1.1. Chimismo di base

I campionamenti nel punto di massima profondità del Lago Maggiore (bacino di Ghiffa) nel 2010 sono stati eseguiti con frequenza mensile e con le stesse modalità utilizzate negli anni precedenti. I prelievi hanno riguardato le profondità 0, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 metri. In data 15 Marzo e 15 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 Ghiffa.

I valori di pH, conducibilità ed il bilancio ionico delle due stazioni sono riportati in tabella 5.1, dove vengono messi a confronto i dati relativi all'ultimo quinquennio. Tutti i dati fanno riferimento al campionamento di marzo, in corrispondenza della massima estensione verticale del mescolamento tardo invernale, e si riferiscono a valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo.

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 2006-2010.

	GHIFFA					LESA				
	13.03.06	12.03.07	10.03.08	16.03.09	16.03.10	14.03.06	13.03.07	11.03.08	17.03.09	15.03.10
HCO ₃ ⁻	0,82	0,83	0,83	0,82	0,84	0,82	0,82	0,83	0,82	0,83
SO ₄ ⁻	0,63	0,61	0,61	0,61	0,62	0,63	0,61	0,64	0,61	0,61
Cl ⁻	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09
NO ₃ ⁻	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Σ anioni	1,58	1,58	1,57	1,57	1,60	1,58	1,58	1,61	1,57	1,58
Ca ⁺⁺	1,13	1,16	1,15	1,14	1,12	1,16	1,17	1,15	1,13	1,13
Mg ⁺⁺	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30
Na ⁺	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,14	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	1,60	1,63	1,63	1,62	1,60	1,63	1,65	1,64	1,61	1,61
Σ ioni	3,18	3,21	3,20	3,19	3,20	3,21	3,23	3,25	3,19	3,19
pH	7,45	7,49	7,38	7,41	7,40	7,42	7,56	7,54	7,56	7,52
Cond.	148	150	153	152	152	150	150	154	151	153

Entrambe le stazioni mostrano una composizione chimica di base sostanzialmente stabile nel tempo. Sia le concentrazioni ioniche che i valori di pH e conducibilità non variano infatti in modo significativo da un anno all'altro. Anche il contributo percentuale dei diversi ioni al contenuto ionico totale è rimasto pressoché invariato nel 2010 rispetto agli anni precedenti, con calcio e bicarbonati a rappresentare più del 60%, seguiti da solfati, magnesio e sodio (rispettivamente 19, 10 e 4%), mentre il contributo di nitrati, cloruri e potassio è attorno all'1-2% del totale. Una variazione, seppur contenuta, riguarda sia le concentrazioni che il contributo percentuale dei cloruri, che

mostrano una lieve tendenza all'aumento negli ultimi anni (da 0,06 a 0,08 meq L⁻¹ come concentrazioni medie alla circolazione).

I dati della tabella 5.1 evidenziano inoltre un chimismo del tutto simile nelle due stazioni considerate, quella di centro lago, a Ghiffa, e quella nella zona meridionale, a Lesa. Anche considerando i dati del campionamento di settembre, in condizioni di stratificazione, si può osservare come i profili delle principali variabili chimiche nello strato da 0 a 100 m di profondità siano pressoché corrispondenti nelle due stazioni. Si riscontra una lieve differenza solo per i valori di fosforo totale, leggermente più elevati a Lesa, sia in superficie (9 µg P l⁻¹ rispetto a 7 µg P l⁻¹ a centro lago) che a 100 m di profondità (11 µg P l⁻¹ rispetto a 9 µg P l⁻¹) (Fig. 5.1).

Il confronto tra queste due stazioni sembra quindi dimostrare una scarsa variabilità spaziale nel chimismo delle acque lacustri. Questo tema viene ripreso nel paragrafo sulla distribuzione orizzontale (5.1.4), dove la stazione di centro lago è messa a confronto con più punti di campionamento.

La figura 5.2 mostra i valori medi di pH ed ossigeno misurati nello strato epilimnico (0-25 m) della stazione di Ghiffa nel periodo 2001-2010. Gli andamenti stagionali di queste variabili sono fortemente influenzati dai processi biologici che avvengono nelle acque superficiali (fotosintesi e respirazione da parte delle alghe fitoplanctoniche) così come delle dinamiche di mescolamento delle acque: i massimi vengono sempre rilevati nei mesi estivi, quando predomina la produzione da parte del fitoplancton, mentre i minimi caratterizzano i mesi invernali (Fig. 5.2).

Rispetto agli ultimi anni (2008-2009), caratterizzati da valori leggermente inferiori alla media sia di pH che di ossigeno nei mesi estivi, nel 2010 i valori sono risultati in linea con quelli del periodo 2001-2007, raggiungendo in luglio i massimi di 8,33 unità di pH e 113% di saturazione di ossigeno. Anche i minimi invernali (7,44 e 82% rispettivamente per pH e ossigeno nel mese di febbraio) sono stati del tutto simili a quelli registrati nell'ultimo decennio (Fig. 5.2). Nel complesso la variabilità interannuale di entrambe le variabili è stata più accentuata nel 2010 rispetto a 2008 e 2009, anni che erano stati caratterizzati da basse temperature primaverili e quindi da un probabile ridotto sviluppo del fitoplancton.

Nelle figure 5.3 e 5.4 sono riportati gli andamenti di alcalinità e conducibilità, in epilimnio e nell'intero lago, nel periodo 2001-2010. I valori epilimnici mostrano un'accentuata variabilità stagionale, con massimi primaverili seguiti da minimi estivi sia per alcalinità che conducibilità. Questo andamento dipende dal fenomeno della precipitazione del carbonato di calcio: l'aumento della temperatura, che riduce la solubilità dei carbonati, e delle concentrazioni di soluti nei mesi estivi (giugno-luglio) determina una precipitazione e quindi un brusco calo delle concentrazioni di diversi soluti, principalmente calcio, carbonati e bicarbonati; trattandosi degli ioni che maggiormente contribuiscono al contenuto ionico totale, si osserva anche una riduzione del valore di conducibilità (Figg 5.3 e 5.4). I valori medi sulla colonna d'acqua, rappresentando un integrale di quanto succede dalla superficie al fondo, non sono influenzati da questo fenomeno e presentano quindi una scarsa variabilità stagionale. Di conseguenza, permettono di osservare meglio eventuali tendenze a lungo termine.

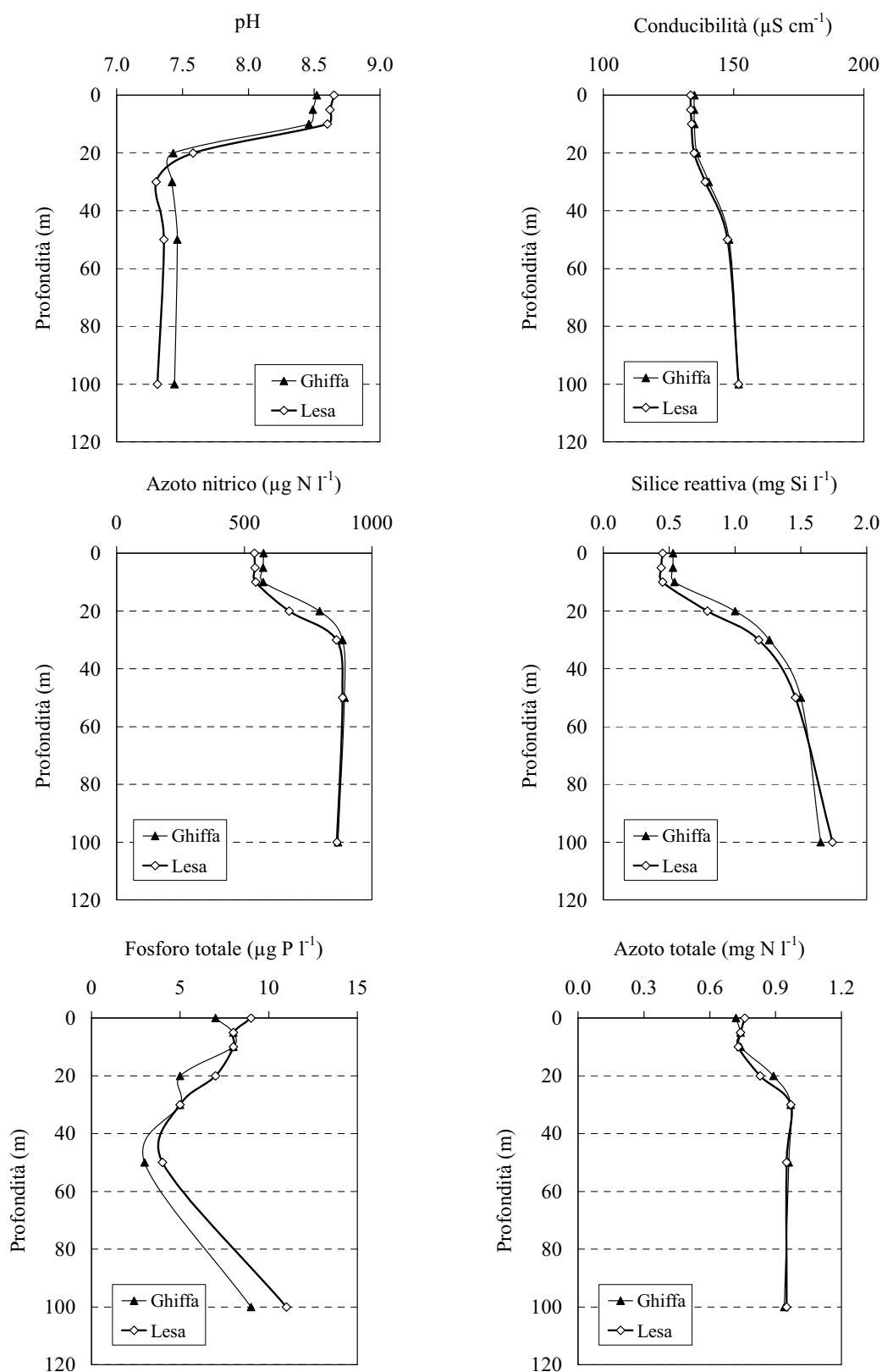


Fig. 5.1 Profili di alcune variabili chimiche nello strato da 0 a 100 m nelle stazioni di Ghiffa e Lesa rilevati nei campionamenti del 15 settembre 2010.

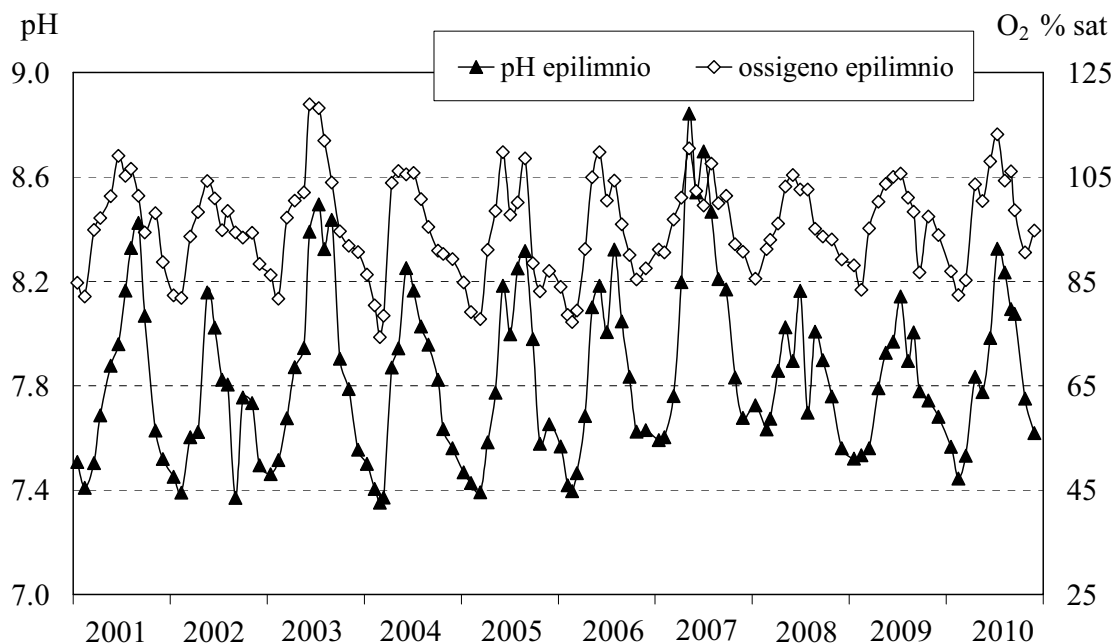


Fig. 5.2 Lago Maggiore nel periodo 2001-2010: pH e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (0-25 m) (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

Nel 2010 i massimi primaverili in epilimnio hanno raggiunto rispettivamente i valori di $0,83 \text{ meq l}^{-1}$ e $150 \mu\text{S cm}^{-1}$ per alcalinità e conducibilità; i minimi, registrati a luglio, sono stati pari a $0,73 \text{ meq l}^{-1}$ e $129 \mu\text{S cm}^{-1}$ rispettivamente. L'escursione interannuale dei valori nel complesso è stata più contenuta rispetto al 2009, quando i minimi estivi erano stati particolarmente accentuati, probabilmente a causa delle abbondanti precipitazioni.

La tendenza evolutiva, ben evidenziata dai valori medi sulla colonna, mostra un aumento per i valori di conducibilità, particolarmente evidente nel periodo 2001-2008 (da $140\text{-}145$ a $150\text{-}152 \mu\text{S cm}^{-1}$); nell'ultimo biennio questa tendenza sembra essersi in parte arrestata, con valori stabilmente attorno a $150 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Fig. 5.4); per valutare correttamente i trend in atto sarà comunque necessario proseguire l'aggiornamento delle serie storiche di dati, non limitandosi a pochi anni che potrebbero aver risentito in misura maggiore di particolari condizioni meteorologiche.

L'aumento dei valori di conducibilità potrebbe dipendere da una maggior concentrazione di soluti nelle acque, tra cui sodio e cloruri (vedi Tab. 5.1). La tendenza all'aumento delle concentrazioni di questi soluti interessa anche le acque di alcuni dei maggiori torrenti tributari del Lago Maggiore, e potrebbe derivare dall'utilizzo di sale utilizzato come antigelo nei mesi invernali, successivamente dilavato dalle precipitazioni e convogliato alle acque superficiali.

Nel caso dell'alcalinità, nell'ultimo decennio non si osserva alcuna tendenza all'aumento dei valori, che sono rimasti compresi tra $0,78$ e $0,83 \text{ meq l}^{-1}$ (Fig. 5.3).

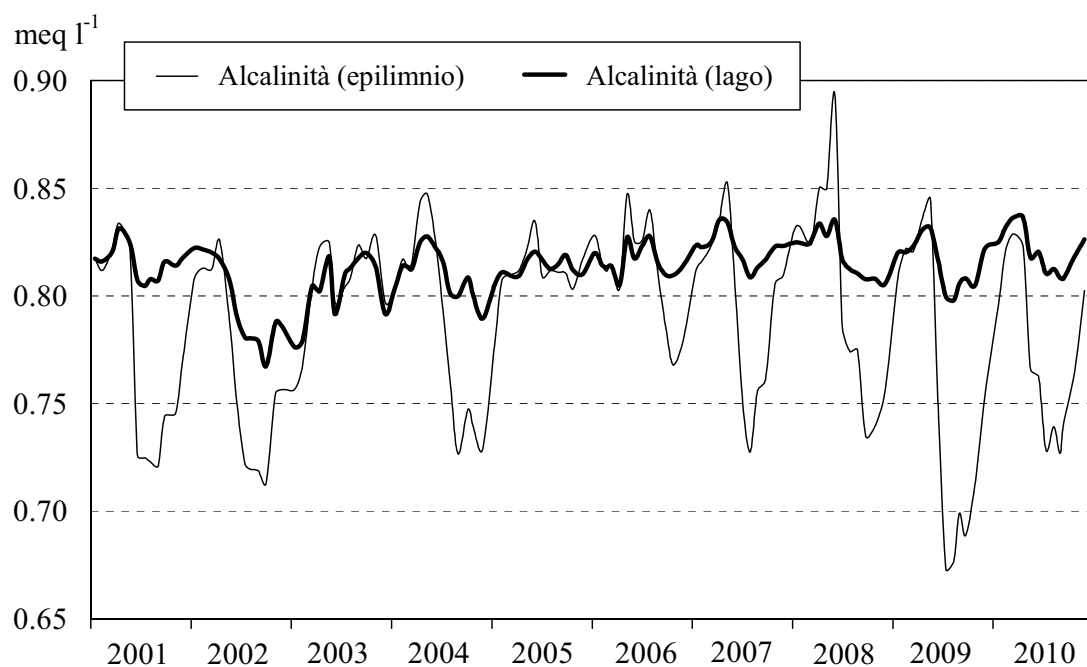


Fig. 5.3 Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 2001–2010 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

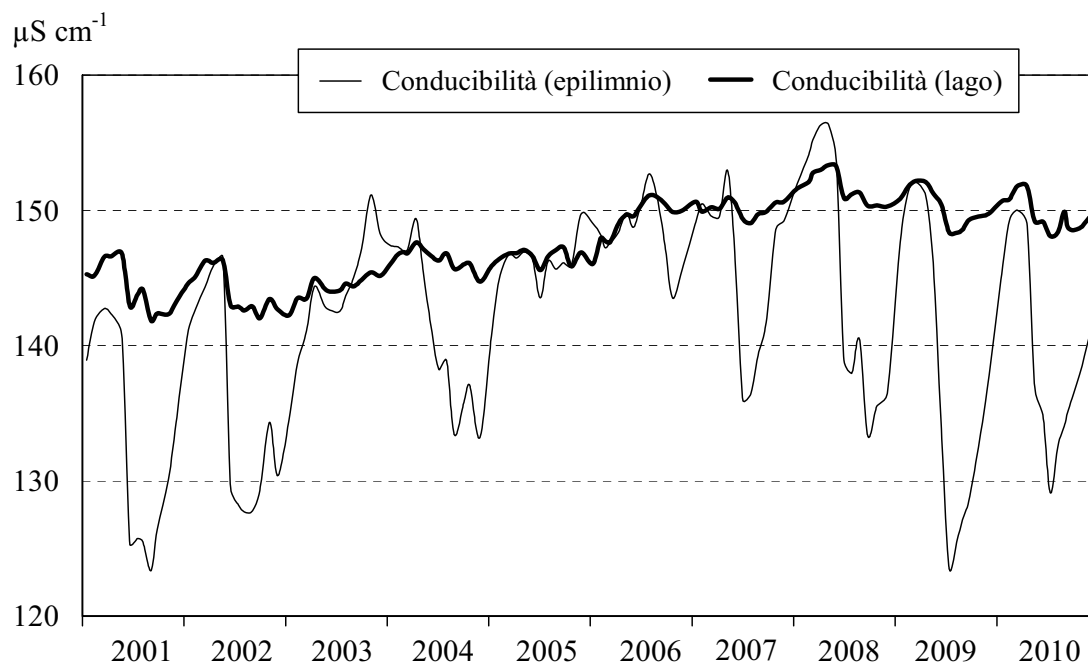


Fig. 5.4 Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 2001–2010 dei valori medi ponderati sui volumi di conducibilità a 20°C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

Considerando però tutta la serie di dati disponibili (dal 1978), riportata in figura 5.5, si può osservare come entrambe le variabili abbiano visto un aumento dei valori medi annui nelle acque lacustri, passando da circa 0,75 a 0,82 meq l⁻¹ e da 140 a 150 μS cm⁻¹ per alcalinità e conducibilità rispettivamente (Fig. 5.5).

I valori medi di sodio e cloruri nelle acque lacustri sono passati rispettivamente da 2,1-2,2 mg Na l⁻¹ e 1,8-2,0 mg Cl l⁻¹ nella metà degli anni '80 agli attuali valori di circa 3,0 mg Na l⁻¹ e 2,8 mg Cl l⁻¹. Considerando la conducibilità specifica a diluizione infinita dei due ioni (46 e 68 S cm² eq⁻¹ a 20 °C) ed il loro aumento di concentrazione in un periodo di 25 anni, pari per entrambi a circa 1 mg l⁻¹, l'aumento di conducibilità attribuibile a questi due ioni risulta pari a circa 4 μS cm⁻¹, rispetto ad un aumento complessivo di 10 μS cm⁻¹ (Fig. 5.5). La parte restante dell'aumento di conducibilità è attribuibile a calcio e alcalinità, aumentati rispettivamente di circa 1mg Ca l⁻¹ e 0,07 meq l⁻¹; per entrambi il contributo all'incremento di conducibilità risulta pari a circa 2,7-2,8 μS cm⁻¹.

Come già discusso nei precedenti rapporti, diverse ipotesi possono essere avanzate per spiegare l'aumento di soluti, tra cui calcio e alcalinità, e quindi della conducibilità delle acque dagli anni '80 ad oggi. Tra queste, una maggior concentrazione dei soluti, in particolare nei mesi estivi, per effetto del riscaldamento degli strati d'acqua superficiali; un maggior apporto di soluti dal bacino a causa di una maggior frequenza ed intensità di eventi di precipitazioni brevi e intense (Ambrosetti et al., 2006); un dilavamento più accentuato di rocce e suoli nei bacini versanti, nelle parti in quota, a causa di una riduzione del periodo di copertura nevosa (Rogora et al., 2003). Tutte le ipotesi necessitano però di un approfondimento, che potrà venire solo dal proseguimento regolare nella raccolta di dati, sia idrochimici che meteorologici ed idrologici, e da una loro analisi congiunta.

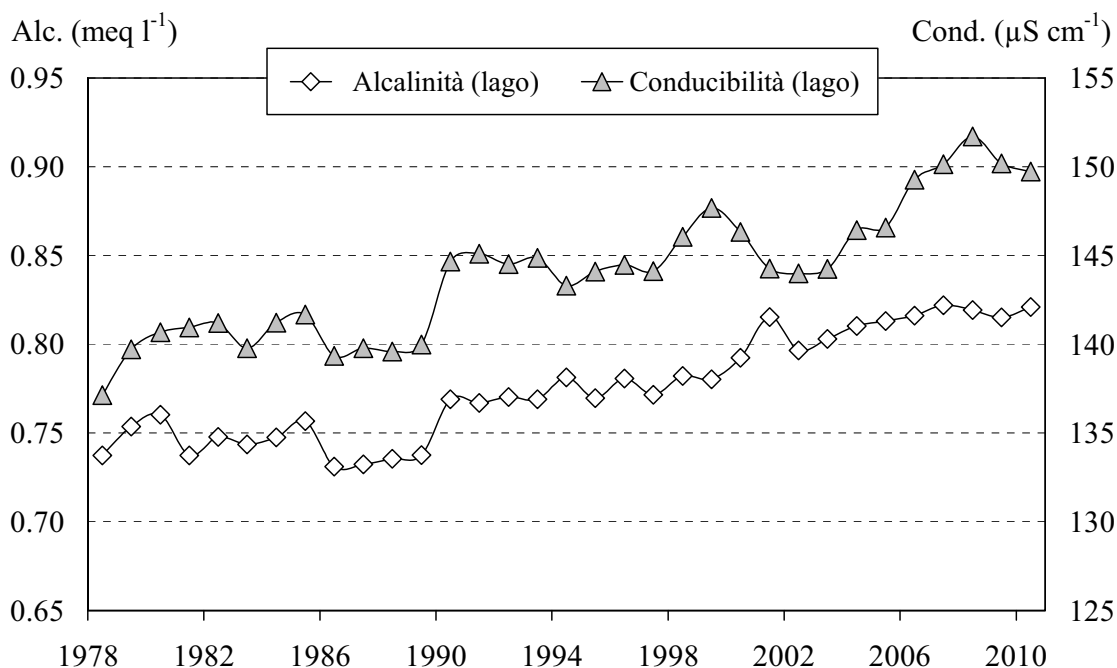


Fig. 5.5 Lago Maggiore: andamento dal 1978 al 2010 dei valori medi annui di conducibilità e alcalinità (valori medi ponderati dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

5.1.2. Composti dell'azoto e del fosforo e silicati

La figura 5.6 riporta i valori medi ponderati sulla colonna d'acqua di azoto nitrico e totale nella stazione di Ghiffa nel periodo 2001-2010. Le concentrazioni di azoto organico, nitrico e totale in epilimnio (0-25 m) sono invece riportate in figura 5.7. Il contenuto di azoto totale delle acque del Lago Maggiore è rappresentato per il 90% dall'azoto nitrico; la parte restante (circa il 10%) è in forma organica, mentre l'azoto nitroso è presente in concentrazioni pressoché trascurabili.

I nitrati nel 2009, come media sulla colonna d'acqua, sono risultati compresi tra 0,86-0,87 mg N l⁻¹ nei mesi invernali e 0,84 mg N l⁻¹ nel periodo estivo. Anche l'azoto totale, rappresentato, come si è detto, prevalentemente dai nitrati, segue un andamento analogo, con massimi invernali (0,96 mg N l⁻¹ a novembre) e minimi in primavera-estate (0,88 mg N l⁻¹). Questo andamento stagionale appare più evidente considerando i dati rilevati in epilimnio (Fig. 5.7), a causa del consumo dei nitrati nei mesi primaverili ed estivi da parte delle alghe fitoplanctoniche.

Nel 2010 si è riscontrato un massimo di azoto totale, pari a 1,0 mg N l⁻¹ come valore medio sulla colonna, nel campionamento di giugno (Fig. 5.6). Un aumento temporaneo dei valori di azoto totale in giugno emerge anche dai dati epilimnici, che evidenziano anche come tale massimo sia da attribuire all'azoto organico (0,19 mg N l⁻¹ a giugno). Si tratta comunque di variazioni contenute, che rientrano nella normale variabilità stagionale dei composti dell'azoto. Osservando i dati dell'intero decennio, si osserva infatti come la variabilità interannuale delle diverse forme di azoto nel 2010 sia stata del tutto simile a quella degli altri anni (Fig. 5.7).

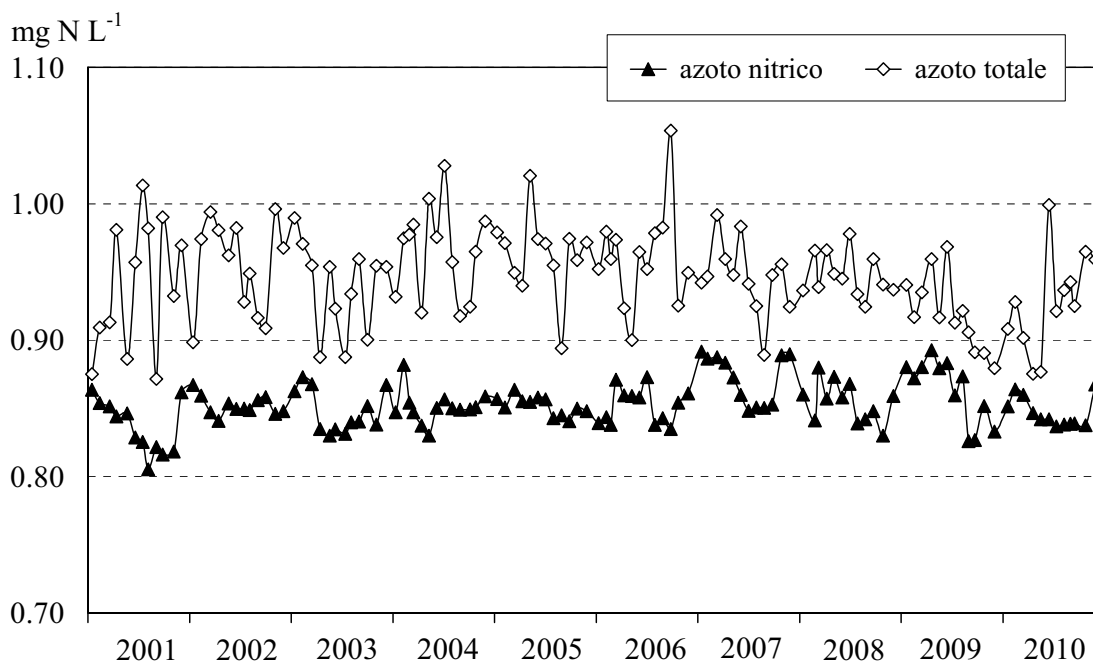


Fig. 5.6. Lago Maggiore: concentrazioni di azoto totale e nitrico nel decennio 2001-2010 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

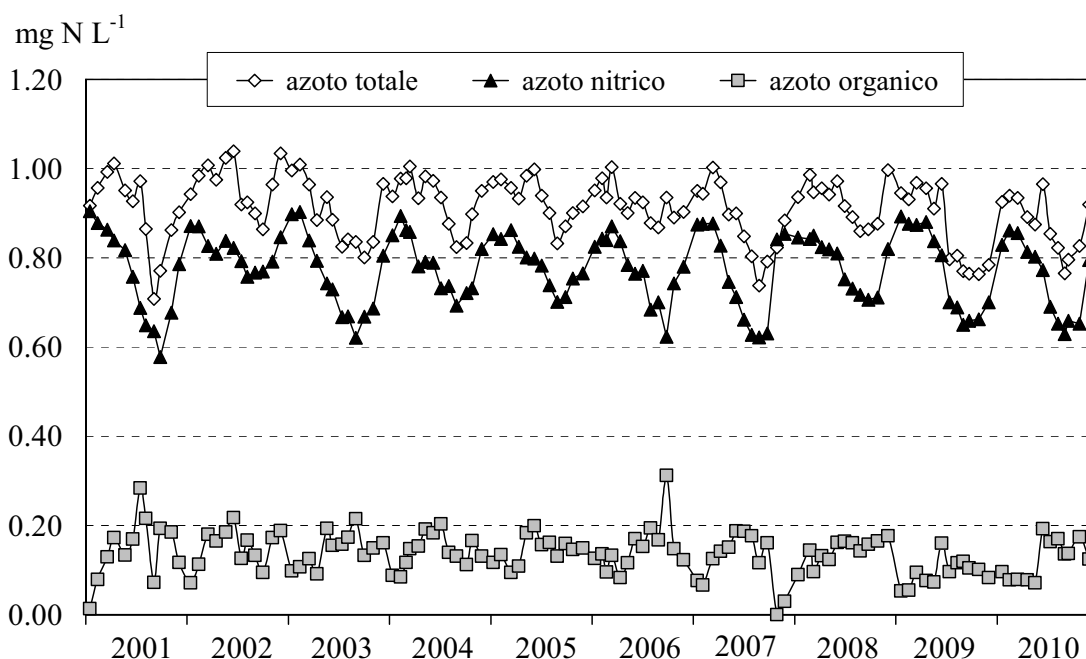


Fig. 5.7 Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel decennio 2001-2010.

Le concentrazioni di azoto nitrico rilevate nella stazione di Lesa sono risultate leggermente inferiori a quelle della stazione di massima profondità nel mese di settembre ($0,54-55 \text{ mg N l}^{-1}$ rispetto a $0,66 \text{ mg N l}^{-1}$ negli strati superficiali), mentre quelle di azoto totale sono risultate simili nelle due stazioni. Anche in marzo non si sono riscontrate differenze sostanziali nei due punti di campionamento.

Le concentrazioni di azoto nitroso, determinato solo nei campionamenti di marzo e settembre, sono state pari rispettivamente a 1 e $5 \text{ } \mu\text{g N l}^{-1}$ nelle acque epilimniche, risultando pressoché assenti se si considera la media sull'intera colonna d'acqua. Le concentrazioni epilimniche e medie di azoto ammoniacale nel 2010 si sono mantenute al di sotto di 12 e $4 \text{ } \mu\text{g N l}^{-1}$ rispettivamente. Anche a Lesa si sono misurate basse concentrazioni di azoto nitroso e ammoniacale, con 1 e $3 \text{ } \mu\text{g N l}^{-1}$ rispettivamente come valori medi sulla colonna in marzo, e valori compresi tra 1 e $7 \text{ } \mu\text{g N l}^{-1}$ e tra 2 e $6 \text{ } \mu\text{g N l}^{-1}$ in settembre.

La figura 5.8 riporta le concentrazioni medie sulla colonna d'acqua di fosforo reattivo e totale misurate nella stazione di Ghiffa nel decennio 2001-2010. I dati del 2010 confermano quanto evidenziato negli ultimi anni, e cioè una sostanziale stabilità dei livelli di fosforo tra 6 e $8 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ per la forma reattiva e tra 8 e $11 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ per il totale. Le concentrazioni medie annue, che concorrono a definire il livello trofico del lago, nel 2010 sono risultate pari a 7 e $10 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ sull'intera colonna d'acqua, 3 e $7 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ nelle acque epilimniche e 8 e $10 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ in ipolimnio, valori pressoché identici a quelli degli ultimi anni.

Anche nella stazione di Lesa si sono misurati livelli di fosforo reattivo e totale sempre al di sotto di 8 e $11 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ rispettivamente, e l'andamento verticale del fosforo totale è risultato del tutto simile a quello della stazione di massima profondità (Fig. 5.1).

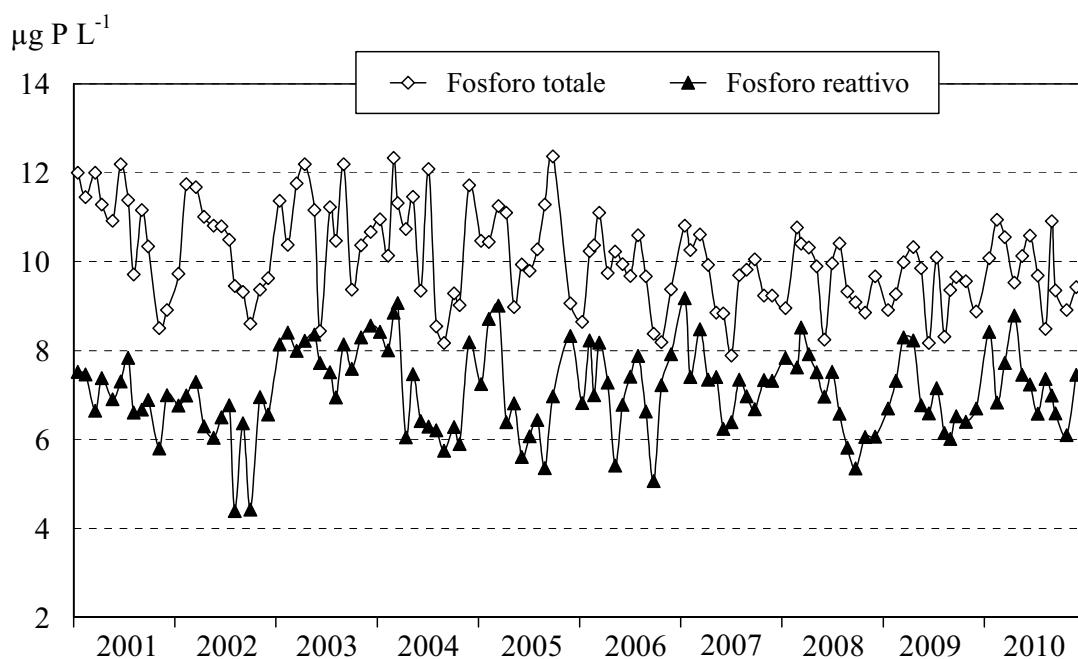


Fig. 5.8 Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel decennio 2001-2010 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

Dopo il raggiungimento di una condizione di oligotrofia già dagli anni '90, i dati degli ultimi anni (2006-2010) evidenziano un ulteriore miglioramento per quanto riguarda i livelli di fosforo, con livelli di fosforo totale al di sotto di $11 \mu\text{g P l}^{-1}$ in tutti i mesi dell'anno. Come discusso nel capitolo 5.2 i carichi di fosforo veicolati a lago nel 2010 sono risultati pressoché identici a quelli del 2009, e comunque al di sotto delle 200 t a^{-1} , soglia che si può ritenere compatibile con il mantenimento di uno stato di oligotrofia delle acque lacustri.

La figura 5.9 riporta i valori epilimnici (0-25 m) e medi sulla colonna d'acqua dei silicati reattivi. Le concentrazioni medie annue di questa variabile in epilimnio, ipolimnio e sull'intera colonna d'acqua nel 2010 sono state pari rispettivamente a $0,96$, $1,66$ e $1,56 \text{ mg Si l}^{-1}$. I silicati presentano un'accentuata variabilità stagionale, con massimi invernali e minimi in estate, a causa del consumo da parte delle alghe fitoplanctoniche appartenenti al gruppo delle diatomee. Rispetto al 2009, in cui la diminuzione estiva dei valori era stata poco accentuata, nel 2010 l'andamento stagionale è risultato nella norma, con valori epilimnici compresi tra $1,43$ - $1,49 \text{ mg Si l}^{-1}$ in febbraio-marzo e $0,50 \text{ mg Si l}^{-1}$ in luglio-agosto (Fig. 5.9).

Nel complesso i valori medi a lago di silicati nell'ultimo decennio sono rimasti stabili o sono leggermente diminuiti a partire dal 2003-2004 (Fig. 5.9). Le concentrazioni erano temporaneamente aumentate negli anni tra il 2000 ed il 2002, a causa probabilmente di una mobilitazione della riserva lacustre di materiali silicei a seguito delle piene. Nel valutare la variabilità sia stagionale che interannuale dei silicati bisogna ad ogni modo tenere in considerazione le condizioni meteo-climatiche, che a loro volta condizionano lo sviluppo delle alghe fitoplanctoniche.

Nella stazione di Lesa le concentrazioni medie sulla colonna di silicati reattivi nel campionamento di marzo sono state pari rispettivamente a $1,43 \text{ mg Si l}^{-1}$, leggermente inferiori quindi a quelle della stazione di Ghiffa ($1,60 \text{ mg Si l}^{-1}$ nello stesso periodo). In

settembre a Lesa si sono misurati valori compresi tra 0,45 mg Si l⁻¹ in superficie e 1,70 mg Si l⁻¹ alla profondità di 100 m, del tutto simili a quelli della stazione di centro lago, come evidenziato anche dal confronto dei profili (Fig. 5.1). Per una discussione più approfondita sulla variabilità spaziale dei silicati si rimanda al paragrafo 5.1.4.

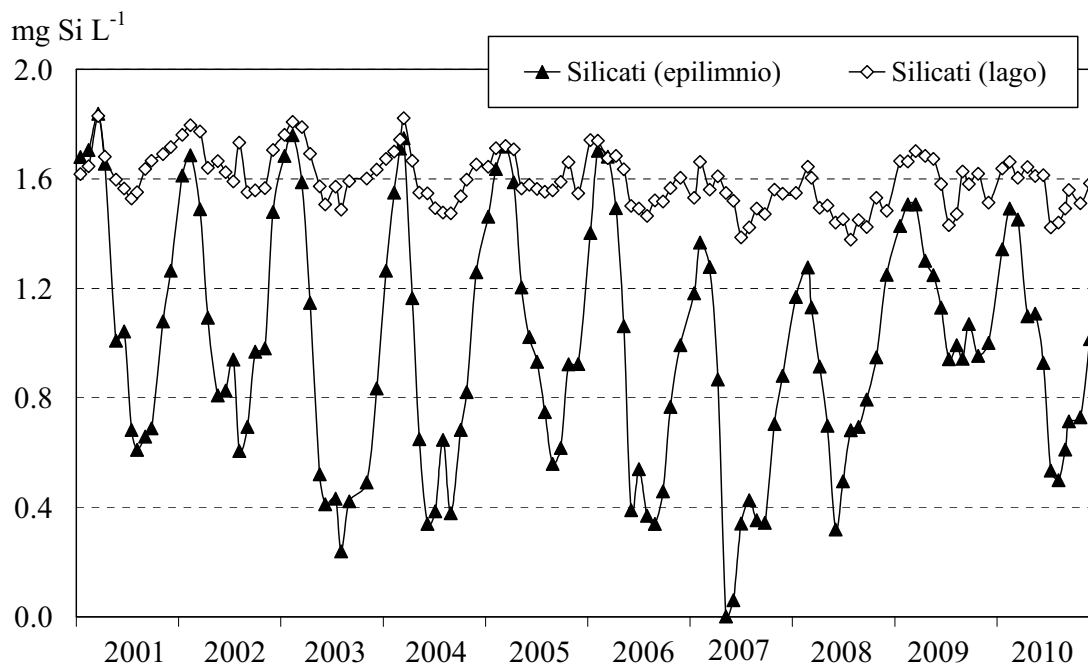


Fig. 5.9 Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 2001-2010.

5.1.3 Ossigeno disciolto

L'andamento del contenuto medio e della saturazione di ossigeno nel periodo 2001-2010 è riportato nelle Figure 5.10 e 5.11, che si riferiscono rispettivamente allo strato al di sotto dei 200 m di profondità ed all'intero ipolimnio (25-370 m).

I dati relativi al 2010 sono risultati in linea con quelli del biennio precedente. Dopo un temporaneo aumento dei valori nel periodo tra il 2004 ed il 2007, le concentrazioni di ossigeno si sono infatti riportate su valori simili a quelli del 2002-2003. Nel 2010 il contenuto medio nelle acque al di sotto dei 200 m, che rimangono generalmente segregate dalla massa d'acqua sovrastante, è stato compreso tra 7,1 e 7,9 mg O₂ l⁻¹, con una percentuale di saturazione corrispondente del 59-66% (Fig. 5.10). I valori corrispondenti per l'intero ipolimnio sono stati 8,1-8,8 mg O₂ l⁻¹ e 69-74% (Fig. 5.11).

Si tratta nel complesso di valori abbastanza elevati, che confermano il buon livello di ossigenazione delle acque profonde. Questo giudizio positivo si può estendere a tutto il periodo 2001-2010, in quanto i livelli di ossigeno si sono sempre mantenuti al di sopra di 7,0 mg O₂ l⁻¹ (60% di saturazione) nello strato 200-370 m (Fig. 5.10) e di 8,0 mg O₂ l⁻¹ (65% di saturazione) nell'intero ipolimnio (Fig. 5.11).

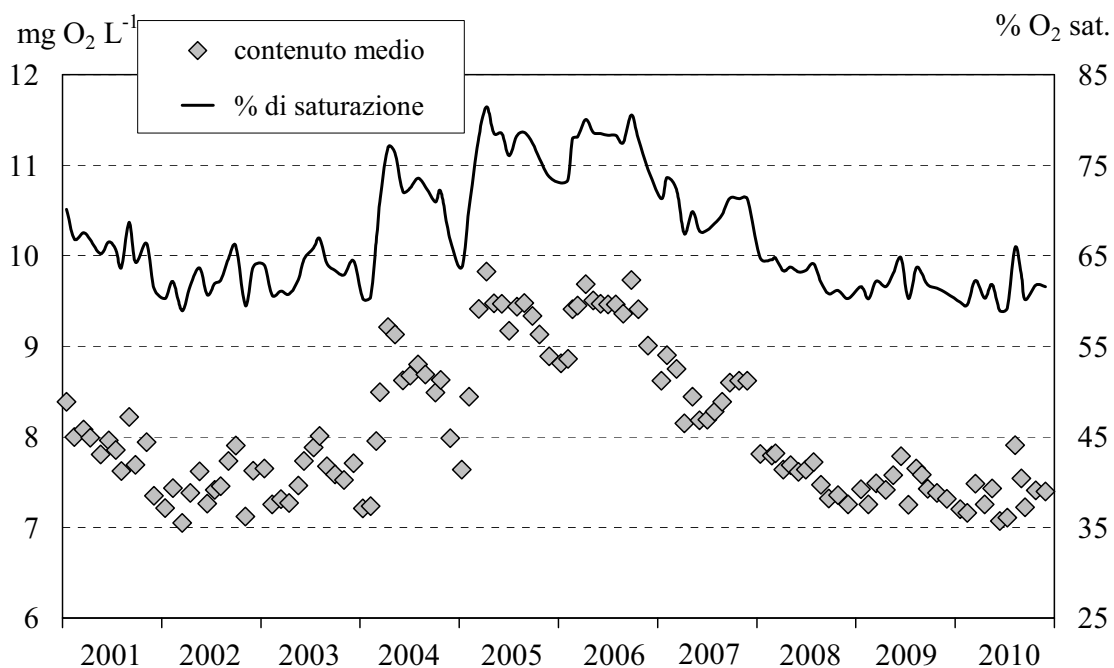


Fig. 5.10 Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 2001-2010 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione al di sotto dei 200 metri di profondità.

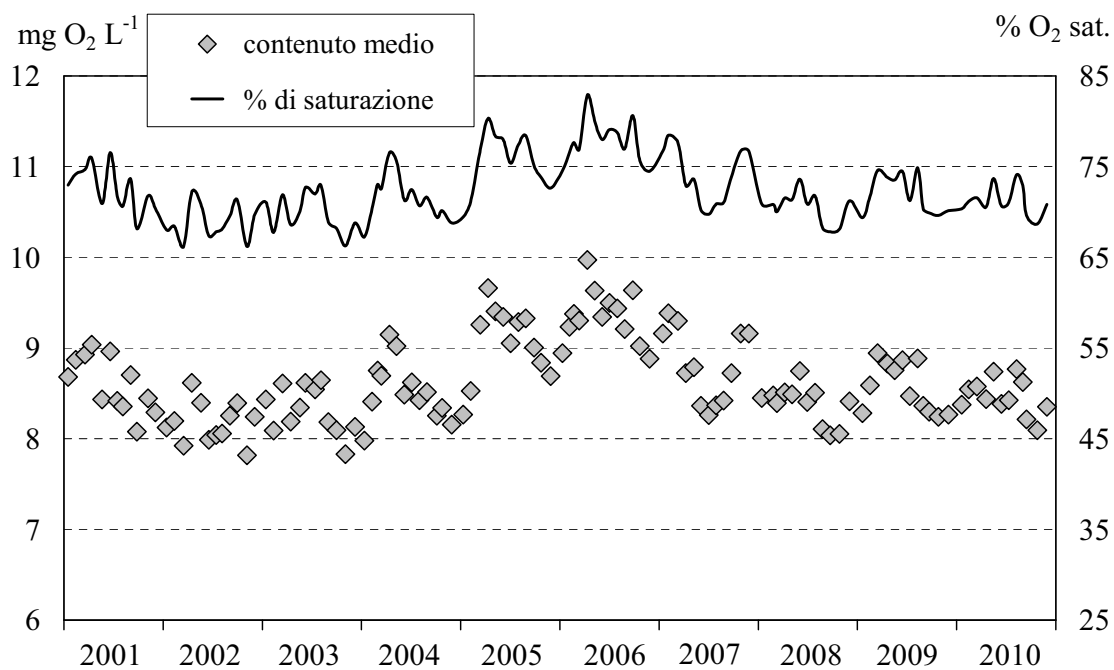


Fig. 5.11 Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 2001-2010 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione in epilimnio (25-370 m).

Anche i dati della stazione di Lesa confermano il buon livello di ossigenazione delle acque: nello strato compreso tra 25 e 100 m di profondità, infatti, il contenuto di ossigeno è risultato compreso tra 9,5 e 10,6 mg O₂ l⁻¹ (79-89% come percentuale di saturazione) e tra 8,2 e 9,2 mg O₂ l⁻¹ (70-79%), rispettivamente a marzo e settembre.

La massima profondità di mescolamento nel 2010 è stata di circa 100 m, così come nel 2009. Nel biennio precedente (2007-2008) erano stati raggiunti valori di 50 m, mentre il mescolamento si era spinto più in profondità negli anni 2004-2005 (200-250 m), spiegando così l'andamento dei tenori di ossigeno (Figg 5.10 e 5.11). La scarsa ventosità dei mesi tardo invernali che ha caratterizzato gli ultimi anni, accanto a valori di temperatura e radiazione solare superiori alla media, sono stati probabilmente i principali fattori sfavorevoli alla circolazione verticale e quindi alla riossigenazione degli strati profondi.

5.1.4. Variazioni spaziali delle variabili chimiche

Il 27 e 28 luglio 2010 sono stati eseguiti dei campionamenti in 27 stazioni, 12 pelagiche e 15 litorali, queste ultime disposte in corrispondenza dell'isobata dei 25 metri. Lo scopo era quello di valutare la variabilità spaziale delle principali variabili chimiche nelle acque del Lago Maggiore. Le variabili considerate sono state le seguenti: pH, conducibilità, alcalinità, fosforo reattivo e totale, azoto totale e silicati reattivi, determinate su un campione integrato rappresentativo dello strato 0-20 m. I risultati sono riportati in figura 5.12, mediante delle mappe del lago ottenute con il Software Surfer 7.2 (Golden Software) e utilizzando il *kriging* come tecnica di interpolazione dei dati.

Le variabili chimiche considerate non hanno mostrato una variabilità spaziale particolarmente accentuata, a conferma del fatto che i dati raccolti a centro lago sono adatti sia ad una valutazione complessiva dello stato delle acque che delle tendenze evolutive del chimismo. Mentre però nel 2009 pH, conducibilità e alcalinità avevano presentato un andamento spaziale abbastanza simile, con i valori più elevati nella parte centrale e meridionale del lago, nel 2010 non si osserva alcun gradiente comune: la conducibilità presenta valori massimi nella zona settentrionale, in corrispondenza dell'entrata a lago del Ticino immissario (140 μS cm⁻¹ rispetto a 125-130 μS cm⁻¹ nelle altre zone), mentre pH e alcalinità risultano leggermente più elevate nelle porzioni centro-meridionali del lago (8,4-8,5 e 0,75 meq l⁻¹ rispettivamente, rispetto a 7,8-7,9 e 0,70 meq l⁻¹ nella zona settentrionale). Si tratta comunque di una variabilità contenuta, inferiore ad 1 unità per i valori di pH e attorno a 0,08 meq l⁻¹ per l'alcalinità (Fig. 5.12).

Per quanto riguarda i nutrienti, il fosforo totale ha presentato valori bassi in tutte le stazioni, sempre inferiori a 9 μg P l⁻¹, con l'eccezione del bacino di Lesa dove si sono registrate concentrazioni appena più elevate, comunque non superiori a 11 μg P l⁻¹. La silice ha presentato una distribuzione opposta, con valori più elevati a nord (0,80-0,90 mg Si l⁻¹) e minimi di circa 0,30 mg Si l⁻¹ nelle stazioni, sia litorali che pelagiche, della zona centro-settentrionale. L'accumulo di silice nella parte settentrionale del lago potrebbe derivare dagli apporti elevati di materiali silicei da tributari come Ticino immissario e Maggia.

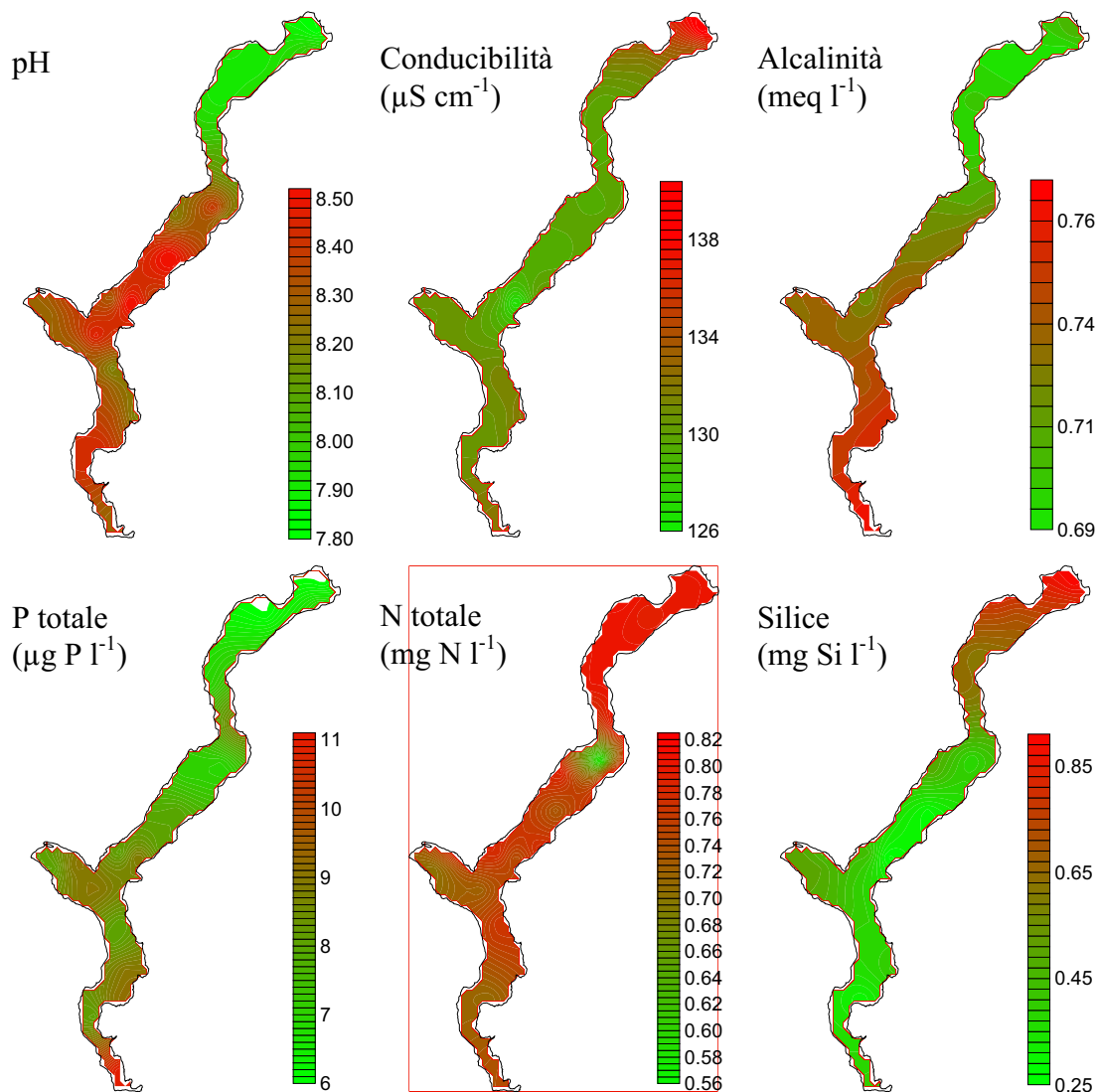


Fig. 5.12 Lago Maggiore, distribuzione orizzontale di alcune variabili chimiche in base ai rilievi eseguiti in 12 stazioni pelagiche e 15 stazioni litorali il 27-28 luglio 2010 (campioni integrati relativi allo strato 0-20 m).

L'azoto totale infine ha presentato un valore inferiore alla norma in un solo punto ($0,56 \text{ mg N l}^{-1}$ in una delle stazioni pelagiche), mentre le concentrazioni sono risultate pressoché uniformi in tutte le altre stazioni ($0,70\text{-}0,80 \text{ mg N l}^{-1}$) (Fig. 5.12).

Le concentrazioni sia di silice che di fosforo totale nel complesso sono risultate inferiori nel 2010 rispetto all'anno precedente pressoché in tutte le stazioni, probabilmente a causa del fatto che i processi di produzione algale e quindi di consumo dei nutrienti erano ad uno stadio più avanzato nel 2010, quando il campionamento è stato eseguito a fine luglio.

Nell'interpretazione di questi dati bisogna tener conto del fatto che essi si riferiscono ad un unico campionamento eseguito in un preciso momento stagionale, quello della stratificazione estiva, e risentono quindi inevitabilmente della variabilità spaziale dei popolamenti fitoplanctonici, in particolare da fenomeni di fioriture algali a livello locale, oltre che, soprattutto nel caso delle stazioni litorali, dagli apporti a lago dai tributari.

5.2 Apporti chimici dai tributari

5.2.1 Caratteristiche chimiche e chimico-fisiche

Nel 2010 sono proseguite le indagini sulle caratteristiche chimiche dei 14 principali tributari del Lago Maggiore e del Ticino emissario, con cadenza mensile e con le stesse modalità utilizzate nelle precedenti campagne di campionamento. I risultati, come 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 2010.

	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	4,73	554	0,10	3,32	0,35	3,77	189	2,8
Bardello	(BAR)	8,06	2,78	316	0,19	1,52	0,12	1,83	139	1,5
Tresa (a)	(TRE)	8,09	1,88	212	0,07	1,13	0,09	1,29	28	0,9
Giona	(GIO)	7,47	0,37	77	0,01	1,10	0,04	1,15	33	3,9
Tributari piemontesi										
Veveva	(VEV)	7,73	1,29	191	0,06	2,58	0,09	2,73	37	5,0
Strona	(STR)	7,53	0,42	98	0,04	1,29	0,09	1,43	14	2,9
Toce Ossola	(TOC)	7,49	0,76	164	0,08	0,59	0,03	0,70	20	2,3
San Giovanni	(SGI)	7,39	0,26	60	0,04	1,32	0,09	1,45	24	4,3
Erno	(ERN)	7,36	0,31	121	0,02	1,66	0,06	1,74	24	3,9
San Bernardino	(SBE)	7,46	0,29	53	0,01	0,94	0,04	1,00	6	3,0
Cannobino	(CAN)	7,27	0,22	42	0,01	0,57	0,06	0,64	7	3,4
Tributari svizzeri										
Maggia	(MAG)	7,51	0,40	60	0,01	0,73	0,04	0,77	5	2,8
Ticino immissario	(TIM)	7,73	0,96	230	0,02	0,76	0,05	0,83	8	2,3
Verzasca	(VER)	6,95	0,29	51	0,01	0,79	0,05	0,86	7	2,6
Emissario										
Ticino emissario	(TEM)	7,96	0,80	141	0,02	0,72	0,09	0,83	10	0,7

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

I valori di pH, conducibilità, alcalinità e, parzialmente, dei silicati reattivi, dipendono in larga parte dalle caratteristiche litologiche dei bacini; di conseguenza non variano significativamente da un anno all'altro, e permettono di distinguere tra corsi d'acqua impostati in bacini prevalentemente a base di rocce ignee (Cannobino, Verzasca, Maggia, S. Giovanni, S. Bernardino, Strona, Erno e Giona), oppure con presenza di rocce sedimentarie più solubili (Veveva, Tresa). I primi si caratterizzano per bassi valori medi di pH, alcalinità e conducibilità, che nel 2010 sono risultati compresi tra 6,95 e 7,53 unità di pH, 0,22 e 0,42 meq l⁻¹ e 42 e 121 µS cm⁻¹ a 20°C rispettivamente. I tributari del secondo gruppo presentano valori più elevati delle stesse variabili (7,73-8,09 unità di pH, 1,29-1,88 meq l⁻¹ e 191-212 µS cm⁻¹). Il Toce (bacino Ossola) ed il Ticino immissario si collocano in una situazione intermedia, con pH rispettivamente di 7,49 e 7,96, alcalinità pari a 0,76 e 0,96 meq l⁻¹ e conducibilità di 164 e 230 µS cm⁻¹.

Infine i valori più elevati di alcalinità e conducibilità sono quelli riscontrati nelle acque dei Torrenti Boesio e Bardello (4,73 e 2,78 meq l⁻¹ e 554 e 316 µS cm⁻¹

rispettivamente), a causa di una probabile contaminazione da scarichi ad elevato contenuto di bicarbonati e altri sali, particolarmente evidente nel caso del Boesio (Tab. 5.2).

Le variazioni stagionali dell'idrochimica nei corsi d'acqua considerati sono principalmente legate all'idrologia. Nel caso di Ticino, Tresa e Bardello, trattandosi di acque emissarie rispettivamente dei laghi Maggiore, Lugano e Varese, i valori di pH e di altre variabili chimiche risentono fortemente anche dei processi a lago.

Per quanto riguarda invece le tendenze evolutive a lungo termine, così come riscontrato per le acque lacustri, anche nel caso dei tributari si assiste ad un aumento delle concentrazioni di alcuni soluti, tra cui sodio e cloruri. A titolo di esempio, in figura 5.13 è riportato il trend delle concentrazioni medie annue di queste due variabili nelle acque dei tributari che maggiormente contribuiscono ai carichi di soluti veicolati a lago (Tresa, Ticino Immissario, Maggia, Toce). L'aumento è più accentuato nel caso del Tresa, dove si è passati da concentrazioni medie di sodio e cloruri rispettivamente di 3,5-4,0 e 4,5-5,0 mg l⁻¹ negli anni '80 agli attuali valori di circa 6,3 e 7,8 mg l⁻¹ (Fig. 5.2). La tendenza è meno evidente per gli altri tributari, dove comunque si riscontra un aumento nel periodo più recente, a partire dal 2002. Come già ipotizzato nel paragrafo 5.1.1, l'aumento di questi ioni nelle acque potrebbe derivare dall'utilizzo di sale come antigelo nei mesi invernali. Un maggior carico di sodio e cloruri veicolato dai tributari negli anni più recenti potrebbe a sua volta giustificare l'aumento delle concentrazioni di questi ioni nelle acque lacustri.

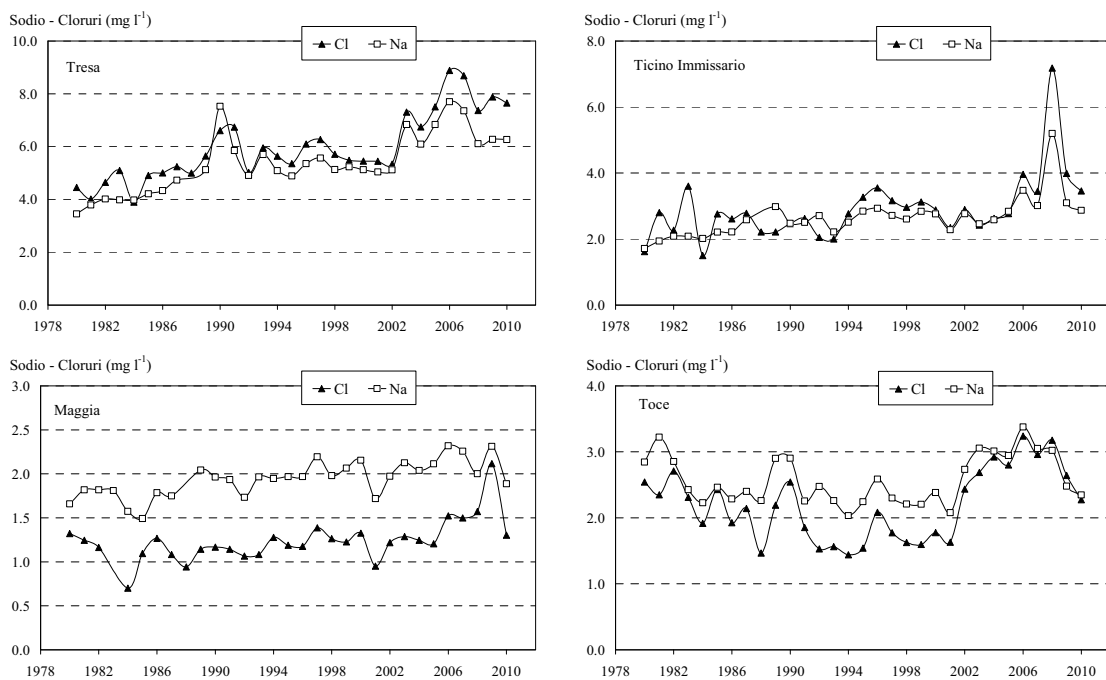


Fig. 5.13 Trend a lungo termine delle concentrazioni medie annuali di sodio e cloruri nelle acque dei principali immissari del Lago Maggiore.

In figura 5.14 è riportato un confronto tra il 2010 ed il quinquennio immediatamente precedente (2004-2009) relativamente ai valori di pH e alcalinità. Entrambe le variabili hanno presentato nel 2010 valori leggermente inferiori a quelli medi del quinquennio pressoché in tutti i corsi d'acqua. Il motivo è da ricercarsi nel volume di precipitazione,

che nel 2010 è stato superiore alla media (1750 mm rispetto ad una media di 1475 mm per il periodo 2005-2009) ed ha quindi comportato una maggior diluizione dei soluti. Le differenze riscontrate sono comunque minime, non superiori a 0,1 unità di pH (Erno, Giona, Maggia). Nel caso dell'alcalinità, le differenze più accentuate che hanno interessato Vevera, Bardello e Boesio (-0,50-0,80 meq l⁻¹ tra il 2010 e il quinquennio precedente) sono da imputare non tanto a fattori idrologici, quanto ad un miglioramento generale della qualità dei corsi d'acqua, come descritto nei paragrafi successivi.

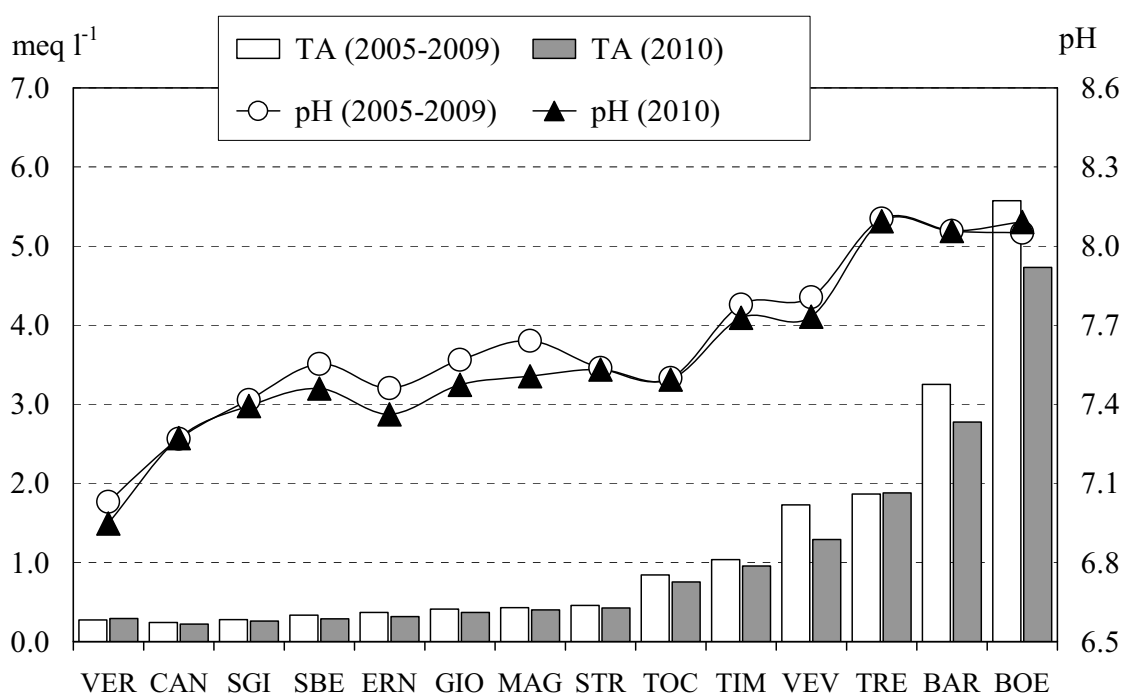


Fig. 5.14 Tributari del Lago Maggiore: valori medi annuali di pH e alcalinità totale relativi al 2010 a confronto con le medie del quinquennio precedente (2005-2009).

Le concentrazioni medie sia di fosforo totale che dei composti dell'azoto dimostrano ancora una volta la netta differenza esistente tra il livello qualitativo dei Torrenti Boesio e Bardello e gli altri tributari (Tab. 5.2). I livelli di fosforo totale ad esempio si mantengono al di sotto di 40 µg P l⁻¹ in tutti i corsi d'acqua, mentre raggiungono valori di 139 e 189 µg P l⁻¹ nel Bardello e nel Boesio rispettivamente. I livelli di azoto ammoniacale (0,19 e 0,10 mg N l⁻¹), organico (0,12 e 0,35 mg N l⁻¹) e totale (1,83 e 3,77 mg N l⁻¹) si discostano in modo meno evidente da quelli degli altri corsi d'acqua, grazie al fatto che i valori di tutte queste variabili sono diminuiti nel 2010 rispetto agli anni precedenti (Figg 5.15 e 5.16). Considerando infatti l'andamento temporale delle concentrazioni di fosforo totale ed azoto ammoniacale ed organico nell'ultimo decennio, si evidenzia per entrambi i corsi d'acqua una tendenza al miglioramento negli anni più recenti. Nel Bardello in particolare le concentrazioni appaiono in diminuzione dopo il 2007 e, sia nel caso del fosforo che dell'azoto, il 2010 è stato caratterizzato dai valori più bassi dell'ultimo decennio. Particolarmente significativa appare la diminuzione dell'azoto organico, che ha raggiunto valori prossimi a 0,10 mg N l⁻¹ (Fig. 5.15).

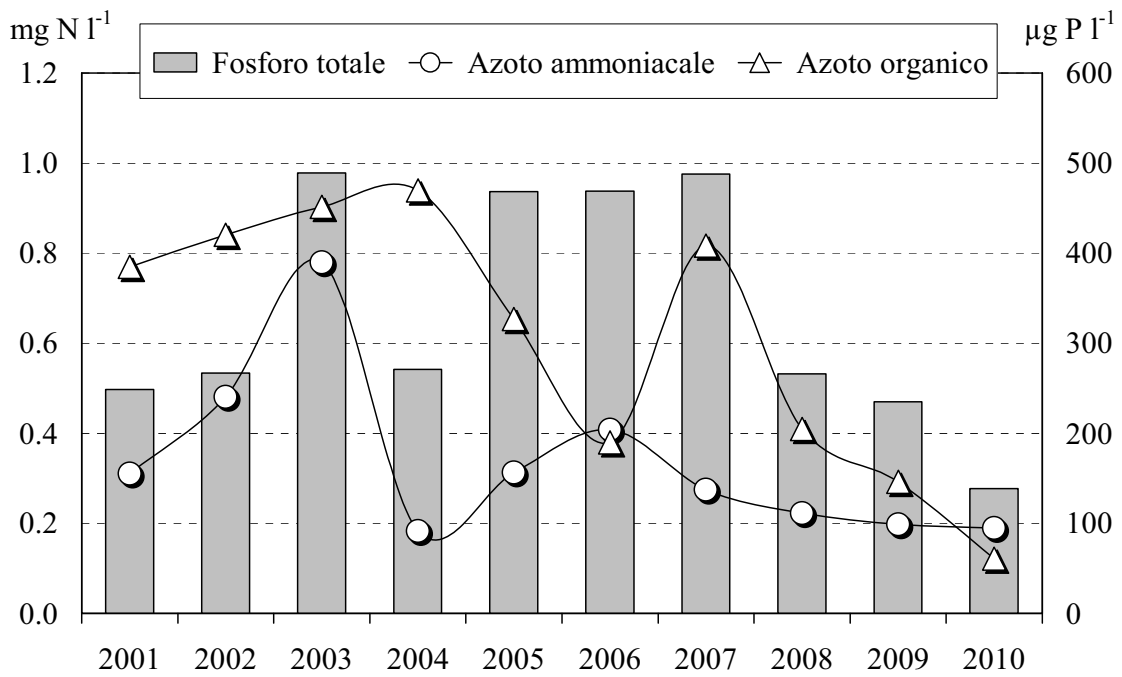


Fig. 5.15 Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e di azoto ammoniacale ed organico misurate dal 2001 al 2010 alla foce del Torrente Bardello.

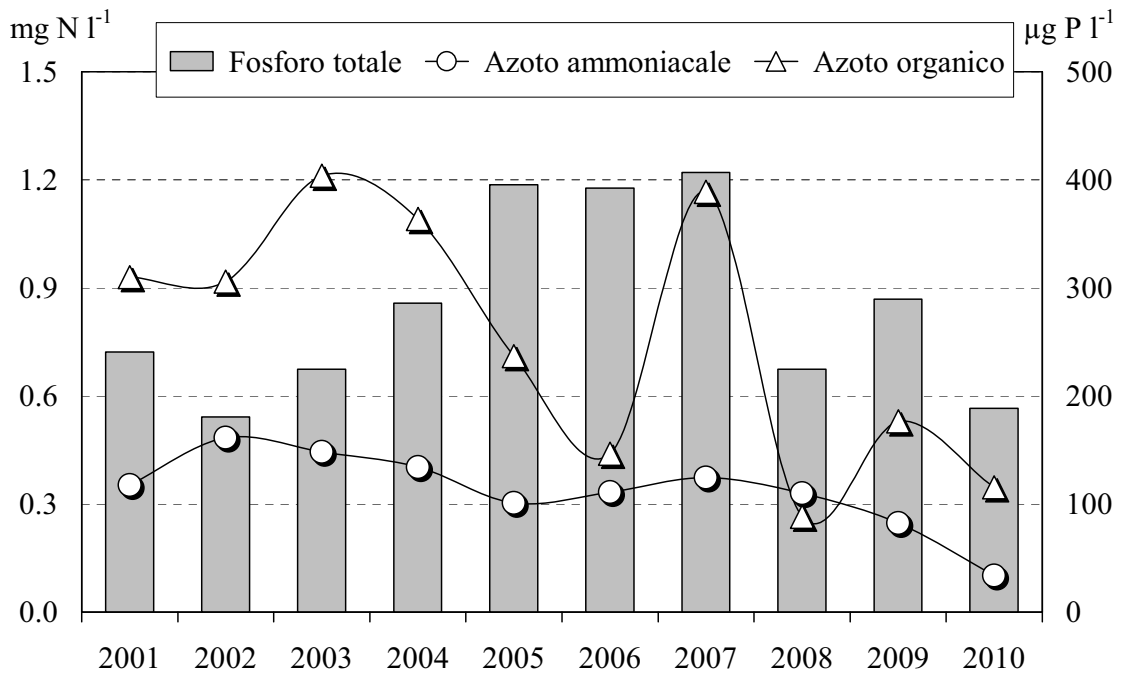


Fig. 5.16 Concentrazioni medie annuali di fosforo totale e di azoto ammoniacale ed organico misurate dal 2001 al 2010 alla foce del Torrente Boesio.

Anche nel caso del Boesio, il 2010 è stato caratterizzato da minimi di concentrazione sia per quanto riguarda il fosforo totale che l'azoto ammoniacale; l'azoto organico nel periodo 2008-2010 è stato attorno a 0,25-0,50 mg N l⁻¹, valori decisamente inferiori a quelli del periodo 2001-2004 (0,9-1,2 mg N l⁻¹) (Fig. 5.16). Per entrambi i corsi d'acqua bisogna però tener conto dell'elevata variabilità interannuale delle concentrazioni, strettamente dipendente dall'idrologia. Per verificare se sia in corso un effettivo miglioramento dello stato qualitativo dei due immissari è quindi necessario proseguire il monitoraggio e la sorveglianza, soprattutto in merito alle possibili ripercussioni sullo stato delle acque litorali interessate dai loro apporti.

Per quanto riguarda gli altri tributari le concentrazioni medie di fosforo totale nel 2010 sono risultate inferiori a 10 µg P l⁻¹ in 5 corsi d'acqua (Ticino Immissario, Cannobino, S. Bernardino, Verzasca, Maggia), comprese tra 20 e 25 µg P l⁻¹ in 4 corsi d'acqua (Erno, Toce, Strona, S. Giovanni), e tra 28 e 37 µg P l⁻¹ in 3 corsi d'acqua (Giona, Vevera, Tresa). I valori rispetto al 2009 sono diminuiti nella maggior parte dei corsi d'acqua; dove si sono verificati degli aumenti (Giona, Strona, Toce, Erno), si è trattato comunque di variazioni limitate a 4-5 µg P l⁻¹. Un miglioramento significativo ha interessato il S. Bernardino, in cui le concentrazioni medie di fosforo totale sono passate dai 17 µg P l⁻¹ del 2009 a 6 µg P l⁻¹ nel 2010.

Anche per quanto riguarda i composti dell'azoto, solo alcuni tributari presentano un lieve stato di compromissione, raggiungendo concentrazioni medie di 0,07-0,08 mg N l⁻¹ per l'azoto ammoniacale (Tresa e Toce) e 0,09 mg N l⁻¹ per l'azoto organico (Tresa, Vevera, Strona, S. Giovanni). In tutti gli altri corsi d'acqua le concentrazioni delle due forme di azoto nel 2010 si sono mantenute per lo più attorno a 0,01-0,02 mg N l⁻¹ e 0,04-0,06 mg N l⁻¹ rispettivamente, a conferma di un buon livello qualitativo delle acque (Tab. 5.2).

5.2.2. Medie areali

Per analizzare il livello qualitativo delle acque tributarie degli areali ticinese, lombardo e piemontese, sono state considerate le concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale, azoto organico e fosforo totale, riportate rispettivamente nelle figure 5.17, 5.18 e 5.19. Gli apporti di questi nutrienti nel 2010 sono stati molto simili o inferiori a quelli dell'anno precedente; in particolare sono diminuiti i valori medi relativi a tutto l'areale di azoto organico (da 0,08 a 0,05 mg N l⁻¹) e fosforo totale (da 21 a 18 µg P l⁻¹), grazie soprattutto alla diminuzione che ha interessato le acque tributarie lombarde (Figg 5.18 e 5.19).

La situazione migliore è quella che caratterizza il Canton Ticino, le cui acque tributarie presentano costantemente bassi livelli di azoto ammoniacale (0,01-0,02 mg N l⁻¹), azoto organico in diminuzione (da 0,10-0,12 mg N l⁻¹ nella prima parte del decennio agli attuali valori di 0,02-0,06 mg N l⁻¹) e fosforo totale sempre al di sotto di 10 µg P l⁻¹. Una buona qualità delle acque caratterizza anche l'areale piemontese, con valori medi di azoto ammoniacale ed organico prossimi a 0,05 mg N l⁻¹ e fosforo totale attorno a 20 µg P l⁻¹. Infine la situazione delle acque tributarie lombarde, pur in miglioramento, necessita di ulteriori riduzioni dei nutrienti, in quanto azoto ammoniacale ed organico superano gli 0,10 mg N l⁻¹ ed il fosforo totale anche nel 2010 è risultato superiore a 50 µg P l⁻¹ come valore medio areale (Figg 5.17-5.19).

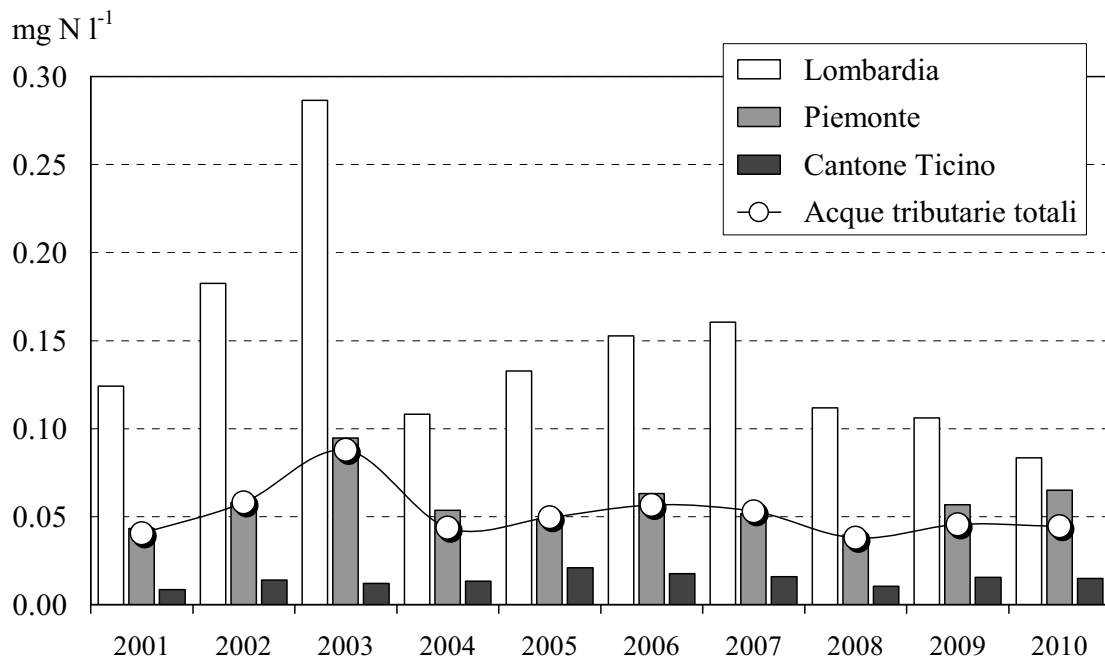


Fig. 5.17 Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto ammoniacale nel decennio 2001-2010 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte, Cantone Ticino.

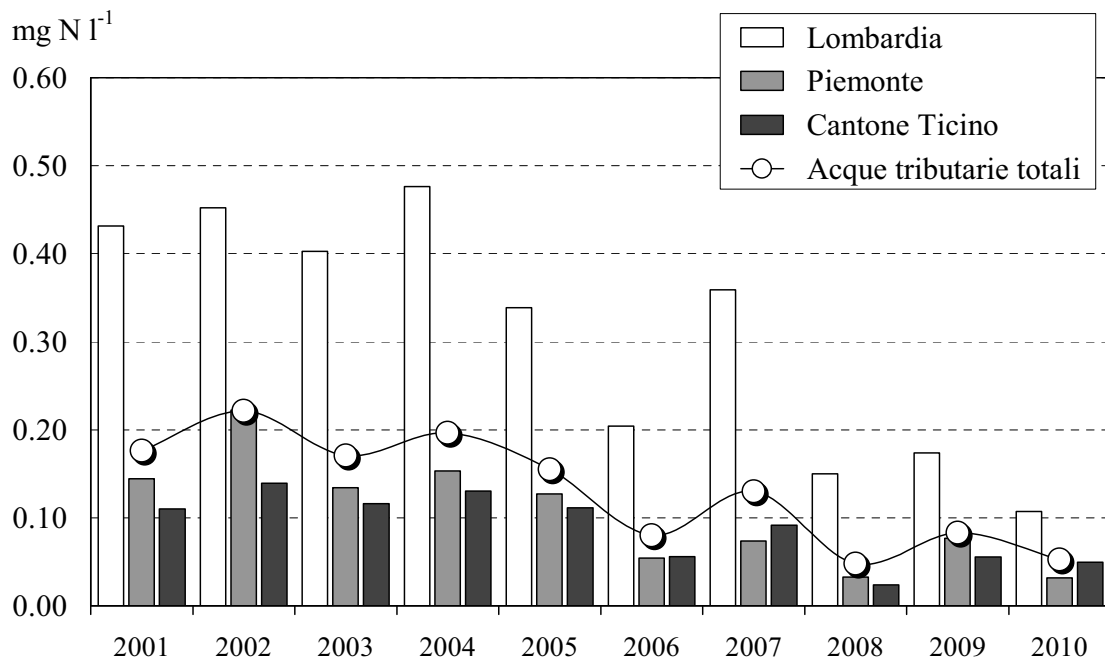


Fig. 5.18 Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di azoto organico nel decennio 2001-2010 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

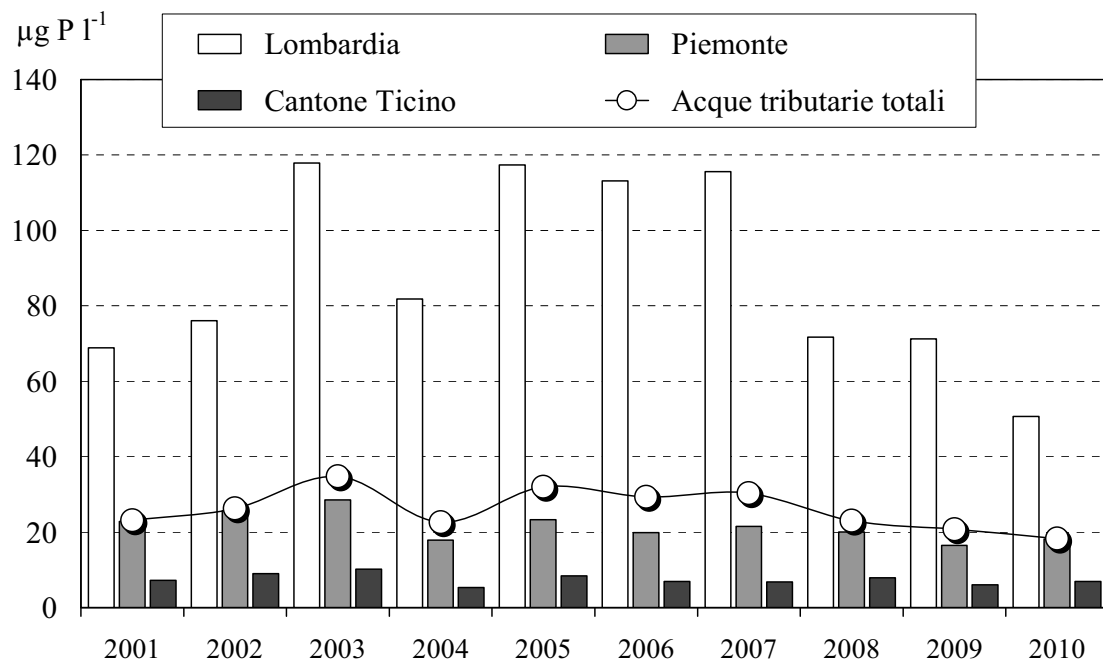


Fig. 5.19 Lago Maggiore. Concentrazioni medie areali annuali di fosforo totale nel decennio 2001-2010 nelle acque tributarie totali e in quelle campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Tresa), Piemonte e Cantone Ticino.

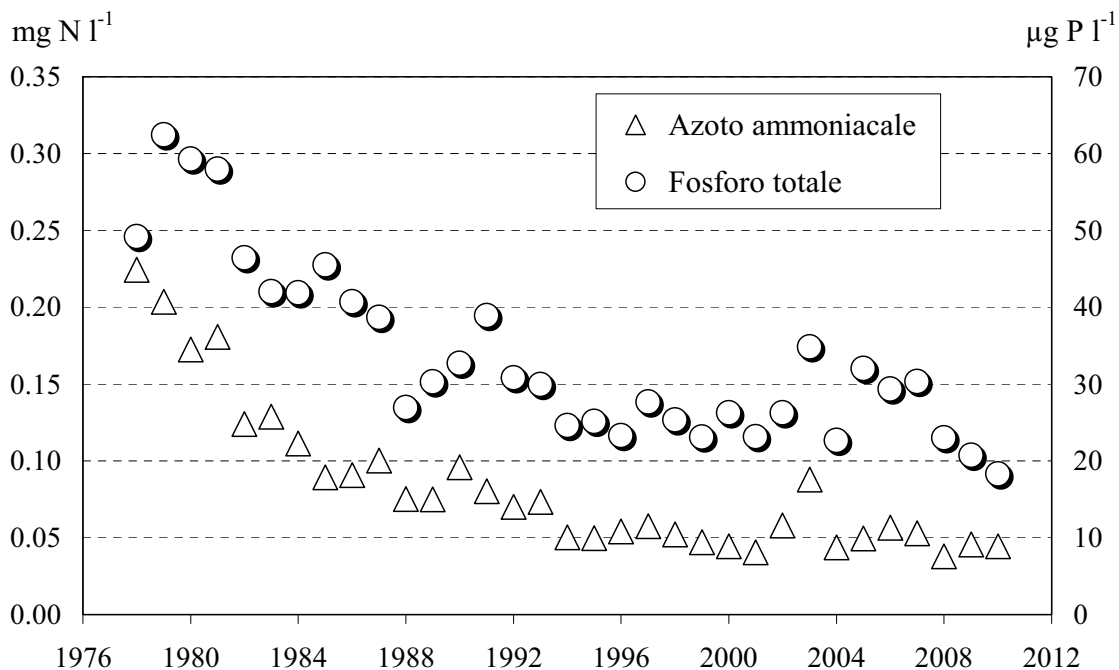


Fig. 5.20 Evoluzione a lungo termine delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale e azoto ammoniacale negli afflussi totali al Lago Maggiore (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

La differenza tra le tre aree è rimasta pressoché invariata nell'ultimo decennio, con rapporti tra Canton Ticino, Piemonte e Lombardia pari 1,0:4,0:10,1 per l'azoto ammoniacale; 1,0:1,2:3,5 per l'azoto organico; 1,0:2,9:11,8 per il fosforo totale.

Prendendo in considerazione anche i dati antecedenti al 2000, e più precisamente tutto il periodo 1978-2010 (Fig. 5.20), si può osservare come nel tempo si sia verificata una netta riduzione delle concentrazioni medie, sia di fosforo totale che di azoto ammoniacale, negli afflussi totali a lago. La diminuzione è stata particolarmente accentuata nel periodo 1978-1992, dopodiché le concentrazioni medie si sono stabilizzate attorno a $0,05 \text{ mg N l}^{-1}$ per l'azoto ammoniacale e tra 20 e $30 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$ per il fosforo totale (Fig. 5.20). Per quest'ultima variabile, si può osservare come il 2010 sia stato caratterizzato da un minimo assoluto nel periodo considerato ($18 \text{ } \mu\text{g P l}^{-1}$), a seguito soprattutto del miglioramento che ha interessato alcuni tributari lombardi.

5.2.3 Carichi chimici e bilanci di azoto e fosforo

I carichi chimici dei principali nutrienti algali veicolati al Lago Maggiore dai tributari e in uscita attraverso il Ticino emissario sono stati calcolati per l'anno 2010 con le stesse metodologie utilizzate negli anni precedenti. Per il Ticino emissario e 8 corsi d'acqua drenanti complessivamente circa il 65% del bacino imbrifero (Ticino immissario, San Bernardino, Toce alla chiusura del bacino della Val d'Ossola, Strona, Vevera, Bardello, Boesio e Tresa) i carichi sono stati calcolati dai valori di concentrazione e dai deflussi giornalieri. A causa del mancato funzionamento degli strumenti di misura, per il 2010 non erano disponibili dati per i Torrenti Erno, Cannobino e S. Giovanni. Le portate sono state ricostruite nei primi due casi sulla base della serie storica dei dati disponibili per altri corsi d'acqua con caratteristiche del bacino e andamento stagionale simile; per il S. Giovanni le portate sono state invece ricavate da una regressione con i volumi di precipitazione misurati in stazioni collocate all'interno del bacino.

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 calcolate per gli altri tributari.

I carichi delle diverse forme di azoto (ammoniacale, nitrico, organico e totale) e di fosforo totale veicolati a lago dai tributari nel 2010, unitamente a quelli in uscita dall'emissario, sono riportati in Tab. 5.3, a confronto con i dati dell'anno precedente. I carichi di fosforo totale sono rimasti pressoché invariati, mentre sono diminuiti significativamente quelli di azoto totale (del 7% circa, da 8260 a 7680 t a^{-1}). Tale riduzione è da attribuire prevalentemente all'azoto organico, passato da 866 t a^{-1} nel 2009 a 479 t a^{-1} nel 2010 (-44%), ed in parte all'azoto ammoniacale, diminuito del 16% circa. I carichi di azoto nitrico non sono invece variati in modo significativo, rimanendo attorno a 7000 t a^{-1} come apporto totale (Tab. 5.3).

Gli andamenti dei carichi veicolati a lago riflettono quelli delle concentrazioni medie (paragrafo 5.2.2), in particolare per quanto riguarda la diminuzione dell'azoto organico (Fig 5-18). Nonostante la riduzione delle concentrazioni medie di fosforo totale, soprattutto a carico dei tributari lombardi, i carichi veicolati a lago sono rimasti invece invariati, a causa di un corrispondente aumento degli apporti di fosforo da Ticino immissario e Toce (Tab. 5.3).

Tab. 5.3 Lago Maggiore. Apporti annuali (t a⁻¹) di azoto e fosforo dai tributari campionati ed uscite attraverso l'emissario nel biennio 2009-2010.

	N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Ticino Immissario ^(a)	41	40	1697	1704	169	126	1907	1870	14	19
Maggia ^(b)	24,4	8,0	1322	1247	142	106	1489	1361	12	12
Verzasca ^(b)	6,7	3,4	312	320	34	27	353	350	3,3	3,3
Cannobino ^(a)	3,8	2,8	259	141	22	18	285	162	2,3	1,8
San Giovanni ^(a)	3,3	1,1	91	109	8,5	4,4	103	115	1,7	1,3
San Bernardino ^(a)	5,2	2,4	231	214	16	10	252	226	2,0	1,7
Toce Ossola ^(a)	126	112	1304	1198	252	33	1683	1342	24	31
Strona ^(a)	15,3	12,4	431	352	45	12	491	377	4,9	3,3
Erno ^(a)	0,2	0,6	43	46	2,1	1,9	45	48	0,6	0,7
Vevera ^(a)	0,9	0,3	42	13	1,0	0,6	44	14	0,6	0,2
Bardello ^(a)	20,9	26,7	169	205	31	17	221	248	23	18
Boesio ^(a)	8,3	3,3	107	84	17	8	133	96	8,5	4,3
Tresa ^(a)	67,1	58,1	957	1226	113	109	1138	1394	28	28
Giona ^(b)	1,3	0,6	72	69	7	6	81	75	1,3	1,5
Totale campionati	325	272	7068	6929	866	479	8259	7680	127	125
Ticino emissario ^(a)	194	245	7930	7298	1184	859	9309	8403	103	108

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

(b) Valori calcolati dalla regressione fra concentrazione e contributi areali. Non essendo disponibili misure di portata in uscita dalle centrali idroelettriche per Maggia e Verzasca, anche per questi corsi d'acqua i carichi vengono stimati mediante regressione fra concentrazioni e contributi areali.

Per tutti gli altri corsi d'acqua i carichi di fosforo sono risultati simili nel biennio considerato; la diminuzione più significativa ha riguardato Bardello e Boesio (-5 e -4 t P a⁻¹ passando dal 2009 al 2010). Più disomogenea appare la situazione per i composti dell'azoto. Da evidenziare soprattutto la diminuzione dei carichi di azoto organico che ha interessato tutti i tributari. Gli apporti di azoto nitrico sono rimasti abbastanza stabili, con una tendenza prevalente alla diminuzione. Una riduzione ha caratterizzato anche gli apporti di azoto ammoniacale dalla maggior parte dei tributari, con l'eccezione del Bardello (da 21 a 27 t a⁻¹). Nonostante quest'ultimo dato, i carichi calcolati confermano la tendenza al miglioramento dei tributari lombardi, in particolare del Torrente Boesio, per il quale si sono pressoché dimezzati i carichi dei nutrienti veicolati a lago (Tab. 5.3).

I carichi in uscita dal Lago Maggiore attraverso il Ticino emissario, il cui deflusso medio annuo nel 2010 è stato inferiore a quello del 2009 (319,7 m³ s⁻¹ rispetto a 331,3 m³ s⁻¹), sono diminuiti per nitrati e azoto organico, e aumentati per l'azoto ammoniacale, con un effetto complessivo di diminuzione delle uscite di azoto totale (del 10% circa). Non sono invece variati significativamente per il fosforo totale (Tab. 5.3).

Anche per l'anno 2010 sono stati calcolati i bilanci per azoto e fosforo totale, riportati rispettivamente nelle tabelle 5.4 e 5.5, a confronto con i bilanci degli anni dal 2001 al 2009.

La somma degli apporti di azoto totale dai tributari campionati (7700 t N a⁻¹), dall'areale non campionato (660 t N a⁻¹), dalla popolazione rivierasca (700 t N a⁻¹) e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre (560 t N a⁻¹) nel 2010 è stata

pari a 9700 t N a⁻¹, valore di poco inferiore a quello del 2009 e molto vicino alla media dell'intero decennio (9200 t N a⁻¹). La ritenzione a lago, calcolata considerando il totale degli apporti e le uscite attraverso il Ticino emissario, è stata pari al 13% delle entrate, valore che si colloca tra ai più bassi del decennio considerato (Tab. 5.4).

La Figura 5.21 evidenzia come in generale gli apporti totali di azoto a lago abbiano un andamento corrispondente a quello degli afflussi meteorici, come conseguenza del fatto che le deposizioni atmosferiche rappresentano il veicolo principale di azoto per il bacino imbrifero del Lago Maggiore (Rogora et al., 2006). Fanno eccezione alcuni anni (ne è un esempio il 2008) in cui a precipitazioni abbondanti non corrisponde un maggior carico di azoto veicolato a lago. Anche la ritenzione a lago, che dovrebbe rispecchiare la variabilità degli afflussi, risultando in genere minore negli anni più piovosi (es. 2000 e 2002) e viceversa, risente anche del regime, della tipologia e della distribuzione delle precipitazioni sul bacino. La capacità di ritenzione dell'azoto da parte di suoli e vegetazione ad esempio, dipende fortemente dalla tipologia dell'evento piovoso. Come già rilevato nei precedenti rapporti, alcuni bacini versanti nell'areale del Lago Maggiore presentano una situazione prossima alla saturazione di azoto, come evidenziato dalle alte concentrazioni di nitrati nelle acque, anche in assenza di sorgenti di contaminazione diretta quali scarichi o attività di agricoltura e allevamento (Rogora et al., 2007). Per questi tributari il regime idrologico diventa un fattore importante nel determinare gli effettivi apporti di azoto veicolati a lago.

Tab. 5.4 Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 2001-2010 di azoto totale (t N a⁻¹). I totali parziali e complessivi sono approssimati alle centinaia.

	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
Ticino Immissario	2216	2359	1356	2205	1160	1263	1658	2227	1907	1870
Maggia	1143	1704	953	1429	878	855	976	1390	1489	1361
Verzasca	291	449	230	362	223	224	250	352	353	350
Cannobino	117	137	229	202	229	206	211	210	285	162
San Giovanni	82	179	31	91	38	33	52	98	103	115
San Bernardino	278	359	186	405	123	188	128	216	252	226
Toce (Ossola + Strona)	1718	3070	1492	2621	1383	1288	1377	1926	2174	1719
Erno	45	80	48	56	27	34	31	35	45	48
Vevera	50	61	75	43	15	16	11	45	44	14
Bardello	240	322	332	256	222	117	263	258	221	248
Boesio	134	196	110	238	99	158	93	131	133	96
Tresa	1308	1904	697	920	479	721	667	1357	1138	1394
Giona	75	111	64	100	54	57	57	80	81	75
Tributari campionati	7700	10900	5800	8900	4900	5200	5800	8300	8200	7700
Areale non campionato	660	934	500	760	420	446	497	711	703	660
Totale bacino emerso	8400	11800	6300	9700	5300	5600	6300	9000	8900	8400
Fascia rivierasca	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Precipitazioni sul lago	700	840	400	500	500	400	380	540	569	560
Totale apporti	9800	13300	7400	10900	6500	6700	7400	10200	10200	9700
Uscite da emissario	8600	11800	4600	8000	4500	4200	5500	8200	9300	8403
Ritenzione in lago	12%	11%	38%	27%	31%	37%	26%	20%	9%	13.4

Per quanto riguarda il contributo dei singoli tributari al carico complessivo di azoto totale, gli apporti più consistenti, anche nel 2010, sono stati quelli derivanti dal Ticino immissario (24,4%), dal Toce, comprensivo dello Strona (22,4%) e da Tresa (18,1%) e Maggia (17,7%). I rimanenti corsi d'acqua contribuiscono per il 17% circa.

Gli apporti di fosforo totale a lago, riportati in Tabella 5.5, hanno presentato nel 2010 una sostanziale stabilità di valori rispetto al 2009 ed in generale a tutto il decennio considerato (valore medio degli apporti totali: 206 t P a⁻¹). Come già evidenziato, la maggior parte dei tributari non ha mostrato variazioni significative degli apporti; un miglioramento sostanziale ha interessato invece Boesio e Bardello, per i quali il valore registrato nel 2010 è stato il minimo assoluto dell'ultimo decennio (Tab. 5.5).

Considerando tutta la serie di dati disponibili dal 1978, riportati in Figura 5.22, si può osservare come gli apporti totali di fosforo dalle acque tributarie siano nettamente diminuiti dalla seconda metà degli anni '80, pur con una notevole variabilità interannuale (Fig. 5.22).

Tab. 5.5 Lago Maggiore. Bilanci annuali nel decennio 2000-2009 del fosforo totale (t P a⁻¹).

<i>Tributari campionati</i>	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
Ticino Immissario	27	22	19	12	10	10	12	21	14	19
Maggia	12	20	8	5	7	7	4	18	12	12
Verzasca	2,6	5,8	2,5	1,4	1,6	2	1,2	4,1	3,5	3,3
Cannobino	1,0	1,7	1,6	1,6	2,3	2	1,8	2,7	2,3	1,8
San Giovanni	0,9	3,1	0,6	0,6	0,4	0	0,4	2,2	1,7	1,3
San Bernardino	1,4	3,4	2,0	1,2	2,5	1	0,4	2,2	2,0	1,7
Toce (Ossola + Strona)	51	57	42	43	27	26	31	44	29	34
Erno	0,5	0,8	0,4	0,5	0,6	0	0,6	0,5	0,6	0,7
Vevera	0,7	0,8	1,4	0,4	0,2	0	0,2	0,5	0,6	0,2
Bardello	23	27	42	27	34	19	40	27	23	18
Boesio	6,3	7,8	6,0	14,9	9	15	8	8	9	4
Tresa	26	40	20	22	12	19	16	30	28	28
Giona	1,3	2,0	1,3	2,4	1,5	2	1,5	1,6	1,3	1,5
Tributari campionati	153	191	148	132	108	102	117	161	127	125
Areale non campionato	13	16	13	11	9	9	10	14	11	11
Totale bacino emerso	166	207	160	143	118	111	127	175	138	136
Fascia rivierasca	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Totale apporti	224	265	218	201	176	169	185	233	196	194
Uscite da emissario	114	115	84	116	65	62	66	116	103	108
Ritenzione in lago	49%	57%	61%	42%	63%	63%	64%	50%	47%	44%

Nel complesso la serie storica dei dati, disponibili dal 1978, conferma una tendenza alla diminuzione degli apporti totali di fosforo dal bacino a partire dalla seconda metà degli anni '80, pur con una notevole variabilità interannuale. Gli anni più recenti (2005-2010) sembrerebbero indicare un'ulteriore tendenza alla diminuzione, che dovrà però essere verificata con un costante aggiornamento delle serie storiche (Fig. 5.22).

In termini di contributi percentuali dai singoli tributari, i valori più elevati sono quelli imputabili al Toce, comprensivo dello Strona (27,2%) e al Tresa (22,1%). Seguono Ticino Immissario (15,0%) e Bardello (14,5%), il cui contributo è comunque in diminuzione rispetto a quello degli altri tributari.

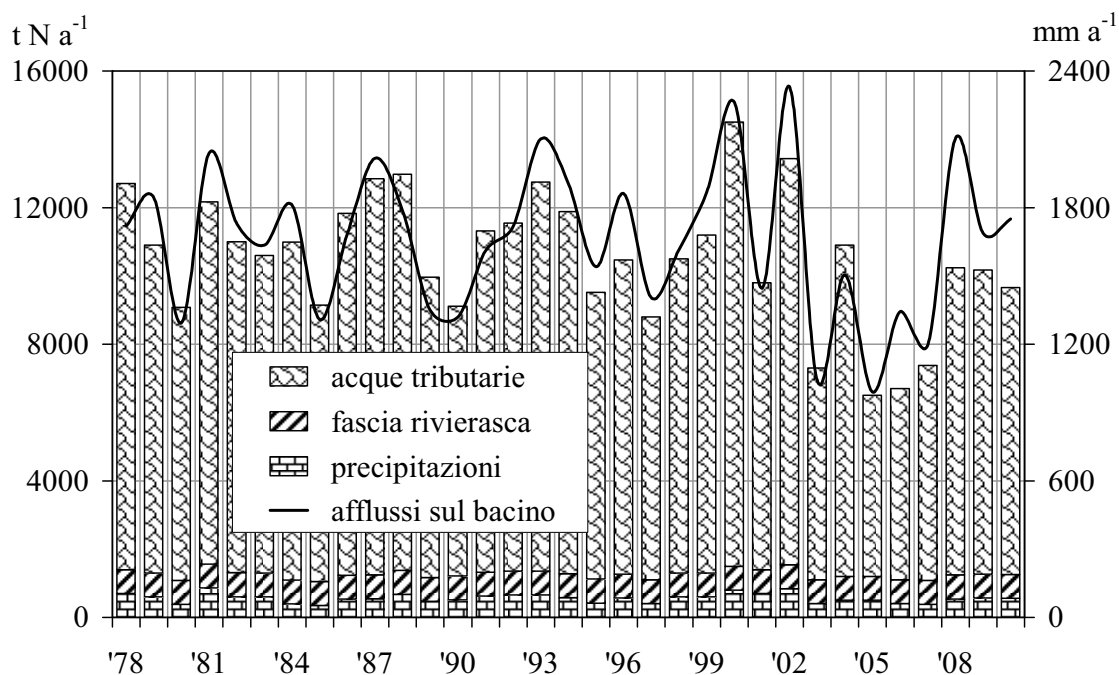


Fig. 5.21 Lago Maggiore. Apporti annuali di azoto totale al lago dall'areale emerso, dalla zona rivierasca e dalle precipitazioni atmosferiche sullo specchio lacustre, in relazione con gli afflussi meteorici annuali sul bacino imbrifero.

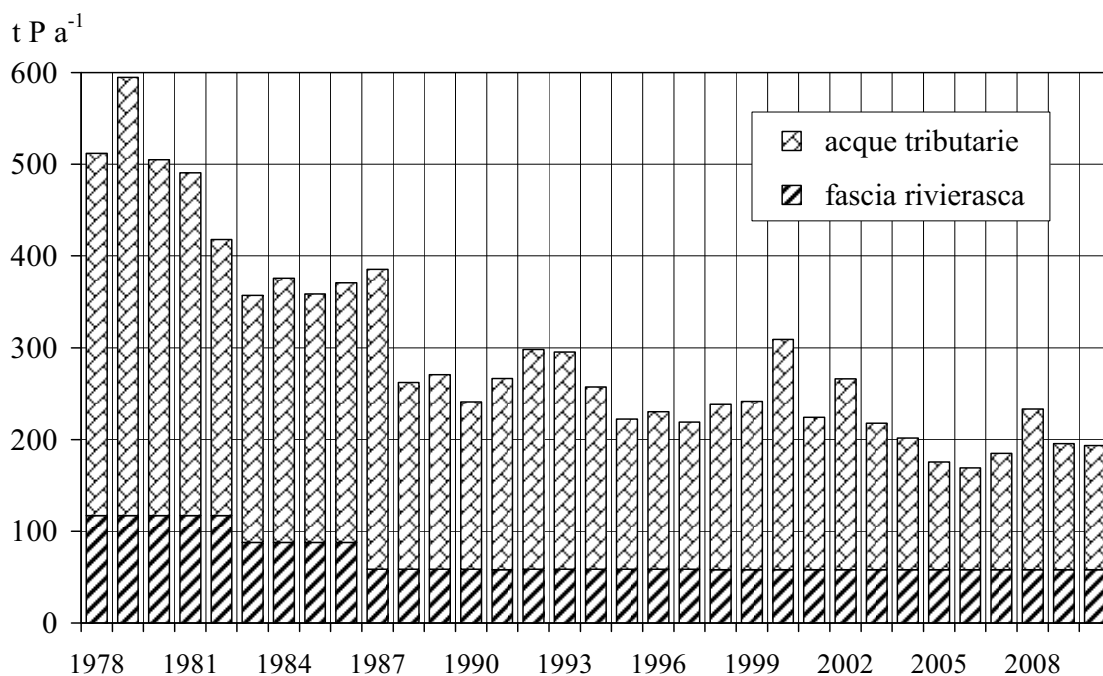


Fig. 5.22 Lago Maggiore. Apporti annuali di fosforo totale al lago dall'areale emerso e dalla zona rivierasca nel periodo 1978-2010.

In tabella 5.6 sono riportati i contributi areali annuali dei composti dell'azoto e del fosforo totale calcolati nel 2010 per i tributari e per il Ticino emissario, a confronto con gli stessi dati del 2009.

I dati confermano quanto già descritto sia per le concentrazioni che per i carichi, e cioè una sostanziale stabilità dei valori per quanto riguarda il fosforo totale. Il contributo areale per tutto l'areale campionato è rimasto infatti praticamente invariato rispetto al 2009. Boesio, Bardello e Vevera si sono però distaccati da questa tendenza facendo registrare una significativa riduzione dei contributi areali (dell'ordine rispettivamente del 50, 22 e 60%).

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 2009-2010 dai tributari campionati e dall'emissario.

		N-NH ₄		N-NO ₃		N _{org}		TN		TP	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
Ticino Immissario	TIM	0,025	0,025	1,050	1,054	0,105	0,078	1,180	1,157	0,008	0,012
Maggia	MAG	0,026	0,009	1,428	1,347	0,154	0,114	1,608	1,470	0,013	0,013
Verzasca	VER	0,031	0,015	1,428	1,353	0,158	0,112	1,616	1,480	0,015	0,014
Cannobino	CAN	0,034	0,026	2,343	1,278	0,201	0,167	2,579	1,471	0,021	0,017
San Giovanni	SGI	0,054	0,018	1,500	1,798	0,140	0,072	1,695	1,888	0,029	0,021
San Bernardino	SBE	0,040	0,018	1,762	1,634	0,125	0,077	1,927	1,729	0,015	0,013
Toce Ossola	TOC	0,081	0,072	0,843	0,774	0,163	0,021	1,088	0,868	0,016	0,020
Strona	STR	0,069	0,055	1,929	1,577	0,202	0,055	2,199	1,688	0,022	0,015
Erno	ERN	0,007	0,023	1,660	1,795	0,084	0,074	1,751	1,891	0,022	0,026
Vevera	VEV	0,042	0,015	1,974	0,628	0,049	0,030	2,065	0,672	0,026	0,010
Bardello	BAR	0,156	0,199	1,258	1,526	0,233	0,124	1,647	1,849	0,173	0,135
Boesio	BOE	0,182	0,073	2,369	1,861	0,373	0,173	2,925	2,107	0,187	0,095
Tresa	TRE	0,089	0,077	1,269	1,626	0,150	0,145	1,508	1,848	0,038	0,037
Giona	GIO	0,028	0,012	1,539	1,383	0,156	0,118	1,722	1,513	0,027	0,029
Totale campionati		0,055	0,046	1,202	1,178	0,147	0,081	1,404	1,306	0,022	0,021
Ticino emissario	TEM	0,029	0,037	1,202	1,106	0,179	0,130	1,411	1,273	0,018	0,016

Anche i contributi per quanto riguarda l'azoto totale non sono variati di molto rispetto al 2009 (-7%). La diminuzione più consistente è stata quella del Torrente Vevera (-67%), seguito da Cannobino (-43%) e Boesio (-28%). Nel caso del Cannobino, la diminuzione è imputabile soprattutto ai nitrati, che si sono praticamente dimezzati dal 2009 al 2010. Per la maggior parte dei corsi d'acqua invece, la diminuzione dei contributi areali di azoto totale dipende per lo più dalla riduzione dell'azoto organico, diminuito in misura variabile pressoché in tutti i tributari (Tab. 5.6).

Anche i contributi di azoto ammoniacale e nitrico sono diminuiti per la maggior parte dei corsi d'acqua, confermando quindi una generale riduzione dei carichi di azoto veicolati dai tributari che necessita però di essere confermata. Potrebbe infatti trattarsi di una diminuzione limitata a livello temporale ad uno o pochi anni, a causa soprattutto di fattori legati all'idrologia.

I dati per azoto ammoniacale ed organico confermano la tendenza al miglioramento qualitativo delle acque dei Torrenti Boesio e Bardello. È necessario però evidenziare come i carichi areali dei composti dell'azoto e del fosforo per questi due tributari

rimangono tuttora troppo elevati, in particolare se messi a confronto con quelli degli altri immissari.

Escludendo Boesio e Bardello, ed assumendo come obiettivo un contributo areale massimo di fosforo pari a $0,02 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, dai dati dell'ultimo triennio per i restanti 12 tributari (Fig. 5.23) si evidenzia come i contributi accettabili siano solo quelli di Maggia, Verzasca, Ticino immissario e S. Bernardino. È da rilevare però come diversi tributari (Vevera, Strona, Toce, Cannobino, Erno) presentano ormai valori vicini al limite prefissato, mentre i restanti corsi d'acqua (Tresa, Giona e S. Giovanni) sono ancora lontani dalla soglia di accettabilità (Fig. 5.23).

Nel caso dell'azoto ammoniacale solo pochi tributari (Tresa, Strona, Toce) presentano una situazione di compromissione con contributi areali superiori a $0,05 \text{ mg N m}^{-2}$ considerando la media del triennio. I valori medi per S. Giovanni e S. Bernardino sono significativamente diminuiti grazie al miglioramento che ha caratterizzato il 2010 ($0,02 \text{ mg N m}^{-2}$ rispetto a valori di $0,04\text{-}0,05 \text{ mg N m}^{-2}$ negli anni 2008-2009). In diminuzione anche i contributi medi areali per Giona e Vevera, mentre sia Toce che Erno hanno visto un aumento dei contributi areali nel 2009 e 2010 rispetto al dato del 2008 (Fig. 5.24). Per l'azoto organico la situazione si presenta più omogenea, grazie alla sensibile diminuzione dei carichi areali che ha caratterizzato diversi tributari nel 2010. Considerando i valori medi del triennio, la maggior parte dei corsi d'acqua presenta valori compresi tra $0,10$ e $0,15 \text{ mg N m}^{-2}$ (Fig. 5.25).

Questi dati nel complesso evidenziano l'elevata variabilità interannuale dei carichi areali, e quindi la necessità di un monitoraggio continuo della qualità dei corsi d'acqua per seguirne l'evoluzione.

Un confronto tra le diverse aree (Ticino, Piemonte e Lombardia) i cui apporti interessano il Lago Maggiore è mostrato in tabella 5.7, dove sono riportati i contributi areali totali di fosforo totale, azoto ammoniacale ed organico calcolati per gli ultimi 3 anni (2008-2010). Ancora una volta emerge chiaramente la differenza tra le tre aree in termini di contributi: le acque tributarie ticinesi sono caratterizzate infatti da un livello qualitativo ottimale, anche se i contributi di azoto organico sono aumentati rispetto al 2008 e nel 2010 sono stati più elevati rispetto a quelli provenienti dal Piemonte ($0,101$ rispetto a $0,038 \text{ mg N m}^{-2}$). Per quanto riguarda il fosforo totale, i contributi dall'areale piemontese non si discostano di molto da quelli Ticinesi ($0,019 \text{ g P m}^{-2}$ rispetto a $0,013 \text{ g P m}^{-2}$ nel 2010), mentre decisamente più elevati appaiono quelli provenienti dalla Lombardia ($0,052 \text{ g P m}^{-2}$). I contributi areali da quest'ultima area permangono troppo alti anche per quanto riguarda l'azoto ammoniacale ($0,090 \text{ mg N m}^{-2}$) ed organico ($0,143 \text{ mg N m}^{-2}$) (Tab. 5.7).

Come già messo in evidenza nel paragrafo relativo ai carichi, data l'elevata variabilità interannuale che caratterizza gli apporti dai tributari, è necessario mantenere attivo il loro monitoraggio, in considerazione anche del possibile effetto di acque immissarie ad elevato contenuto di nutrienti sulle acque lacustri del litorale.

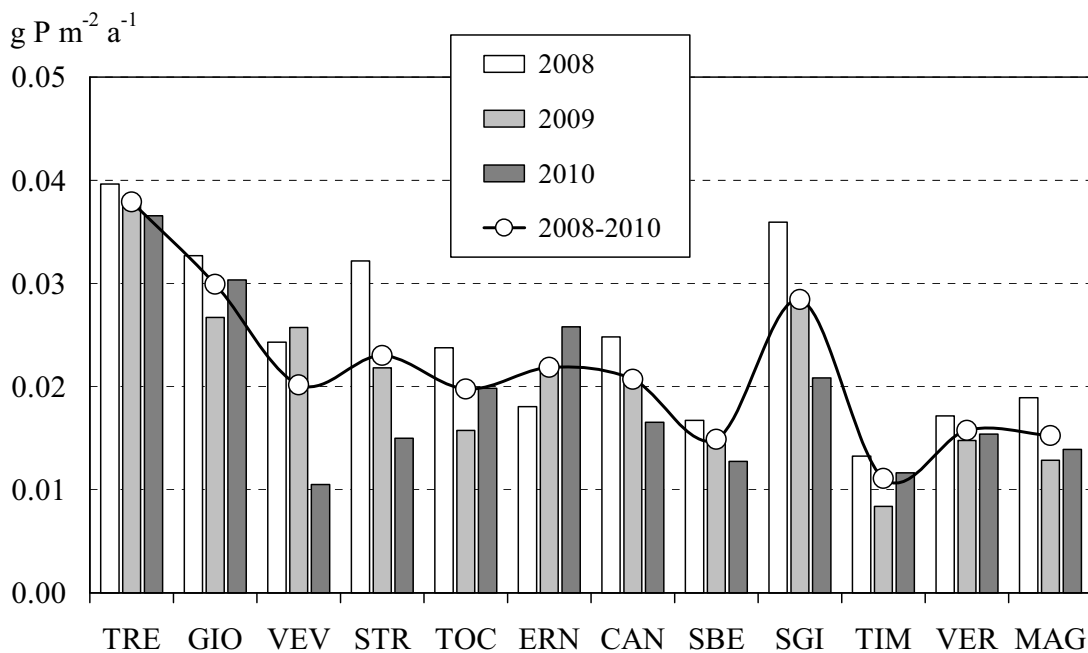


Fig. 5.23 Lago Maggiore. Contributi areali di fosforo totale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2008-2010.

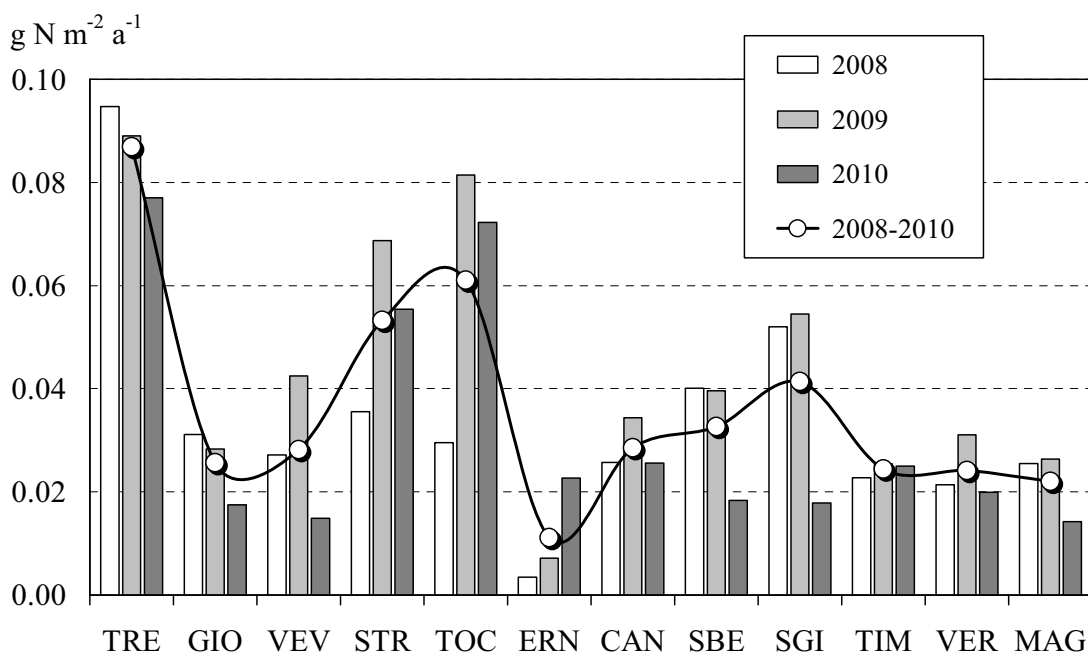


Fig. 5.24 Lago Maggiore. Contributi areali di azoto ammoniacale, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Bardello e Boesio) nel triennio 2008-2010.

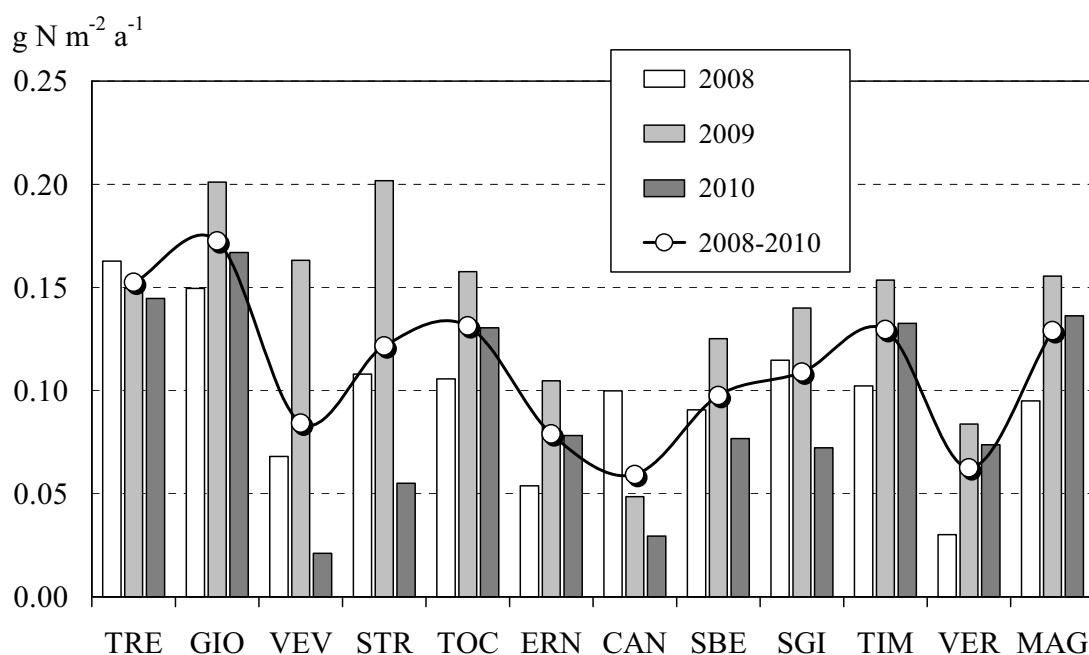


Fig. 5.25 Lago Maggiore. Contributi areali di azoto organico, annuali e medi, dai singoli tributari (esclusi Tresa e Boesio) nel triennio 2008–2010.

Tab. 5.7 Contributi areali di fosforo totale ($\text{g P m}^{-2} \text{a}^{-1}$) ed azoto ammoniacale e organico ($\text{g N m}^{-2} \text{a}^{-1}$) derivanti dalle acque tributarie ticinesi, piemontesi, lombarde e totali nel triennio 2008-2010.

	2008			2009			2010		
	TP	NH ₄	Norg	TP	NH ₄	Norg	TP	NH ₄	Norg
Cantone Ticino	0,015	0,024	0,074	0,010	0,026	0,126	0,013	0,021	0,101
Piemonte	0,025	0,031	0,079	0,017	0,073	0,164	0,019	0,062	0,038
Lombardia	0,067	0,109	0,184	0,062	0,099	0,172	0,052	0,090	0,143
Acque tributarie	0,027	0,041	0,094	0,022	0,055	0,147	0,022	0,047	0,085

BIBLIOGRAFIA

- Ambrosetti, W., L. Barbanti & A. Rolla. 2006. Il clima dell'areale del Lago Maggiore durante gli ultimi cinquant'anni. The climate of Lago Maggiore area during the last fifty years. *J. Limnol.*, 65(Suppl. 1): 62 pp.
- Rogora, M., R. Mosello & S. Arisci. 2003. The effect of climate warming on the hydrochemistry of alpine lakes. *Water Air Soil Poll.*, 148: 347-361.
- 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.
- Rogora, M. Synchronous trends in N-NO₃ export from N-saturated river catchments in relation to climate. 2007. *Biogeochemistry* 86: 251–268.