

3.2. Chimica lacustre

3.2.1. Chimismo di base

I campionamenti nella zona di massima profondità del Lago Maggiore (bacino di Ghiffa) sono stati effettuati nel corso del 2007 con cadenza mensile alle seguenti profondità: -5, -10, -20, -30, -50, -100, -150, -200, -250, -300, -360 metri. Il 13 Marzo e il 24 Settembre sono stati inoltre eseguiti 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 a centro lago.

Nella tabella 3.2.1 sono riportati i valori di pH, conducibilità ed il bilancio ionico per il periodo 2003-2007, sia per la stazione di Ghiffa che per quella di Lesa. La figura 3.2.1a mostra invece il contributo percentuale dei diversi ioni al contenuto ionico totale nel campionamento del Marzo 2007. I dati si riferiscono in entrambi i casi a valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo delle misure effettuate nel mese di Marzo, quando è massima l'estensione verticale del mescolamento tardo invernale.

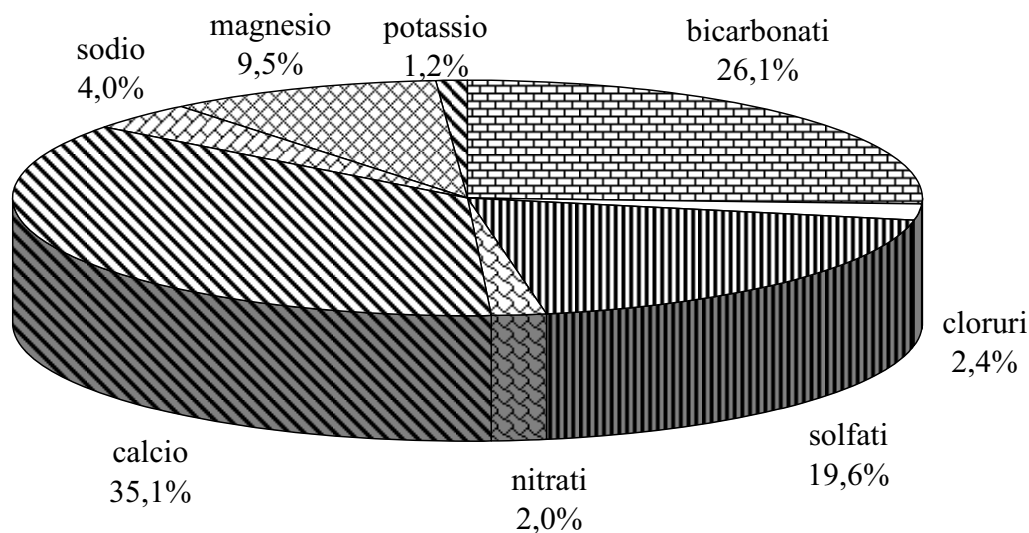
Tab. 3.2.1. Bilancio ionico (meq l⁻¹), pH e conducibilità a 20 °C (Cond.; μS cm⁻¹) alla circolazione primaverile delle acque del Lago Maggiore (valori medi ponderati sui volumi) nelle stazioni di Ghiffa e Lesa nel quinquennio 2003-2007.

	GHIFFA					LESA				
	17.03.03	15.03.04	14.03.05	13.03.06	12.03.07	18.03.03	16.03.04	15.03.05	14.03.06	13.03.07
HCO ₃ ⁻	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,79	0,82	0,81	0,82	0,82
SO ₄ ⁻	0,58	0,60	0,61	0,63	0,61	0,55	0,61	0,60	0,63	0,61
Cl ⁻	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07	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	1,51	1,54	1,55	1,58	1,58	1,46	1,56	1,54	1,58	1,58
Ca ⁺⁺	1,06	1,11	1,13	1,13	1,16	1,02	1,12	1,12	1,16	1,17
Mg ⁺⁺	0,29	0,29	0,31	0,31	0,31	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31
Na ⁺	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,11	0,13	0,12	0,12	0,13
K ⁺	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Σ cationi	1,50	1,56	1,59	1,60	1,63	1,45	1,58	1,58	1,63	1,65
Σ ioni	3,01	3,10	3,14	3,18	3,21	2,91	3,14	3,11	3,21	3,23
pH	7,39	7,30	7,38	7,45	7,49	7,57	7,49	7,49	7,42	7,56
Cond.	143	147	147	148	150	142	149	146	150	150

Come si può osservare dalla tabella, le concentrazioni degli ioni principali, così come i valori di pH e conducibilità, presentano variazioni minime da un anno all'altro. Nel quinquennio considerato, il contenuto ionico totale ha presentato tuttavia una lieve tendenza all'aumento in entrambe le stazioni (da circa 3,00 a 3,20 meq l⁻¹), così come il valore medio di conducibilità (da 142-143 a 150 μS cm⁻¹), indicando un progressivo, seppur contenuto, arricchimento in soluti delle acque lacustri.

Tra le due stazioni non si sono riscontrate differenze significative per quanto riguarda le concentrazioni degli ioni principali. Solo i valori di pH risultano leggermente più elevati nella stazione di Lesa rispetto a quella di Ghiffa (7,56 e 7,49 rispettivamente, nel 2007). In entrambi i siti questi valori non si discostano significativamente da quelli registrati nel quinquennio, sempre compresi tra 7,30 e 7,60 unità di pH (Tab. 3.2.1).

I dati del 2007 confermano la composizione chimica delle acque lacustri già descritta nelle precedenti indagini: calcio e bicarbonati risultano prevalenti tra cationi ed anioni, rispettivamente, formando insieme più del 60 % del contenuto ionico totale. Solfati, magnesio e sodio contribuiscono in misura del 20, 10 e 4 % circa, mentre gli altri ioni sono presenti in percentuali inferiori al 2,5 % (Fig. 3.2.1a).



Contenuto ionico totale = 3,21 meq l⁻¹

Conducibilità a 20 °C = 150 μS cm⁻¹

Fig. 3.2.1a. Lago Maggiore: ripartizione percentuale dello spettro ionico e valori medi di pH e conducibilità al 12 Marzo 2007 (valori medi ponderati sui volumi alla circolazione primaverile nella stazione di massima profondità).

La figura 3.2.1b riporta gli andamenti dei valori medi di pH nello strato epilimnico ed ipolimnico e quello dell'ossigeno in epilimnio, espresso come percentuale di saturazione, nel decennio 1998-2007. I processi fotosintetici che avvengono nelle acque superficiali ed il rimescolamento delle acque sono i principali processi che regolano le variazioni stagionali di questi due parametri: i valori massimi di pH e di ossigeno vengono misurati in superficie nei mesi estivi, a causa della produzione primaria da parte delle alghe fitoplanctoniche; i minimi, sempre nelle acque superficiali, si rilevano invece nei mesi tardo invernali. Il pH in ipolimnio mostra variazioni modeste rispetto a quelle delle acque superficiali, non risentendo dei processi di produzione e respirazione algale.

Nel decennio considerato i massimi estivi di pH sono risultati compresi tra 8,2 e 8,5, con un picco di 8,7-8,8 nell'estate 2007. I minimi dei mesi invernali sono stati attorno a 7,3-7,4, con un minimo di 7,1 unità di pH nel corso dell'inverno 1998-99, in occasione di un evento di circolazione completa delle acque (Fig. 2.3.1b).

L'ossigeno in superficie ha raggiunto valori massimi di 110-115 % come percentuale di saturazione nei mesi di Luglio e Agosto 2007, per poi scendere a 75-80 % nel periodo invernale. Il valore minimo del Febbraio 1999 (62 %) anche in questo caso è da attribuire alla circolazione dell'inverno 1998-99.

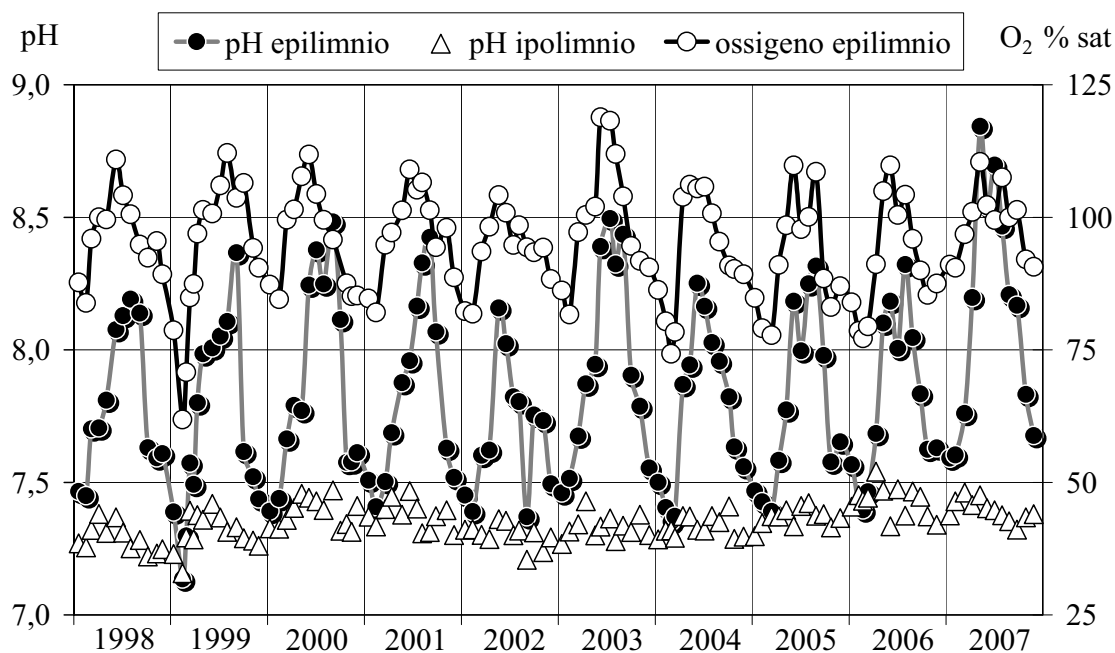


Fig. 3.2.1b. Lago Maggiore nel periodo 1998-2007: pH nello strato epilimnico (0-25 m) ed ipolimnico (25-370 m) e saturazione d'ossigeno nello strato epilimnico (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

Il 2007 non ha presentato situazioni particolari relativamente ai valori di ossigeno, che hanno raggiunto valori massimi in estate del 110 % come percentuale di saturazione, del tutto in linea con quelli registrati negli anni precedenti. Il pH in epilimnio ha raggiunto invece valori massimi superiori alla norma nel mese di Maggio (8,8 unità di pH), a causa di un massiccio sviluppo di diatomee, avvenuto tra Aprile e Giugno, come descritto nel capitolo sui popolamenti fitoplanctonici. Anche i minimi invernali di pH si sono mantenuti nel 2007 su livelli superiori rispetto agli anni precedenti, non scendendo al di sotto di 7,6 unità. Infine il pH ipolimnico, che era risultato leggermente superiore alla media nel 2006, è tornato nel 2007 a livelli simili a quelli degli anni precedenti, compresi tra 7,32 (Settembre) e 7,46 (Luglio).

A partire dal 1999, i valori di pH in epilimnio, sia minimi invernali che massimi estivi, hanno mostrato una tendenza all'aumento, culminata nei valori massimi del 2007. Questa tendenza potrebbe essere dovuta al progressivo riscaldamento delle acque lacustri, e quindi ad un'intensificazione dei processi di produzione e respirazione. Questa ipotesi non trova però per il momento riscontro nell'andamento dei valori di ossigeno, che si sono mantenuti pressoché costanti.

Le figure 3.2.1c e 3.2.1d presentano l'andamento dei valori di alcalinità e conducibilità, in epilimnio e nell'intero lago, nel decennio 1998-2007. Nel 2007, a differenza di quanto riscontrato in parte nell'ultimo quinquennio (anni 2003, 2005 e 2006), la stagionalità di queste variabili chimiche non ha presentato anomalie ed ha rispecchiato invece l'andamento tipico osservato nelle acque lacustri sin dall'inizio delle indagini: i valori di alcalinità e conducibilità raggiungono infatti i massimi nei mesi primaverili, per poi calare nel periodo estivo, a seguito del fenomeno della precipitazione del carbonato di calcio.

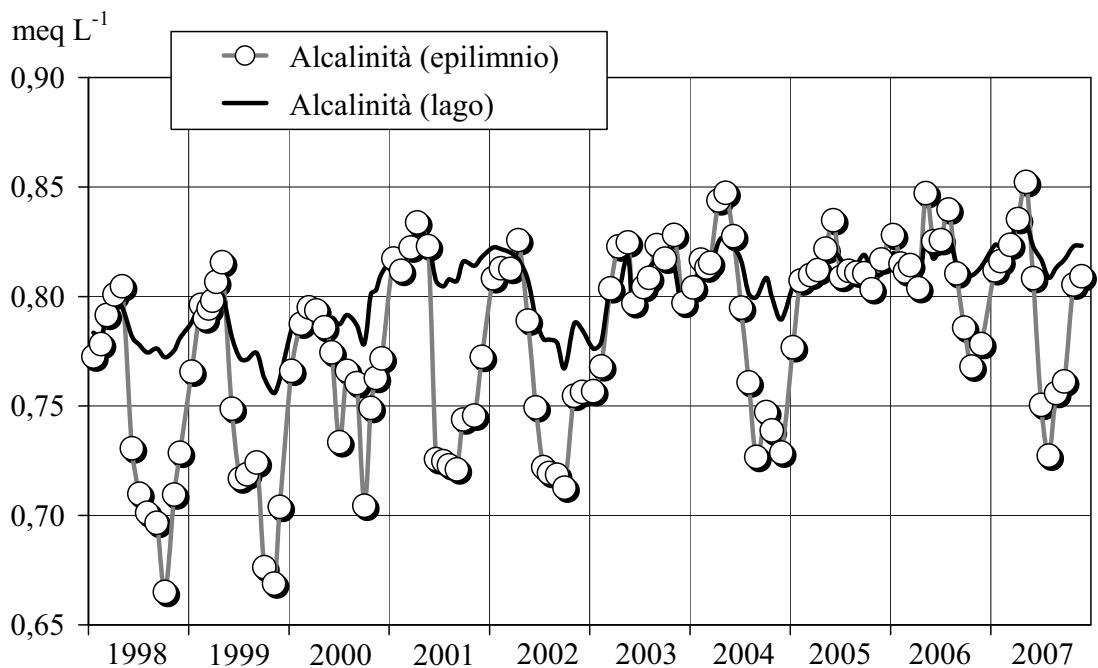


Fig. 3.2.1c. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1998–2007 dei valori medi ponderati sui volumi d'alcalinità totale nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

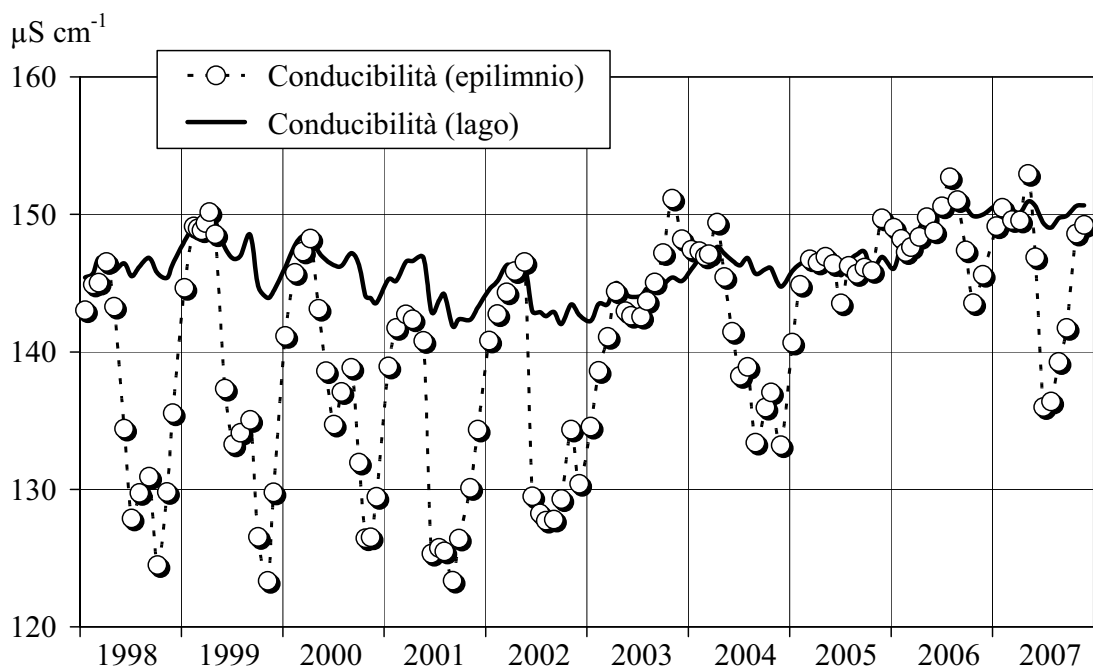


Fig. 3.2.1d. Lago Maggiore (Ghiffa). Andamento nel decennio 1998–2007 dei valori medi ponderati sui volumi di conducibilità a 20 °C nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m).

Questo andamento si è verificato con regolarità dal 1998 al 2002, nel 2004, e nuovamente nel 2007; è stato invece solo parziale nel 2006, quando inoltre la

diminuzione ha interessato gli ultimi mesi dell'anno anziché quelli estivi, e del tutto assente negli anni 2003 e 2005. Le temperature estive elevate e le precipitazioni estremamente ridotte o addirittura assenti nei mesi invernali e primaverili potrebbero contribuire a spiegare l'andamento anomalo di alcalinità e conducibilità osservato in questi due anni.

I massimi di alcalinità e conducibilità nel 2007 sono stati rilevati nel mese di Maggio ($0,85 \text{ meq l}^{-1}$ e $153 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, rispettivamente), seguiti dai minimi di Luglio-Agosto ($0,73\text{-}0,75 \text{ meq l}^{-1}$ e $136\text{-}139 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), con un andamento pressoché identico a quello del 2004. Rispetto agli anni 1998-2006, i valori del 2007 appaiono invece più elevati sia per l'alcalinità che per la conducibilità, a conferma di una tendenza all'aumento di entrambe le variabili (da $0,77\text{-}0,78$ a $0,82\text{-}0,83 \text{ meq l}^{-1}$ e da $145\text{-}146$ a $150 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$; Fig. 3.2.1c e 3.2.1d).

3.2.2. Composti dell'azoto

La figura 3.2.2a riporta le concentrazioni medie ponderate sui volumi dalla superficie al fondo di azoto nitrico e totale misurate nella stazione di Ghiffa nell'ultimo decennio (1998-2007). I valori del 2007 di entrambe le variabili non si sono discostati in maniera significativa da quelli degli anni precedenti. Nel caso dell'azoto nitrico si può comunque rilevare come i dati del 2007 confermino la tendenza all'aumento di questa variabile, osservabile a partire dagli anni '90. Le concentrazioni medie sono state comprese tra $0,85 \text{ mg N l}^{-1}$ a Luglio e $0,89 \text{ mg N l}^{-1}$ nei mesi invernali. Nel caso dell'azoto totale, i valori medi si sono mantenuti al di sotto di $1,0 \text{ mg N l}^{-1}$ in tutti i mesi dell'anno, variando tra $0,89 \text{ mg N l}^{-1}$ ad Agosto e $0,99 \text{ mg N l}^{-1}$ in Marzo (Fig. 3.2.2a).

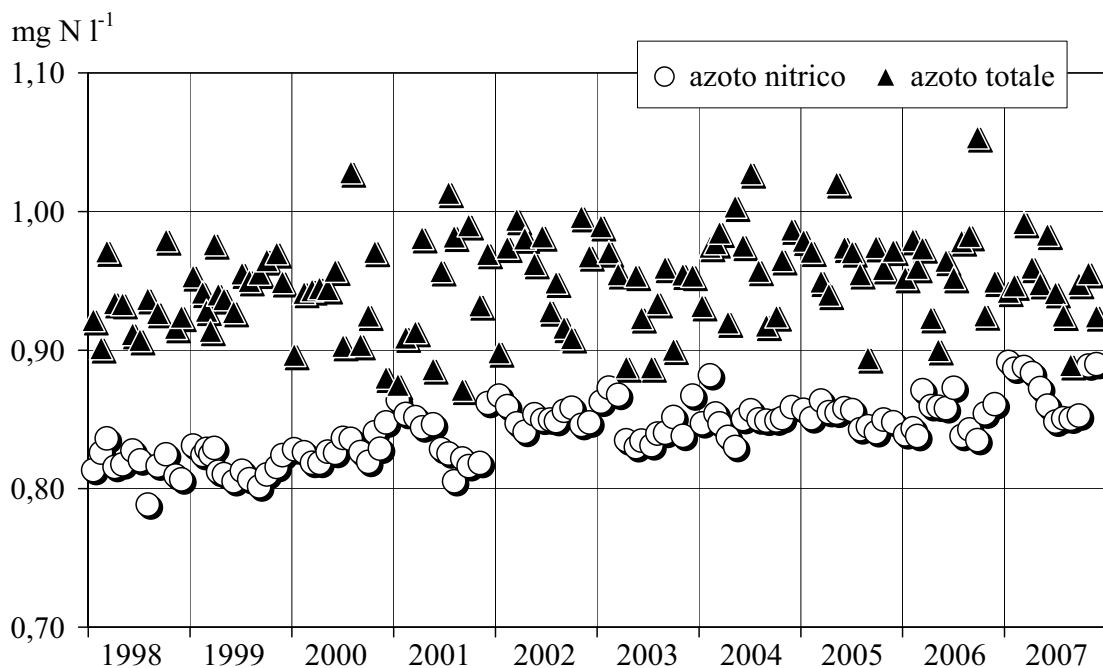


Fig. 3.2.2a. Lago Maggiore: concentrazioni di azoto totale e nitrico nel decennio 1998-2007 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

L'azoto nitrico rappresenta quasi il 90 % del contenuto di azoto totale delle acque. I suoi valori sono andati aumentando da 0,81-0,82 mg N l⁻¹ negli anni 1998-99 a 0,87-0,88 mg N l⁻¹. Questa tendenza è stata attribuita all'aumento degli apporti di nitrati a lago dalle acque dei tributari. Questo fenomeno è a sua volta dovuto alle deposizioni atmosferiche di azoto, particolarmente elevate nell'areale del bacino imbrifero del Lago Maggiore, che stanno determinando una progressiva saturazione di azoto dei suoli nei bacini imbriferi, con conseguente rilascio di nitrati alle acque superficiali [1]. Per l'azoto totale, i valori più dispersi rispetto a quelli dei nitrati, rendono difficile valutare la presenza di un eventuale trend.

L'azoto organico rappresenta mediamente poco più del 10 % del contenuto totale di azoto delle acque e mostra variazioni minime nel corso dell'anno, come evidenziato in figura 3.2.2b, che mostra le variazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m). Sia i valori di azoto organico che il loro andamento stagionale, nel corso del 2007, sono stati simili a quelli degli anni precedenti, variando tra 0,03 e 0,19 mg N l⁻¹. Le concentrazioni di azoto nitrico e totale nelle acque superficiali mostrano nel 2007 il tipico andamento stagionale, con massimi tardo invernali di nitrati (0,88 mg N l⁻¹ a Marzo-Aprile), seguiti da un calo dei valori nel periodo estivo (0,62-0,63 mg N l⁻¹ tra Luglio e Settembre) a causa del consumo ad opera delle alghe fitoplanctoniche. Questo andamento ha caratterizzato in modo abbastanza regolare anche gli anni dal 1998 al 2006, interessando anche i valori di azoto totale che oscillano tra minimi estivi di 0,75-0,80 mg N l⁻¹ e massimi di 0,98-1,00 mg N l⁻¹ nei mesi tardo invernali (Fig. 3.2.2b).

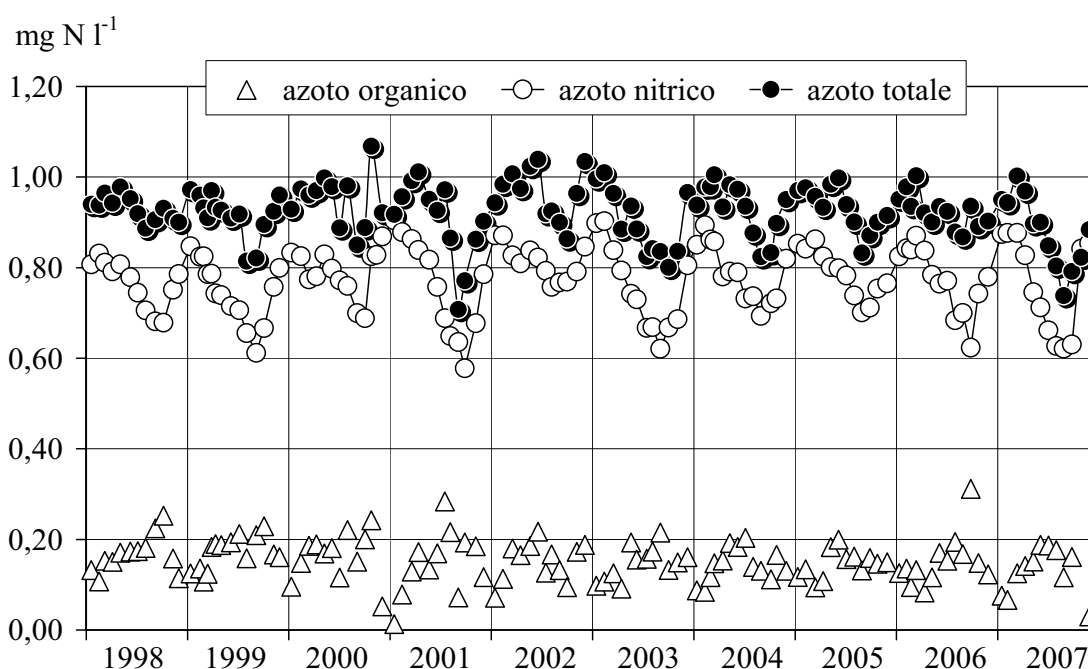


Fig. 3.2.2b. Concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale nello strato epilimnico (0-25 m) nel decennio 1998-2007 (valori medi ponderati sui volumi nella stazione di massima profondità).

Le concentrazioni medie di azoto nitrico e totale rilevate nella stazione di Lesa sono risultate leggermente inferiori a quelle della stazione di massima profondità, sia a Marzo (0,87 rispetto a 0,89 mg N l⁻¹) che a Settembre (0,82 rispetto a 0,85 mg N l⁻¹).

L'azoto nitroso, che viene misurato nelle acque lacustri nei mesi di Marzo e Settembre, è in genere praticamente assente: anche nel 2007 le concentrazioni misurate sono state molto basse, pari a circa 1 e 6 µg N l⁻¹ nelle acque epilimniche rispettivamente a Marzo e Settembre. Le concentrazioni medie sulla colonna d'acqua di azoto ammoniacale si sono mantenute comprese tra 2 e 4 µg N l⁻¹ nel corso del 2007. Valori leggermente più elevati di questa variabile, attorno a 15-30 µg N l⁻¹, sono stati rilevati alla profondità di 20 m nel periodo tra Maggio e Luglio. A Lesa, sia a Marzo che a Settembre, i valori medi di azoto ammoniacale sono stati pari a 3 µg N l⁻¹.

3.2.3. Composti del fosforo

La figura 3.2.3 riporta l'andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale misurate nella stazione di massima profondità nel decennio 1998-2007. Le concentrazioni medie sono state pari rispettivamente a 3 e 7 µg P l⁻¹ nelle acque epilimniche, 8 e 10 µg P l⁻¹ in ipolimnio e 7 e 10 µg P l⁻¹ sull'intera colonna d'acqua. Questi valori appaiono del tutto simili a quelli rilevati nel decennio 1998-2007; si può però rilevare come il 2007, ed anche il 2006, si caratterizzino per valori leggermente inferiori di fosforo reattivo rispetto agli anni precedenti: le concentrazioni nel 2007 si sono infatti mantenute al di sotto di 9 µg P l⁻¹ in tutti i mesi dell'anno.

Le concentrazioni medie misurate nella stazione di Lesa non si sono discostate da quelle della zona di massima profondità: fosforo reattivo e totale sono stati pari rispettivamente a 4 e 10 µg P l⁻¹ a Marzo e 5 e 9 µg P l⁻¹ a Settembre.

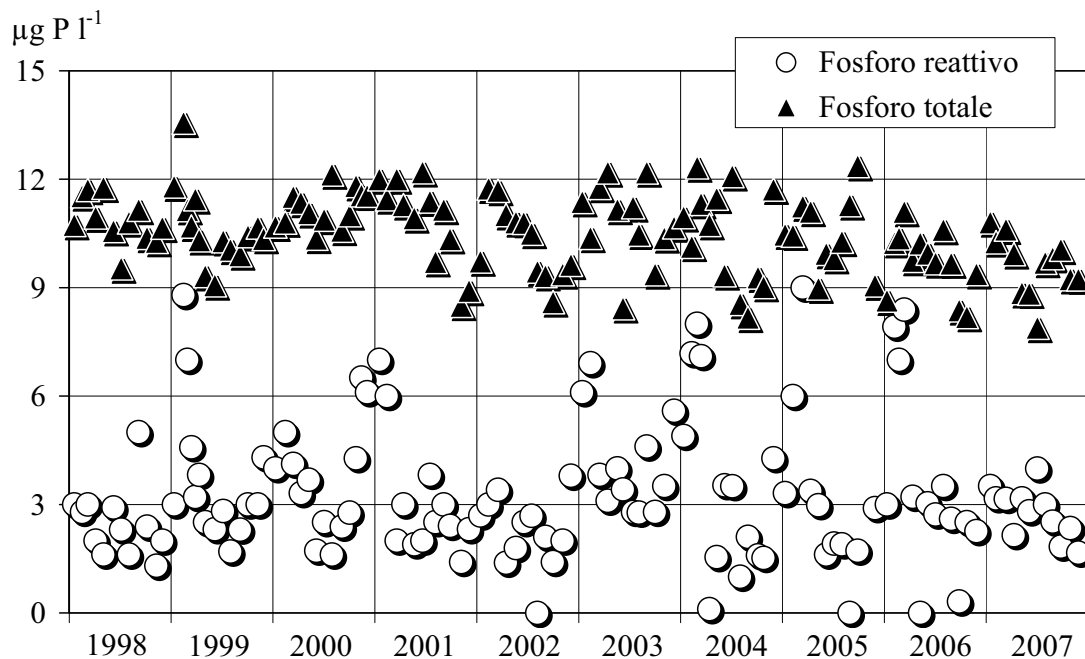


Fig. 3.2.3. Lago Maggiore: andamento delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale nel decennio 1998-2007 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità).

Nel complesso il contenuto di fosforo totale delle acque non ha mostrato variazioni significative nell'ultimo decennio, mantenendosi tra 8 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$, a conferma di una situazione di oligotrofia che caratterizza ormai dagli anni '90 la zona pelagica del lago. Il verificarsi di episodi di fioriture algali nel periodo estivo fa però ritenere che il giudizio positivo sulla qualità delle acque lacustri, ricavato dai dati della stazione di massima profondità, non sia estendibile a tutto l'areale litorale. Soprattutto in corrispondenza dell'immissione a lago di acque tributarie con elevato carico di azoto e fosforo, o di scarichi non sufficientemente depurati, il livello di nutrienti delle acque diviene tale da consentire, in primavera ed estate, lo sviluppo di fioriture algali con conseguenze negative sull'aspetto qualitativo e sull'utilizzo delle acque.

3.2.4. Ossigeno disciolto

Le figure 3.2.4a e 3.2.4b mostrano l'andamento dal 1998 al 2007 del contenuto medio e della saturazione di ossigeno nella stazione di massima profondità per gli strati 200-370 m e 25-370 m rispettivamente.

Mentre per le concentrazioni di ossigeno nelle acque epilimniche (paragrafo 3.2.1, Fig. 3.2.1b) il 2007 non ha presentato differenze di rilievo rispetto agli altri anni, il contenuto medio delle acque profonde ha invece mostrato una tendenza alla diminuzione rispetto al biennio precedente. L'andamento del contenuto medio di ossigeno nelle acque profonde, tra -200 e -370 metri, che rimangono generalmente segregate dalla massa d'acqua sovrastante, aveva infatti mostrato un progressivo aumento dei valori a partire dal 2002, raggiungendo nel 2006 concentrazioni comprese tra 8,8 e 9,7 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$, superiori anche a quelli registrati dopo la piena circolazione del 1999. Nel 2007 questa tendenza positiva ha subito un arresto, con valori medi scesi a 8,1-8,2 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ nei mesi estivi e 8,8-8,9 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ in inverno. Anche i valori di percentuale di saturazione nello strato profondo, sia come minimi estivi (67-68 %) che come massimi invernali (72-74 %) sono risultati inferiori a quelli degli anni immediatamente precedenti (Fig. 3.2.4a). La causa è da ricercare nella limitata circolazione verticale che nel corso del 2007 non ha interessato gli strati ipolimnici, come descritto nel capitolo riguardante le indagini sull'ambiente pelagico.

Anche considerando l'intero ipolimnio, cioè lo strato compreso tra -25 e -370 m, questa tendenza alla diminuzione dei valori nel 2007 viene confermata, anche se in misura meno accentuata rispetto allo strato profondo: il contenuto medio di ossigeno nel 2007 è stato compreso tra 8,3-8,4 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ (70-71 % di saturazione) e 9,3 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ (78 %; Fig. 3.2.4b).

Resta comunque da osservare come, a partire dal 1999, i valori di ossigeno al di sotto dei 200 m di profondità si siano mantenuti su livelli elevati, comunque superiori a 7,0 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ (60 % di saturazione), a dimostrazione di una consistente ossigenazione delle acque profonde e del buon livello qualitativo generale delle acque lacustri. Analoga osservazione può essere fatta per l'intero ipolimnio, tra -25 e -370 m, dove i valori di concentrazione di ossigeno si sono mantenuti compresi tra 7,9 e 10,0 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ (67-83 % di saturazione) negli anni tra il 1999 ed il 2007.

I dati relativi al contenuto di ossigeno nelle acque della stazione di Lesa (strato 25-100 m) hanno confermato quanto osservato a Ghiffa (9,9 e 8,8 $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ e 84 e 76 % come percentuale di saturazione, rispettivamente a Marzo e Settembre).

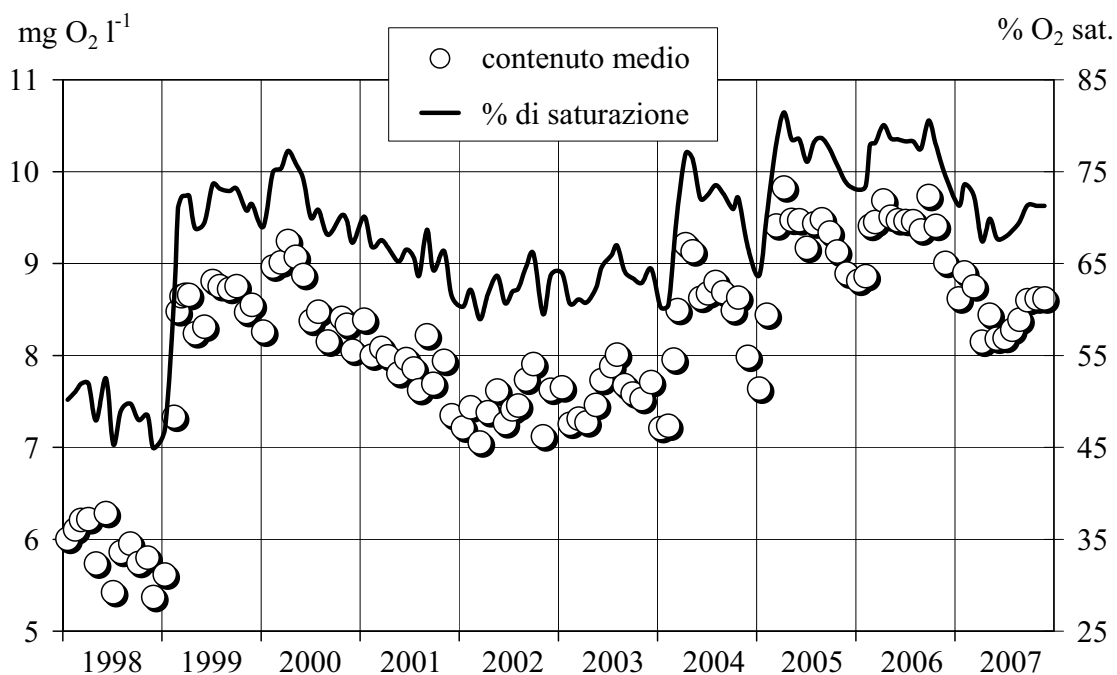


Fig. 3.2.4a. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1998-2007 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 200-370 m.

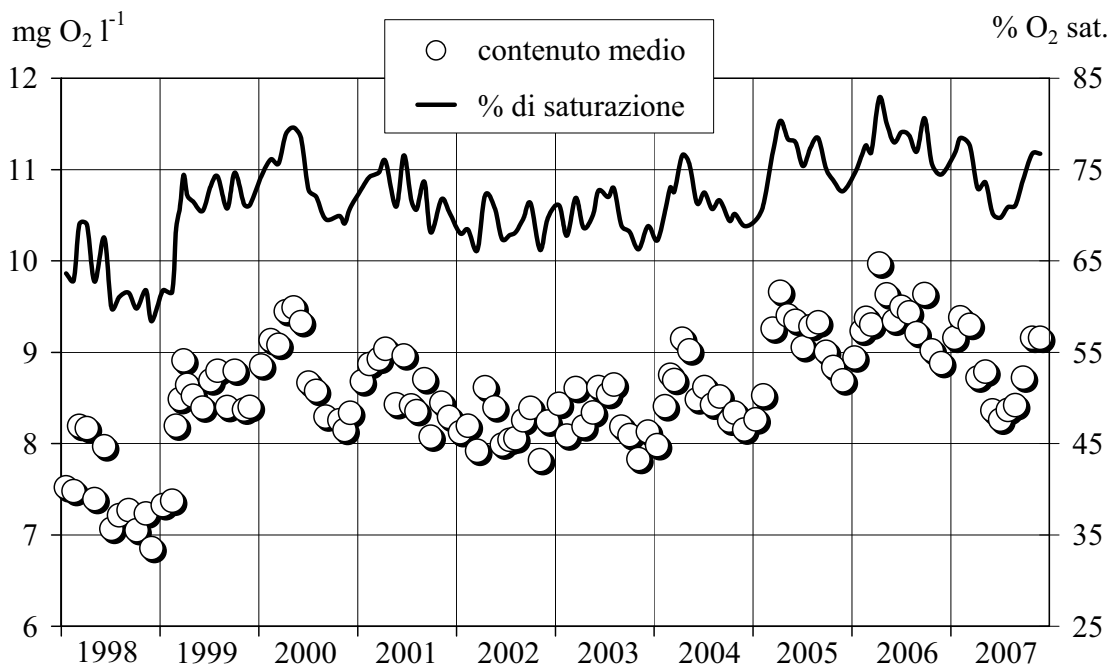


Fig. 3.2.4b. Lago Maggiore, stazione di Ghiffa. Andamento nel decennio 1998-2007 delle concentrazioni medie di ossigeno (valori ponderati sui volumi) e dei corrispondenti tenori di saturazione nello strato 25-370 m.

3.2.5. Silicati reattivi

Le concentrazioni medie annue di silicati reattivi in epilimnio, ipolimnio e sull'intera colonna d'acqua nel corso del 2007 sono state pari rispettivamente a 0,65, 1,61 e 1,53 mg Si l⁻¹, del tutto in linea con i valori registrati negli anni precedenti. Osservando l'andamento stagionale dei valori misurati nelle acque epilimniche e sull'intera colonna d'acqua nel 2007 si osserva invece una lieve tendenza alla diminuzione rispetto al periodo 2001-2006 (Fig. 3.2.5). In particolare le concentrazioni nel mese di Maggio sono risultate al di sotto del limite di detezione della metodica utilizzata, e comunque inferiori a tutti i valori misurati dal 1998 in poi. Questo minimo è da attribuire al consumo di silicati ad opera di una massiccia fioritura di diatomee, che ha avuto luogo nei mesi tra Aprile e Giugno, e che ha determinato anche un innalzamento dei valori di pH (Fig. 3.2.1b). Anche i massimi invernali di silicati (1,3-1,4 mg Si l⁻¹) sono stati nel 2007 inferiori a quelli registrati nel quinquennio precedente. I valori medi a lago, compresi tra 1,4 e 1,7 mg Si l⁻¹, appaiono invece solo leggermente inferiori a quelli del periodo 2001-2006. In ogni caso non confermano la tendenza all'aumento delle concentrazioni che era stata messa in evidenza nei precedenti rapporti ed attribuita ad un aumento della riserva lacustre di materiali silicei a seguito delle piene degli anni 2000 e 2002.

Nella stazione di Lesa, nella parte meridionale del lago, le concentrazioni di silicati reattivi nei campionamenti di Marzo e Settembre 2007 sono state pari a 1,37 e 1,23 mg Si l⁻¹ come valori medi sulla colonna, valori del tutto analoghi a quelli della stazione di massima profondità.

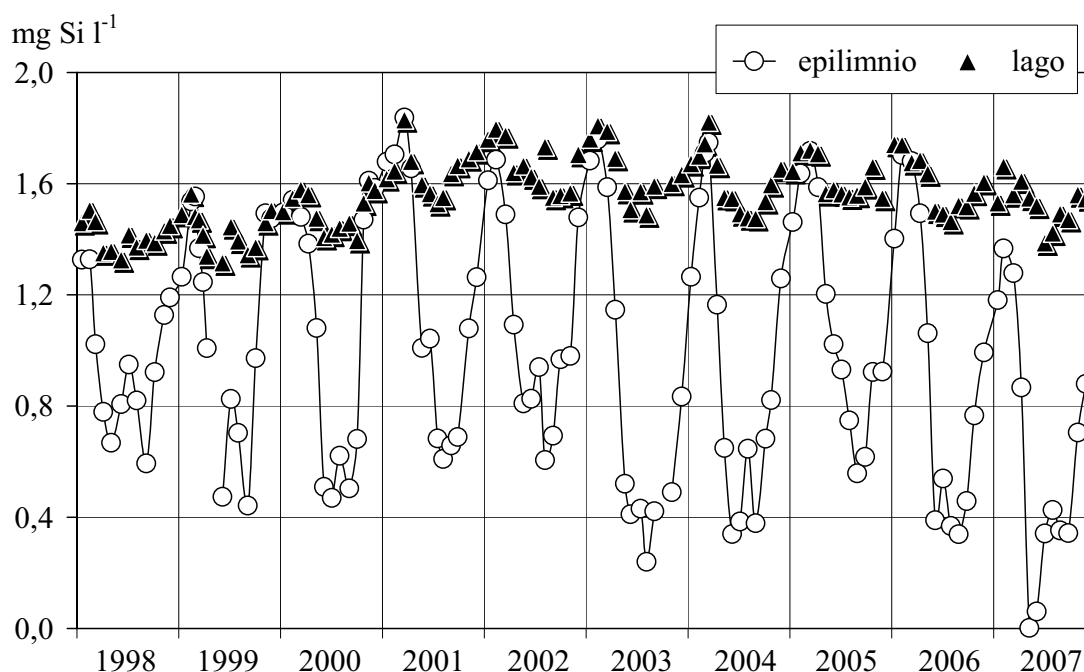


Fig. 3.2.5. Lago Maggiore (Ghiffa). Concentrazioni medie ponderate sui volumi di silicati reattivi nello strato epilimnico (0-25 m) e nell'intero lago (0-370 m) nel decennio 1998-2007.