

6.7. Considerazioni generali sull'evoluzione del chimismo delle acque lacustri e tributarie, con particolare riferimento al quinquennio 2008-2012

In questo capitolo vengono presentate e discusse le serie di dati a lungo termine disponibili per il Lago Maggiore ed i suoi principali tributari dal 1978 e, in alcuni casi, dal 1955 dei principali nutrienti algali e di altre variabili chimiche, quali conducibilità e alcalinità, che hanno presentato andamenti temporali o variazioni degne di nota. Particolare attenzione viene rivolta ai dati dell'ultimo quinquennio (2008-2012), messi a confronto con quelli dei periodi precedenti allo scopo di valutare criticamente la situazione attuale delle acque lacustri e tributarie.

Per quanto riguarda i parametri chimici di base, i dati relativi al Lago Maggiore evidenziano una recente tendenza all'aumento dei valori di conducibilità e delle concentrazioni dei principali soluti, in particolar modo di bicarbonati (rappresentati dall'alcalinità), sodio e cloruri. Il contenuto ionico totale delle acque, ottenuto dalla somma delle concentrazioni dei principali anioni (HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e Cl^-) e cationi (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) è passato da valori di 2,90-2,95 meq l^{-1} negli anni '80 agli attuali 3,15 meq l^{-1} (valore medio dell'ultimo quinquennio). I dati disponibili dal 1978 (Fig. 6.7.1) mostrano effettivamente un aumento di valori di conducibilità, da 140 a oltre 150 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C; questa variazione è dovuta in larga parte ai bicarbonati, che contribuiscono al contenuto ionico totale nella misura del 25% circa. Lo stesso grafico di Fig. 1 evidenzia infatti un trend positivo anche per l'alcalinità, passata da circa 0,75 meq l^{-1} negli anni '80 agli attuali 0,82-0,84 meq l^{-1} . L'aumento di alcalinità appare abbastanza regolare nel tempo, con una tendenza alla stabilizzazione dei valori dal 2006 in poi; la conducibilità invece presenta un andamento più irregolare, con un incremento particolarmente marcato dal 2003 in poi (Fig. 6.7.1).

All'aumento del contenuto ionico delle acque hanno sicuramente contribuito anche altri ioni, tra cui il calcio, che rappresenta il 36% circa del totale. In Fig. 2 sono riportati i trend dei valori alla circolazione tardo invernale di alcuni ioni (valori medi sulla colonna d'acqua) che mostrano una tendenza positiva per calcio, sodio e cloruri, mentre le concentrazioni di solfati e magnesio si sono mantenute pressoché costanti nel tempo. Il calcio è passato da circa 21 mg l^{-1} nella metà degli anni '80 a 23 mg l^{-1} nel 2006-2008, per poi diminuire leggermente nell'ultimo periodo (valore medio del quinquennio 2008-2012 pari a 22,2 mg l^{-1}). Sodio e cloruri sono anch'essi aumentati, passando da 2,2 a 3,0-3,1 mg l^{-1} e da 1,9 a 3,0 mg l^{-1} rispettivamente (Fig. 6.7.2). Il contributo di questi ultimi ioni al bilancio ionico è andata aumentando nel tempo, come mostrato in Fig. 6.7.3, dove vengono messi a confronto i contributi % dei diversi ioni nell'ultimo quinquennio e nel periodo 1988-1992, cioè a distanza di 20 anni. Mentre per la maggior parte degli ioni il contributo è rimasto costante nel tempo, quello di sodio e cloruri è passato da 3,4 a 4,1% e da 1,9 a 2,5% rispettivamente. Pur trattandosi di ioni di importanza trascurabile rispetto a quelli prevalenti (calcio, bicarbonati), l'aumento di sodio e cloruri è una tendenza da seguire con attenzione, in quanto si tratta comunque di una modifica del chimismo complessivo delle acque.

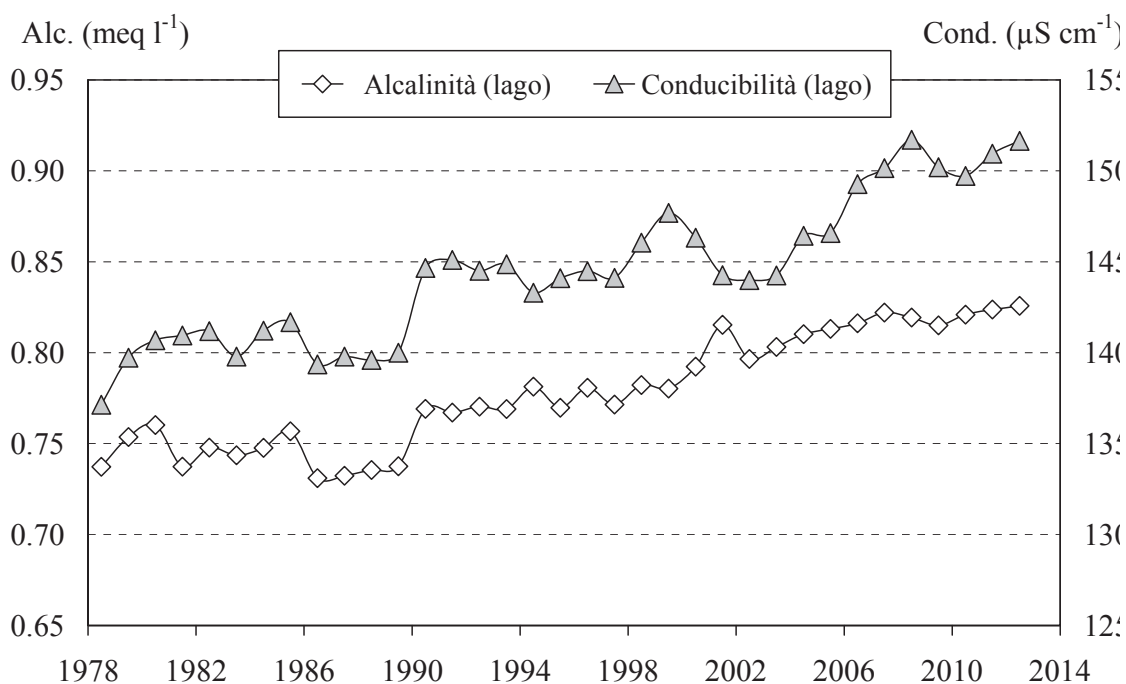


Fig. 6.7.1. Lago Maggiore: evoluzione delle concentrazioni medie annue di alcalinità e conducibilità a 20 °C (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

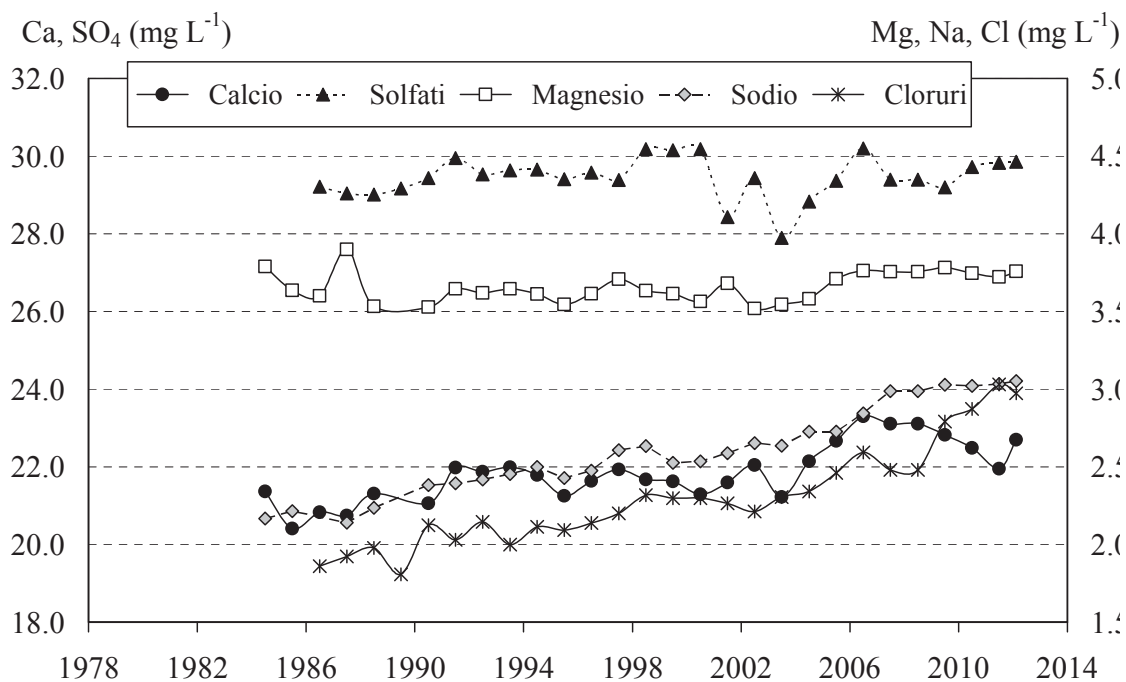


Fig. 6.7.2. Lago Maggiore: evoluzione delle concentrazioni di alcuni anioni e cationi nelle acque lacustri (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo alla massima circolazione tardo invernale nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

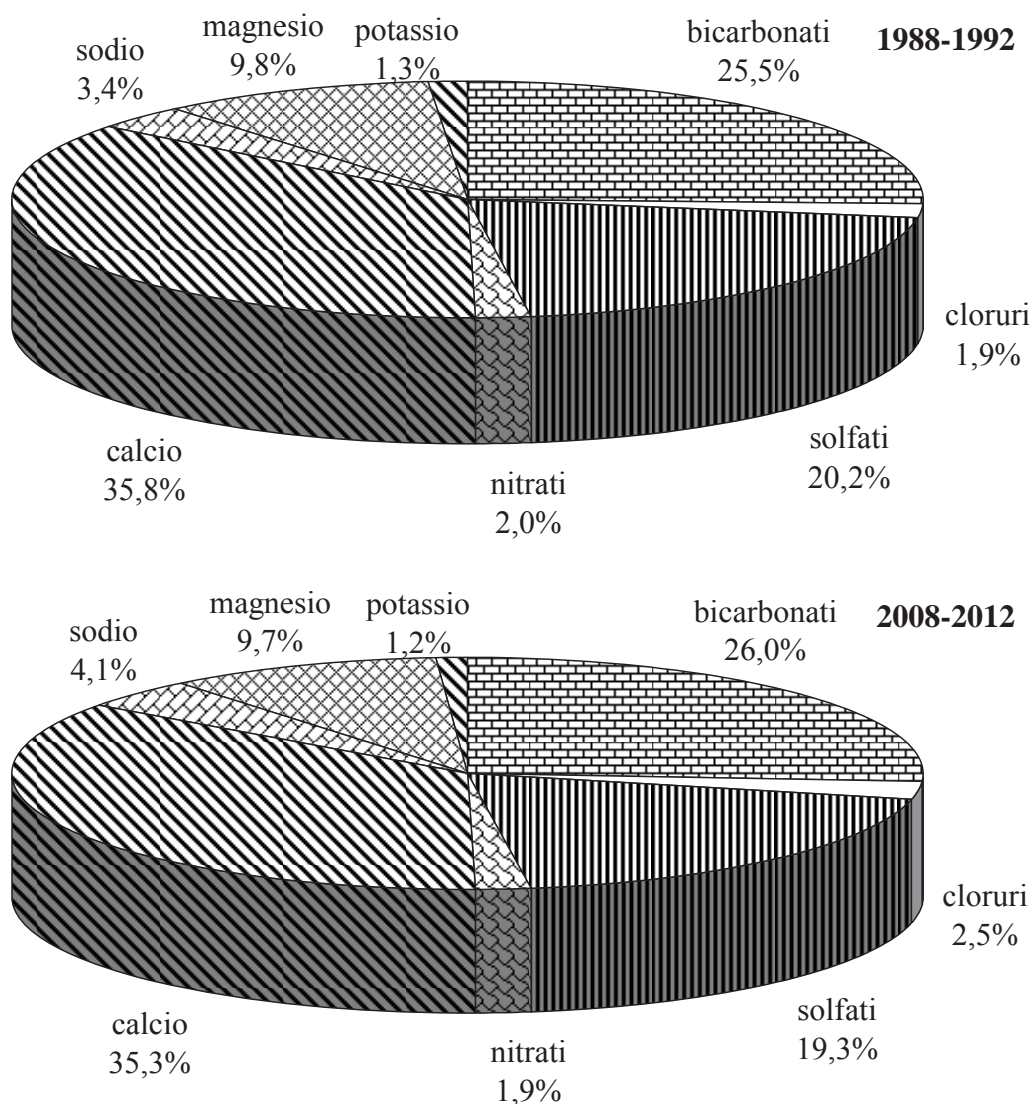


Fig. 6.7.3. Lago Maggiore: contributo % dei diversi ioni al bilancio ionico nei quinquenni 1988-1992 e 2008-2012 (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo alla massima circolazione tardo invernale nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

L'aumento dei cloruri è un fenomeno che è stato descritto per numerosi ambienti lacustri europei e Nord-Americani (es. Müller & Gätcher, 2012; Kaushal et al., 2005) e messo in relazione con il crescente utilizzo del sale come agente antigelo sulle strade. Nel caso del Lago Maggiore l'incremento delle concentrazioni di cloruri, così come quello del sodio, nelle acque lacustri dipende in larga parte dai maggiori apporti di questo elemento dalle acque tributarie. A titolo di esempio in figura 6.7.4. sono riportati i trend dei carichi annui di sodio e cloruri da due dei principali tributari, Ticino Immissario e Tresa, che rappresentano complessivamente circa il 50% dell'areale drenato.

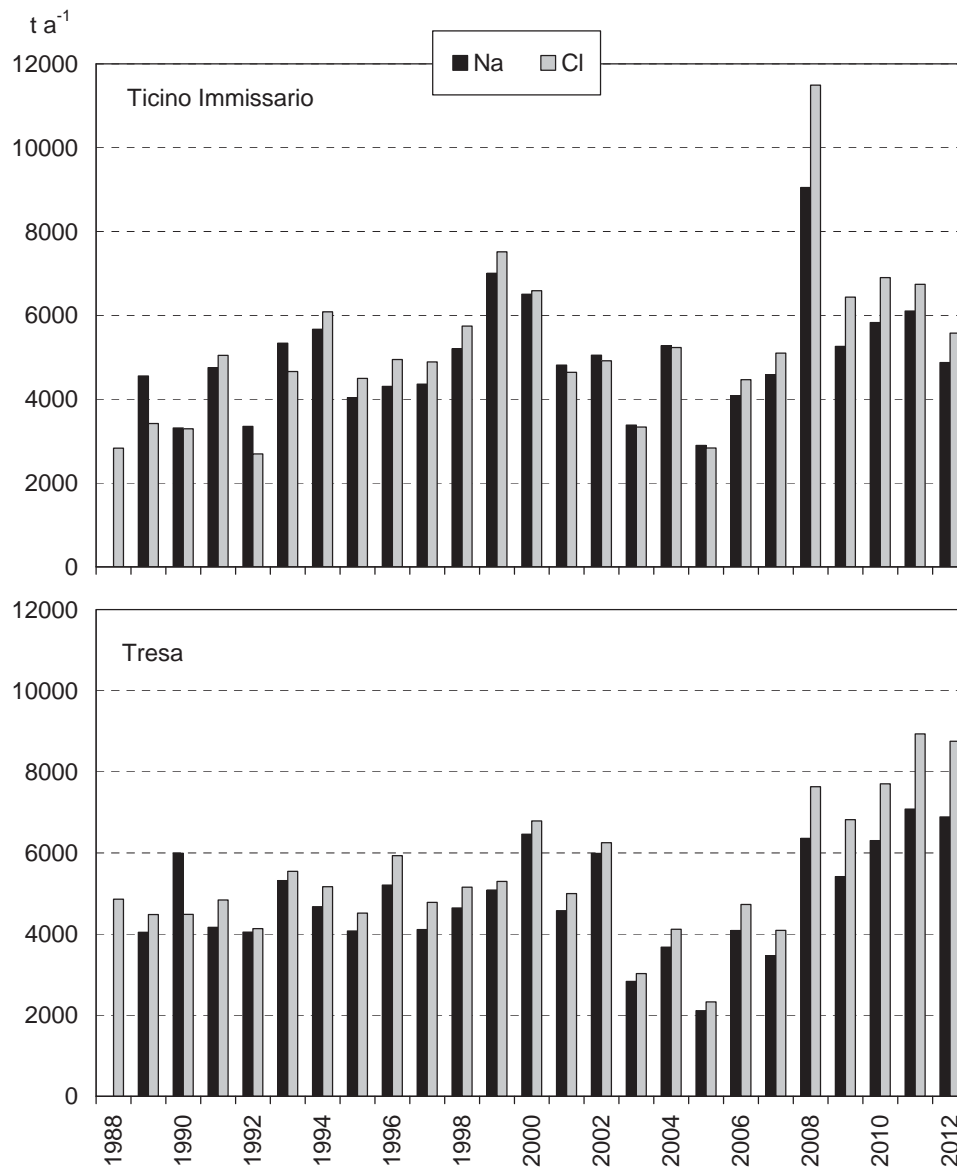


Fig. 6.7.4. Andamento dei carichi annui di sodio e cloruri al Lago Maggiore dai tributari Ticino Immissario e Tresa.

In entrambi i casi gli apporti sono aumentati da circa 4000 a oltre 6000 t a⁻¹ negli anni più recenti, sia per il sodio che per i cloruri. Anche se l'aumento non ha interessato in modo generalizzato tutti i tributari (ad esempio i valori sono rimasti pressoché costanti per il Toce, che rappresenta il 33% dell'areale drenato), gli apporti complessivi dal bacino sono aumentati in modo evidente dalla fine degli anni '80 ad oggi, arrivando alle circa 30000 t a⁻¹, sia per il sodio che per i cloruri, degli anni 2011-2012.

Come descritto precedentemente, le acque lacustri hanno visto quindi un progressivo arricchimento in soluti dagli anni '80 ad oggi, ben descritto dal trend della conducibilità. La mancanza di un trend nel caso dei solfati è giustificata dal fatto che l'aumento associato agli apporti dal bacino, comune a tutti i prodotti del weathering, è stato probabilmente bilanciato da una diminuzione delle deposizioni atmosferiche di solfati; queste ultime sono infatti diminuite, dagli anni '80 ad oggi, del 50% circa nell'areale del

bacino imbrifero del Lago Maggiore, grazie alla riduzione delle emissioni di SO^2 in atmosfera (Rogora et al., 2003).

Tra le ipotesi che si possono avanzare per spiegare l'aumento delle concentrazioni ioniche vi sono il riscaldamento degli strati d'acqua superficiali, con conseguente concentrazione dei soluti presenti, fattore che potrebbe contribuire anche a spiegare l'aumento di sodio e cloruri. Un altro aspetto da considerare è un possibile maggior apporto di soluti dal bacino a causa di variazioni nella copertura del suolo, ad esempio di un minor innevamento nelle parti in quota, che è dimostrato dalle serie storiche di dati sulla copertura di neve al suolo (Rogora et al., 2003). Questo fattore è stato considerato ad esempio nell'analisi delle variazioni avvenute nella chimica di una serie di laghi alpini d'alta quota, nel bacino imbrifero del Lago Maggiore; la minor copertura di neve al suolo, sia come entità che come durata, sembra infatti contribuire all'arricchimento in soluti che caratterizza alcuni di questi laghi (Rogora et al., 2003). Infine altri fattori di carattere meteo-climatico possono giocare un ruolo nelle modificazioni chimiche delle acque, sia dei corsi d'acqua tributari che del lago; ad esempio una maggior frequenza ed intensità di eventi di precipitazione intensa, come quella che sembra caratterizzare l'areale del Lago Maggiore (Ambrosetti et al., 2006), potrebbe intensificare i processi di dilavamento e trasporto di soluti dai bacini alle acque di drenaggio

Per quanto riguarda i nutrienti algali, le variazioni dei loro contenuti medi a lago e nelle acque tributarie sono risultati di lieve entità nel quinquennio 2008-2012, soprattutto se confrontate con quelle avvenute negli anni '80 e '90. Gli anni dal 2008 al 2012 sono stati caratterizzati comunque da un'elevata variabilità interannuale, soprattutto per quanto riguarda concentrazioni medie e carichi dai tributari principali; questo soprattutto a causa del fatto che si sono alternati anni complessivamente siccitosi come il 2011 (circa 1300 come afflussi totali sul bacino) e con precipitazioni abbondanti come il 2008 (2150 mm).

La figura. 6.7.5. mostra il trend a lungo termine delle concentrazioni di azoto nitrico, organico e totale dal 1955 ad oggi (dal 1978 per le forme organica e totale). I dati raccolti fino al quinquennio precedente (2003-2007) avevano evidenziato un aumento, anche se di lieve entità, delle concentrazioni di nitrati ed azoto totale, con un tasso di circa $0,004 \text{ mg N l}^{-1} \text{ a}^{-1}$; i massimi di concentrazione erano stati raggiunti nel 2006-2007 (circa $0,87 \text{ mg N l}^{-1}$ di azoto nitrico e $0,95 \text{ mg N l}^{-1}$ di azoto totale). I contenuti di azoto organico erano invece rimasti stabili attorno a $0,10 \text{ mg N l}^{-1}$ (Fig. 6.7.5.). Nelle precedenti relazioni la causa dell'incremento di azoto nitrico e totale nelle acque lacustri era stata discussa e messa in relazione agli afflussi meteorici sull'intero bacino drenante. Le indagini sui carichi veicolati dai tributari avevano infatti dimostrato il ruolo prevalente delle deposizioni atmosferiche nel determinare il carico totale di azoto a lago (Rogora et al., 2006).

La tendenza all'aumento del contenuto di azoto sembra essersi arrestata negli anni più recenti: dal 2006 in poi infatti le concentrazioni di nitrati hanno iniziato a diminuire, riportandosi su valori simili a quelli degli anni '90. La causa è da ricercarsi nella diminuzione degli apporti di questo elemento dai tributari, come discusso nel capitolo relativo alla campagna 2012, ed in particolare nel paragrafo 5.1.2. La diminuzione del contenuto di nitrati negli ultimi 5-6 anni appare generalizzata in tutto l'areale del Lago Maggiore, in quanto interessa sia corsi d'acqua che laghi alpini e subalpini (Rogora et al., 2012). Le acque, dopo un periodo di arricchimento in azoto a causa degli apporti atmosferici elevati che interessano quest'area (attualmente circa $15 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ come somma di azoto nitrico e ammoniacale), stanno mostrando segni di ripresa: le deposizioni di azoto sono infatti leggermente diminuite negli ultimi anni, principalmente a causa di

una riduzione delle concentrazioni dei composti dell'azoto in atmosfera (Rogora et al., 2012). Le concentrazioni di nitrati nelle acque lacustri dipendono però da una serie di fattori, principalmente il consumo da parte delle alghe fitoplanctoniche, che possono interagire nella risposta delle acque alla riduzione dei carichi atmosferici. A loro volta i processi di consumo dei nitrati sono controllati da fattori meteo-climatici e dalle dinamiche di mescolamento delle acque, che possono condizionare la variabilità, soprattutto stagionale e interannuale, delle concentrazioni.

I dati dell'ultimo quinquennio confermano la sostanziale stabilità dei valori di azoto organico, mentre l'azoto totale, rappresentato per circa il 90% dalla forma nitrica, segue l'andamento di quest'ultimo (Fig. 6.7.5.).

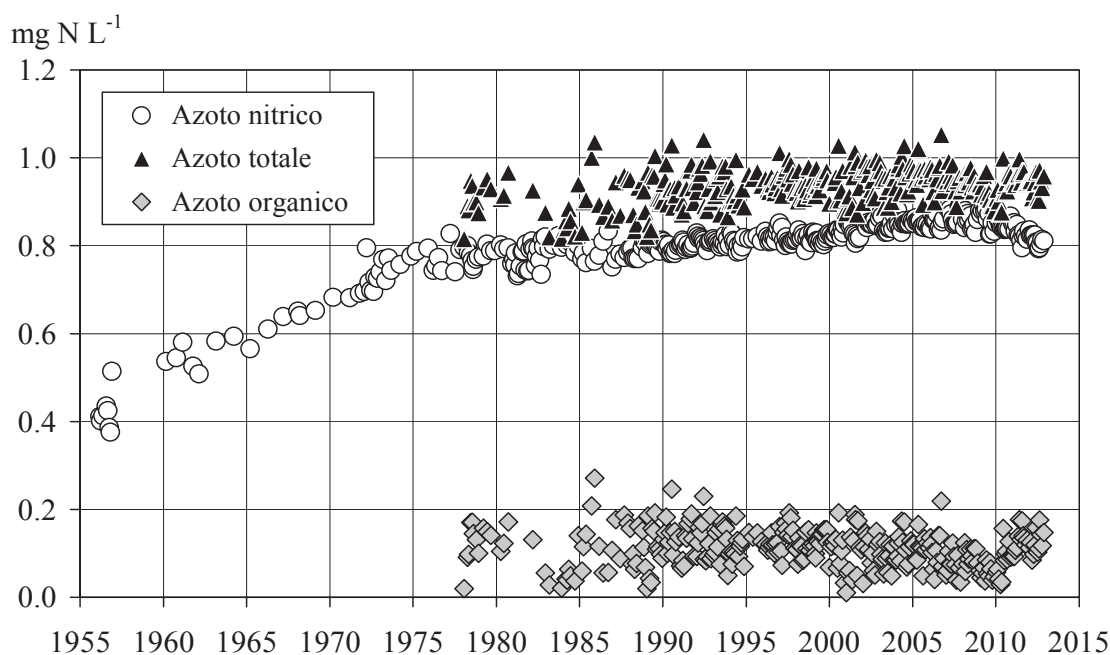


Fig. 6.7.5. Lago Maggiore: evoluzione delle concentrazioni di azoto totale, nitrico e organico dal 1955 ad oggi (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

Le concentrazioni di fosforo reattivo e totale misurate nella stazione di massima profondità dal 1955 ad oggi, espresse come valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo, sono riportate in figura 6.7.6. La fase di oligotrofizzazione del lago ha interessato il periodo dalla fine degli anni '70 ai primi anni '90; dopodiché è iniziata una fase di sostanziale stabilità, con livelli di fosforo tornati simili ai quelli degli anni '70. Le concentrazioni di fosforo totale si sono stabilizzate su valori compresi tra 8 e 10 $\mu\text{g P l}^{-1}$, mantenuti fino al 2010. L'ultimo biennio ha visto un lieve incremento delle concentrazioni, passate a 11-12 $\mu\text{g P l}^{-1}$ sia come valori medi annui che alla circolazione tardo invernale (Fig. 6.7.6.). Nel quinquennio 2003-2007 e anche nei successivi anni 2008-2010 le concentrazioni di fosforo reattivo e totale avevano superato raramente le soglie di 9 e 11 $\mu\text{g P l}^{-1}$ rispettivamente; nel 2011 e 2012 si sono spesso raggiunti valori di 10 e 12 $\mu\text{g P l}^{-1}$ (13 nel marzo 2012. Questa tendenza recente deve essere però valutata alla luce della variabilità interannuale che può interessare le concentrazioni dei nutrienti algali, in funzione dei processi biologici (a loro volta controllati da fattori meteo-climatici) e dalle dinamiche di mescolamento delle acque.

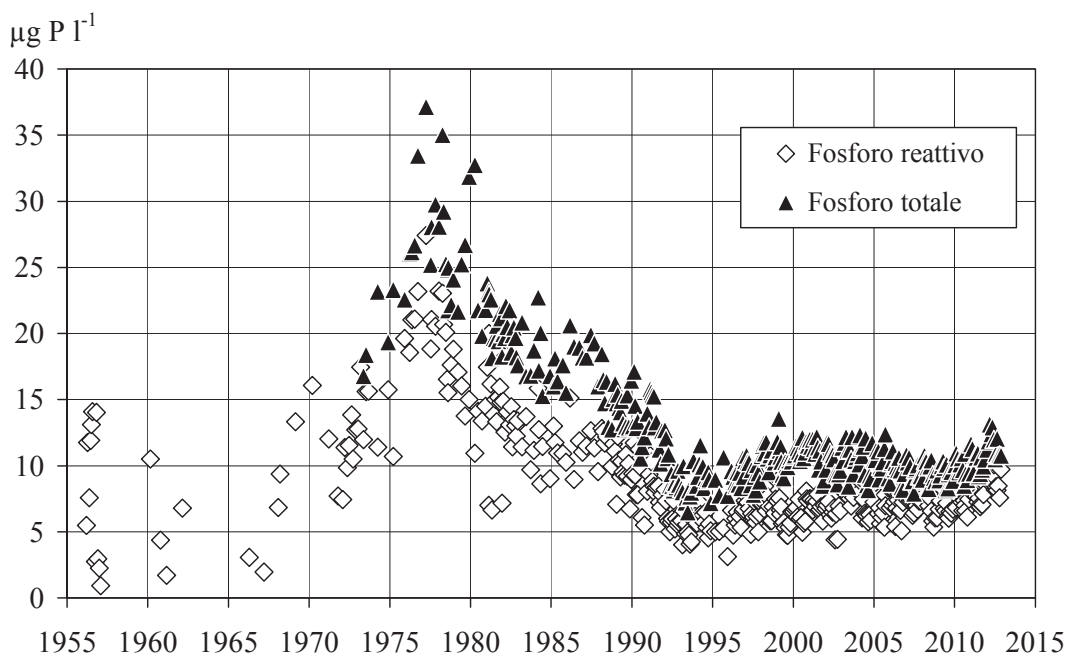


Fig. 6.7.6. Lago Maggiore: evoluzione delle concentrazioni di fosforo reattivo e totale dal 1955 ad oggi (valori medi ponderati sui volumi dalla superficie al fondo nella stazione di massima profondità a Ghiffa).

Nonostante questa recente tendenza a un innalzamento dei tenori di fosforo, lo stato qualitativo delle acque del Lago Maggiore è comunque da ritenersi buono, anche alla luce dei valori di altri parametri, quali i composti dell'azoto e il contenuto di ossigeno delle acque. Sicuramente sarà necessario mantenere attivo un controllo regolare dei livelli di fosforo, con lo scopo di seguire nel dettaglio le variazioni stagionali di questa variabile. Solo in questo modo sarà possibile verificare se quella in atto sia un'effettiva variazione del livello trofico o più semplicemente una situazione temporanea, legata ad esempio a particolari condizioni meteo-climatiche o idrologiche.

L'attuale stato trofico delle acque del Lago Maggiore è stato raggiunto grazie alla progressiva riduzione degli apporti di fosforo dal bacino. Le concentrazioni medie areali di fosforo totale nei quinquenni dal 1978 ad oggi sono mostrate in figura 6.7.7, dove vengono confrontati valori per gli areali lombardo, piemontese e ticinese. Come si può osservare, le concentrazioni medie misurate nell'ultimo quinquennio (2008-2012) sono state le più basse dell'intero periodo di osservazione ($22 \mu\text{g P l}^{-1}$ come valore per l'intero bacino, rispetto a valori compresi tra 25 e $55 \mu\text{g P l}^{-1}$ nei quinquenni precedenti) (Fig. 6.7.7). La riduzione è dovuta in larga parte al miglioramento delle condizioni delle acque tributarie lombarde, in cui le concentrazioni medie sono passate da $100-150 \mu\text{g P l}^{-1}$ negli anni '80 e '90 agli attuali $67 \mu\text{g P l}^{-1}$. Anche nel caso delle acque piemontesi si è verificato un sensibile miglioramento, con concentrazioni più che dimezzate passando dal periodo 1978-82 a quello più recente. Anche le acque ticinesi hanno visto una riduzione delle concentrazioni dalla fine degli anni '70 ($27 \mu\text{g P l}^{-1}$) al quinquennio successivo ($14 \mu\text{g P l}^{-1}$), per poi stabilizzarsi su valori di $7-8 \mu\text{g P l}^{-1}$ dagli anni '90 in poi.

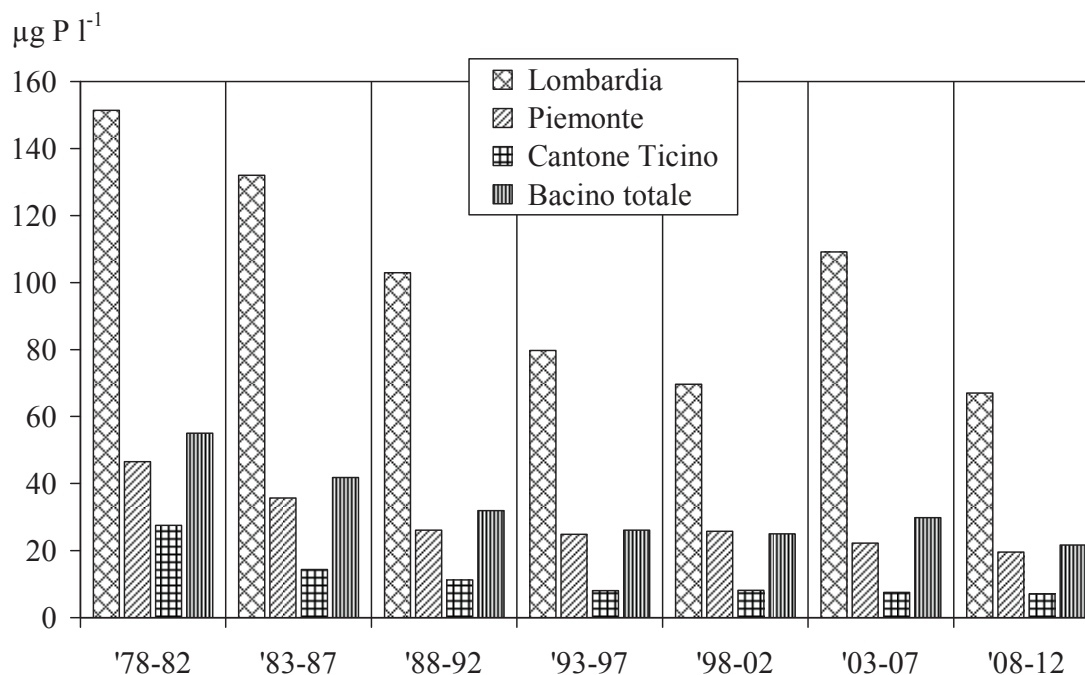


Fig. 6.7.7. Concentrazioni medie areali nei quinquenni dal 1978 al 2012 di fosforo totale nelle acque tributarie campionate in Lombardia (compresi gli apporti derivanti dal Lago di Lugano attraverso il Fiume Tresa), Piemonte, Cantone Ticino e nell'intero bacino.

Nel complesso la riduzione dei contenuti medi di fosforo negli afflussi a lago da tutto il bacino è stata del 60% circa e le attuali concentrazioni possono essere ritenute compatibili con il mantenimento di un soddisfacente stato trofico delle acque lacustri. Permane il problema di una notevole variabilità tra i diversi tributari e dell'esistenza di uno stato qualitativo ancora inaccettabile per alcuni di essi, tra cui Bardello, Boesio e in parte Vevera, in cui le concentrazioni medie dell'ultimo quinquennio sono state superiori a $200 \mu\text{g P l}^{-1}$ per i primi due torrenti e pari a $79 \mu\text{g P l}^{-1}$ per il terzo.

Il miglioramento della qualità delle acque tributarie nell'ultimo trentennio trova conferma negli andamenti dei contenuti medi di azoto ammoniacale ed organico, passati rispettivamente da $0,18$ e $0,31 \text{ mg N l}^{-1}$ nel quinquennio 1978-1982 agli attuali valori di $0,05$ e $0,08 \text{ mg N l}^{-1}$. Anche nel caso dei composti dell'azoto ammoniacale, la diminuzione più accentuata dei contenuti medi nelle acque tributarie si è verificata nel periodo fino alla metà degli anni '90. Successivamente le concentrazioni medie si sono stabilizzate attorno a $0,05 \text{ mg N l}^{-1}$. Per l'azoto organico invece la diminuzione delle concentrazioni medie è proseguita anche negli anni più recenti, raggiungendo i minimi assoluti nell'ultimo quinquennio, grazie soprattutto alla riduzione che ha interessato le acque tributarie lombarde (da $0,36 \text{ mg N l}^{-1}$ nel periodo 2003-2007 a $0,14 \text{ mg N l}^{-1}$ in quello più recente).

Considerando i contributi areali, ovvero i carichi di fosforo suddivisi per l'areale drenato, derivanti dalle aree lombarda, piemontese e ticinese (Fig. 6.7.8.), si conferma una diminuzione dei valori dal 1978 in poi, più accentuata nel passaggio dagli anni '80 agli anni '90. La diminuzione complessiva, se si confronta il quinquennio 1978-1982 con quello più recente, è stata quasi del 60% per le acque tributarie nel loro complesso. In termini percentuali la diminuzione è stata simile nelle tre aree (56, 62, 57% rispettivamente per Canton Ticino, Piemonte e Lombardia). I contributi dall'areale

lombardo, comprendenti, attraverso il Tresa, anche la porzione svizzera del bacino del Lago di Lugano, rimangono ancora troppo elevati (circa $0,06 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ nell'ultimo quinquennio rispetto a $0,02$ e $0,01 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ per Piemonte e Canton Ticino, rispettivamente). Inoltre, nonostante il miglioramento complessivo registrato dall'inizio del periodo di studio, è da evidenziare come l'ultimo quinquennio abbia visto un leggero innalzamento dei carichi areali rispetto al periodo precedente (2003-2007): il valore complessivo per le acque tributarie è infatti passato da $0,020$ a $0,025 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Ad aumentare sono stati principalmente gli apporti dall'areale ticinese, anche se è necessario sottolineare come si tratti comunque di livelli contenuti ($0,014 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) e indicativi del buono stato qualitativo delle acque. Inoltre si deve rilevare come il quinquennio 2003-2007 fosse stato caratterizzato da limitati apporti meteorici sul bacino e portate ridotte per la maggior parte dei tributari, con conseguente diminuzione dei carichi veicolati a lago. Nel quinquennio più recente, le condizioni meteorologiche più simili alla media di lungo periodo, hanno comportato quindi un leggero innalzamento dei carichi, non imputabile necessariamente alle concentrazioni e quindi ad un effettivo peggioramento dello stato qualitativo delle acque.

I dati dell'ultimo quinquennio confermano comunque le marcate differenze esistenti a livello di singoli tributari. Si può affermare che il contributo medio di fosforo dalle acque tributarie, compreso tra $0,02$ e $0,03 \text{ g P m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ nell'ultimo decennio, è compatibile con il mantenimento di condizioni oligotrofe delle acque lacustri. La situazione di alcuni tributari, soprattutto nell'areale lombardo, è invece tale da destare preoccupazione, soprattutto ai fini dei possibili effetti sulle acque rivierasche.

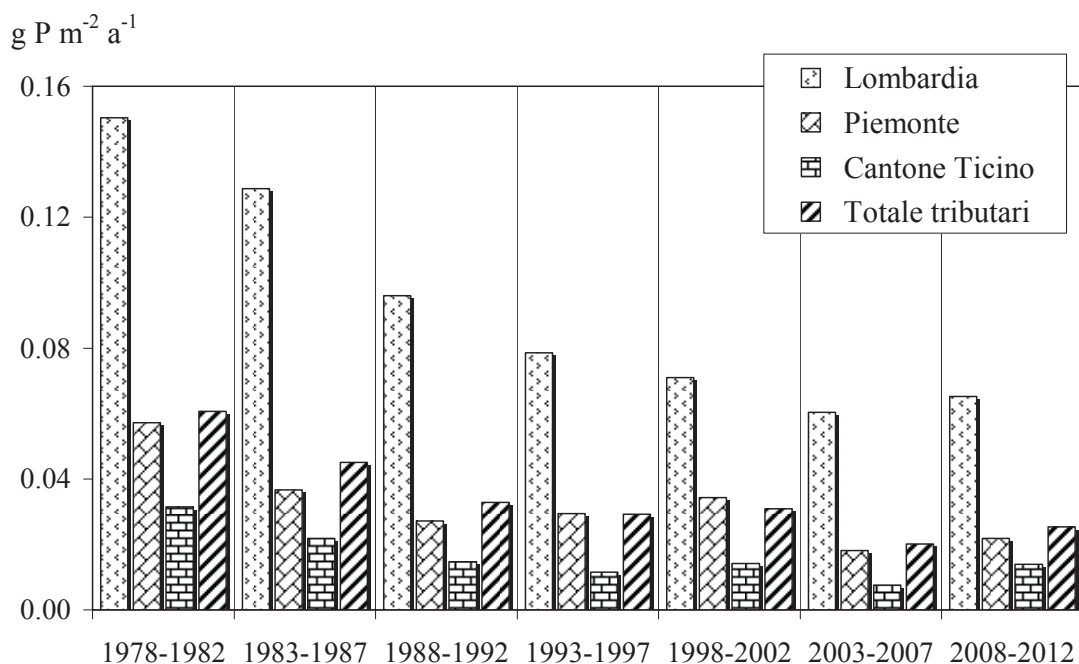


Fig. 6.7.8. Contributi areali medi quinquennali dal 1978 al 2012 di fosforo totale dalle acque tributarie piemontesi, lombarde e del Cantone Ticino, nonché dall'insieme dei tributari campionati.

I dati relativi all'ultimo quinquennio sono stati utilizzati per aggiornare la collocazione del Lago Maggiore nel diagramma statistico dell'OECD, che mette in relazione la trofia lacustre con il tempo teorico di rinnovo e gli apporti annuali di fosforo espressi come concentrazione calcolata dal rapporto tra il carico in entrata e i deflussi attraverso

l'emissario (Fig. 6.7.9.). Il lago è passato gradualmente da condizioni di mesotrofia avanzata ($53 \mu\text{g P l}^{-1}$ come fosforo totale in ingresso nel quinquennio 1978–1982), ad una situazione ($22 \mu\text{g P l}^{-1}$ nel periodo 1998-2002 e $21 \mu\text{g P l}^{-1}$ nell'ultimo quinquennio) corrispondente all'obiettivo del carico ammissibile per mantenere condizioni oligotrofe. I dati del quinquennio 2003-2007 ($28 \mu\text{g P l}^{-1}$) avevano mostrato un temporanea inversione di tendenza, dovuta principalmente ad una diminuzione dei deflussi attraverso l'emissario, a causa delle scarse precipitazioni che avevano caratterizzato il periodo. Il quinquennio 2008-2012 è stato caratterizzato invece da una situazione più simile alla media di lungo periodo, con precipitazioni medie annue comprese tra i circa 1300 mm del 2011 e i 2100 mm del 2008. Anche le portate annue del Ticino emissario sono state in linea o superiori a quelle medie di lungo periodo, comportando quindi una situazione complessiva più simile a quella degli anni precedenti il 2003.

L'andamento delle concentrazioni medie annue degli apporti (P_i), calcolate come rapporto tra carichi e deflussi attraverso l'emissario, a confronto con le concentrazioni medie areali misurate nelle acque tributarie, è riportato in figura 6.7.10.. Si evidenziano chiaramente i valori più elevati di carico in ingresso registrati negli anni più siccitosi, come 2003, 2005 e 2006. Si osserva inoltre come gli anni 2011 e 2012 siano stati caratterizzati da un aumento del valore di P_i , a cui fa riscontro un lieve innalzamento delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale misurate a lago (Fig. 6.7.10.). Mentre il 2011 è stato un anno complessivamente siccitoso, gli afflussi nel 2012 (1639 mm sull'intero bacino) sono stati simili alla media di lungo periodo, così come il valore della portata media del Ticino emissario. L'aumento dei carichi di fosforo in ingresso a lago registrato nell'ultimo periodo necessita di essere confermato dal proseguimento delle indagini e dalla raccolta di nuovi dati.

Nonostante questa tendenza recente, il valore medio di fosforo in ingresso a lago (P_i) calcolato in base all'approccio OECD per l'ultimo quinquennio ($21 \mu\text{g P l}^{-1}$) è da ritenersi comunque indicativo di una condizione di bassa produttività delle acque. Nel complesso i dati relativi al quinquennio 2008-2012 confermano quindi il miglioramento complessivo del livello trofico lago iniziato a partire dagli anni '80 e conseguente alla diminuzione degli apporti di nutrienti dal bacino imbrifero. I risultati dimostrano inoltre l'importanza della variabilità idrologica interannuale, che condiziona i carichi veicolati dai tributari e di conseguenza la chimica delle acque lacustri.

Alcune modificazioni nel chimismo delle acque lacustri e tributarie osservate nell'ultimo quinquennio, tra cui l'aumento dei livelli di fosforo e la diminuzione delle concentrazioni di azoto nitrico a lago, sono certamente degne di interesse. Per poter essere confermate necessitano però il costante aggiornamento delle serie storiche di dati con metodologie standardizzate e confrontabili nel tempo. La raccolta dei dati inoltre deve avvenire con una frequenza sufficientemente elevata (stagionale o preferibilmente mensile) da consentire di descrivere i fenomeni in atto e metterli in relazione con altri fattori, quali i processi biologici, le dinamiche di mescolamento e le condizioni meteorologiche ed idrologiche.

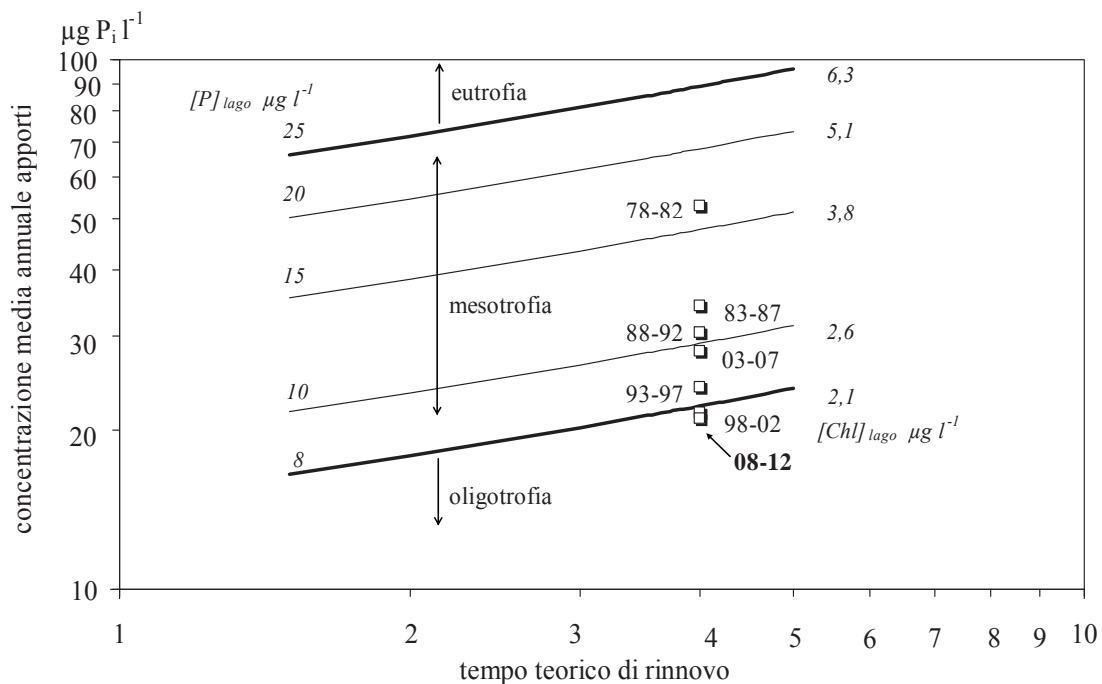


Fig. 6.7.9. Lago Maggiore: diagramma di sintesi dell'OECD nei quinquenni dal 1978 al 2012.

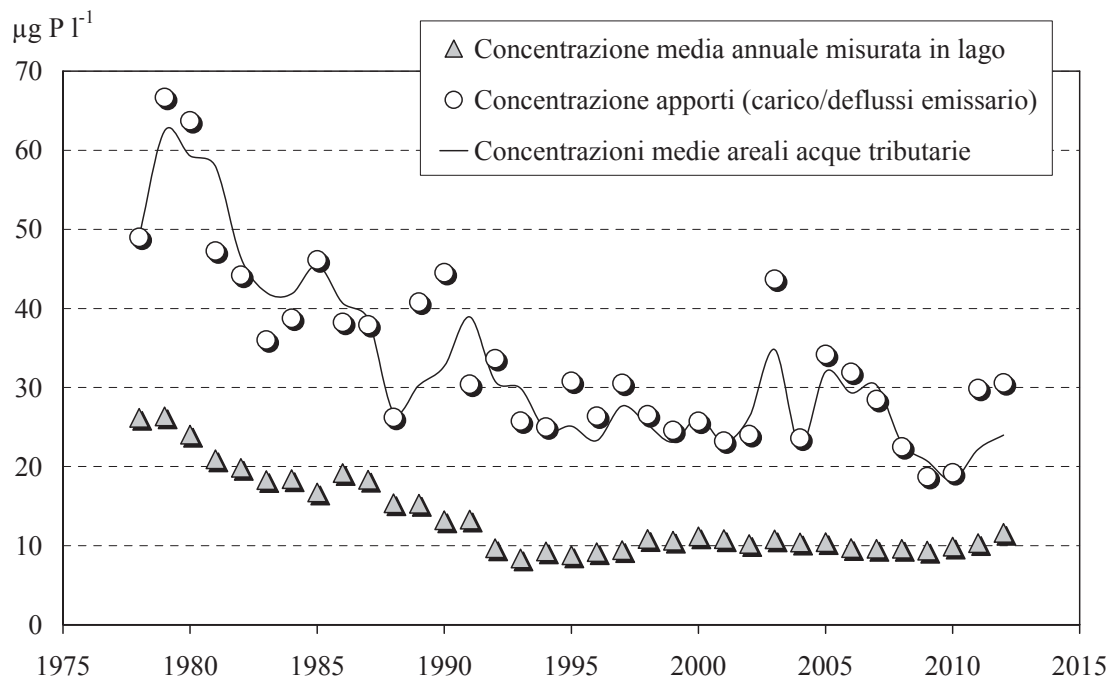


Fig. 6.7.10. Lago Maggiore. Evoluzione delle concentrazioni medie annuali di fosforo totale nel lago, negli afflussi totali (rapporto tra carico e deflusso) e nelle acque tributarie (valori ponderati dalle concentrazioni areali dei singoli tributari).

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.
- Kaushal S.S., P.M. Groffman, G.E. Likens, K.T. Belt, W.P. Stack, V.R. Kelly, L.E. Band, G.T. Fisher. 2005. Increased salinization of fresh water in the northeastern United States. *PNAS* 102/38:13517-13520.
- Müller, B., R. Gätcher. 2012. Increasing chloride concentrations in Lake Constance: characterization of sources and estimation of loads. *Aquatic Sciences*, 74: 101-112.
- Rogora, M., S. Arisci, A. Marchetto. 2012. The role of nitrogen deposition in the recent nitrate decline in lakes and rivers in Northern Italy. *Science of the Total Environment*, 417-418: 214-223.
- 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., R. Mosello & S. Arisci. 2003. The effect of climate warming on the hydrochemistry of alpine lakes. *Water Air Soil Poll.*, 148: 347-361.