

Stato delle acque superficiali in Lombardia

LAGO DI ANNONE OVEST

Aggiornamento 2014-2019



Dicembre 2020

Stato delle acque superficiali in Lombardia

LAGO DI ANNONE OVEST

Aggiornamento 2014-2019

Autori

Chiara Agostinelli, Fabio Buzzi, Elisa Carena, Riccardo Formenti, Romana Fumagalli, Francesco Nastasi, Rosa Maria Di Piazza

*U.O. Centro Regionale Laghi e Monitoraggio Biologico Acque Superficiali
Settore Monitoraggi Ambientali*

Pietro Genoni

*Responsabile U.O. Centro Regionale Laghi e Monitoraggio Biologico Acque Superficiali
Settore Monitoraggi Ambientali*

Citare come:

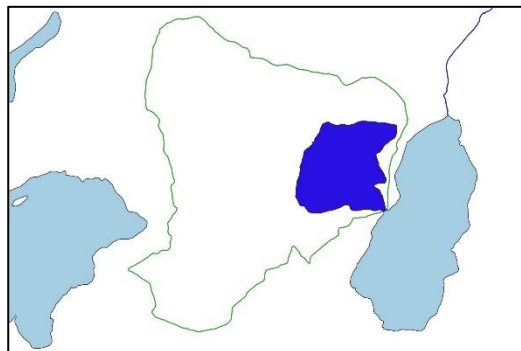
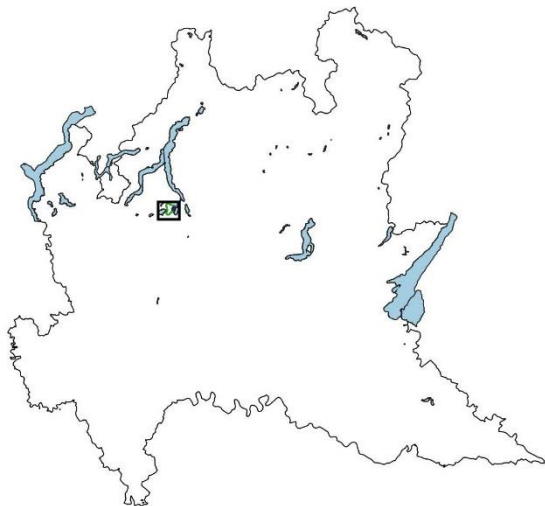
ARPA Lombardia, 2020. Stato delle acque superficiali in Lombardia. Lago di Annone Ovest. Aggiornamento 2014-2019. Settore Monitoraggi Ambientali, 20 pp.

SOMMARIO

1	INQUADRAMENTO	1
2	CARATTERISTICHE FISICHE E CHIMICHE	4
2.1	TEMPERATURA DELLE ACQUE	4
2.2	OSSIGENO DISCIOLTO	5
2.3	TRASPARENZA	7
2.4	MACRONUTRIENTI: FOSFORO E AZOTO	8
3	ELEMENTI FISICO-CHIMICI A SOSTEGNO (LTLECO)	10
4	ELEMENTI DI QUALITÀ BIOLOGICA (EQB)	11
4.1	FITOPLANCTON	11
4.2	MACROFITE E FITOBENTOS	14
4.3	MACROINVERTEBRATI	15
4.4	FAUNA ITTICA	15
5	ELEMENTI CHIMICI A SOSTEGNO	16
6	STATO ECOLOGICO	17
7	STATO CHIMICO	18
8	BIBLIOGRAFIA	20

1 INQUADRAMENTO

Il lago di Annone Ovest appartiene, insieme al lago gemello Annone Est, al reticolo idrografico dei piccoli laghi briantei, situati nella fascia intermorenica prealpina alla base del triangolo lariano, formatasi alla fine del Quaternario ad opera di imponenti formazioni glaciali.



Caratteristiche morfometriche e idrologiche del lago di Annone Ovest

Bacino idrografico

Bacino idrografico	Fiume Adda
Area ⁽¹⁾	12,5 km ²
Altitudine massima	1240 m s.l.m. (Monte Cornizzolo)
Immissari principali ⁽²⁾	Torrenti Pescone, Calchirola, Pramaggiore, Fontana Borima
Emissario principale	Annone Est

Lago

Macrotipo	L3
Tipo	AL5 - Laghi subalpini poco profondi
Area ⁽¹⁾	1,7 km ²
Rapporto area bacino/area lago ⁽³⁾	7,4
Perimetro	5,9 km
Indice di sinuosità ⁽³⁾	1,28
Profondità massima	10,1 m
Profondità media	4 m
Altitudine media	224 m s.l.m.
Volume	6,8 × 10 ⁶ m ³
Volume utile alla massima regolazione	-
Tempo teorico di ricambio	0,7 anni
Tempo reale di ricambio	-
Classificazione termica	Dimittico
Tasso di sedimentazione	1,3 cm a ⁻¹

Fonti: Osservatorio Laghi Lombardi, 2005 ad eccezione di ⁽¹⁾ PTUA 2016; ⁽²⁾ Negri, 2018; ⁽³⁾ dato calcolato da ARPA Lombardia.

Punto di campionamento acque

Comune	Civate
Coordinate X-Y (WGS84 UTM 32)	525973 - 5073780
Localizzazione	Punto di massima profondità

I laghi di Annone occupano due conche tra gli anfiteatri di depositi morenici creati dal Ghiacciaio Lariano, che si è spinto a più riprese dalla Valtellina e dalle sue valli laterali verso sud procedendo attraverso il bacino del lago di Como, precedentemente scavato da un paleofiume.

Il lago di Annone Ovest è interamente compreso nel territorio della provincia di Lecco e la stazione di campionamento è situata nel comune di Civate, nel punto di massima profondità del lago.

Il bacino imbrifero è delimitato dalle Prealpi lombarde a nord-est con il Monte Cornizzolo (1240 m) e a nord con il Monte Rai (1259 m) e il Corno Birone (1116 m), mentre a sud, sud-est ed est rispettivamente dalle colline su cui sorgono gli abitati di Sirone (370 m), Molteno (292 m) e Bosisio Parini (309 m).

Gli immissari sono per lo più a carattere torrentizio; il principale è il Torrente Pescone che si immette a sud-ovest del lago. Tributari a portata minore sono i torrenti Calchirola, Pramaggiore, Fontana Borima. La zona costiera occidentale e parte della settentrionale sono ricoperte da canneto.

L'emissario è rappresentato dal contiguo lago di Annone Est: uno stretto canale poco profondo si apre a sud dell'esile penisola morenica di Isella che li separa. Circa un quarto della superficie del bacino è interessato da aree torbose, situate in particolare nella porzione settentrionale.

Dal punto di vista della termica delle acque, il lago di Annone Ovest è classificato come dimittico. Nella stagione fredda si osserva un breve periodo di stratificazione termica inversa, con la presenza di una copertura di ghiaccio, anche molto estesa negli inverni meno miti.

Il lago di Annone Ovest, a partire dagli anni '60 del secolo scorso, ha subito una forte pressione antropica che ha portato ad una profonda alterazione della qualità delle acque con l'instaurarsi di una condizione di eutrofia accompagnata dallo sviluppo di massicce fioriture di cianobatteri. All'inquinamento civile si è sommato anche quello di tipo industriale, con accumulo di scorie ferrose nei suoi sedimenti. L'introduzione a livello nazionale di restrizioni sul contenuto di fosforo nei detersivi seguita dalla realizzazione, alla fine del secolo scorso, di un anello circumlacuale di collettamento dei reflui hanno permesso l'inizio del suo lento recupero ambientale.

La batimetria del lago è caratterizzata da una profondità media modesta e da una zona a massima profondità molto circoscritta, situata nella porzione sud-orientale del corpo idrico, che determina, in fase di stratificazione termica, un volume ipolimnico particolarmente ridotto (Figura 1). Questa peculiarità espone il lago ad un maggiore rischio di ipossia delle acque ipolimniche rispetto al bacino gemello, rendendolo più vulnerabile alle conseguenze dei fenomeni di degradazione del materiale organico di fondo strettamente connessi all'eutrofizzazione. L'impoverimento di ossigeno nelle ultime decadi del secolo scorso è stato tanto severo da causare episodi di morie ittiche alla circolazione termica autunnale.

La ridotta profondità del canale di collegamento tra i due laghi di Annone permette spesso, soprattutto nel bacino ovest, un consistente sviluppo della castagna d'acqua (*Trapa natans*), pianta acquatica dotata di tessuti aeriferi nelle rosette di foglie galleggianti, radicata sul fondo, che arriva anche ad ostacolare l'accesso al lago attraverso il canale e a richiedere interventi di contenimento.

Le campagne di monitoraggio chimico-fisico e le indagini che nel tempo hanno riguardato componenti biologiche come il fitoplancton, le macrofite acquatiche e i macroinvertebrati di fondo testimoniano una condizione ecologica ancora compromessa, ma si rilevano timidi segnali di ripresa soprattutto per i parametri abiotici, in quanto le comunità biologiche molto perturbate recuperano la loro struttura con difficoltà.

Da citare la presenza di specie acquatiche alloctone, come il siluro e il gambero della Louisiana, la cui pressione biologica assume un valore negativo soprattutto in un piccolo lago poco profondo.

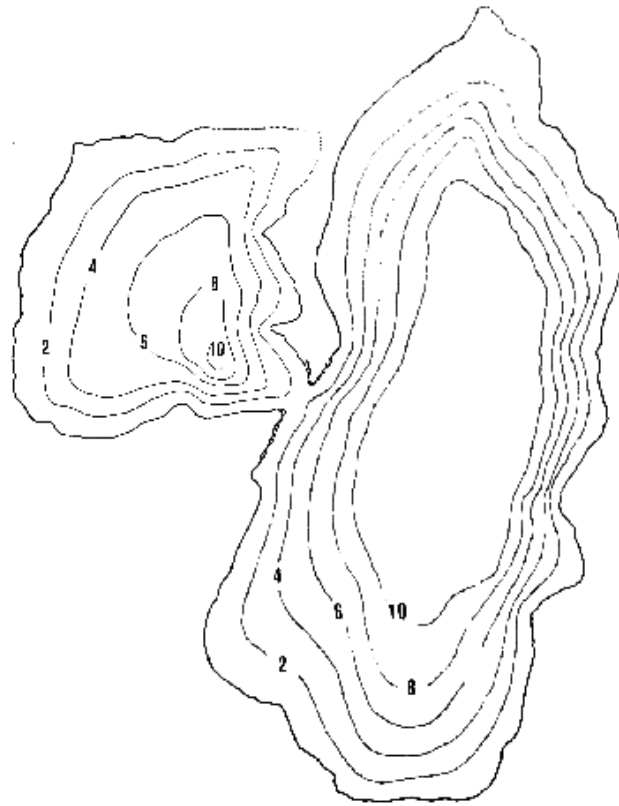


Figura 1. Batimetria dei laghi di Annone: si noti la diversa estensione dell'area a massima profondità dei due corpi idrici.

2 CARATTERISTICHE FISICHE E CHIMICHE

2.1 Temperatura delle acque

La temperatura che un lago assume in un determinato istante dipende dal suo bilancio termico, cioè dalla differenza fra gli apporti e le perdite di calore. La temperatura influenza gli ecosistemi lacustri sia in maniera diretta, agendo sul metabolismo degli organismi, che in maniera indiretta, determinando la densità delle acque e quindi anche la struttura della colonna d'acqua.

Dal punto di vista della termica delle acque, il lago di Annone Ovest è classificato come dimittico. Dato il suo ridotto volume ipolimnico, la stabilità della stratificazione termica è relativamente bassa e in occasione di giornate molto ventose può essere temporaneamente compromessa. La formazione di un'estesa copertura di ghiaccio è più rara negli ultimi inverni.

La Figura 2 mostra l'andamento della temperatura delle acque di superficie e in prossimità del fondo per gli anni dal 2009 al 2019. Le due temperature vengono a coincidere in fase di rimescolamento delle acque, mentre si discostano in fase di stratificazione termica, con divari anche sensibili tra epilimnio ed ipolimnio dovuti al riscaldamento superficiale estivo, che in alcuni anni, in particolare nel 2012, porta le acque a sfiorare i 30 °C. I valori minimi registrati si collocano mediamente tra i 5 e i 6 °C.

Si evidenzia un incremento della temperatura nel periodo in esame sia in superficie che nel fondo, a riprova di come la zona sudalpina italiana abbia subito gli effetti del *global warming*, come indicato anche dalle reti satellitari di telerilevamento (O'Reilly *et al.*, 2015).

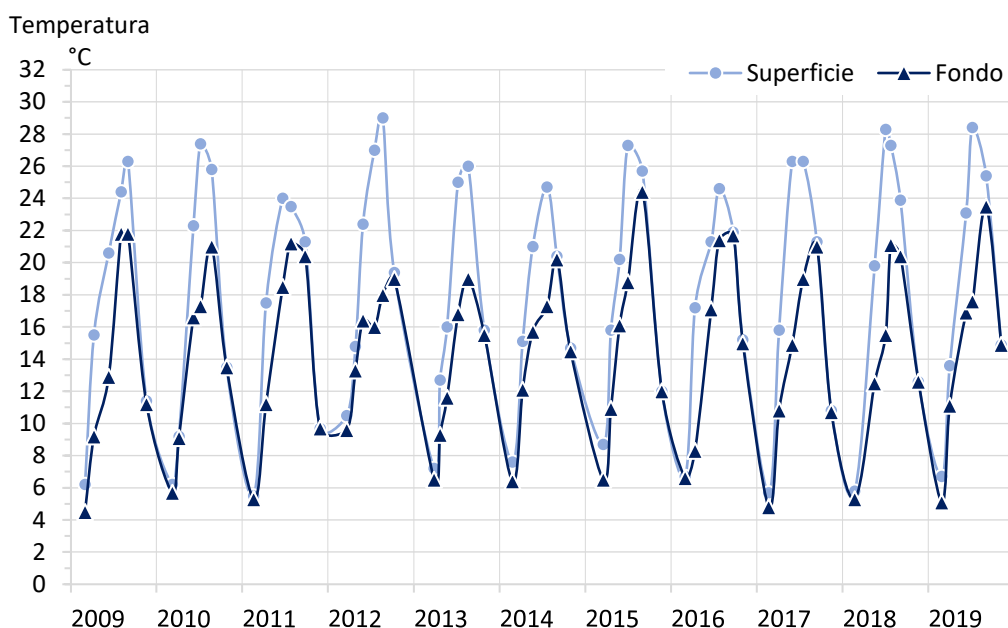


Figura 2. Andamento della temperatura delle acque in superficie e sul fondo dal 2009 al 2019.

2.2 Ossigeno disciolto

La solubilità dell'ossigeno in acqua è in relazione alla temperatura, alla pressione barometrica e all'umidità relativa dell'aria. Il profilo verticale della concentrazione dell'ossigeno disciolto è condizionato dall'attività biologica degli organismi presenti in acqua, dalla turbolenza e dalle vicende termiche del lago.

L'ossigenazione delle acque del lago di Annone Ovest ha subito negli anni di monitoraggio flessioni anche severe in prossimità del fondo nei mesi estivi, durante la stratificazione termica. Il suo ridotto volume ipolimnico fa sì che la decomposizione della materia organica consumi rapidamente l'ossigeno presente in questo strato.

In Figura 3 sono mostrati i valori di ossigeno disciolto (percentuale di saturazione) nelle acque di superficie e in prossimità del fondo per gli anni dal 2009 al 2019. Le due curve si discostano sensibilmente, come atteso per un bacino sottoposto ad eutrofizzazione. In prossimità del fondo vengono raggiunti valori decisamente ridotti, in alcuni anni (come il 2011 e il 2012) anche molto vicini allo zero, durante la stratificazione termica estiva, fase in cui la diversa densità delle acque non permette all'ossigeno atmosferico di ricaricare lo strato ipolimnico. L'ossigenazione ipolimnica tende a migliorare nel periodo di osservazione: gli episodi di forte ipossia si ripresentano con minore frequenza negli ultimi anni, soprattutto dal 2015 in poi.

Riguardo i valori osservati negli strati superficiali, il grafico evidenzia che vengono raggiunte più volte condizioni di sovrasaturazione a causa della rilevante produzione fitoplanctonica che caratterizza questo piccolo bacino: in particolare nell'agosto 2010 è stato superato il 200% in concomitanza con un picco di biovolume algale e di concentrazione di clorofilla *a*. La tendenza relativa al dato di superficie segnala una certa stabilità delle misurazioni, con una lievissima riduzione nel tempo della sovrasaturazione.

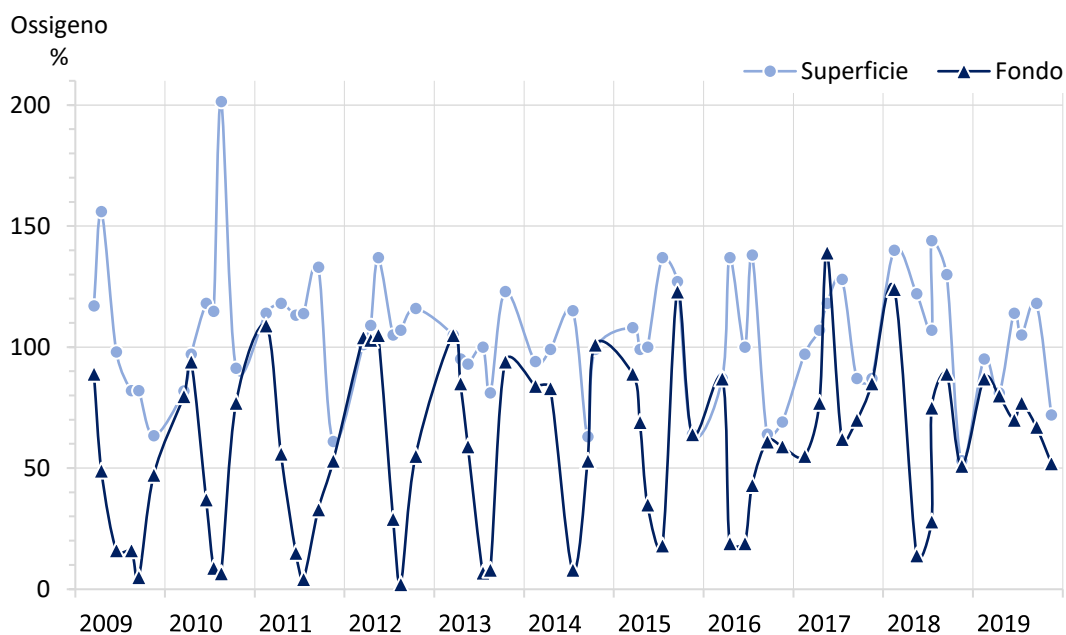


Figura 3. Andamento della saturazione dell'ossigeno disciolto in superficie e sul fondo dal 2009 al 2019.

La concentrazione di ossigeno disciolto ipolimnico misurato alla fine del periodo di stratificazione viene utilizzata per il calcolo del descrittore LTLecco ai fini della classificazione dello stato ecologico; una concentrazione pari a 40% di saturazione rappresenta il valore limite del livello corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'LTLecco.

In Figura 4 viene mostrata la media dei valori dell'ossigeno disciolto (percentuale di saturazione) registrati dalla sonda multiparametrica nella porzione ipolimnica della colonna d'acqua del lago alla fine della fase di stratificazione termica per il periodo 2009-2019. Anche questo grafico segnala gli anni 2011 e 2012 come particolarmente critici per l'ossigenazione estiva in profondità ed evidenzia un incremento delle medie negli ultimi anni in esame, sebbene solo in due anni sugli undici considerati sia stata superata la soglia citata del 40%.

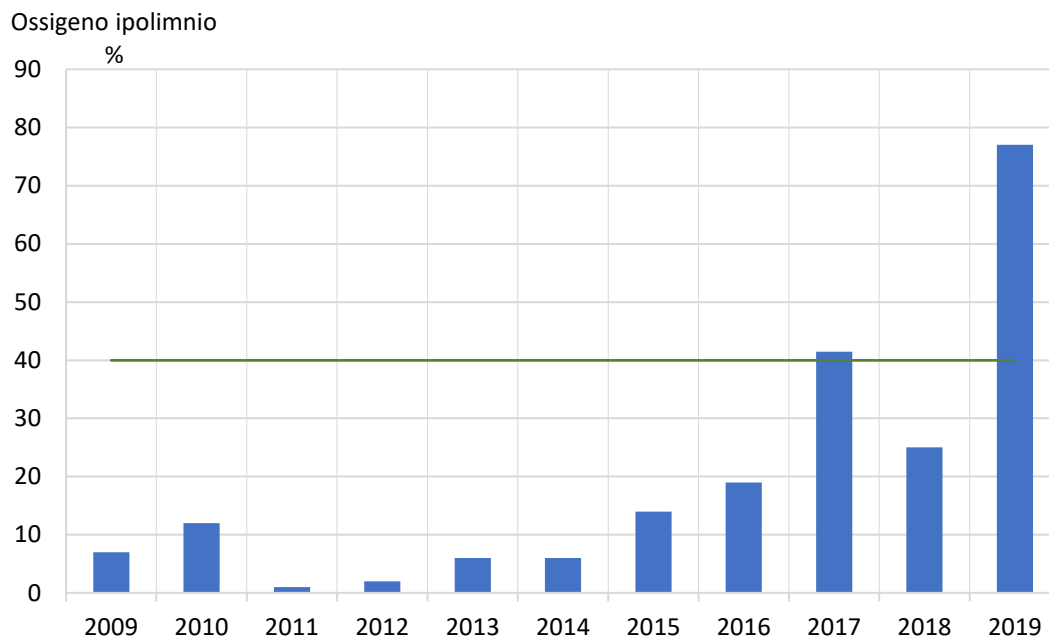


Figura 4. Valori di saturazione dell'ossigeno disciolto nell'ipolimnio alla fine del periodo di stratificazione dal 2009 al 2019; la linea rappresenta il valore limite del livello corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'LTLecco.

2.3 Trasparenza

La trasparenza di un lago è definita come la profondità alla quale un disco bianco o a quadranti bianchi e neri di 20-30 cm di diametro (disco di Secchi) diviene invisibile dalla superficie. La trasparenza è un parametro correlato alla produttività algale del lago e alla presenza di particolato disciolto. I più alti valori di questo parametro si registrano quando la componente fitoplanctonica non ha ancora raggiunto un completo sviluppo mentre bassi valori di trasparenza si osservano quando la comunità algale risulta ampiamente presente.

La trasparenza media annua viene utilizzata per il calcolo del descrittore LTLecco; per il lago di Annone Ovest il valore di 3 metri rappresenta il limite del livello corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'LTLecco.

La Figura 5 riporta l'andamento della trasparenza rilevata nel lago nel periodo di monitoraggio 2009-2019. La maggior parte dei dati raccolti nel periodo in esame si colloca sotto la citata soglia dei 3 metri. Le medie annue di trasparenza subiscono oscillazioni in gran parte comprese tra i 2 e 3 metri e non si delinea una tendenza all'incremento o al decremento del parametro negli anni considerati. Nel 2014 si osserva il valore di trasparenza media più ridotto (1,6 metri), a causa delle numerose fioriture algali che hanno interessato la seconda metà dell'anno.

In generale, nel corso di ciascun anno si osserva spesso una diminuzione della profondità di scomparsa del disco di Secchi, passando dai mesi del primo semestre a quelli del secondo, dato che il lago di Annone Ovest dà origine a fioriture algali soprattutto autunnali e, in misura minore, estive che aumentano la torbidità delle acque.

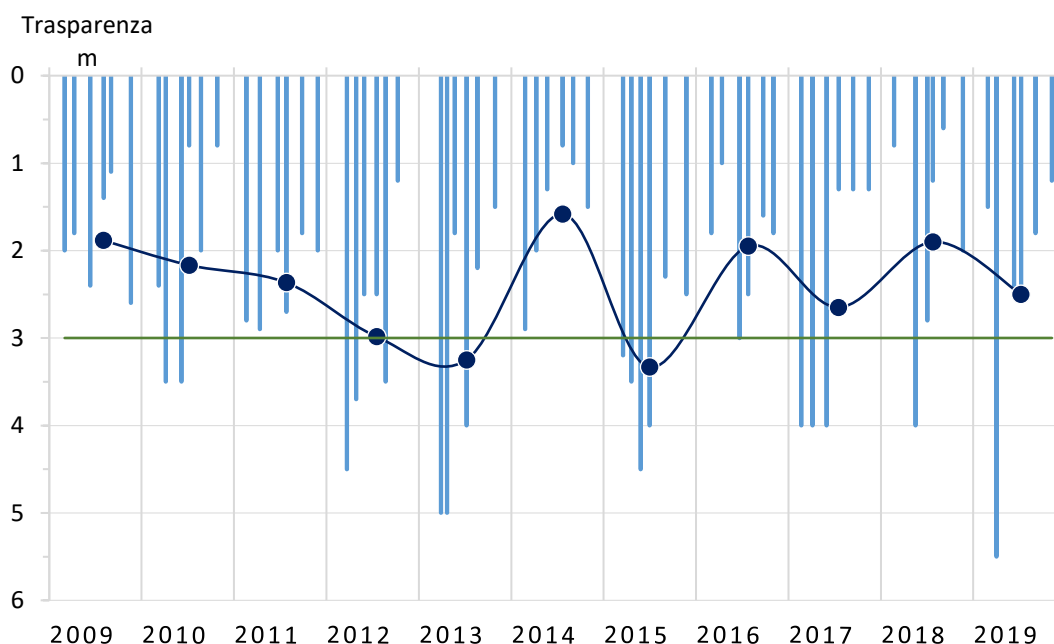


Figura 5. Valori mensili (barre) e medie annue (punti) della trasparenza dal 2009 al 2019; la linea rappresenta il valore limite del livello corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'LTLecco.

2.4 Macronutrienti: fosforo e azoto

Fosforo e azoto rappresentano i principali nutrienti che determinano lo sviluppo della biomassa vegetale, il cui eccesso è uno degli effetti dell'eutrofizzazione. Nei laghi lombardi l'elemento che limita la crescita degli organismi vegetali è quasi sempre il fosforo.

La concentrazione media di fosforo totale – ottenuta come media ponderata rispetto ai volumi o all'altezza degli strati, nel periodo di piena circolazione alla fine della stagione invernale – viene utilizzata per il calcolo del descrittore LTLecco; per il lago di Annone Ovest una concentrazione di 20 µg/L P rappresenta il valore limite del livello corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'LTLecco.

In Figura 6 è mostrata la media di fosforo totale sulla colonna, ponderata rispetto all'altezza degli strati, nel campionamento di piena circolazione per gli anni dal 2009 al 2019. Nella maggioranza degli anni il dato supera la soglia appena citata di 20 µg/L P; tuttavia, si può rilevare una tendenza al decremento dei valori nel periodo in esame.

La diminuzione osservata negli ultimi anni della frequenza degli episodi di forte ipossia ipolimnica limita il rilascio dell'ortofosfato dai sedimenti di fondo, e di conseguenza la concentrazione di fosforo totale: questo riduce l'espressione del carattere autogenerativo dell'eutrofizzazione e quindi accorcia i tempi di ripresa dei laghi interessati dal fenomeno.

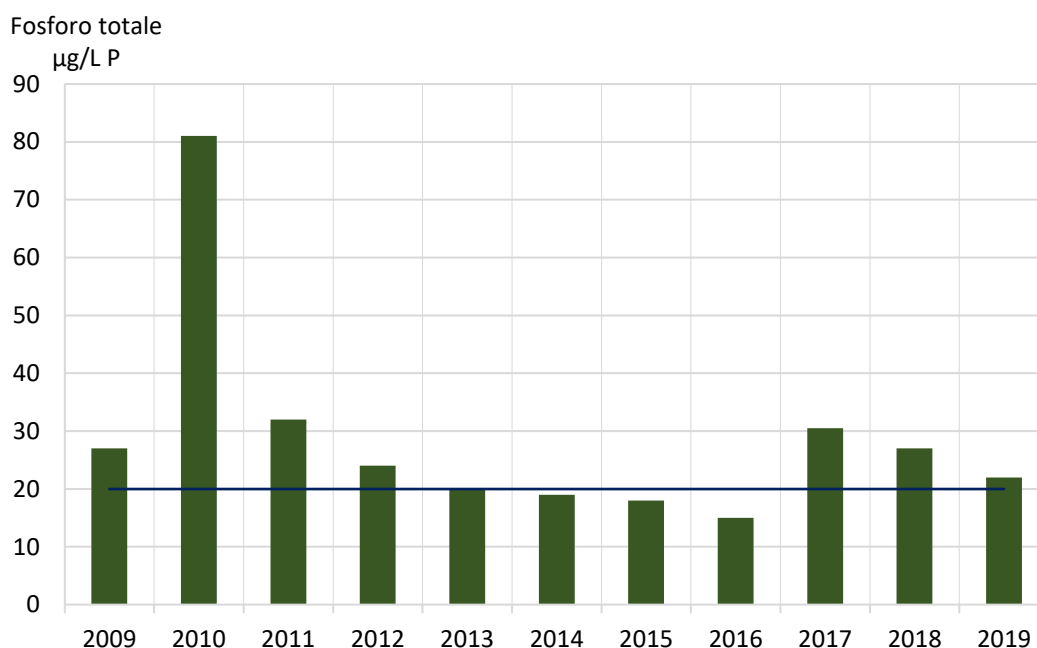


Figura 6. Valori di fosforo totale (media ponderata) nel periodo di piena circolazione dal 2009 al 2019; la linea rappresenta il valore limite del livello corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'LTLecco.

Il livello naturale di fosforo per il lago di Annone Ovest riportato nel PTUA 2016 è pari a 26 µg/L P. Dal momento che la concentrazione osservata nell'ultimo sessennio, mediamente di 22 µg/L P, è già inferiore rispetto a quella indicata dal PTUA 2016, si può ritenere che la concentrazione naturale più verosimile sia prossima a quella calcolata con il metodo proposto da Cardoso *et al.* (2007), ritenuto più aggiornato e attendibile dal punto di vista scientifico, che risulta pari a 8 µg/L P.

Per quanto riguarda le forme dell'azoto, in Figura 7 è mostrato l'andamento dell'azoto nitrico in superficie e in prossimità del fondo nel periodo di monitoraggio 2009-2019, mentre in Figura 8 è riportato quello

dell'azoto ammoniacale. L'azoto nitrico rappresenta la forma che viene utilizzata preferenzialmente dal fitoplancton come fonte di azoto.

Il divario tra le concentrazioni di azoto ammoniacale riscontrate nel campione prelevato in superficie rispetto a quelle misurate nel campione di fondo rivela la presenza, in fase di stratificazione termica, di un sensibile aumento della concentrazione nelle acque ipolimniche.

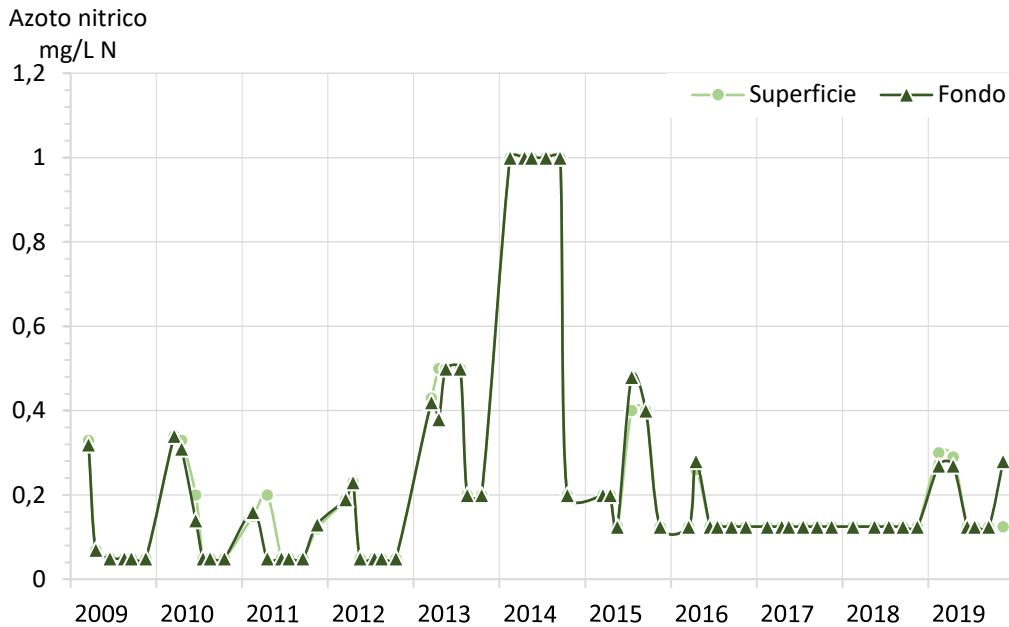


Figura 7. Concentrazioni di azoto nitrico in superficie e sul fondo dal 2009 al 2019.

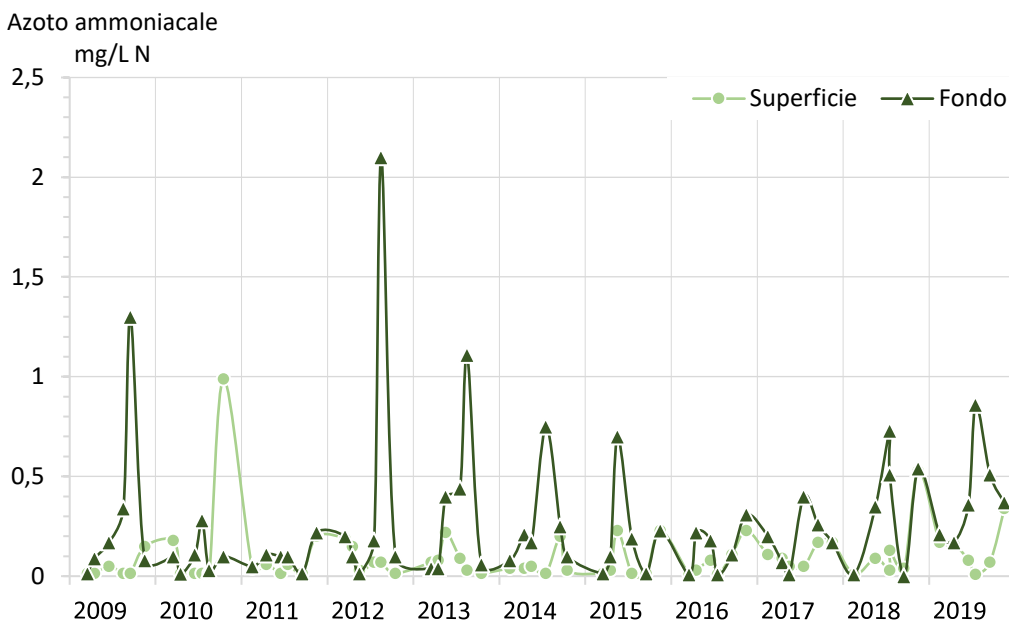


Figura 8. Concentrazioni di azoto ammoniacale in superficie e sul fondo dal 2009 al 2019.

3 ELEMENTI FISICO-CHIMICI A SOSTEGNO (LTLeCo)

I parametri che contribuiscono al calcolo dell'LTLeCo sono la trasparenza (media dei valori riscontrati nel corso dell'anno di monitoraggio), l'ossigeno disciolto ipolimnico (media ponderata rispetto ai volumi o all'altezza degli strati, alla fine del periodo di stratificazione) e il fosforo totale (media ponderata rispetto ai volumi o all'altezza degli strati, nel periodo di piena circolazione alla fine della stagione invernale).

In Tabella 1 sono riportati i valori dei singoli parametri che contribuiscono al calcolo dell'LTLeCo per ciascun anno del periodo 2009-2019 per il lago di Annone Ovest. È evidente l'incremento dell'ossigenazione ipolimnica a fine stratificazione negli ultimi anni.

Tabella 1. Valori dei parametri utilizzati per il calcolo dell'LTLeCo dal 2009 al 2019.

Corpo idrico	Anno	Fosforo totale µg/L P	Trasparenza m	Ossigeno ipolimnico % saturazione
Annone Ovest	2009	27	1,9	7
	2010	81	2,2	12
	2011	32	2,4	1
	2012	24	3,0	2
	2013	20	3,3	6
	2014	19	1,6	6
	2015	18	3,3	14
	2016	15	2,0	19
	2017	31	2,7	41
	2018	27	1,9	25
	2019	22	2,5	77

I valori di LTLeCo e la corrispondente classificazione di stato per il lago di Annone Ovest nei quattro trienni di monitoraggio sono mostrati in Tabella 2. In tutti i trienni l'indice LTLeCo è risultato sufficiente; negli ultimi due trienni il punteggio complessivo dell'indice è leggermente migliorato, passando da 9 a 10, ma è ancora distante dal punteggio richiesto per raggiungere lo stato buono, pari a 12. La metrica relativa alla trasparenza ha sempre avuto il punteggio minimo a causa dell'intensa produzione fitoplanctonica che caratterizza il lago.

Tabella 2. Valori dei parametri, punteggi, valori di LTLeCo e classificazione di stato nei quattro trienni di monitoraggio.

Corpo idrico	Triennio	Fosforo totale		Trasparenza		Ossigeno ipolimnico		LTLeCo	Stato
		µg/L P	Punt.	m	Punt.	%	Punt.		
Annone Ovest	2009-2011	47	3	2,2	3	7	3	9	sufficiente
	2012-2014	21	3	2,6	3	5	3	9	sufficiente
	2014-2016	17	4	2,3	3	13	3	10	sufficiente
	2017-2019	27	3	2,4	3	48	4	10	sufficiente

4 ELEMENTI DI QUALITÀ BIOLOGICA (EQB)

Per gli elementi biologici la classificazione si effettua sulla base del valore di Rapporto di Qualità Ecologica (RQE), ossia del rapporto tra valore del parametro biologico osservato e valore dello stesso parametro, corrispondente alle condizioni di riferimento con alterazioni antropiche assenti o poco rilevanti.

I metodi di valutazione dello stato degli EQB sono sottoposti a un processo di intercalibrazione al fine di garantire la comparabilità tra i risultati del monitoraggio biologico dei vari Stati membri e le loro rispettive classificazioni. La Decisione della Commissione Europea 2018/229 ha stabilito i metodi e i valori che definiscono le delimitazioni tra le classi che gli Stati membri devono utilizzare per le classificazioni nazionali dei sistemi di monitoraggio risultanti dalla terza fase dell'esercizio di intercalibrazione.

Pertanto, attualmente si dispone di metodi e di valori di delimitazione delle classi di stato che possono essere differenti rispetto a quelli utilizzati per la classificazione del precedente sessennio (2009-2014) riportata nel PTUA 2016. Nel presente Rapporto la classificazione dello stato degli EQB e dello stato ecologico del sessennio 2009-2014 è stata aggiornata utilizzando i metodi e i valori della Decisione 2018/229 per consentire un corretto confronto dei risultati in relazione alle evoluzioni temporali. Viene contestualmente riportata la classificazione ufficiale del PTUA 2016.

4.1 Fitoplancton

La classificazione dei laghi a partire dal fitoplancton si ottiene come media dell'indice medio (RQE) di biomassa (concentrazione di clorofilla e biovolume) e dell'indice medio (RQE) di composizione (PTIot), che insieme compongono l'indice IPAM (Metodo italiano di valutazione del fitoplancton).

Tra gli elementi biologici valutabili per la classificazione dello stato ecologico del lago di Annone Ovest si è considerato per gli anni dal 2009 al 2014 il fitoplancton, in quanto risponde meglio al fattore di pressione legato all'eutrofizzazione. In seguito, sono state indagate altre componenti biologiche.

L'analisi delle comunità fitoplanctoniche del lago di Annone Ovest evidenzia il ricorrere di episodi di fioriture algali. Il gruppo che risulta più spesso essere causa di *bloom* è quello dei cianobatteri, con una prevalenza della specie *Woronichinia naegeliana*, ad organizzazione coccale, che tende a trovare le condizioni ottimali di sviluppo nel mese di ottobre. L'unico altro gruppo che ha dato luogo a fioriture è quello delle dinoficee, con la specie *Ceratium hirundinella*. In Tabella 3 sono elencati i principali eventi di fioriture algali nel periodo in cui è stata monitorata questa componente e le specie responsabili. Negli anni successivi ci sono stati altri episodi di *bloom*, a frequenza leggermente inferiore, principalmente a carico di *W. naegeliana* che dà luogo a fioriture molto estese e prolungate nel tempo (es. novembre 2019).

Tabella 3. Eventi di fioriture algali nel Lago di Annone Ovest.

Corpo idrico	Anno	Mese	Specie
Annone Ovest	2009	settembre	<i>Raphidiopsis mediterranea</i>
	2010	ottobre	<i>Woronichinia naegeliana</i>
	2011	settembre	<i>Ceratium hirundinella</i>
	2012	ottobre	<i>Microcystis aeruginosa</i>
	2012	novembre	<i>Microcystis aeruginosa</i>
	2013	ottobre	<i>Woronichinia naegeliana</i>
	2014	luglio	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> e <i>Woronichinia naegeliana</i>
	2014	settembre	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> e <i>Woronichinia naegeliana</i>
	2014	ottobre	<i>Woronichinia naegeliana</i>

La produzione algale del lago di Annone Ovest risulta elevata a causa della consistente riserva di nutrienti disponibili. In Figura 9 viene riportato l'andamento della clorofilla *a* nello strato eufotico del lago negli anni in cui è stato effettuato il monitoraggio della componente fitoplanctonica. In Figura 10 è invece mostrato l'andamento del biovolume algale. Il valore medio annuo di soglia per il passaggio dallo stato buono allo stato sufficiente dei due parametri indicatori viene oltrepassato nella quasi totalità dei casi. I picchi riscontrabili in entrambi i grafici ad agosto 2010 e a settembre 2011 sono concomitanti con una massiccia presenza nelle acque del lago di *Ceratium hirundinella*, dinoficea caratterizzata da un biovolume cellulare medio molto elevato. Il picco di clorofilla *a* di settembre 2014 è invece riconducibile ad una fioritura di *Aphanizomenon flos-aquae* e *Woronichinia naegeliana*.

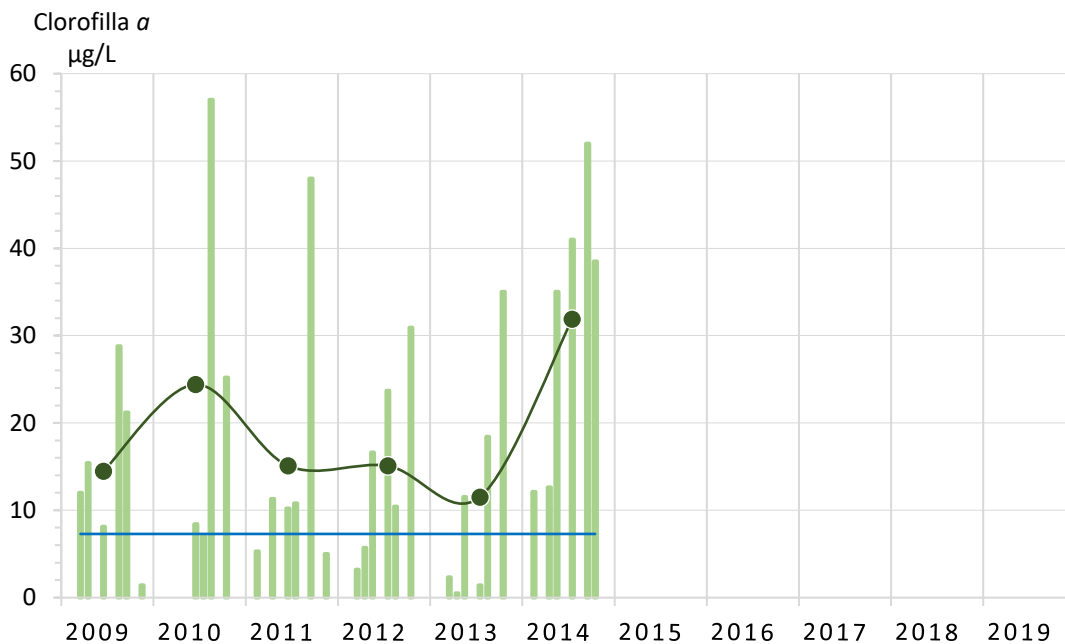


Figura 9. Valori mensili (barre) e medie annuali (punti) della clorofilla *a* dal 2009 al 2019; la linea rappresenta il valore limite corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'indice IPAM.

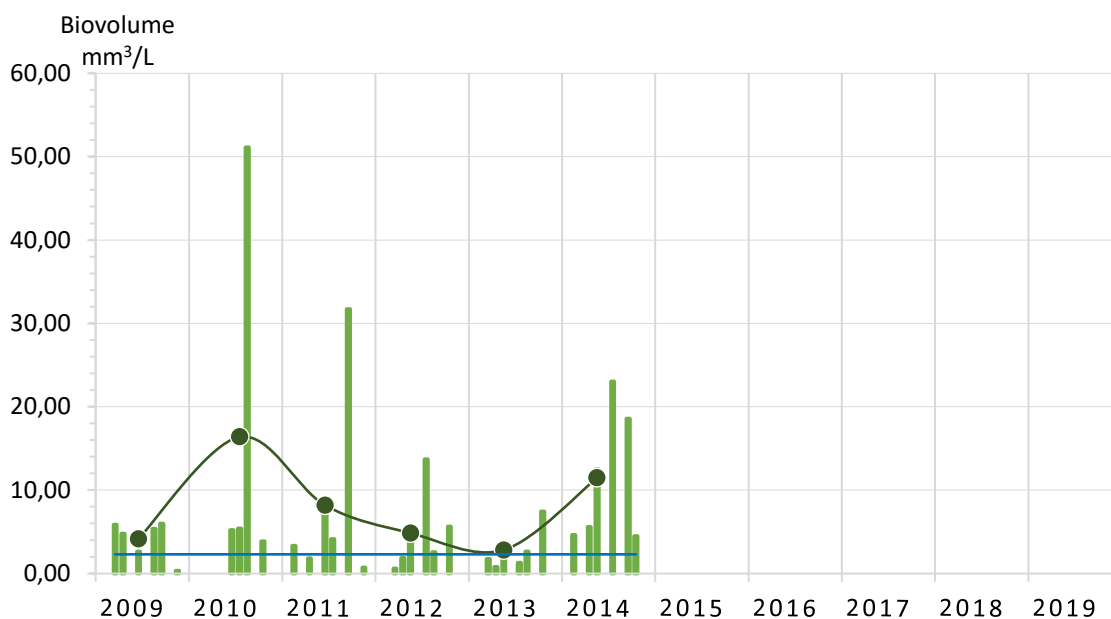


Figura 10. Valori mensili e medie annuali di biovolume fitoplanctonico nello strato integrato; la linea rappresenta il valore limite corrispondente allo stato buono per il calcolo dell'indice IPAM.

Il gruppo che più spesso ha contribuito in maniera preponderante al biovolume mensile negli anni in esame è stato quello dei cianobatteri, rappresentato dalla specie *Microcystis aeruginosa* oltre alle già citate *A. flos-aquae* e *W. naegeliana*.

In Tabella 4 sono riportati i valori medi di IPAM e la relativa classificazione di stato nei tre trienni in cui è stato effettuato il monitoraggio del fitoplancton per il lago di Annone Ovest. Nel triennio 2014-2016 il giudizio risulta scarso, mentre nei due precedenti trienni di monitoraggio è sufficiente. Analizzando le singole metriche che concorrono alla definizione dell'indice, le più critiche sono risultate quelle della media annua di clorofilla *a* e del biovolume fitoplanctonico medio annuo, che hanno superato costantemente, spesso in maniera sensibile, il limite buono/sufficiente.

Tabella 4. Valori di IPAM e corrispondente stato nei quattro trienni di monitoraggio.

Corpo idrico	Triennio	IPAM	Stato
Annone Ovest	2009-2011	0,50	sufficiente
	2012-2014	0,46	sufficiente
	2014-2016	0,35	scarso
	2017-2019	-	-

4.2 Macrofite e fitobentos

Lo stato delle macrofite degli ambienti lacustri è stabilito mediante l'indice MacroIMMI (Macrophytes Italian MultiMetric Index), che è composto da tre metriche: la massima profondità di colonizzazione (Zcmax), il punteggio trofico (Sk), l'indice di dissimilarità rispetto a siti di riferimento (1-B&C, con B&C= indice di Bray & Curtis).

Lo stato del fitobentos è stabilito mediante l'Indice per valutazione della qualità delle acque lacustri italiane a partire dalle diatomee epifitiche ed epilittiche (EPI-L) basato sui pesi indicatori delle diverse specie.

I valori dell'indice MacroIMMI (RQE) e dell'indice EPI-L (RQE) possono essere mediati per ottenere l'Indice Composito Diatomee-Macrofite (ICDM).

La componente delle macrofite acquatiche del lago di Annone Ovest è stata oggetto di monitoraggio nel 2016 e nel 2019, contestualmente a quella delle diatomee bentoniche; per queste ultime non è stato possibile però applicare l'indice EPI-L per mancanza di punteggi trofici per alcune specie.

La comunità è caratterizzata da una ridotta biodiversità: cinque il numero di specie rilevate nel 2016 (*Trapa natans*, *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea*, *Myriophyllum spicatum* e *Potamogeton crispus*). Solo tre le specie registrate invece nel 2019, quando non sono state più individuate *M. spicatum* e *P. crispus*. *T. natans* raggiunge molto spesso abbondanze elevate, in particolare nella zona del canale a bassa profondità che collega il lago al bacino gemello.

La massima profondità di crescita è risultata molto ridotta a causa della scarsa trasparenza delle acque del lago, in particolare nel 2019, quando non sono state rilevate macrofite oltre i tre metri di profondità. *T. natans*, *N. alba* e *N. lutea*, essendo macrofite flottanti radicate a foglie galleggianti, risentono meno della torbidità rispetto alle macrofite sommerse radicate natanti, non emergenti ma completamente sommerse, come *My. spicatum* e *P. crispus*.

L'analisi della componente macrofita, per la quale si riportano in Tabella 5 i valori degli indici misurati, evidenzia uno stato di qualità ambientale scarso per il triennio 2014-2016 e cattivo per il triennio 2017-2019.

Tabella 5. Valori di MacroIMMI e corrispondente stato nei quattro trienni di monitoraggio.

Corpo idrico	Triennio	Anno di monitoraggio	RQE MacroIMMI	Stato
Annone Ovest	2009-2011	-	-	-
	2012-2014	-	-	-
	2014-2016	2016	0,37	scarso
	2017-2019	2019	0,11	cattivo

4.3 Macroinvertebrati

Lo stato dei macroinvertebrati bentonici degli ambienti lacustri è stabilito mediante l'indice BQIES (Indice di qualità bentonica basato sul numero atteso di specie), basato sui pesi indicatori delle diverse specie.

L'indice BQIES non è applicabile ai fini della classificazione a tutti i corpi lacustri, poiché l'intercalibrazione non si è conclusa per tutte le tipologie di laghi. L'indice è applicabile solo per i laghi con profondità media superiore a 15 metri (macrotipo L1, L2, I1, I2).

Per il lago di Annone Ovest è stato comunque effettuato il monitoraggio di questa componente nel 2015.

Per la maggior parte dei campioni esaminati, la percentuale, in termini di densità, dei taxa con peso indicatore è stata inferiore al 75% (limite stabilito per l'affidabilità dell'indice), a causa dell'elevato numero di tubificidi immaturi con setole capillari presenti nel sedimento smistato.

Tra i ditteri, hanno raggiunto le densità più elevate le larve di *Chironomus plumosus* e *Chaoborus flavicans*; il genere *Limnodrilus* è stato numericamente predominante tra gli oligocheti. Complessivamente la comunità macrobentonica appare semplificata e composta soprattutto da taxa tolleranti alla compromissione della qualità ambientale.

4.4 Fauna ittica

Lo stato della fauna ittica degli ambienti lacustri è stabilito mediante l'indice LFI (Lake Fish Index), che si basa sull'abbondanza relativa e la struttura di popolazione delle specie chiave, sul successo riproduttivo delle specie chiave e delle specie tipo-specifiche, sulla diminuzione percentuale del numero di specie chiave e tipo-specifiche, sulla presenza di specie ittiche alloctone ad elevato impatto.

Per il lago di Annone Ovest, per cui è previsto un monitoraggio operativo, non è stato effettuato il monitoraggio della fauna ittica in quanto, essendo l'arricchimento dei nutrienti la pressione più significativa alla quale il corpo idrico è soggetto, sono stati scelti come elementi che rispondono meglio a tale pressione i produttori primari, fitoplancton e macrofite.

5 ELEMENTI CHIMICI A SOSTEGNO

Lo stato gli elementi chimici a sostegno è classificato in base alla presenza di inquinanti specifici non appartenenti all'elenco di priorità elencati nella Tab. 1/B del D.Lgs. 172/2015.

Nella Tabella 6 è indicato il numero di analisi effettuate per ciascuna sostanza analizzata nel lago di Annone Ovest in ogni anno del sessennio di monitoraggio.

Tabella 6. Numero di analisi effettuate per ciascuna sostanza analizzata in ogni anno del sessennio di monitoraggio.

GRUPPO	SOSTANZA	2014	2015	2016	2017	2018	2019
METALLI	Arsenico	-	-	-	16	18	16
	Cromo totale	19	18	18	16	18	17
PESTICIDI	AMPA	-	-	-	-	6	-
	Glifosate	-	-	-	-	6	-
COMPOSTI ORGANICI VOLATILI	1,2-Diclorobenzene	-	-	-	-	7	-
	1,3 Diclorobenzene	-	-	-	-	7	-
	1,4-diclorobenzene	-	-	-	-	7	-
	2-Clorotoluene	19	18	-	16	11	-
	4-Clorotoluene	19	18	-	16	11	-
	m+p-Xilene	-	-	-	16	11	17
	Monoclorobenzene	-	-	-	-	7	-
	Toluene	19	18	-	16	18	17
	Tricloroetano 1,1,1	19	18	-	16	18	17
	Xilene (somma isomeri)	-	-	-	-	7	17
	Xilene meta	19	6	-	-	-	-
	Xilene orto	19	18	-	16	14	17
	Xilene para	19	6	-	-	-	-

Lo stato degli elementi chimici a sostegno risulta non classificato nel triennio 2009-2011 in quanto non erano state valutate le pressioni insistenti sul corpo idrico. Dal 2012 sono stati monitorati parametri appartenenti ai gruppi dei metalli, dei composti organici volatili e dei pesticidi.

In Tabella 7 è riportata la classificazione dello stato degli elementi chimici a sostegno e i parametri la cui media annua ha superato lo SQA-MA o il LOQ nei quattro trienni di monitoraggio operativo a cui è stato sottoposto il lago.

I superamenti registrati dal 2012 al 2019 sono relativi al solo limite di quantificazione del metodo analitico e non allo SQA-MA, e hanno riguardato il cromo nel 2012, parametro che ha determinato la classificazione del triennio 2012-2014, e toluene (VOC) e AMPA (pesticidi) nel 2018, che hanno definito il giudizio per il triennio 2017-2019. Il giudizio invece è risultato elevato per il triennio 2014-2016.

Tabella 7. Stato degli elementi chimici a sostegno nei quattro trienni di monitoraggio.

Corpo idrico	Triennio	Stato elementi chimici a sostegno	Media annua >SQA-MA	Media annua >LOQ
Annone Ovest	2009-2011	non classificato	-	-
	2012-2014	buono	-	cromo
	2014-2016	elevato	-	-
	2017-2019	buono	-	toluene, AMPA

SQA-MA: standard di qualità ambientale – valore medio annuo

LOQ: limite di quantificazione del metodo analitico

6 STATO ECOLOGICO

Lo stato ecologico è definito in base alla classe più bassa relativa allo stato degli EQB, dell'LTLecco e degli elementi chimici a sostegno.

In Tabella 8 è mostrato lo stato ecologico del lago di Annone Ovest per i quattro trienni di monitoraggio in esame e lo stato degli elementi di qualità che ad esso concorrono.

Al fine di evidenziare correttamente le eventuali evoluzioni temporali, i dati del monitoraggio dal 2009 al 2016 sono stati rielaborati considerando l'indice IPAM (fitoplancton) e l'indice MacroIMMI (macrofite). La classificazione dello stato degli EQB e dello stato ecologico è stata di conseguenza rivista.

Nel caso del lago di Annone Ovest non si osservano differenze di stato ecologico rispetto alla classificazione pubblicata nel PTUA 2016, in quanto per il periodo 2009-2014 il giudizio è comunque risultato sufficiente.

Il fitoplancton e le macrofite, quando monitorati, hanno sempre contribuito a determinare la classificazione dello stato ecologico, che ha ottenuto un giudizio sufficiente nei primi due trienni di monitoraggio considerati, scarso nel terzo triennio e nell'ultimo triennio un giudizio cattivo, corrispondente a quello restituito dall'indice basato sulle macrofite acquatiche. Le comunità biologiche molto perturbate recuperano la loro diversità e struttura con difficoltà e gli indici da esse derivati riflettono questa criticità.

Gli elementi generali fisico-chimici (LTLecco) risultano sempre in stato sufficiente, mentre gli elementi chimici a sostegno conseguono uno stato buono nei trienni 2012-2014 e 2017-2019 ed uno stato elevato nel triennio 2014-2016.

Tabella 8. Stato degli elementi di qualità e stato ecologico per i quattro trienni di monitoraggio.

Corpo idrico	Triennio	Stato EQB	Stato LTLecco	Stato elementi chimici a sostegno	Stato ecologico	Elementi che determinano la classificazione
Annone Ovest	2009-2011	sufficiente	sufficiente	non classificato	SUFFICIENTE	fitoplancton, LTLecco
	2012-2014	sufficiente	sufficiente	buono	SUFFICIENTE	fitoplancton, LTLecco
	2014-2016	scarso	sufficiente	elevato	SCARSO	fitoplancton, macrofite
	2017-2019	cattivo	sufficiente	buono	CATTIVO	macrofite

Come mostrato in Tabella 9, per il lago di Annone Ovest il PTUA 2016 stabilisce il 2021 come termine entro cui raggiungere l'obiettivo di buono stato ecologico. Lo stato ecologico del sessennio 2009-2014 pubblicato nel PTUA 2016 è sufficiente; lo stato ecologico del sessennio 2014-2019 risulta cattivo.

Tabella 9. Lago di Annone Ovest: obiettivo ecologico e stato ecologico 2009-2014 (PTUA 2016); stato ecologico 2014-2019.

Corpo idrico	Obiettivo ecologico	Stato ecologico 2009-2014	Stato ecologico 2014-2019
Annone Ovest	buono al 2021	SUFFICIENTE	CATTIVO

7 STATO CHIMICO

Lo stato chimico è classificato in base alla presenza delle sostanze dell'elenco di priorità elencate nella Direttiva 2008/105/CE, aggiornata dalla Direttiva 2013/39/UE, recepita in Italia con il D.Lgs. 172/2015 (Tab. 1/A).

In Tabella 10 è riportato il numero di analisi delle sostanze ricercate in ciascun anno del periodo 2014-2019.

Tabella 10. Numero di analisi effettuate per ciascuna sostanza analizzata in ogni anno del sessennio di monitoraggio.

GRUPPO	SOSTANZA	2014	2015	2016	2017	2018	2019
METALLI	Cadmio	19	18	18	16	18	17
	Mercurio	19	18	18	16	18	17
	Nichel	19	18	18	16	18	17
	Piombo	19	18	18	16	18	17
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	Naftalene	19	18	-	-	-	-
COMPOSTI ORGANICI VOLATILI	1,2,3-Triclorobenzene	-	-	-	-	7	-
	1,2,4-Triclorobenzene	-	-	-	-	7	-
	Benzene	19	18	-	16	18	17
	Dicloroetano 1,2	19	18	-	16	18	17
	Diclorometano	19	18	-	16	18	12
	Esaclorobenzene	-	-	-	-	7	-
	Esaclorobutadiene	19	18	-	16	18	17
	Pentaclorobenzene	19	18	-	16	15	-
	Tetracloroetilene	19	18	-	16	18	17
	Tetracloruro di carbonio	19	18	-	16	18	17
	Triclorobenzene 1,3,5	-	-	-	-	7	-
	Triclorobenzeni	-	-	-	-	7	-
	Tricloroetilene	19	18	-	16	18	17
	Triclorometano	19	18	-	16	18	17

In Tabella 11 è riportato lo stato chimico del lago di Annone Ovest per i quattro trienni di monitoraggio operativo e i parametri che hanno registrato un eventuale superamento dei limiti SQA-MA o SQA-CMA. I superamenti riscontrati sono relativi allo SQA-CMA del mercurio, limitatamente al 2013, e del nichel, solo nel 2015: tali superamenti hanno determinato lo stato non buono per i trienni 2012-2014 e 2014-2016.

Nei trienni 2009-2011 e 2017-2019, invece, il lago di Annone Ovest ha conseguito uno stato chimico buono.

Tabella 11. Stato chimico per i quattro trienni di monitoraggio.

Corpo idrico	Periodo	Stato chimico	>SQA-MA	>SQA-CMA
Annone Ovest	2009-2011	BUONO	-	-
	2012-2014	NON BUONO	-	mercurio
	2014-2016	NON BUONO	-	nichel
	2017-2019	BUONO	-	-

SQA-MA: standard di qualità ambientale – valore medio annuo

SQA-CMA: standard di qualità ambientale – concentrazione massima ammissibile

Come mostrato in Tabella 12, per il lago di Annone Ovest il PTUA 2016 stabilisce il 2021 come termine entro cui raggiungere l'obiettivo di buono stato chimico. Lo stato chimico del sessennio 2009-2014 pubblicato nel PTUA 2016 è non buono; lo stato chimico del sessennio 2014-2019 risulta buono.

Tabella 12. Lago di Annone Ovest: obiettivo chimico e stato chimico 2009-2014 (PTUA 2016); stato chimico 2014-2019.

Corpo idrico	Obiettivo chimico	Stato chimico 2009-2014	Stato chimico 2014-2019
Annone Ovest	buono al 2021	NON BUONO	BUONO

8 BIBLIOGRAFIA

Cardoso, A.C., A. Solimini, G. Premazzi, L. Carvalho, A. Lyche e S. Rekolainen. 2007. Phosphorus reference concentrations in European lakes. *Hydrobiologia*. 584: 3-12.

Negri A., 2018. Gestione dell'impianto di prelievo ipolimnico del lago di Annone Est nel periodo giugno 2017-maggio 2018. Relazione finale. Amministrazione Provinciale di Lecco, Settore Ecologia.

O'Reilly, C. M., et al. (2015), Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 10,773–10,781

Osservatorio dei Laghi Lombardi, 2005. Qualità delle acque lacustri in Lombardia - 1° Rapporto OLL 2004. Regione Lombardia, ARPA Lombardia, Fondazione Lombardia per l'Ambiente e IRSA/CNR

Programma di Tutela e Uso delle Acque, 2016. Regione Lombardia. D.g.r. n. 6990 del 31 luglio 2017, pubblicata sul Bollettino Ufficiale di Regione Lombardia n. 36, Serie Ordinaria, del 4 settembre 2017