

# PROVINCIA DI LECCO

Direzione organizzativa VII - Ambiente e Pianificazione Territoriale  
Servizio Acque



## Risultati del monitoraggio del lago di annone ovest nel periodo marzo-settembre 2024

**ottobre 2024**

Dr. Alberto Negri  
D.ssa Alice Negri

# RISULTATI DEI MONITORAGGI EFFETTUATI SUL LAGO DI ANNONE OVEST NELL'ANNO 2024 (periodo marzo-settembre)

## INDICE

Premessa.....	3
<b>1 MATERIALI E METODI DI STUDIO .....</b>	<b>4</b>
1.1. <i>Frequenza e modalità di campionamento .....</i>	4
1.2. <i>Modalità di prelievo e di conservazione dei campioni.....</i>	4
1.3. <i>Metodologie analitiche.....</i>	5
1.3.1 <i>Parametri fisico-chimici .....</i>	5
<b>2. QUADRO GENERALE DEI RISULTATI.....</b>	<b>7</b>
2.1. <i>Trasparenza.....</i>	7
2.2. <i>Temperatura .....</i>	7
2.3. <i>O<sub>2</sub> disciolto e saturazione % .....</i>	8
2.4. <i>pH.....</i>	10
2.5. <i>Conducibilità elettrica.....</i>	11
2.6. <i>Azoto ammoniacale e nitroso .....</i>	12
2.7. <i>Fosforo totale e ortofosfato.....</i>	13
2.8. <i>Ferro e solfuri .....</i>	15
<b>3. INTERVENTO DI DESTRATIFICAZIONE.....</b>	<b>17</b>
3.1. <i>Tempistica di funzionamento del compressore.....</i>	17
3.2. <i>Verifica degli effetti prodotti dall'intervento di destratificazione termica .....</i>	20
3.2.1 <i>Confronto dei parametri a livello del fondo.....</i>	20
3.2.1.1 <i>Temperatura .....</i>	20
3.2.1.2 <i>O<sub>2</sub> disciolto.....</i>	22
3.2.1.3 <i>Azoto ammoniacale .....</i>	23
3.2.1.4 <i>Fosforo totale.....</i>	24
3.2.1.5 <i>Ferro .....</i>	25
3.2.1.6 <i>Solfuri.....</i>	26
3.2.2 <i>Confronto dei parametri indicativi sulla colonna d'acqua .....</i>	27
3.2.2.1 <i>Trasparenza .....</i>	27
3.2.2.2 <i>O<sub>2</sub> disciolto.....</i>	28
3.2.2.3 <i>Temperatura .....</i>	29
3.2.2.4 <i>P totale .....</i>	30
3.2.3 <i>Confronto su scala decennale.....</i>	31
<b>4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>34</b>
<b>ALLEGATI TECNICI.....</b>	<b>38</b>

## Premessa

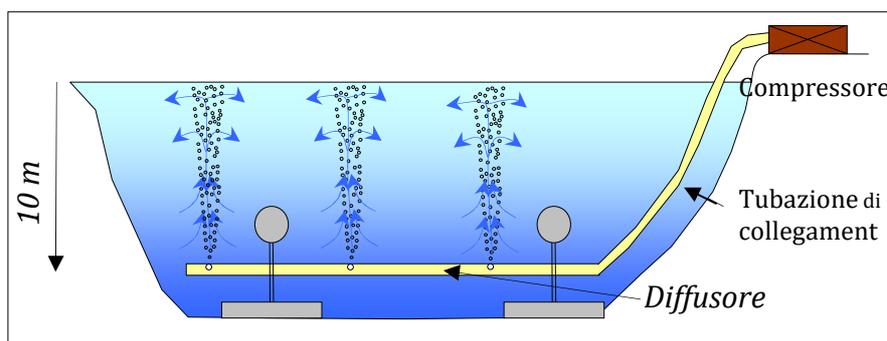
Fino al 2008 il monitoraggio dei due bacini del lago di Annone era finalizzato a valutare l'eventuale rischio di morie ittiche durante la fase di circolazione termica autunnale. Per tale motivo i controlli erano concentrati nel periodo settembre-novembre con frequenza settimanale. Il bilancio dell'ossigeno durante la circolazione termica autunnale segnala ormai da diversi anni valori positivi, e ciò indica pertanto che il rischio di morie ittiche è molto limitato. Per tale motivo dal 2009 si è pertanto scelta un'impostazione diversa, distribuendo i campionamenti durante l'arco annuale con cadenza mensile, al fine di ricavare un quadro più completo dello stato di qualità del bacino di Annone ovest.

Nel 2024 dal mese di giugno nel bacino ovest è stato attivato un intervento di destratificazione termica. Lo scopo principale degli interventi di destratificazione è di provocare un completo rimescolamento delle acque e di favorire un aumento dell'ossigeno disciolto nelle acque profonde, grazie ai processi di aerazione che avvengono normalmente in superficie. Il livello di ossigeno influenza le reazioni di ossidoriduzione che coinvolgono ferro, manganese e alluminio. A loro volta questi elementi ed i loro complessi influenzano i processi di rilascio dei nutrienti dai sedimenti.

La morfologia del lago Annone ovest, caratterizzato nella zona centrale da una profondità massima di circa 10 metri e da un ridotto volume con profondità superiore a 8 m, rappresenta la situazione ideale per l'installazione di un impianto di aerazione.

La soluzione migliore a tale scopo consiste nel posizionamento di un diffusore d'aria posizionato intorno a circa 9 m di profondità (Figura 5.1). Il tubo è mantenuto a circa 1 metro dal fondo del lago per evitare interferenze con i sedimenti tali da causare risospensione che avrebbero un effetto deleterio sul sistema lacustre.

Nel periodo di stratificazione lacustre il diffusore è stato progettato per insufflare nel bacino lacustre la portata d'aria sufficiente a garantire la



**Schema dell'impianto di aerazione**

la circolazione interna del lago, non permettendo l'instaurazione di un volume d'acqua anossico nei pressi del fondale. A tale scopo è stato posizionato un compressore sul litorale lacustre in grado di fornire la portata d'aria richiesta, alla pressione di esercizio. Una tubazione chiusa fa da collegamento tra compressore e diffusore.

Dai dati di letteratura risulta che, oltre all'aumento delle concentrazioni di ossigeno in ipolimnio, in alcuni casi si è anche registrato un aumento della produttività primaria a causa della risalita dei nutrienti accumulati nelle acque ipolimniche. Per evitare questo inconveniente è necessario attivare il processo di destratificazione prima che sul fondo si raggiungano le condizioni di anossia. Nel caso del bacino di Annone ovest il periodo ottimale di inizio dell'attività sarebbe quindi il mese di maggio. Poiché il bacino ovest è naturalmente soggetto a circolazione termica totale già nel mese di settembre, l'intervento di destratificazione ha quindi una durata complessiva di soli quattro mesi.

# 1 MATERIALI E METODI DI STUDIO

## 1.1. Frequenza e modalità di campionamento

Le indagini limnologiche sono state effettuate con frequenza mensile nel periodo marzo-maggio, due campionamenti mensili a giugno e tre campionamenti mensili nel periodo luglio-settembre. Si è ritenuta sufficiente una sola stazione di campionamento nel punto di massima profondità del bacino ovest e sono state prese in considerazione 5 profondità di campionamento (0m, 3m, 5m, 7m, fondo).

Per ogni singolo campione sono stati analizzati i seguenti parametri fisico-chimici:

- Disco di Secchi (a campionamento)
- Temperatura
- Ossigeno disciolto e % saturazione
- pH
- Conducibilità elettrica
- Fosforo ortofosfato
- Fosforo totale
- Azoto ammoniacale
- Azoto nitroso

Nella sola zona anossica sono stati inoltre rilevati i seguenti parametri:

- Ferro inorganico totale
- Potenziale di ossidoriduzione
- Solfuri

## 1.2. Modalità di prelievo e di conservazione dei campioni

I campionamenti sono stati effettuati utilizzando contenitori in PET da 0,5 l preventivamente condizionati. Tutti i campioni così raccolti sono stati etichettati e conservati in borsa frigorifera a 4°C fino alle analisi di laboratorio, eseguite entro il giorno successivo al campionamento.

### 1.3. Metodologie analitiche

#### 1.3.1 Parametri fisico-chimici

**TRASPARENZA:** è stato utilizzato il disco di Secchi (un disco metallico bianco del diametro di 20 cm). Il metodo consiste nell'immergere in acqua lo strumento fino alla completa scomparsa alla vista dell'osservatore. Il valore della trasparenza è calcolato come media tra la profondità di scomparsa e di ricomparsa (in metri) del disco di Secchi. Il vantaggio di questo metodo risiede nel fatto che fornisce una rapida valutazione della distribuzione subacquea della radiazione solare. Questo parametro ha però qualche interferenza soggettiva, dipendendo dall'osservatore e dalle condizioni meteorologiche al momento del campionamento.

**TEMPERATURA (°C):** è stata misurata direttamente sul posto tramite la sonda termometrica Cellox 325 collegata all'ossimetro WTW mod. OXI 320.

**PH (UNITÀ DI PH):** il pH dei campioni è stato misurato al momento del prelievo tramite un pHmetro Cyberscan 20, dotato di elettrodo combinato Hamilton Liq Glass in vetro. L'arresto dell'attività fotosintetica collegato al trasporto può infatti determinare una sensibile diminuzione dei valori di pH.

**OSSIGENO DISCIOLTO (mg O<sub>2</sub>/l e % di saturazione):** la concentrazione di ossigeno e la percentuale di saturazione è stata misurata mediante l'utilizzo di una sonda Cellox 325, collegata all'ossimetro OXI 320 WTW con compensazione automatica di temperatura e di altitudine.

**CONDUCIBILITÀ ELETTRICA (µS/CM A 25°):** la conducibilità elettrica dei campioni prelevati è stata misurata direttamente al momento del prelievo su campioni di 100 ml tramite conduttimetro WTW mod. LF 90. L'analisi della conducibilità elettrica può fornire utili e immediate indicazioni sulle condizioni di stratificazione del bacino lacustre.

#### FOSFORO TOTALE (µg/l P)

Il campione tal quale viene digerito a 105° per 30 minuti con potassio persolfato allo scopo di portare in soluzione eventuali composti insolubili del fosforo e trasformare tutto il fosforo organico in ortofosfato. Quest'ultimo è successivamente determinato con il metodo all'acido ascorbico per determinazione fotometrica come blu di molibdeno, che viene dosato per via spettrofotometrica a 890 nm.

#### FOSFORO ORTOFOSFATO (µg/l P)

La determinazione viene effettuata sul campione filtrato utilizzando il metodo all'acido ascorbico. In ambiente acido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) l'ortofosfato reagisce con molibdato di ammonio e tartrato di ossido di antimonio-potassio formando acido fosfomolibdico che viene ridotto dall'acido ascorbico a blu di molibdeno. Quest'ultimo viene dosato per via spettrofotometrica a 890 nm.

#### AZOTO NITROSO (µg/l N)

Lo ione nitrito reagisce in ambiente acido con l'acido sulfanilico a formare un sale diazotato intermedio. Questo si unisce ad un acido cromotropico a produrre un complesso di colorazione rosa direttamente proporzionale alla concentrazione di azoto nitroso presente, determinabile per via spettrofotometrica a 507 nm.

#### AZOTO AMMONIACALE (mg/l N)

E' stato determinato per via spettrofotometrica con il metodo di Nessler. Lo stabilizzatore minerale complessa la durezza nel campione, mentre un agente polivinilico aiuta la formazione del colore nella reazione del reattivo di Nessler con gli ioni ammonio. Il colore giallo risultante, determinabile per via spettrofotometrica a 425 nm, è proporzionale alla concentrazione di ammoniaca.

#### FERRO (mg/l)

Un tampone acido tioglicolico riduce gli ioni  $Fe^{+++}$  a  $Fe^{++}$ . Gli  $Fe^{++}$  reagiscono con la fenantrolina a formare un composto di colore arancio. Il metodo esprime il Ferro disciolto (anche colloidale) ma non in forma di idrossidi di Fe stabilizzato.

SOLFURI (mg/l  $S^{2-}$ ). La concentrazione di solfuri è stata determinata con il metodo al blu di metilene, tramite lettura per via spettrofotometrica a 665 nm.

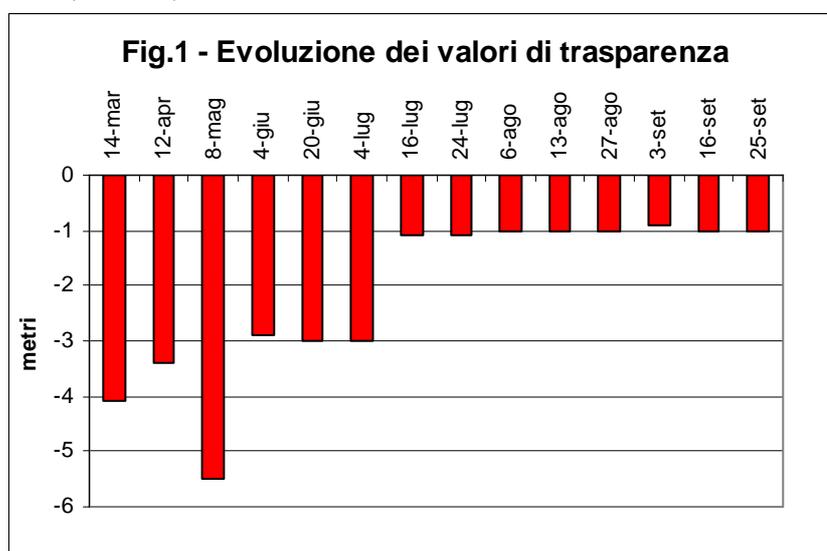
## 2. QUADRO GENERALE DEI RISULTATI

### 2.1. Trasparenza

La trasparenza rappresenta certamente il parametro più intuitivo per valutare la qualità dell'acqua. Ciò è in parte vero, in quanto la limpidezza dell'acqua è strettamente correlata con il livello trofico di un lago e quindi con la quantità di nutrienti in esso presenti. Nei laghi molto produttivi l'elevata densità degli organismi planctonici, in particolare del fitoplancton, limita notevolmente la penetrazione della radiazione solare, determinando la rapida scomparsa del disco di Secchi.

I dati relativi a questo parametro mostrano una notevole variabilità nel periodo di rilevamento. Nel campionamento di marzo la trasparenza risulta pari a 4,1 metri, che segnala uno dei valori più elevati per questo mese. Questo dato risulta positivo rispetto alle due annate precedenti che indicavano valori inferiori a 3,0 metri.

In questo periodo dell'anno solitamente le fioriture di Diatomee riducono la trasparenza, ma l'elevata presenza di ferro nel bacino ovest determina normalmente una condizione primaverile di mesotrofia. In aprile si rileva ancora una trasparenza piuttosto elevata (3,4 metri), ma inferiore rispetto all'annata del 2023 che indicava un valore massimo pari a 5,0 metri.



Nel mese di maggio si rileva un ulteriore incremento della trasparenza che sale a 5,5 metri contro un massimo precedente di 4,0 metri del 2023. A differenza delle ultime annate, nel mese di giugno non si riscontra una drastica diminuzione della trasparenza che si mantiene a 2,9 metri, dato che rappresenta il secondo valore più elevato nel mese di giugno nelle ultime cinque annate. La trasparenza rimane stabile a 3 metri fino alla prima settimana di luglio. A partire dal 16 luglio si evidenzia un marcato decremento della trasparenza che scende a circa un metro per l'intero periodo luglio-agosto. Questa drastica riduzione è collegata ad una intensa fioritura di cianobatteri rappresentati principalmente dalla specie *Woronichinia naegeliana*. Anche nel mese di settembre la trasparenza si mantiene su valori prossimi ad un solo metro, sempre come conseguenza di fioriture di cianobatteri.

### 2.2. Temperatura

Il bacino ovest presenta condizioni sostanzialmente diverse rispetto al bacino est, sia per la morfologia della cuvetta lacustre, sia per le qualità fisico-chimiche dell'acqua.

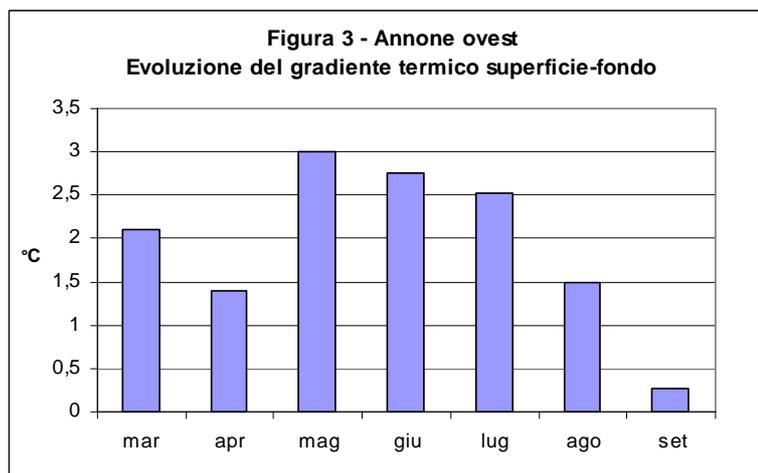
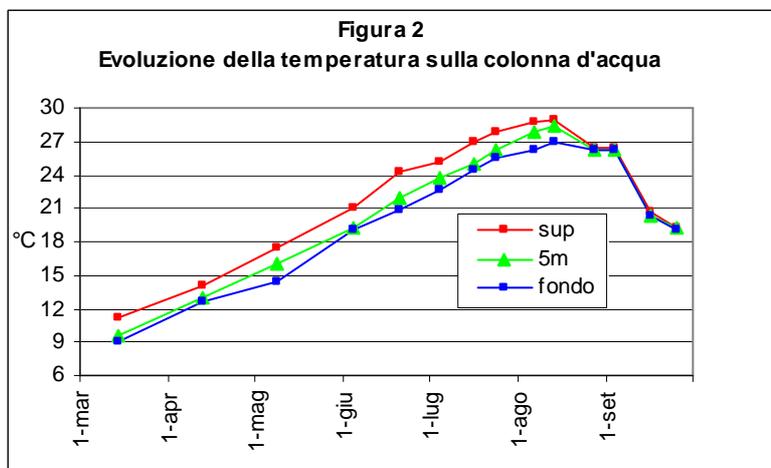
A causa della forma conica il volume ipolimnico risulta limitato e di conseguenza anche il debito dello strato anossico risulta generalmente inferiore rispetto all'ossigeno presente negli strati superficiali.

Inoltre l'ipolimnio si riscalda maggiormente rispetto al bacino est e quindi, grazie al limitato gradiente termico, la circolazione totale si verifica molto prima rispetto al bacino est, sempre

entro il mese di settembre. Nel periodo primaverile la differenza è limitata, ma a partire dal mese di giugno nel bacino ovest la temperatura del fondale aumenta rapidamente e di conseguenza si riduce il gradiente superficie-fondo. Come già indicato, ciò comporta una circolazione termica più precoce rispetto al bacino est.

Nella figura 2 è visualizzata la dinamica termica alla singole profondità durante l'intero periodo di rilevamento.

Risulta evidente un incremento più precoce delle acque epilimniche, che già nel mese di aprile raggiungono una temperatura superficiale di 14,1 °C. Nel mese di maggio si raggiunge un valore di 17,4°C contro i 20,3°C del 2023. Il riscaldamento della massa d'acqua superficiale prosegue anche nel mese di luglio, quando al 16/7 viene raggiunto un valore di 27,0°C in superficie. Il processo di riscaldamento prosegue nel mese di agosto con un massimo di 28,9°C il 13/8. Durante la stagione estiva si verifica anche un marcato incremento delle temperature ipolimniche. Il processo di riscaldamento dell'ipolimnio è però più lento ed i valori massimi vengono raggiunti a fine estate. In particolare la temperatura del fondo passa da un minimo di 9,1°C del 14/3 ad un massimo di 27,0°C il 13/8, con un incremento di circa 18°C. E' interessante evidenziare che il gradiente termico superficie-fondo ha raggiunto il valore massimo di soli 3,0°C nel mese di maggio anziché nel periodo estivo come di norma, scendendo però a soli 1,5°C già nel mese di agosto (figura 3). E' evidente che questa dinamica anomala deriva in parte dall'intervento di destratificazione termica in atto.



### 2.3. O<sub>2</sub> disciolto e saturazione %

Per quanto riguarda il quadro evolutivo dell'O<sub>2</sub> disciolto è rilevabile una maggiore variabilità (figura 4). Lo strato 0-3 metri presenta concentrazioni di ossigeno disciolto superiori a 4,9 mg/l per l'intero periodo di rilevamento. In superficie nel periodo marzo-maggio si riscontra una stabilità delle concentrazioni che si mantengono prossime a circa 10,0 mg/l. Il valore massimo nello strato superficiale viene raggiunto nel mese di luglio e risulta pari a 13,6 mg/l. Nel periodo successivo si verifica un calo progressivo fino ai 7,5 mg/l raggiunti il 27/8 in corrispondenza della circolazione termica totale.

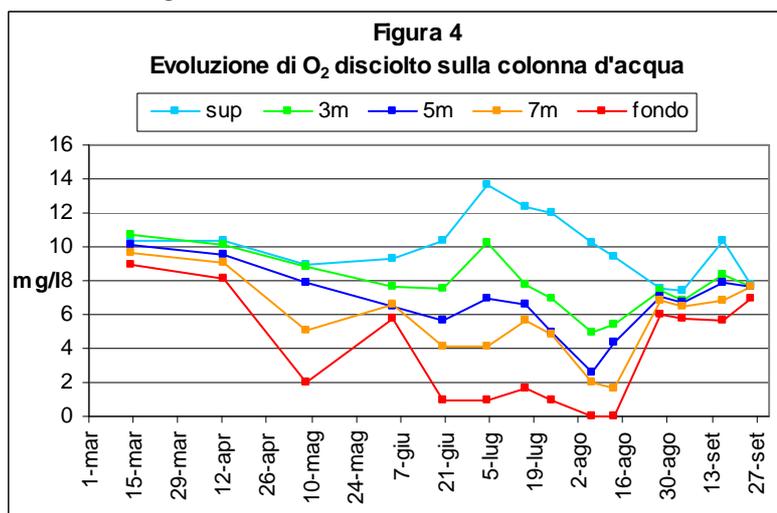
A 3 metri i valori di O<sub>2</sub> disciolto si mantengono sopra i 7,5 mg/l fino alla metà del mese di luglio, con un massimo di 10,2 mg/l il 4/07. Nel periodo successivo si verifica un calo

progressivo fino ad un minimo di 4,9 mg/l raggiunto il 6/8. Segue un nuovo incremento che porta il valore di O<sub>2</sub> disciolto a 8,4 mg/l il 16/9.

A 5 metri di profondità il decremento delle concentrazioni di ossigeno è decisamente più marcato, passando dai 10,1 mg/l del 14/3 ad un minimo di soli 2,6 mg/l nel mese di agosto. A differenza del 2023 e del 2021, a 5 metri di profondità non sono state dunque rilevate condizioni prossime all'anossia nel periodo estivo. A partire dal 6 agosto i valori di O<sub>2</sub> disciolto a 5 metri di profondità risalgono fino ad un massimo di 7,9 mg/l il 16/9.

A differenza delle annate precedenti, anche a 7 metri di profondità non si riscontrano valori prossimi all'anossia, con un minimo di 1,7 mg/l il 13/8.

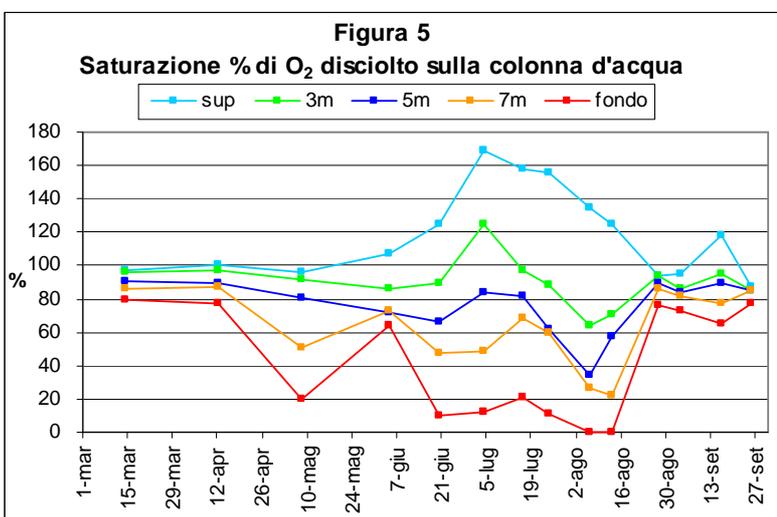
A livello del fondo la situazione del mese di maggio appare già piuttosto critica, con un valore di soli 2,0 mg/l. L'attivazione del compressore ha determinato un incremento immediato, con una concentrazione che sale a 5,8 il 4/6 dopo soli tre giorni di funzionamento. Nel periodo successivo si osserva però una fase di decremento con valori inferiori a 2 mg/l fino a condizioni di anossia rilevate il 6/8 ed il 13/8. Già al 27/8 si riscontra un marcato incremento con una concentrazione che sale a 6,0 mg/l, in condizioni di circolazione termica completa.



Grazie alla circolazione termica nel periodo successivo i valori ipolimnici di O<sub>2</sub> disciolto si mantengono su valori elevati, compresi tra 5,7 e 6,9 mg/l.

A livello del fondo la fase anossica si può quindi considerare limitata alle prime due settimane di agosto, mentre nel 2023 era estesa dal 8/6 al 11/9.

Analizzando i dati dell'O<sub>2</sub> disciolto in termini di saturazione percentuale (figura 5) è rilevabile un quadro evolutivo molto simile al precedente.

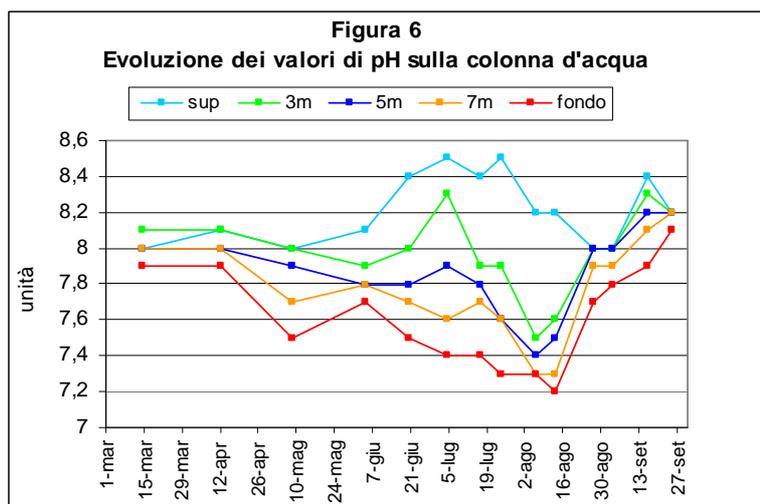


Durante il periodo luglio - agosto nello strato superficiale si evidenziano condizioni di sovrasaturazione, indice di un'intensa attività fotosintetica. In particolare il 4/7 si raggiungono i valori più elevati, con un massimo di 169% in superficie. A 5 metri di profondità già a partire dal mese di giugno si riscontrano livelli di saturazione quasi sempre superiori al limite considerato ottimale per la fauna ittica (60%), con la sola eccezione del dato relativo al 6/8 (34%). A livello del fondo si rilevano livelli di saturazione inferiori al 21% nel periodo compreso tra il 20/6 e il 13/8. A partire dal 27/8 tutti i valori sulla colonna d'acqua risultano superiori al 65%.

## 2.4. pH

I valori di pH risultano compresi tra un minimo di 7,2 unità a livello del fondo rilevato il 13/8 ed un massimo di 8,5 unità in superficie nel mese di luglio. Nello strato fotico il pH è direttamente collegato all'attività fotosintetica che, in seguito alla sottrazione di CO<sub>2</sub>, ne provoca un marcato incremento. Il picco nel periodo estivo deriva certamente da un processo di fioritura algale in atto, come dimostrano anche gli elevati valori di O<sub>2</sub> disciolto. A livello del fondale l'accumulo di CO<sub>2</sub>, derivante dai processi di respirazione, e di acidi deboli provoca al contrario un decremento dei valori di pH, che si mantengono però sempre sopra le 7,2 unità per l'intero periodo di indagine. La netta separazione dei valori di pH sulla colonna d'acqua durante il periodo estivo può fornire un'indicazione sullo spessore dello strato fotico, che normalmente non si spinge oltre i 3 metri di profondità.

La scarsa penetrazione della radiazione solare è ovviamente a sua volta collegata ai limitati valori di trasparenza dell'acqua. Il decremento dei valori relativi allo strato fotico nella parte finale del mese di agosto rappresenta la conseguenza della circolazione termica che solleva i volumi anossici più profondi, aumentando di conseguenza la concentrazione di CO<sub>2</sub> nello strato epilimnico.



## 2.5. Conducibilità elettrica

La conducibilità elettrica di un'acqua indica la sua capacità di condurre la corrente ed è quindi direttamente collegata alla concentrazione di ioni disciolti.

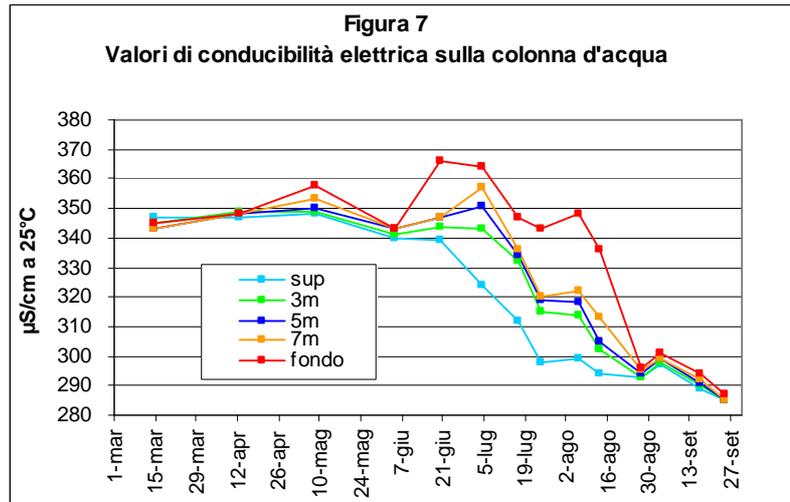
Ovviamente la concentrazione di sali disciolti è a sua volta collegata alla densità del popolamento algale che utilizza i sali minerali e ne riduce quindi la presenza nell'acqua. Lo sviluppo del popolamento algale determina inoltre una diminuzione indiretta dei valori di conducibilità, innescando una maggiore precipitazione dei carbonati nel periodo estivo in seguito all'aumento dei valori di pH. Al contrario i processi di mineralizzazione della sostanza organica portano alla produzione finale di sali disciolti e quindi ad un aumento dei valori di conducibilità elettrica.

Il lago di Annone ovest mostra un valore medio iniziale alla circolazione termica primaverile pari a 345  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (14/3/24). Nel mese di aprile è ancora rilevabile una condizione di circolazione termica che determina una omogeneità dei valori sulla colonna d'acqua, compresi tra un minimo di 347  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ed un massimo di 349  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nel mese di maggio è rilevabile una fase iniziale di

stratificazione con valori compresi tra 348 e 358  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a livello del fondo. A differenza della annate precedenti nel mese di giugno si riscontra ancora una situazione di omogeneità dei valori di conducibilità, con un'oscillazione di soli 3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sulla colonna d'acqua. Questa condizione anomala è collegata all'attivazione del compressore in data 01/06/2024. Ciò nonostante nel campionamento del 20/06 è rilevabile un processo iniziale di stratificazione termica con valori compresi tra 339 in superficie e 366  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sul fondo.

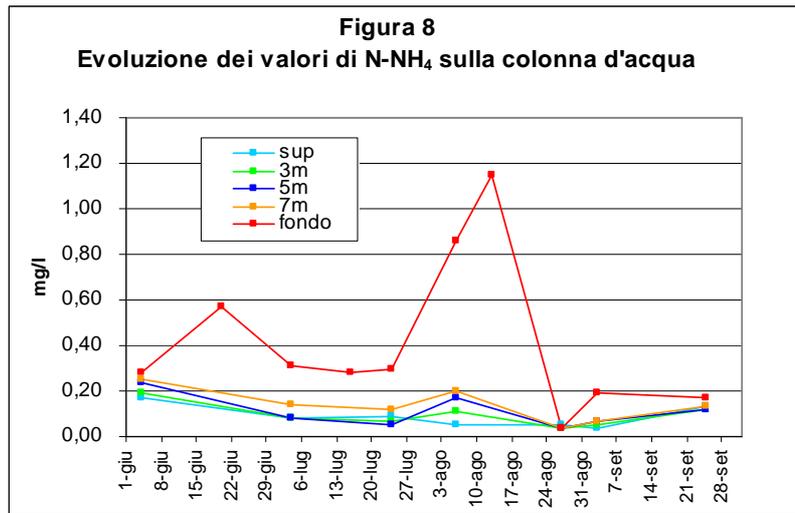
Il massimo gradiente sulla colonna d'acqua viene raggiunto il 06/08 con un'oscillazione di 49  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nell'ultima settimana di agosto si rileva però una condizione di omogeneità indice di circolazione termica completa.

La differenza tra il valore relativo alla circolazione termica primaverile (345  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e quella di fine settembre (285  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) è ancora collegata al prolungato utilizzo di sali disciolti nel periodo autunnale da parte del popolamento algale e quindi al trasferimento di una parte di questi in forma organica.

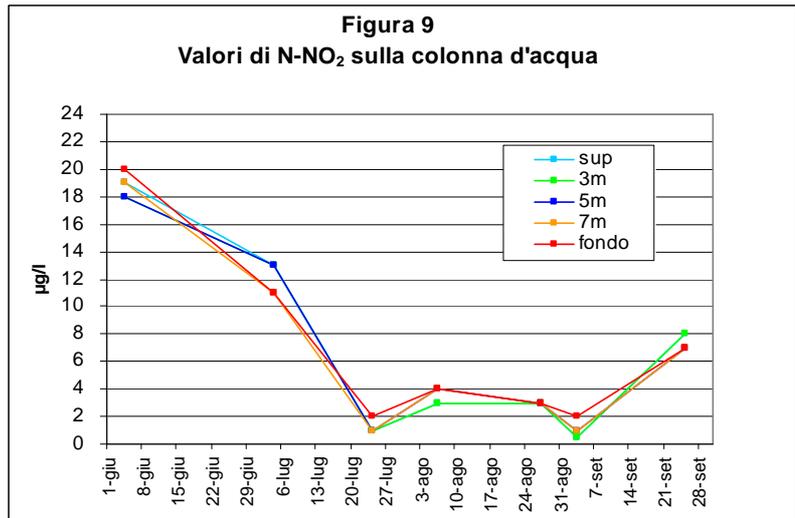


## 2.6. Azoto ammoniacale e nitroso

Per quanto riguarda lo strato 0-7 metri le concentrazioni di azoto ammoniacale risultano inferiori a 0,26 mg/l nell'intero periodo considerato. A livello del fondo si rileva un primo valore di rilievo il 20/6 con 0,57 mg/l, a cui fa seguito una fase di decremento che porta ad un minimo di 0,28 mg/l a metà luglio. La concentrazione più elevata viene invece raggiunta il 13/8 con 1,15 mg/l (figura 8). Le condizioni di circolazione termica completa del 27/8 determina un marcato decremento dei valori che si attestano su 0,04 mg/l sull'intera colonna d'acqua.



Le concentrazioni di azoto nitroso al primo campionamento di giugno mostrano valori omogenei su tutta la colonna d'acqua compresi tra 20 µg/l e 18 µg/l. Segue un marcato decremento delle concentrazioni che si attestano ad 1 µg/l il 24/07. Anche nel mese di agosto i valori risultano molto contenuti con un massimo di soli 4 µg/l raggiunto sul fondo il 06/08. La circolazione termica totale di fine agosto riporta i valori ad 1 µg/l sull'intera colonna d'acqua. Nel mese di settembre si rileva un leggero incremento delle concentrazioni che si mantengono però inferiori a 8 µg/l, quindi molto limitate.



## 2.7. Fosforo totale e ortofosfato

Il fosforo rappresenta il nutriente principale del popolamento algale ed è generalmente il fattore di regolazione primario della componente vegetale acquatica. Si consideri che la classificazione trofica dei laghi si basa principalmente su questo elemento. L'evoluzione di questo parametro rappresenta pertanto una variabile di estrema importanza poiché la densità del popolamento algale e le dinamiche produttive dell'ecosistema lacustre sono strettamente legate alla disponibilità di fosforo.

La figura 10 evidenzia la distribuzione dei valori di P totale sulla colonna d'acqua alle singole date di rilevamento. Nel periodo marzo-aprile la concentrazione di P totale risulta omogenea sulla colonna d'acqua, con valori medi in prevalenza compresi tra 32 e 43  $\mu\text{g/l}$ . In questa fase

il bacino ovest evidenzia quindi prevalenti condizioni di meso-eutrofia. A livello del fondo durante il periodo di stratificazione termica è rilevabile un primo incremento nel mese di maggio con 66  $\mu\text{g/l}$ .

Contrariamente alla normale dinamica storica nel mese di giugno si riscontra una nuova condizione di omogeneità sulla colonna d'acqua, con

un valore medio di 33  $\mu\text{g/l}$ . Ciò rappresenta la conseguenza della messa in funzione del compressore in data 01/06.

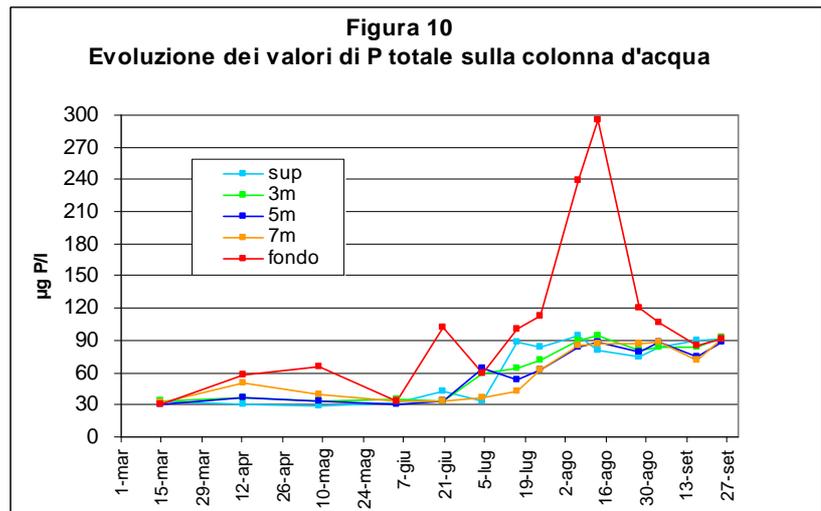
A livello del fondo segue un progressivo incremento fino al 13/8, quando viene raggiunto un valore massimo assoluto pari a 296  $\mu\text{g/l}$ . Incrementi così elevati nel breve periodo sono la conseguenza di fenomeni chimici legati in particolare alle dinamiche dei composti ferrici. Nello strato 0-7 metri è invece rilevabile una condizione di maggiore stabilità, con valori medi che si assestano tra 80-90  $\mu\text{g/l}$  nel periodo agosto-settembre.

A livello del fondo a partire dalla metà di agosto si riscontra una marcata diminuzione dei valori che scendono ad un minimo di 86  $\mu\text{g/l}$  il 16/9.

Anche nel 2024 si rileva un quadro simile alle annate precedenti, con valori prossimi a 80  $\mu\text{g/l}$  nella stagione estiva, confermando condizioni di marcata eutrofia in questa fase annuale. Nel periodo primaverile si riscontrano invece prevalenti condizioni di meso-eutrofia con valori in prevalenza compresi  $30 < P_{\text{tot}} < 40 \mu\text{g/l}$ .

Ciò mette comunque in evidenza la contraddittoria situazione del bacino ovest, che passa in breve tempo da condizioni di mesotrofia a condizioni di marcata eutrofia durante la stagione estiva e autunnale. In realtà è una situazione teorica perché l'elevata disponibilità di fosforo non è utilizzabile dal popolamento algale in quanto confinata nell'ipolimnio durante i mesi estivi. Si consideri poi che, a differenza del bacino est, le circolazioni parziali innescano un'immediata riprecipitazione del fosforo legato ai composti ferrici che in questo bacino sono abbondanti.

Nella figura 11 è riportata la correlazione relativa alle concentrazioni medie di P totale dal 2010 al 2024 sulla base dei dati di marzo e settembre. Escludendo il dato anomalo del 2019, risulta evidente una tendenza significativa all'incremento a settembre ( $r^2=0,61$   $p=0,002$ ), con un valore medio quasi raddoppiato nell'arco di un decennio. In particolare si riscontra un



incremento del carico interno di fosforo che normalmente raggiunge i valori più elevati al termine della stagione estiva. I dati relativi al mese di marzo indicano invece una variazione meno evidente perchè durante la fase di circolazione termica il fosforo precipita come composti ferrici.

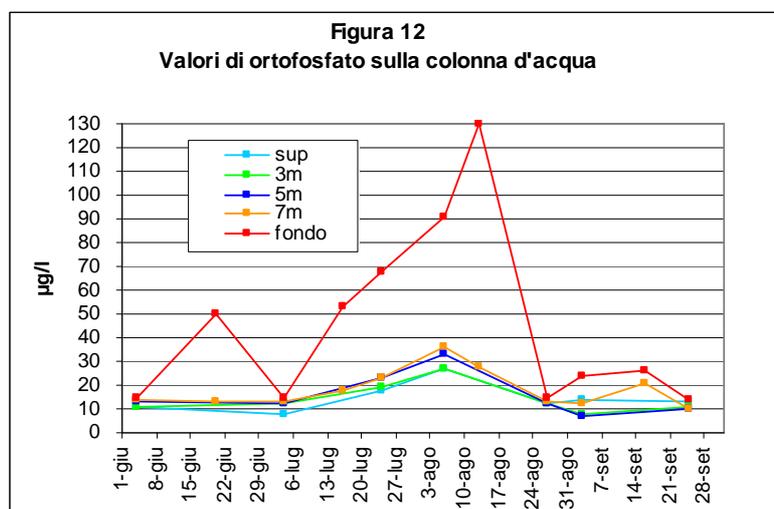
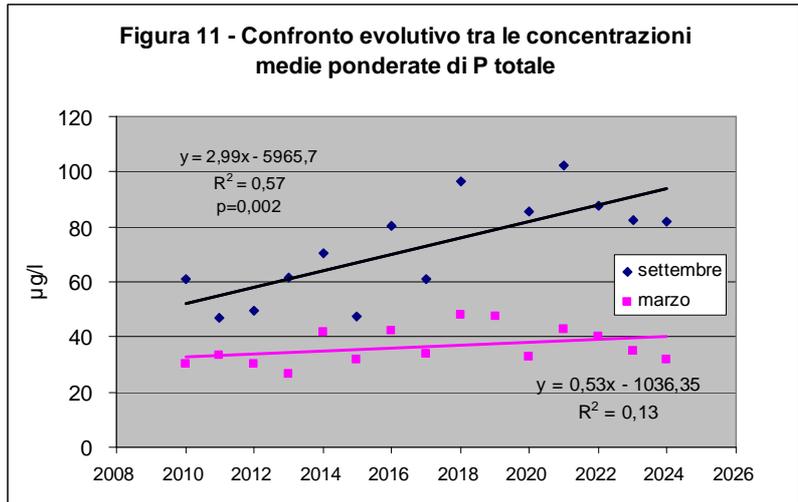
Si consideri che variazioni elevate nell'arco di un mese sono difficilmente giustificabili come aumento del solo carico esterno. L'incremento riscontrato nel lago nel periodo estivo è quindi spiegabile come carico interno in seguito al rilascio di fosforo da parte dei sedimenti durante la fase di anossia. I trasferimenti di P tra acqua e sedimento sono in realtà complessi e dipendono anche da altri fattori, tra cui le dinamiche del popolamento planctonico. Un'interpretazione più dettagliata delle variazioni nel breve periodo sarebbe ottenibile attraverso l'analisi del bilancio di massa del fosforo, che prende in considerazione entrate ed uscite nei singoli intervalli di tempo.

La riprecipitazione chimica dell'ortofosfato in condizioni ossiche svolge in genere un ruolo primario nel decremento della concentrazione media di P totale nel periodo successivo alla circolazione termica totale. A tale proposito è stato già segnalato che nei sedimenti del bacino ovest è presente un'elevata quantità di ferro. Si consideri peraltro che durante il periodo primaverile, in condizioni ossiche sull'intera colonna d'acqua, l'ortofosfato è in gran parte nei sedimenti legato al ferro e quindi, a differenza del bacino est, l'eventuale azione dei carbonati ha in questo caso una scarsa incidenza sul bilancio complessivo.

A livello del fondo la dinamica dell'ortofosfato è sovrapponibile a quella del fosforo totale (figura 12). Si rileva infatti un primo incremento di rilievo il 20/06 con 50 µg/l. Segue una marcata diminuzione che porta il valore di P-PO<sub>4</sub> a soli 15 µg/l il 04/07. A partire da questa data si verifica un graduale incremento che porta la concentrazione di P-PO<sub>4</sub> ad un massimo assoluto di 130 µg/l il 13/08.

La circolazione termica totale riscontrata il 27/08 determina una consistente diminuzione con valori che ritornano inferiori a 30 µg/l per l'intero mese di settembre.

Per quanto riguarda invece lo strato 0-7 metri si riscontra una maggiore stabilità dei valori che risultano quasi sempre inferiori a 25 µg/l per l'intero periodo di rilevamento. L'unica eccezione è relativa al 06//08 che mostra valori compresi tra 27 e 36 µg/l.



## 2.8. Ferro e solfuri

La concentrazione di questi parametri è stata rilevata solo nello strato dove si verificano di norma condizioni riducenti, quindi nello strato 7m-fondo.

A livello del fondo la dinamica del ferro disciolto evidenzia un'elevata variabilità, con una concentrazione di 0,32 mg/l già all'inizio di maggio. Il marcato decremento del 04/06 è da collegare all'accensione del compressore e quindi al conseguente rimescolamento della massa d'acqua. Nel periodo successivo è da rilevare una fase di graduale incremento che raggiunge un massimo assoluto di 0,95 mg/l il 13/08. A partire da questa data si verifica una tendenza

opposta che riporta il ferro a concentrazioni inferiori a 0,2 mg/l nel mese di settembre, in condizioni di circolazione termica completa.

Per quanto riguarda invece la dinamica del ferro a 7 metri di profondità è da rilevare una maggiore stabilità dei valori, che risultano inferiori a 0,2 mg/l per l'intero periodo di rilevamento.

Per quanto riguarda i solfuri, a livello del fondo questo

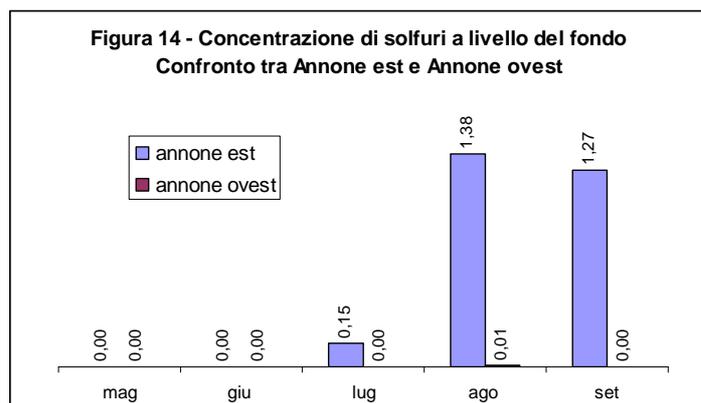
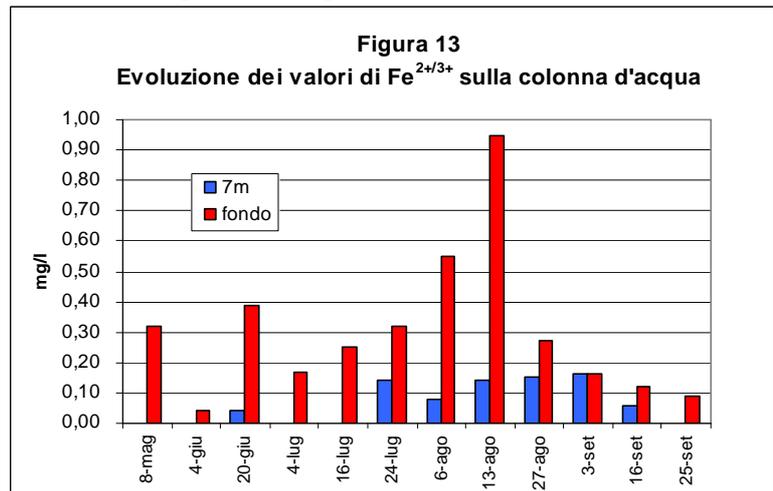
composto risulta praticamente assente per l'intero periodo di rilevamento. Ciò probabilmente deriva in parte dagli effetti del compressore, ma anche nelle annate precedenti la concentrazione di solfuri nell'Annone ovest risultava nettamente inferiore rispetto al bacino est. Anche nel 2024 si conferma la notevole differenza tra i due bacini lacustri (figura 14).

Per spiegare questa differenza, considerando che i due bacini sono collegati, è necessaria una premessa su alcune dinamiche che subentrano durante la fase anossica. Nei laghi eutrofizzati, in seguito all'eccessiva produzione di materia organica, il consumo di ossigeno legato alla fase decompositiva spesso supera le capacità di respirazione aerobica. Una parte importante

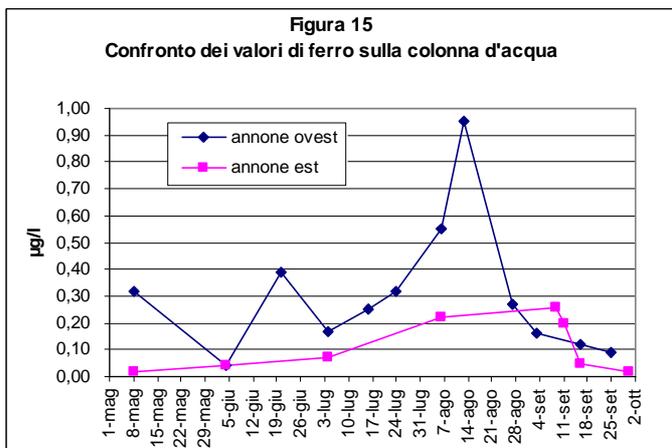
della respirazione è quindi sostenuta da alternativi accettori terminali di elettroni. Quando tutto l'ossigeno disciolto è stato consumato, al suo posto vengono utilizzati composti alternativi. Il primo composto sono i nitrati (riduzione dei nitrati). In questa fase non è ancora presente l'attività di rilascio di fosforo dai sedimenti. Se la domanda di respirazione batterica aumenta ulteriormente i composti ferrici

svolgono il ruolo di accettore di elettroni producendo ione ferroso e liberando in questo caso il fosforo legato durante la fase ossica. Un ulteriore incremento della domanda respiratoria, superiore a quella che i composti ferrici possono sostenere, determina la riduzione dello zolfo a idrogeno solforato, composto tossico per la fauna acquatica e quindi indesiderato.

Un'elevata quantità di sali ferrici nei sedimenti può quindi rallentare la produzione di solfuri, grazie al ruolo svolto dal ferro nel processo di ossidazione.



Se si analizza la concentrazione di ferro totale inorganico a livello del fondo nei due bacini di Annone (figura 15) risulta evidente la concentrazione più elevata dell'ovest rispetto all'est. Nel primo caso nel 2024 si rilevano infatti valori prossimi a 1,0 mg/l (0,95 mg/l il 13/8), mentre nel caso del bacino est il valore massimo risulta pari a soli 0,26 mg/l il 9 settembre. E' quindi ipotizzabile che, oltre ad un effetto diretto del compressore sull'ipolimnio, la maggiore presenza di ferro sia la causa dello scarso accumulo di solfuri nel bacino ovest, svolgendo in questo caso un ruolo positivo. E' noto che però la notevole presenza di ferro del bacino ovest è di origine industriale: già nell'indagine del 1972 dell'Istituto di Ricerca Sulle Acque a livello del fondo durante la fase anossica era stata rilevata una concentrazione di ferro pari a 1,96 mg/l.



### 3. INTERVENTO DI DESTRAFICAZIONE

#### 3.1. Tempistica di funzionamento del compressore

Nella seguente tabella sono riportati i dati relativi alle ore di funzionamento del compressore in forma cumulativa dal 01/06/2024 (data di accensione).

Sulla base di questi dati è possibile visualizzare la tempistica di funzionamento nelle singole fasi di attività. Purtroppo non è stato possibile installare, come stabilito da progetto, la sonda di misurazione dell'ossigeno.

**Ore di esercizio compressore (ore cumulative)**

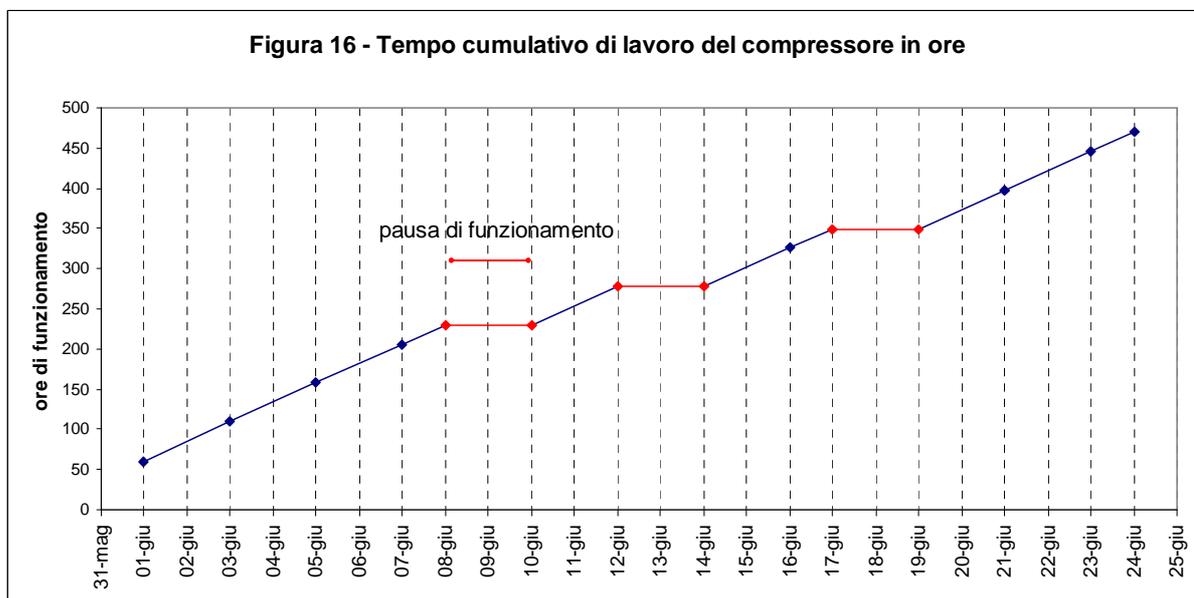
01-giu	60	24-giu	470	13-lug	828	07-ago	1355	30-ago	1906
03-giu	110	25-giu	457	14-lug	828	09-ago	1408	31-ago	1930
05-giu	158	27-giu	515	16-lug	877	11-ago	1452	01-set	1956
07-giu	205	28-giu	539	18-lug	916	12-ago	1474	03-set	2003
08-giu	229	29-giu	539	20-lug	964	14-ago	1522	05-set	2055
10-giu	229	01-lug	588	22-lug	1018	16-ago	1571	07-set	2104
12-giu	277	02-lug	611	24-lug	1059	17-ago	1595	09-set	2149
14-giu	277	03-lug	611	26-lug	1107	19-ago	1646	11-set	2198
16-giu	326	05-lug	659	28-lug	1157	21-ago	1691	12-set	2207
17-giu	349	06-lug	683	30-lug	1166	23-ago	1739	13-set	-
19-giu	349	08-lug	731	01-ago	1210	24-ago	1763	14-set	-
21-giu	398	09-lug	732	03-ago	1258	26-ago	1811	15-set	-
23-giu	446	12-lug	803	05-ago	1306	28-ago	1858	16-set	-

Per il lago di Annone era infatti previsto di utilizzare un sistema di aerazione a intermittenza in grado di mantenere il bacino lacustre in condizioni di circolazione termica, riducendo i consumi di energia elettrica e limitando al minimo l'impatto sull'ecosistema lacustre. A tale scopo era quindi necessario installare a 9 metri di profondità una sonda di misurazione in continuo della concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto. Questa avrebbe attivato automaticamente il sistema di aerazione nel momento in cui la concentrazione rilevata fosse risultata inferiore a 5 mg/l, considerato il limite minimo ottimale per le specie ittiche ciprinicole.

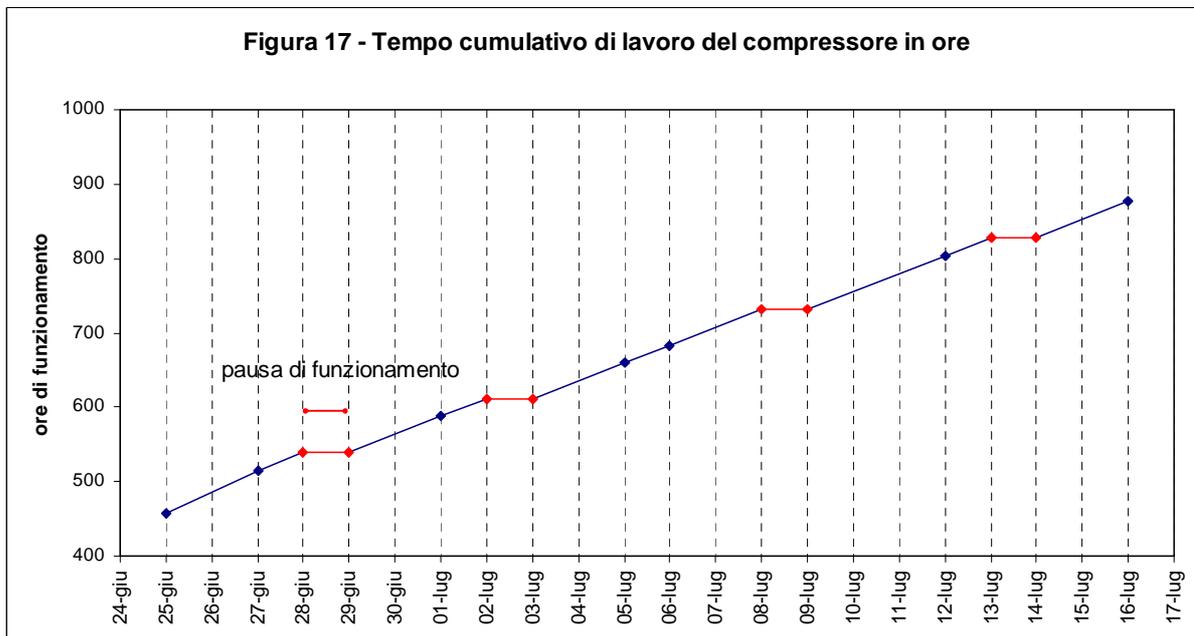
Al fine di limitare i costi energetici inizialmente è stata valutata la possibilità di alternare le fasi di funzionamento con delle pause periodiche.

Nella figura 16 è riportata la dinamica del periodo compreso tra il 01/06 e il 24/6, dove è stata applicata una sequenza di 2-3 di funzionamento alternata a due giorni di pausa.

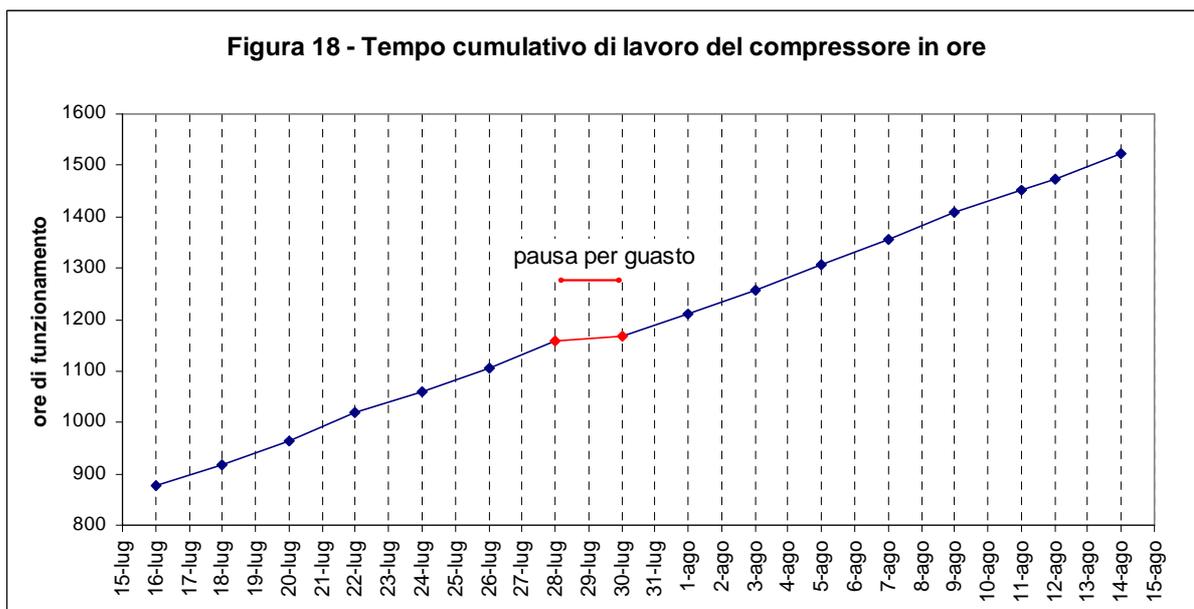
I risultati dei campionamenti di controllo hanno però evidenziato a livello del fondo condizioni al limite dell'anossia (0,9 mg/l il 20/6). Per tale motivo dal 19/6 al 28/6 si è preferito attivare in continuo il compressore. Un nuovo tentativo di risparmio energetico è



stato applicato a partire dal 28/6, alternando un solo giorno di pausa a 3-5 giorni di funzionamento. Nella figura 17 è riportata la dinamica del periodo compreso tra il 25/06 e il 16/07.



I controlli effettuati hanno però sempre evidenziato condizioni di marcata carenza di O<sub>2</sub> disciolto a livello del fondo, con valori prossimi ad 1 mg/l che non garantivano l'assenza di fenomeni di rilascio di fosforo dai sedimenti conseguenti alla solubilizzazione dei composti ferrici. In questa fase si è inoltre innescata una notevole fioritura algale sostenuta principalmente dal cianobatterio *Woronichinia naegeliana* che ha determinato una marcata riduzione della trasparenza. Per tale motivo a partire dal 15/7 si è optato per un funzionamento in continuo del compressore, al fine di evitare ulteriori apporti di fosforo dai sedimenti. Nella figura 18 è riportata la dinamica del periodo compreso tra il 16/07 e il 14/08. A livello del fondo nel campionamento del 24/7 si rilevava ancora un minimo di 0,9 mg/l.

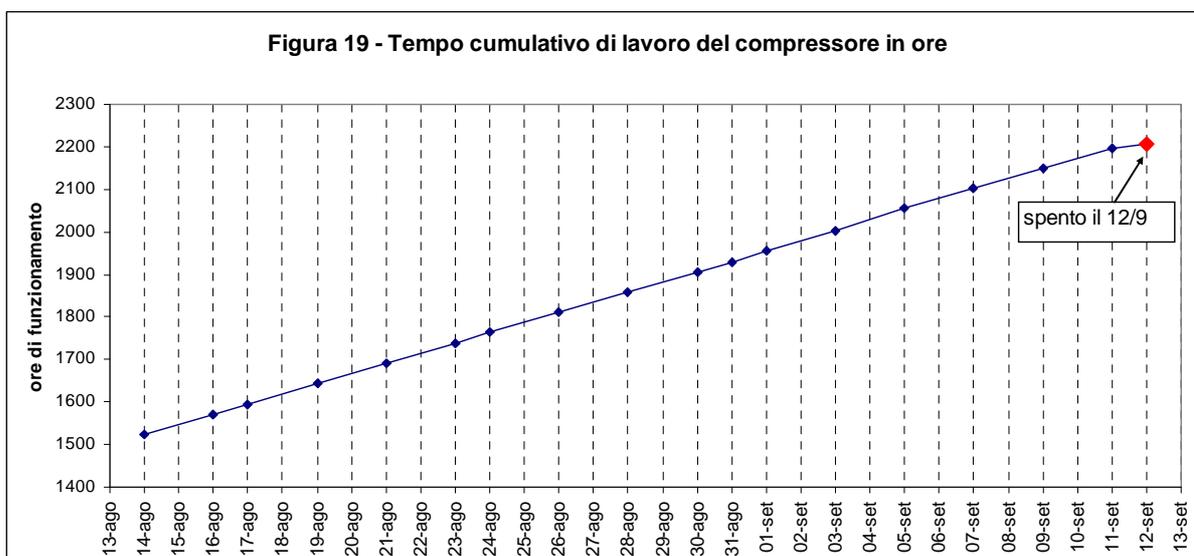


Dal 28 al 30 luglio si è però verificata una nuova pausa di funzionamento causata in questo caso da un blocco del compressore causata probabilmente da uno sbalzo di tensione. Il

campionamento del 6 agosto segnalava condizioni di totale anossia a livello del fondo. Va però riscontrato che, nonostante il funzionamento in continuo del compressore a partire dal 30 luglio, anche nel campionamento del 13/8 veniva nuovamente rilevata la totale assenza di O<sub>2</sub> disciolto a livello del fondo.

Nella figura 19 è riportata la dinamica del periodo compreso tra il 14/08 e il 12/09, data di spegnimento dell'impianto. In seguito all'abbassamento della temperatura esterna, già il 27 agosto venivano rilevate condizioni di circolazione termica completa, con una concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto che saliva a 6,0 mg/l anche a livello del fondo. La riduzione del gradiente termico ha quindi aumentato gli effetti dell'intervento di destratificazione, anticipando il periodo di circolazione termica che nel bacino ovest avviene normalmente dopo la metà di settembre.

In seguito ad una prolungata fase ventosa dal 12 al 15 settembre è stato considerato inutile proseguire l'attività di destratificazione, che si è quindi conclusa il 12/09/2024.



### 3.2. Verifica degli effetti prodotti dall'intervento di destratificazione termica

Sulla base dei dati letteratura e delle caratteristiche del lago di Annone ovest gli effetti positivi attesi da un intervento di destratificazione sono i seguenti.

- a) riduzione del carico interno di fosforo durante la fase di stratificazione termica, in particolare del fosforo legato ai composti ferrici.
- b) mantenimento delle condizioni di meso-eutrofia durante l'intero arco annuale.
- c) eliminazione del periodo di anossia ipolimnica ed aumento della concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto sulla colonna d'acqua.
- d) aumento del volume disponibile per la fauna ittica durante la fase di stratificazione termica.
- e) nel popolamento fitoplanctonico transizione da una dominanza dei cianobatteri (con i rischi derivanti dalla produzione di biotossine) ad una prevalenza di alghe verdi.
- f) valori omogenei di temperatura sulla colonna d'acqua con un conseguente riscaldamento dell'ipolimnio.

Verranno di seguito analizzati i singoli parametri collegati agli effetti attesi per verificare i risultati ottenuti.

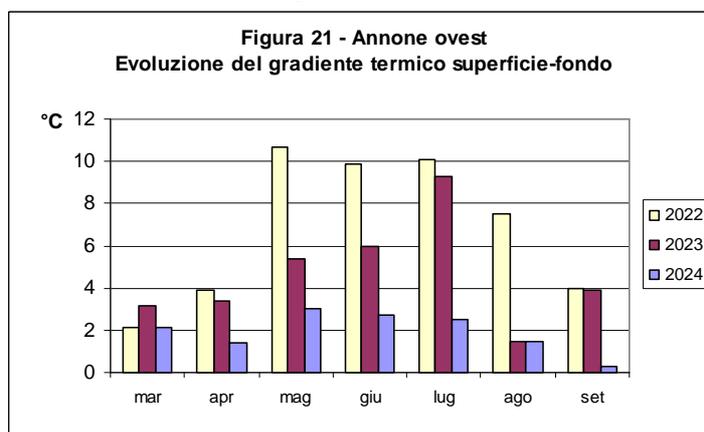
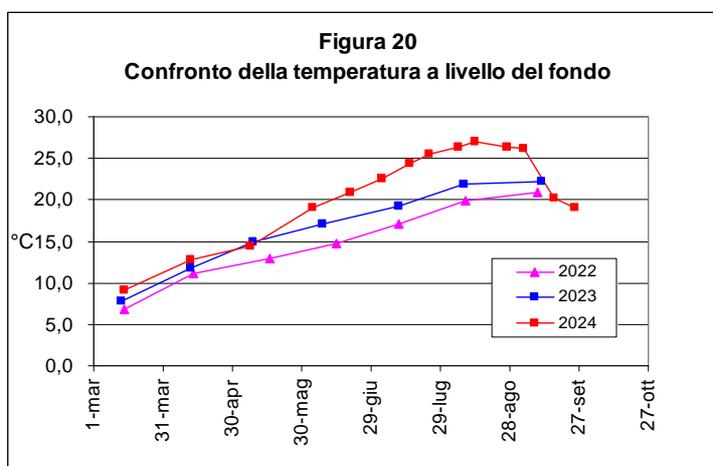
#### 3.2.1 Confronto dei parametri a livello del fondo

Una prima analisi prende in considerazione un confronto con le due annate precedenti (2022-2023), valutando in particolare le condizioni a livello del fondale che rappresenta la zona più critica durante la stagione estiva.

##### 3.2.1.1 Temperatura

Nella figura 20 è illustrata la dinamica della temperatura sul fondo nel periodo marzo-settembre nell'ultimo triennio. Appare evidente che nel periodo di funzionamento del compressore si è verificato un marcato incremento della temperatura ipolimnica rispetto all'ultimo biennio. In particolare dal 24/07 al 03/09 nel 2024 i valori di temperatura sono risultati sempre >25°C, con un massimo di 27°C il 13/08. Si consideri che nel biennio precedente il valore massimo era stato di 22,2°C, indicando quindi un incremento massimo di quasi 5°C.

Nella figura 21 è visualizzato il confronto tra il gradiente termico superficie-fondo nell'ultimo triennio. Risulta anche in questo caso evidente la notevole diminuzione dei valori del periodo estivo come conseguenza del rimescolamento causato dall'intervento di destratificazione.



Questo effetto era stato del resto previsto nella fase progettuale, dove si indicava un incremento delle temperature ipolimniche conseguente all'intervento di destratificazione compreso mediamente fra 3-4°C (figura 22).

L'aumento della temperatura del fondale può rappresentare un effetto in parte negativo in quanto determina un aumento dell'attività batterica e quindi un'accelerazione dei processi di mineralizzazione del fosforo in forma organica, rendendo questo nutriente rapidamente disponibile per la componente fitoplanctonica.

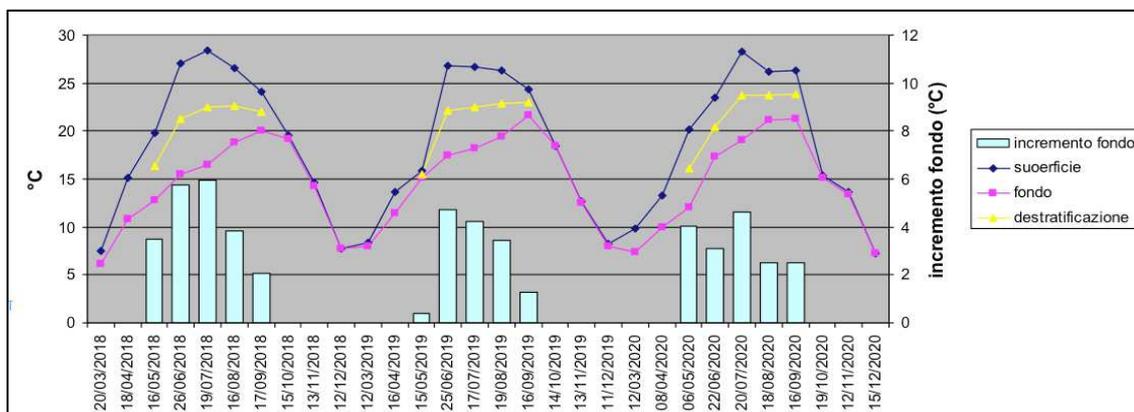


Figura 22 - Dinamica annuale della temperatura superficie-fondo (2018-2020)

L'analisi statistica dei dati conferma la presenza di variazioni significative dei valori di temperatura a livello del fondo tra il 2024 e il biennio 2022-2023 (vedi tabella seguente). Si sottolinea che i dati di confronto delle singole annate non sono omogenei in quanto per il biennio 2022-23 sono disponibili dati mensili, mentre per il 2024 sono stati utilizzati due dati mensili per giugno e settembre, tre dati mensili per luglio e agosto. L'incidenza del periodo luglio-agosto è quindi maggiore ma, considerando che rappresenta la fase annuale più critica, non comporta un'interferenza in grado di falsificare la validità dei risultati dell'analisi statistica.

ANOVA Table					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	106,112	2	53,056	6,82	0,0078
Within groups	116,752	15	7,7835		
Total (Corr.)	222,864	17			

Method: 95,0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
tempfond22	4	18,175	X
tempfond23	4	30,1	X
tempfond24	10	23,85	X

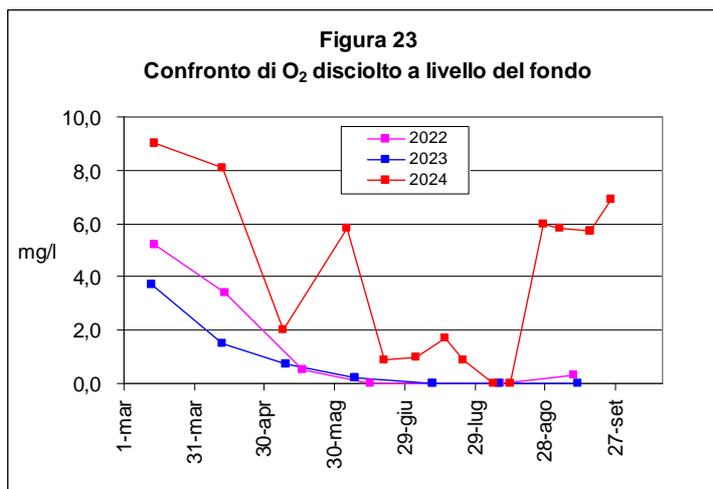
Contrast	Difference	+/- Limits
tempfond22 - tempfond23	-1,925	4,20483
tempfond22 - tempfond24	*-5,675	3,51801
tempfond23 - tempfond24	*-3,75	3,51801

\* denotes a statistically significant difference.

### 3.2.1.2 O<sub>2</sub> disciolto

Nella figura 23 è riportata la dinamica dell'O<sub>2</sub> disciolto sul fondo nel periodo marzo-settembre dell'ultimo triennio.

Anche per questo parametro è rilevabile una notevole variazione rispetto al biennio precedente, con valori anossici che per il 2024 sono limitati alla prima metà di agosto, mentre nel 2022 e 2023 il periodo di anossia si estendeva normalmente da giugno a settembre. Le oscillazioni relative al 2024 sono da collegare alle varie fasi di alternanza di funzionamento del compressore, ma si sottolinea che fino al 24 luglio le concentrazioni di O<sub>2</sub> disciolto sono risultate prossime o superiori a 1 mg/l. Si consideri inoltre che a fine agosto i valori di O<sub>2</sub> disciolto sono risultati superiori a 6 mg/l sull'intera colonna d'acqua, mentre nel biennio precedente nella prima metà di settembre erano ancora presenti condizioni di anossia.



Per quanto riguarda quindi questo parametro si riscontra un marcato miglioramento nell'ipolimnio, estendendo il volume disponibile per la fauna ittica durante la stagione estiva. L'analisi statistica dei dati conferma la presenza di variazioni significative della concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto a livello del fondo tra il 2024 e il biennio 2022-2023 (vedi tabella seguente).

ANOVA Table					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	32,8213	2	16,4106	3,84	0,0450
Within groups	64,0923	15	4,27282		
Total (Corr.)	96,9136	17			

Multiple Range Tests			
Method: 95,0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
ossfondo23	4	0,050075	X
ossfondo22	4	0,075075	X
ossfondo24	10	2,78002	X

Contrast	Difference	+/- Limits
ossfondo22 - ossfondo23	0,025	3,11543
ossfondo22 - ossfondo24	*-2,70494	2,60656
ossfondo23 - ossfondo24	*-2,72994	2,60656

\* denotes a statistically significant difference.

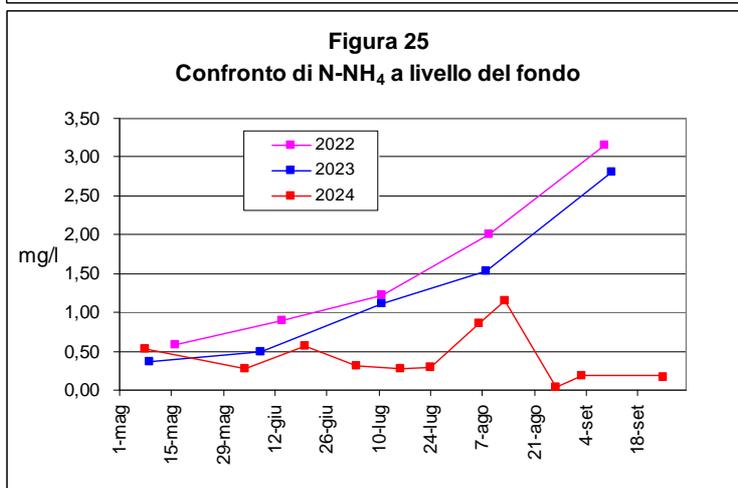
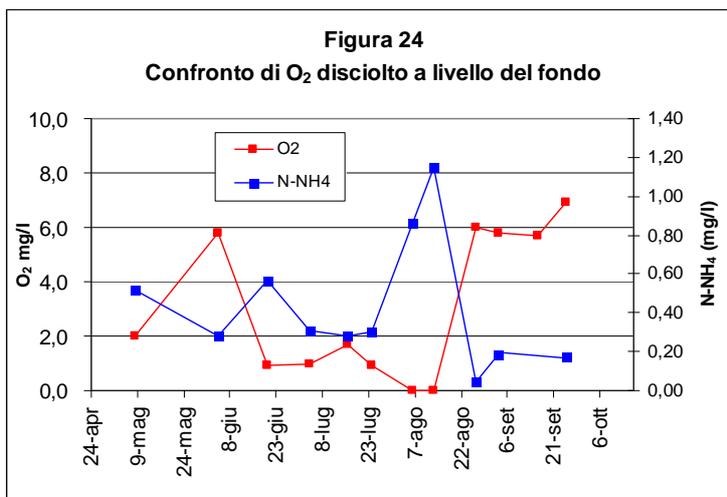
### 3.2.1.3 Azoto ammoniacale

Nella figura 24 è riportata la dinamica dell'azoto ammoniacale sul fondo nel periodo maggio-settembre dell'ultimo triennio.

La rilevazione di questo parametro è più tardiva perchè la sua formazione è direttamente collegata a carenti livelli di O<sub>2</sub> disciolto, come verificabile dalla figura 24. Da quest'ultima appare infatti evidente che l'evoluzione dell'azoto ammoniacale è antitetica a quella dell'O<sub>2</sub> disciolto, con valori che aumentano al diminuire dei livelli di ossigenazione.

Anche per questo parametro è rilevabile una notevole variazione rispetto al biennio precedente, con valori che nel 2024 si mantengono quasi sempre inferiori a 0,6 mg/l, ad eccezione delle prime due settimane di agosto dove è stato raggiunto un massimo di 1,15 mg/l il 13/8.

Nel 2022 e 2023 la concentrazione di N-NH<sub>4</sub> risultava superiore ad 1 mg/l già nella seconda settimana di luglio, con un massimo di 2,8 mg/l e 3,16 mg/l rispettivamente nel 2023 e nel



Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	6,43768	2	3,21884	6,52	0,0100
Within groups	6,90723	14	0,493374		
Total (Corr.)	13,3449	16			

Multiple Range Tests			
Method: 95,0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
nh4fondo24	9	0,442222	X
nh4fondo23	4	1,4875	X
nh4fondo22	4	1,82	X

Contrast	Difference	+/- Limits
nh4fondo22 - nh4fondo23	0,3325	1,06527
nh4fondo22 - nh4fondo24	*1,37778	0,905302
nh4fondo23 - nh4fondo24	*1,04528	0,905302

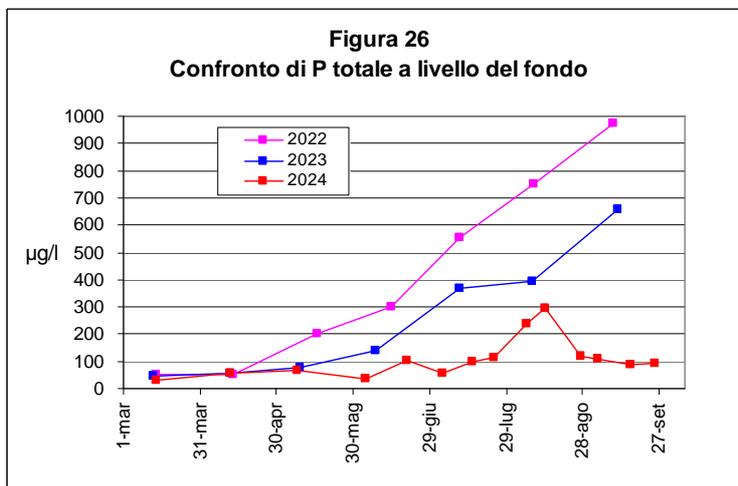
\* denotes a statistically significant difference.

2022. In particolare appare notevolmente diminuita la presenza di questo riducente nel periodo tardo estivo, con un decremento di circa 2,6 mg/l rispetto all'ultima annata. L'analisi statistica dei dati conferma la presenza di variazioni significative della concentrazione di N-NH<sub>4</sub> a livello del fondo tra il 2024 e il biennio 2022-2023 (vedi tabella precedente).

### 3.2.1.4 Fosforo totale

Nella figura 26 è riportata la dinamica del P totale sul fondo nel periodo marzo-settembre dell'ultimo triennio.

Anche per questo parametro è rilevabile una notevole variazione rispetto al biennio precedente, con valori che nel 2024 si mantengono quasi sempre prossimi a 100 µg/l, ad eccezione delle prime due settimane di agosto dove è stato raggiunto un massimo di 296 µg/l il 13/8.



Nel 2022 e 2023 la concentrazione di P totale risultava invece superiore a 100 µg/l già nella seconda settimana di giugno, con un incremento progressivo che portava ad un massimo di 660 µg/l e 976 µg/l nella seconda settimana di settembre rispettivamente nel 2023 e nel 2022. Pertanto il periodo con valori superiori a 350 µg/l si estendeva dalla 2a settimana di luglio alla 2a settimana di settembre. Si consideri che la percentuale più rilevante del P totale sul fondo è costituita da ortofosfato, composto che deriva dall'attività di rilascio dei composti ferrici dai sedimenti e rappresenta la frazione di fosforo direttamente assimilabile dalla componente algale. Il decremento di questo parametro risulta quindi un aspetto positivo.

L'analisi statistica dei dati conferma la presenza di variazioni significative della concentrazione di P totale a livello del fondo tra il 2024 e il biennio 2022-2023 (vedi tabella seguente).

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	813879,0	2	406940,0	13,87	0,0004
Within groups	439953,0	15	29330,2		
Total (Corr.)	1,25383E6	17			

Multiple Range Tests			
Method: 95,0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Pfondo24	10	125,8	X
Pfondo23	4	390,75	X
Pfondo22	4	645,5	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Pfondo22 - Pfondo23	254,75	258,118
Pfondo22 - Pfondo24	*519,7	215,957
Pfondo23 - Pfondo24	*264,95	215,957

\* denotes a statistically significant difference.

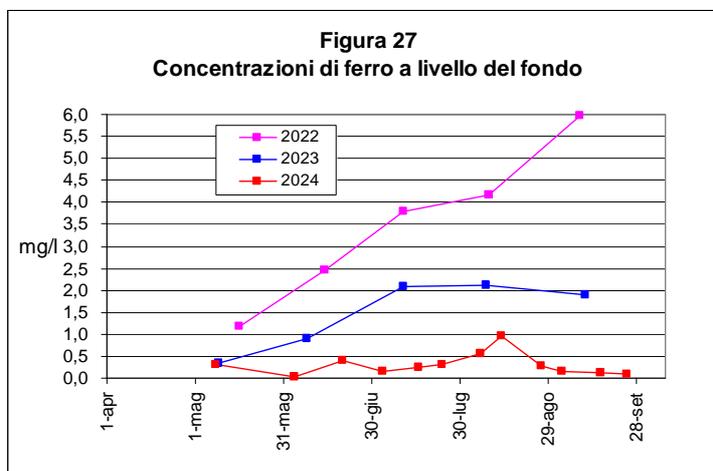
### 3.2.1.5 Ferro

Nella figura 27 è riportata la dinamica delle concentrazioni di ferro sul fondo nel periodo maggio-settembre dell'ultimo triennio.

Come per l'azoto ammoniacale, la rilevazione di questo parametro è più tardiva perchè la sua formazione è direttamente collegata a carenti livelli di O<sub>2</sub> disciolto.

Anche per questo parametro è rilevabile una notevole variazione rispetto al biennio precedente, con valori che nel 2024 si mantengono quasi sempre inferiori a 0,4 mg/l, ad eccezione delle prime due settimane di agosto dove è stato raggiunto un massimo di 0,95 mg/l il 13/8.

Nel 2022 e 2023 la concentrazione di ferro risultava invece superiore a 1 mg/l già a partire dal mese di giugno, con un incremento



progressivo che portava ad un massimo di 5,97 mg/l nella seconda settimana di settembre del 2022. Pertanto il periodo con valori superiori a 2 mg/l si estendeva dalla 2a settimana di luglio alla 2a settimana di settembre. Si consideri che nel bacino ovest il ferro rappresenta il principale mediatore del rilascio di fosforo dai sedimenti e quindi le concentrazioni di questo metallo incidono direttamente sul livello trofico del bacino lacustre.

L'analisi statistica dei dati conferma la presenza di variazioni significative della concentrazione di ferro a livello del fondo tra il 2024 e il biennio 2022-2023 (vedi tabella seguente). In questo caso è però rilevabile una variazione significativa anche nel biennio 2022-2023. In realtà la diminuzione dei valori nella stagione estiva del 2023 deriva da una fase ventosa nella prima settimana di agosto che ha determinato un consistente effetto di circolazione termica della colonna d'acqua.

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	41,2584	2	20,6292	39,24	0,0000
Within groups	7,88653	15	0,525769		
Total (Corr.)	49,1449	17			

Multiple Range Tests			
Method: 95,0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Fefondo24	10	0,322	X
Fefondo23	4	1,7475	X
Fefondo22	4	4,105	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Fefondo22 - Fefondo23	*2,3575	1,09284
Fefondo22 - Fefondo24	*3,783	0,91434
Fefondo23 - Fefondo24	*1,4255	0,91434

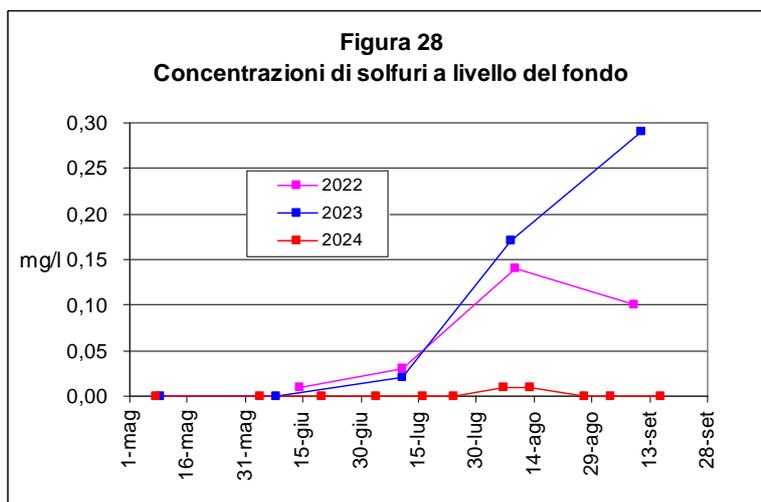
\* denotes a statistically significant difference.

### 3.2.1.6 Solfuri

Nella figura 28 è riportata la dinamica delle concentrazioni di solfuri sul fondo nel periodo maggio-settembre dell'ultimo triennio.

Come per l'azoto ammoniacale, la rilevazione di questo parametro è più tardiva perchè la sua formazione è direttamente collegata alla presenza di condizioni anossiche.

Anche per questo parametro è rilevabile una notevole variazione rispetto al biennio precedente, con valori che nel 2024 si mantengono prossimi allo zero nell'intero periodo di rilevazione.



Nel 2022 e 2023 la concentrazione di solfuri seguiva un incremento progressivo con valori superiori a 0,10 mg/l dalla 2a settimana del mese di agosto, fino ad un massimo di 0,29 mg/l nella seconda settimana di settembre del 2022. Come già indicato in precedenza, la concentrazione di questo composto, potenzialmente tossico per la fauna acquatica, è collegata a condizioni di totale assenza di ossigeno. Ne deriva che la sostanziale assenza di solfuri nel 2024 rappresenta un aspetto senz'altro positivo.

In questo caso non è stato possibile applicare il confronto statistico poichè i valori relativi al 2024 sono quasi sempre nulli.

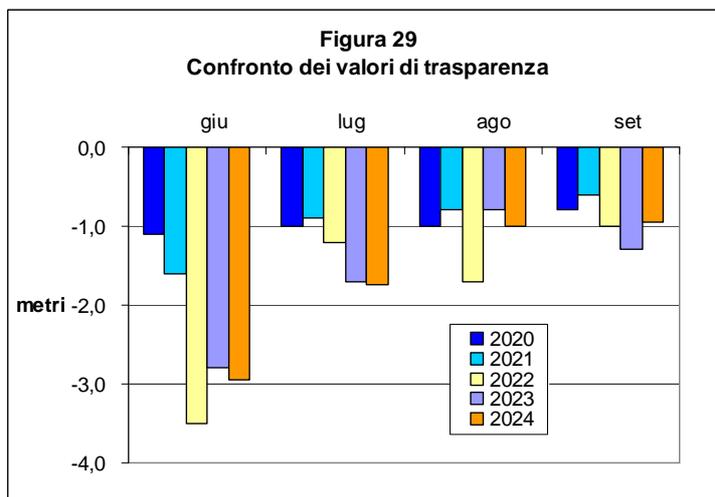
### 3.2.2 Confronto dei parametri indicativi sulla colonna d'acqua

Un altro termine di confronto è relativo allo strato intermedio della colonna d'acqua, che nelle annate precedenti durante il periodo estivo presentava condizioni critiche di ossigenazione già a 5 metri di profondità. Verranno pertanto analizzati i parametri più indicativi per verificare eventuali effetti dell'attività di destratificazione.

#### 3.2.2.1 Trasparenza

Un primo parametro che può fornire un utile termine di confronto con le annate precedenti è la trasparenza. In questo caso vengono presi in considerazione i valori mensili degli ultimi cinque anni (figura 29).

Dal grafico si osserva una maggiore variabilità di questo parametro nel mese di giugno, con valori che appaiono nettamente più elevati nell'ultimo triennio. Nei mesi successivi si riscontrano invece dati più stabili, che risultano però inferiori ai 2 metri nell'intero periodo luglio-settembre.



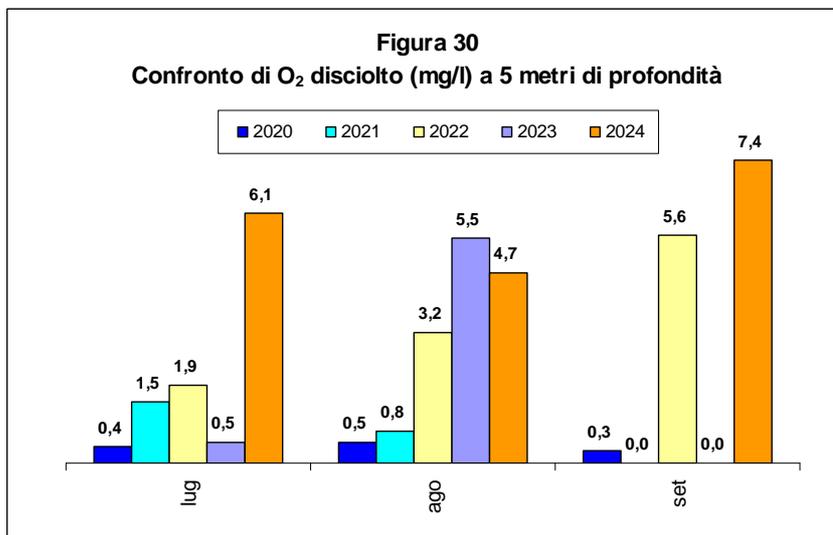
Nelle ultime annate non sembrano pertanto rilevabili variazioni di rilievo dei valori di trasparenza durante la stagione estiva.

L'analisi statistica dei dati conferma l'assenza di differenze significative tra i valori del 2024 e le annate 2020-2023 (vedi tabella seguente).

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2,795	4	0,69875	1,12	0,3830
Within groups	9,3425	15	0,622833		
Total (Corr.)	12,1375	19			
Multiple Range Tests					
Method: 95,0 percent LSD					
	Count	Mean	Homogeneous Groups		
trasp21	4	0,975	X		
trasp20	4	0,975	X		
trasp23	4	1,65	X		
trasp24	4	1,675	X		
trasp22	4	1,85	X		
Contrast					
			Difference	+/-	Limits
trasp20 - trasp21			0,0		1,18945
trasp20 - trasp22			-0,875		1,18945
trasp20 - trasp23			-0,675		1,18945
trasp20 - trasp24			-0,7		1,18945
trasp21 - trasp22			-0,875		1,18945
trasp21 - trasp23			-0,675		1,18945
trasp21 - trasp24			-0,7		1,18945
trasp22 - trasp23			0,2		1,18945
trasp22 - trasp24			0,175		1,18945
trasp23 - trasp24			-0,025		1,18945
* denotes a statistically significant difference.					

### 3.2.2.2 O<sub>2</sub> disciolto

Un secondo parametro che può risultare indicativo è la concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto a 5 metri, perchè nelle annate precedenti durante il periodo estivo si riscontravano condizioni prossime all'anossia già a questa profondità. Un eventuale incremento del livello di ossigenazione si potrebbe pertanto collegare ad un effetto positivo dell'intervento di destratificazione. Nella figura 30 sono riportate le concentrazioni di O<sub>2</sub> disciolto relative al periodo luglio-settembre, utilizzando per il 2024 i valori medi mensili. Dal grafico è rilevabile una maggiore stabilità nel 2024 rispetto alle annate precedenti, con un valore nettamente più elevato nel mese di luglio (6,1 mg/l). Anche il dato del mese di agosto risulta discreto (4,7 mg/l), secondo solo al 2023 con 5,5 mg/l. Si sottolinea però che il valore anomalo del 2023 deriva da una prolungata fase ventosa che ha provocato una circolazione termica



parziale. Per quanto riguarda il mese di settembre si riscontra nuovamente un valore massimo per il 2024 pari a 7,4 mg/l, mentre nelle annate precedenti erano spesso presenti condizioni anossiche.

Ad esclusione del 2022, l'analisi statistica conferma la presenza di differenze significative tra il 2024 e le annate precedenti.

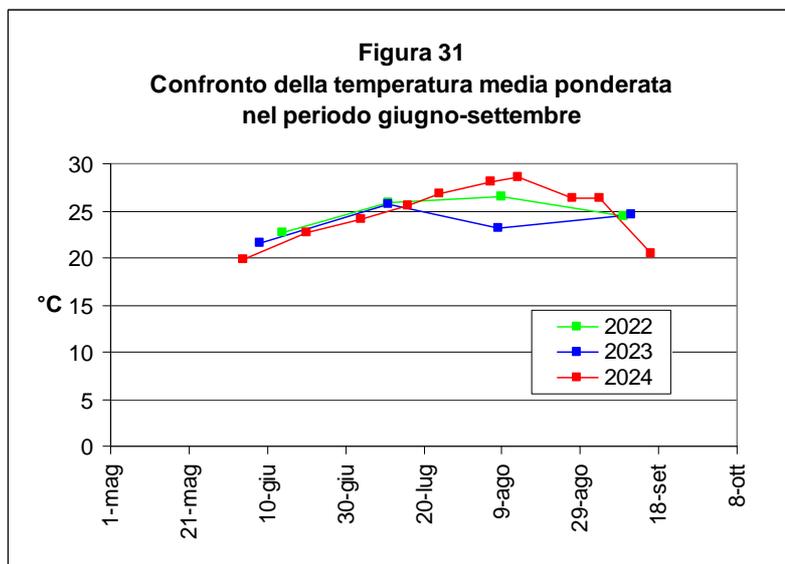
Ad esclusione del 2022, l'analisi statistica conferma la presenza di differenze significative tra il 2024 e le annate precedenti.

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	124,712	4	31,178	7,73	0,0005
Within groups	84,6685	21	4,03183		
Total (Corr.)	209,38	25			
Multiple Range Tests					
Method: 95,0 percent LSD					
	Count	Mean	Homogeneous Groups		
oss5m21	4	0,675	X		
oss5m20	4	1,125	X		
oss5m23	4	2,55	XX		
oss5m22	4	5,025	XX		
oss5m24	10	5,92	X		
Contrast			Difference	+/-	Limits
oss5m20 - oss5m21			0,45		2,9527
oss5m20 - oss5m22			*-3,9		2,9527
oss5m20 - oss5m23			-1,425		2,9527
oss5m20 - oss5m24			*-4,795		2,47041
oss5m21 - oss5m22			*-4,35		2,9527
oss5m21 - oss5m23			-1,875		2,9527
oss5m21 - oss5m24			*-5,245		2,47041
oss5m22 - oss5m23			2,475		2,9527
oss5m22 - oss5m24			-0,895		2,47041
oss5m23 - oss5m24			*-3,37		2,47041
* denotes a statistically significant difference.					

### 3.2.2.3 Temperatura

Per quanto riguarda questo parametro sono stati presi in considerazione i valori medi ponderati sulla colonna d'acqua, calcolati sulla base dei volumi dei singoli strati al fine di ricavare un dato medio più preciso rispetto alla semplice media aritmetica. Lo scopo di questa analisi è di verificare eventuali incrementi di temperatura conseguenti all'attività di destratificazione. A differenza infatti della temperatura del fondo, dove era peraltro previsto un incremento derivante dall'intervento in atto, non erano invece attese variazioni termiche di rilievo sulla massa d'acqua.

Nella figura 31 sono riportati i dati di temperatura nel periodo giugno-settembre dal 2022 al 2024. Nel periodo giugno-luglio i valori risultano sovrapponibili, raggiungendo i 25°C alla metà di luglio nelle singole annate. A partire da questa data sembra invece rilevabile un incremento dei valori relativi al 2024, con un massimo di 28,6°C raggiunto il 13/8 contro i 26,5°C e 23,1°C rispettivamente nel 2022 e 2023.



L'analisi statistica dei dati relativa all'intero periodo giugno-settembre non conferma però la presenza di differenze significative tra i valori del 2024 e le annate 2020-2023 (vedi tabella seguente). Per un confronto più rappresentativo il periodo considerato è stato ampliato da tre a cinque anni partendo quindi dal 2020.

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2,787	4	0,69675	0,22	0,9241
Within groups	47,8625	15	3,19083		
Total (Corr.)	50,6495	19			
Multiple Range Tests					
Method: 95,0 percent LSD					
	Count	Mean	Homogeneous Groups		
temppond23	4	23,775	X		
temppond20	4	24,025	X		
temppond21	4	24,15	X		
temppond24	4	24,475	X		
temppond22	4	24,85	X		
Contrast					
			Difference	+/- Limits	
temppond20 - temppond21			-0,125	2,69224	
temppond20 - temppond22			-0,825	2,69224	
temppond20 - temppond23			0,25	2,69224	
temppond20 - temppond24			-0,45	2,69224	
temppond21 - temppond22			-0,7	2,69224	
temppond21 - temppond23			0,375	2,69224	
temppond21 - temppond24			-0,325	2,69224	
temppond22 - temppond23			1,075	2,69224	
temppond22 - temppond24			0,375	2,69224	
temppond23 - temppond24			-0,7	2,69224	
* denotes a statistically significant difference.					

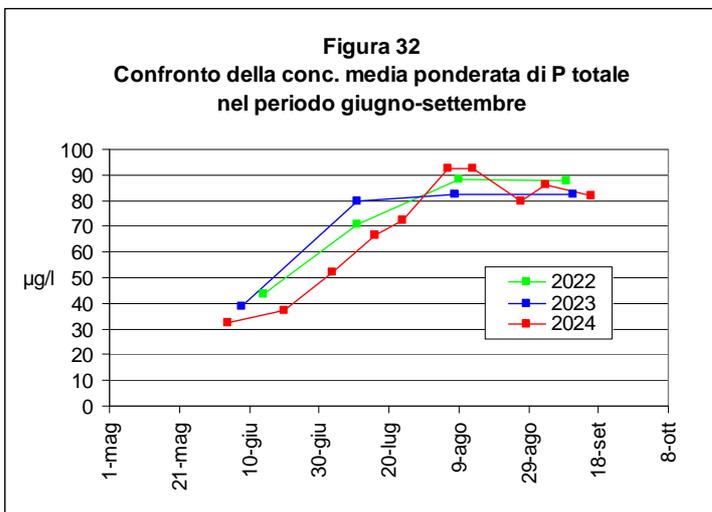
### 3.2.2.4 P totale

Per quanto riguarda questo parametro sono stati presi in considerazione i valori medi ponderati sulla colonna d'acqua, calcolati sulla base dei volumi dei singoli strati al fine di ricavare un dato medio più preciso rispetto alla semplice media aritmetica. Lo scopo di questa analisi è di verificare eventuali decrementi di fosforo derivanti dall'attività di destratificazione.

Nella figura 32 sono riportati i dati di P totale nel periodo giugno-settembre dal 2022 al 2024.

Per quanto riguarda questo parametro apparentemente non si rilevano variazioni di rilievo. In particolare nel 2024 si riscontrano valori più contenuti fino al 24/7 rispetto alle annate precedenti, con una concentrazione media che risulta comunque elevata (72 µg/l). Nel periodo successivo è invece rilevabile un ulteriore incremento che porta i valori di P totale prossimi a 90 µg/l sui livelli degli anni precedenti.

L'analisi statistica dei dati conferma l'assenza di differenze significative tra i valori del 2024 e le annate 2020-2023 (vedi tabella seguente).



Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	31,1778	2	15,5889	0,03	0,9677
Within groups	7101,1	15	473,407		
Total (Corr.)	7132,28	17			
Multiple Range Tests					
Method: 95,0 percent LSD					
	Count	Mean	Homogeneous Groups		
Ptotmedi24	10	69,3	X		
Ptotmedi23	4	71,0	X		
Ptotmedi22	4	72,5	X		
Contrast		Difference		+/- Limits	
Ptotmedi22 - Ptotmedi23		1,5		32,7928	
Ptotmedi22 - Ptotmedi24		3,2		27,4364	
Ptotmedi23 - Ptotmedi24		1,7		27,4364	
* denotes a statistically significant difference.					

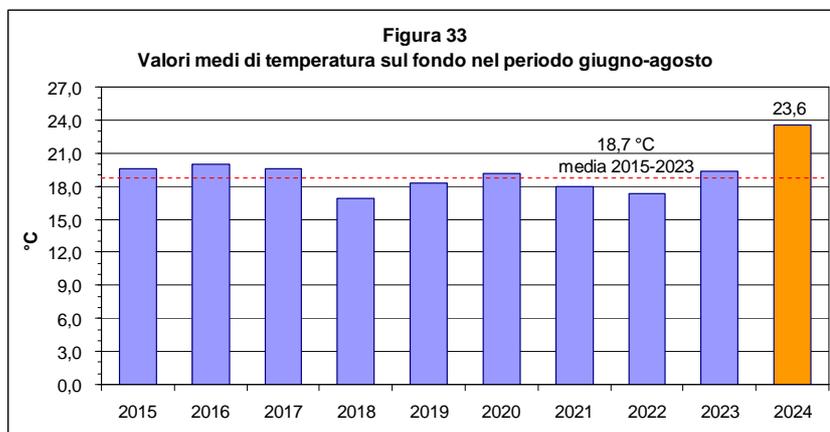
Nonostante l'intervento di destratificazione non è stata quindi riscontrata una riduzione del livello trofico. Le possibili cause di questo mancato miglioramento verranno analizzate nel capitolo 4.

### 3.2.3 Confronto su scala decennale

Al fine di ricavare un quadro di confronto dei parametri indicativi dello stato di qualità del bacino lacustre su un periodo temporale più ampio, sono stati analizzati i dati anche su scala decennale. In particolare una prima analisi è relativa al confronto dei valori rilevati a livello del fondo durante la stagione estiva.

Nella figura 33 sono riportati i valori medi di temperatura a livello del fondo nel periodo giugno-agosto a partire dal 2015.

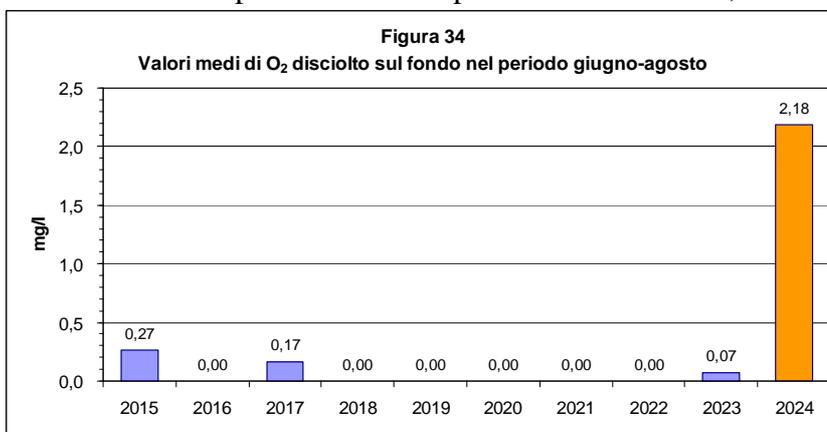
Come già rilevato in precedenza nel paragrafo 3.2.2.1 si conferma un incremento nel 2024 che indica una media di 23,6°C contro i 18,7°C nel periodo 2015-2023. Ciò indica pertanto un aumento di rilievo (4,9°C) che può essere



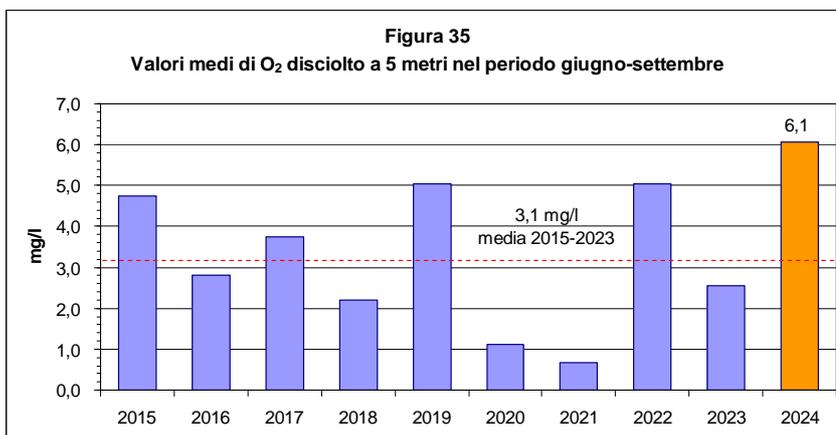
collegato all'attività dell'impianto di destratificazione. Come già segnalato in precedenza, questo incremento può determinare un accelerazione dell'attività batterica e quindi un più rapido riciclo dei nutrienti nell'interfaccia acqua-sedimento.

Un secondo parametro di confronto è il valore medio di O<sub>2</sub> disciolto a livello del fondo nel periodo giugno-agosto a partire dal 2015 (figura 34).

In questo caso la variazione rilevata nel 2024 rispetto alle annate precedenti è notevole, con un valore medio di 2,18 mg/l contro valori sempre inferiori a 0,3 mg/l nel periodo 2015-2023. La presenza di O<sub>2</sub> disciolto a livello del fondo ha quindi contribuito ad una riduzione dell'attività di rilascio di fosforo dai sedimenti e ad un minore accumulo di composti riducenti tossici per la fauna acquatica.

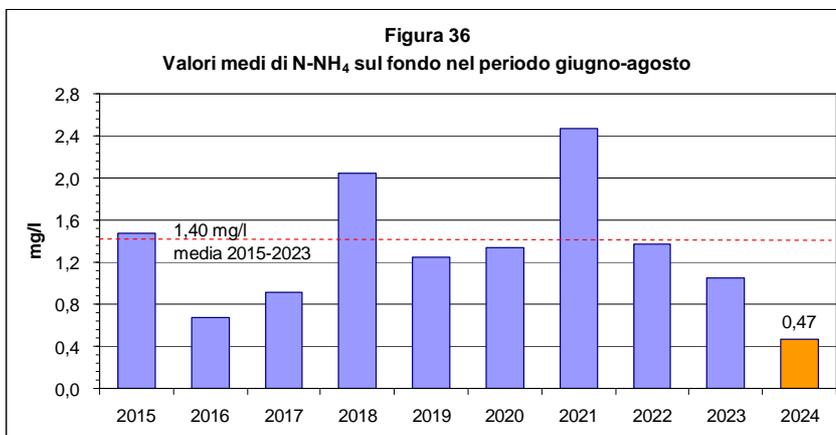


Un altro importante termine di confronto è la concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto a 5 metri di profondità. Si consideri infatti che nelle annate precedenti durante il periodo estivo già a questa profondità venivano rilevate condizioni di anossia. Nella figura 35



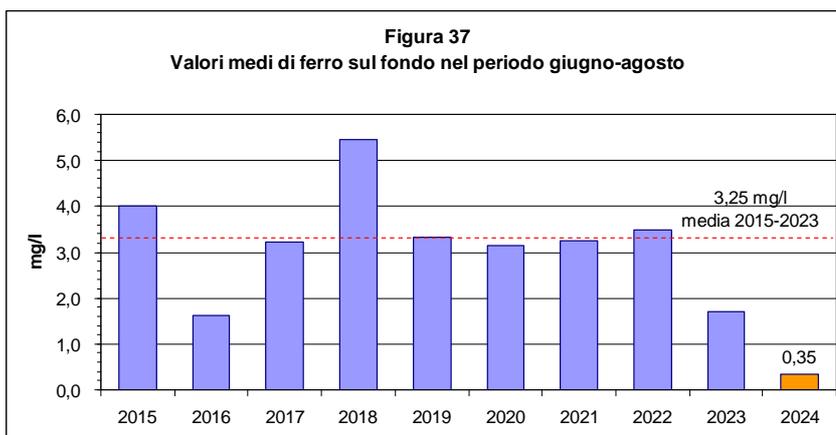
sono riportati i valori medi relativi al periodo 2015-2024, dove risulta evidente l'incremento relativo al 2024 con 6,1 mg/l contro 3,1 mg/l del periodo 2015-2023. Si sottolinea che, anche se dal grafico non risulta perchè sono riportati i valori medi, in alcune annate sono state riscontrate condizioni di totale anossia, mentre nel 2024 il valore minimo è pari a 2,6 mg/l il 6 agosto.

Un terzo parametro di confronto è il valore medio di azoto ammoniacale a livello del fondo nel periodo giugno-agosto a partire dal 2015 (figura 36). Questo composto riducente indica una marcata diminuzione nel 2024 con una media di 0,47 mg/l contro un valore medio di 1,40 mg/l nel periodo 2015-2023, con un massimo di 2,46 mg/l nel 2021. Anche per questo parametro risulta quindi un decremento di rilievo, pari mediamente a circa 1 mg/l.

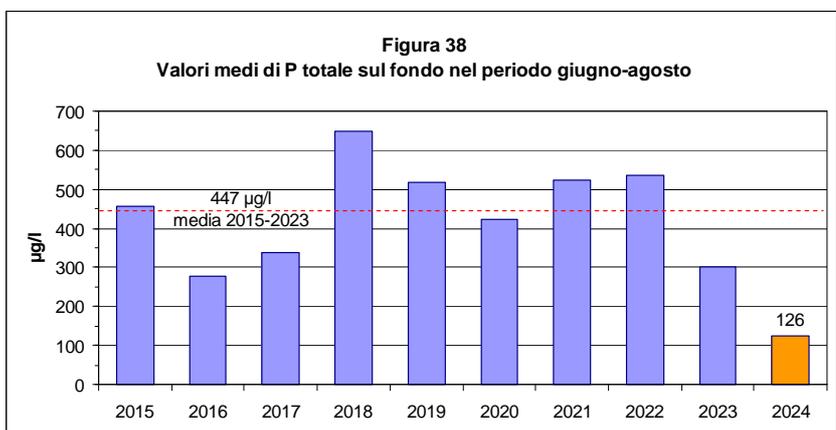


Un quarto parametro di confronto è la concentrazione media di ferro a livello del fondo nel periodo giugno-agosto a partire dal 2015 (figura 37).

Dalla figura si rileva che anche questo parametro, che deriva principalmente dalla presenza di condizioni di anossia a livello del fondo, segnala un marcato decremento rispetto alle annate precedenti. Il valore medio del 2024 è infatti pari a 0,35 mg/l contro una media di 3,25 mg/l per il periodo 2015-2023. Ciò indica pertanto un decremento di circa 3 mg/l. Poichè questo parametro è direttamente collegato al rilascio di P-PO<sub>4</sub>, un decremento del ferro solubile dovrebbe comportare una parallela diminuzione del fosforo solubile.



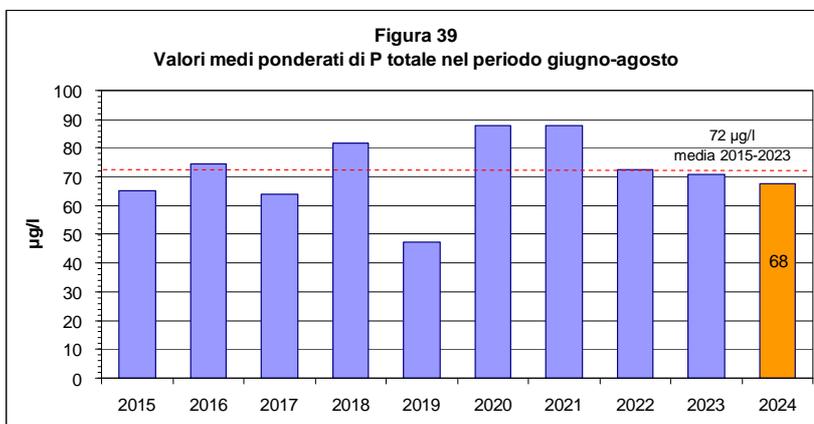
Un quinto ed ultimo parametro di confronto è il valore medio di P totale a livello del fondo nel periodo giugno-agosto a partire dal 2015 (figura 38). Anche per questo parametro il grafico mostra una diminuzione delle concentrazioni rilevate nel periodo estivo del 2024,



con un valore pari a 126 µg/l contro una media di 447 µg/l del periodo 2015-2023. Tali valori indicano pertanto una diminuzione di circa 320 µg/l, che potrebbe essere in parte collegata all'attività di destratificazione termica. Si consideri infatti che a livello del fondo la percentuale più rilevante del fosforo è costituita da ortofosfato, composto il cui principale mediatore per il rilascio dai sedimenti è rappresentato dal ferro.

Un dato più rappresentativo del livello trofico del bacino lacustre è la concentrazione media ponderata di P totale sulla colonna d'acqua (figura 39).

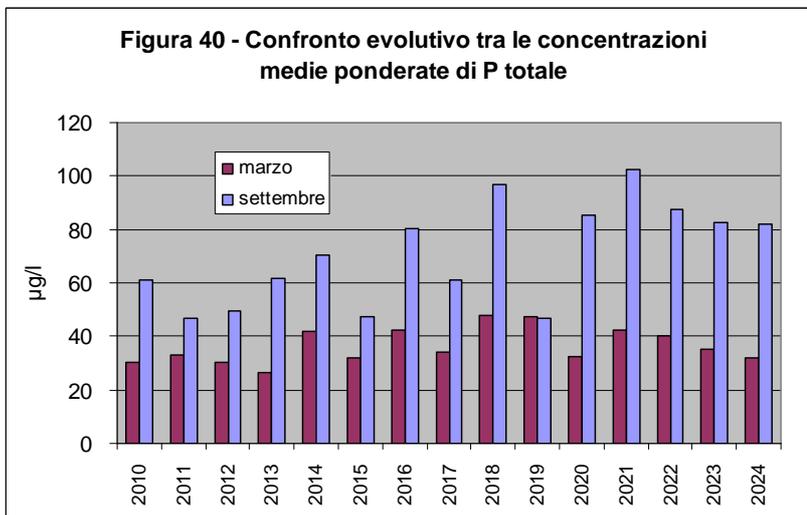
Per quanto riguarda questo parametro non sembrano in realtà rilevabili variazioni di rilievo, con una concentrazione di 68 µg/l nel 2024 contro 72 µg/l nel periodo 2015-2023. Questo risultato è confermato anche dall'analisi statistica (par.3.2.2.4) che non



evidenzia variazioni significative della concentrazione media ponderata. In questo caso l'attività di destratificazione non ha determinato un miglioramento del livello trofico, che durante la stagione estiva rimane in condizioni di marcata eutrofia. Resta da valutare se questa assenza di variazione sia da collegare a rilasci intermittenti di P-PO<sub>4</sub> nelle fasi di ipossia (O<sub>2</sub><1 mg/l) riscontrate anche nel 2024 oppure al carico esterno di fosforo derivante dalle acque immissarie.

## 4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

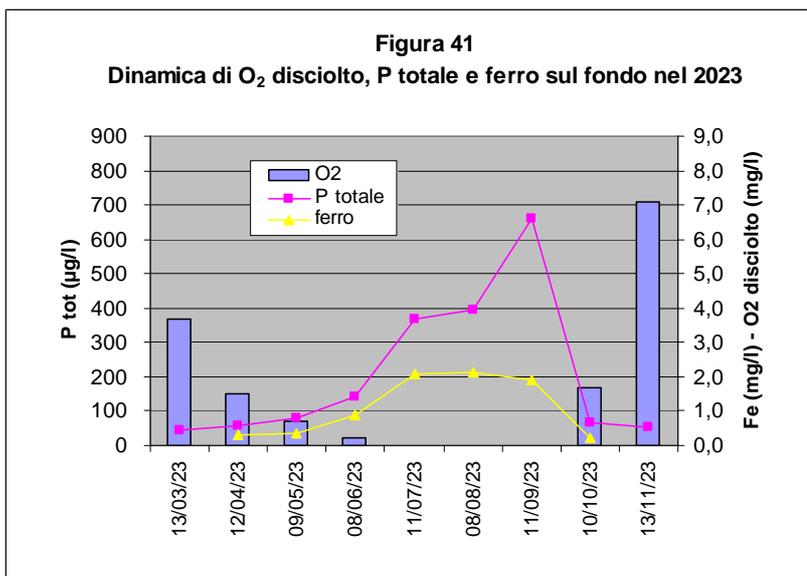
Il bacino ovest del lago di Annone presenta condizioni diverse rispetto al bacino est. In realtà la dinamica del fosforo in questo bacino è regolata dalla rilevante presenza del ferro che in condizioni ossiche sottrae fosforo alle acque precipitandolo come fosfato ferrico, mentre in condizione anossiche ricircola fosforo in forma solubile dal sedimento. Ne deriva che il lago di Annone ovest in genere si comporta quasi da lago mesotrofo nel periodo inverno-primavera, mentre nel periodo estivo-autunnale presenta prevalenti condizioni di eutrofia. Questa dinamica è verificabile nella figura 40, che riporta le concentrazioni medie ponderate di P totale a marzo e settembre a partire dal 2010.



Il quadro primaverile falsa però in positivo le reali condizioni del bacino lacustre.

Per quanto riguarda le condizioni ipolimniche al termine del periodo stratificazione termica estiva è opportuno valutare la dinamica del fosforo in presenza di condizioni anossiche a livello del fondo. Questo parametro può infatti fornire una stima della tendenza evolutiva del carico interno, cioè del fosforo rilasciato dai sedimenti in condizioni anossiche.

Il rilascio di fosforo dai sedimenti non si innesca solo al raggiungimento di condizioni prossime all'anossia (circa 0,1 mg/l), ma è condizionato anche dal potenziale di ossidoriduzione dei sedimenti. Analizzando la dinamica relativa al 2023 (figura 41) risulta ancora un notevole accumulo di P totale, durante la fase anossica. La concentrazione di P totale evidenzia un graduale e costante incremento durante la fase di anossia, passando da 57 µg/l il 12/04 ad un massimo di 660 µg/l il 11/09. Una parte rilevante di questo incremento è collegato alla solubilizzazione dei composti ferrici in seguito alle condizioni di anossia. Dalla figura risulta infatti evidente la parallela dinamica evolutiva di fosforo e ferro, ad esclusione dell'11/9 in cui si potrebbe ipotizzare una precipitazione del ferro come solfuro. La circolazione termica totale nel mese di ottobre determina la ricomparsa di condizioni ossiche e un parallelo decremento della concentrazione di P totale che scende a 68 µg/l.

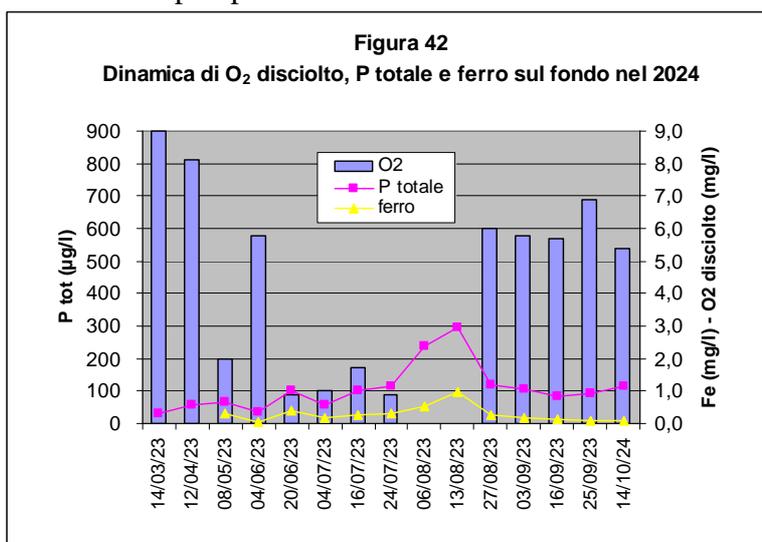


Lo scopo dell'attività di destratificazione termica è pertanto quello di impedire l'instaurarsi di condizioni anossiche sul fondo e limitare il più possibile le attività di rilascio di ferro e ortofosfato dai sedimenti.

A titolo di confronto nella figura 42 è riportato il quadro evolutivo degli stessi parametri nel 2024.

Appare evidente la maggiore concentrazione di O<sub>2</sub> disciolto durante la stagione estiva con alcuni episodi però di anossia nel mese di agosto.

In questa fase risulta evidente un incremento delle concentrazioni di ferro e di fosforo con valori però dimezzati rispetto al 2023.

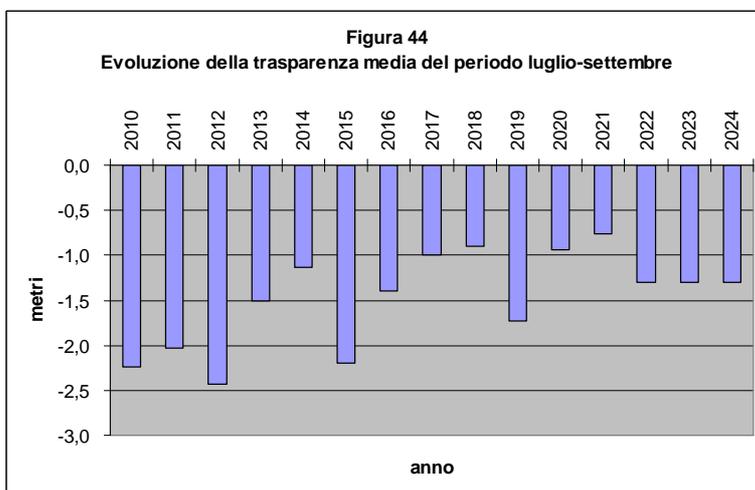
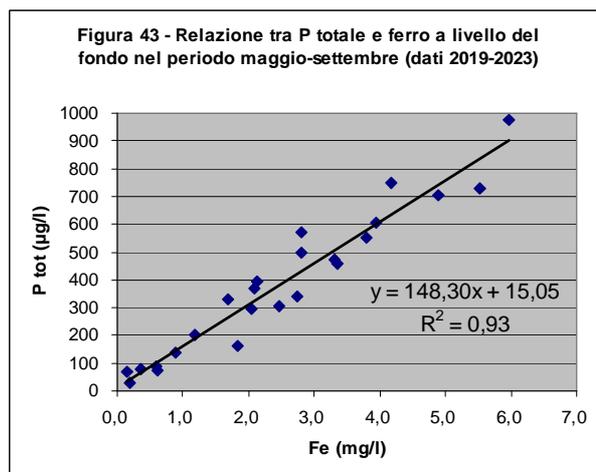


La massima concentrazione di ferro passa da 2,12 mg/l del 2023 a 0,95 mg/l nel 2024, mentre la concentrazione di P totale passa da un massimo di 660 µg/l nel 2023 a 296 µg/l nel 2024.

Una conferma della stretta relazione esistente tra questi due elementi è chiaramente visualizzata nella figura 43, che riporta la relazione tra P totale e ferro totale sul fondo durante il periodo maggio-settembre del periodo 2019-2023.

La correlazione tra i due parametri risulta molto elevata ( $r^2 = 0,93$ ). Quindi nel bacino ovest il ferro rappresenta ancora il principale fattore di trasferimento del fosforo dai sedimenti all'acqua e viceversa.

Se da una parte nel 2024 è quindi rilevabile una riduzione dell'attività di rilascio dei sedimenti, è ancora presente un apporto di nutrienti che se trasferiti nella zona fotica possono innescare consistenti fioriture algali con una conseguente riduzione della trasparenza dell'acqua. Ciò determina una contrazione dello strato fotico e quindi dello strato in cui è presente l'ossigeno.



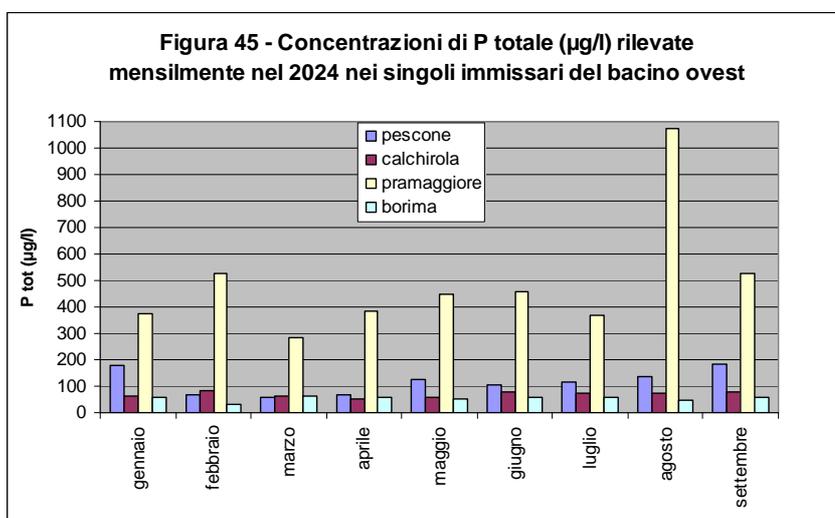
Nella stagione estiva del 2024 questa condizione negativa è stata in parte contenuta dall'intervento di destratificazione termica che ha determinato un rimescolamento della massa d'acqua.

La diminuzione dei valori di trasparenza nel periodo estivo è peraltro una costante nel bacino ovest, con valori sempre inferiori a 1,5 metri negli ultimi cinque anni. Nella figura 44

sono riportati i valori medi di trasparenza nel periodo luglio-settembre dal 2010 al 2024, da cui risulta una tendenza alla diminuzione nelle ultime annate rispetto ai valori rilevati all'inizio dello scorso decennio. Ciò conferma quindi un recente peggioramento delle condizioni trofiche del bacino ovest.

Va però sottolineato che il problema delle fioriture di cianobatteri dipende in primo luogo dal carico esterno di fosforo e quindi dallo stato di qualità degli immissari. Nella figura 45 sono riportate le concentrazioni di P totale negli immissari del bacino ovest nel periodo gennaio-settembre 2024. Appare più che evidente che il Pramaggiore presenta condizioni di grave alterazione, con una concentrazione media di P totale pari a 495 µg/l. In particolare nel mese di agosto si rileva un valore massimo di 1075 µg/l, di cui 924 µg/l come ortofosfato solubile. E' importante sottolineare che questo composto risulta direttamente assimilabile dal popolamento algale e rappresenta quindi un potenziale fattore di innesco delle fioriture di cianobatteri.

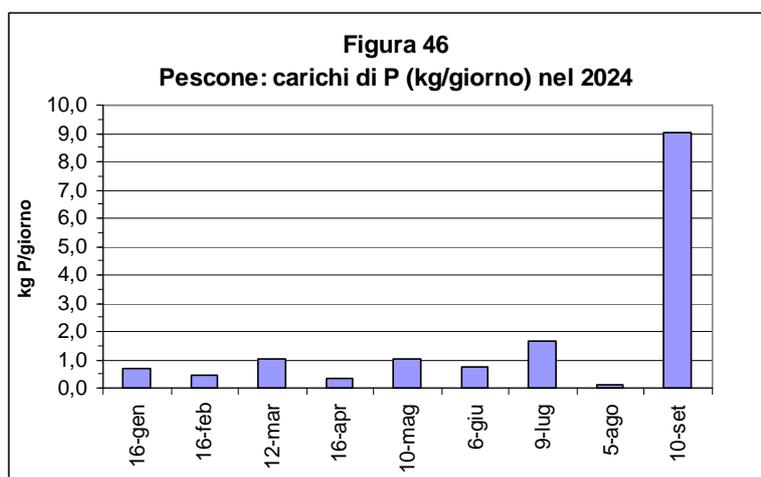
Non va però sottovalutato anche l'apporto relativo al Pescone, immissario che presenta la maggiore portata idrica. Dal campionamento effettuato in data 10/09 si registrava infatti una concentrazione di fosforo di 183 µg/l con una portata però molto elevata, pari a 570 l/s. Da questi valori è stato quindi calcolato che entravano circa 9,0 kg/giorno di fosforo, come verificabile nella figura 46 che evidenzia il valore anomalo del mese di settembre.



Considerando per semplificare la portata in uscita uguale alla portata del Pescone (trascurando quindi le perdite per evaporazione) ne deriva che, con una concentrazione epilimnica di 90 µg/l, la massa di P in uscita era pari a 3,9 kg/giorno. Da ciò si ricava un apporto netto al lago di 5,1 kg/giorno.

Ipotizzando una durata di nove giorni a queste condizioni (dal 16/9 al 25/9) e rapportando l'apporto di P al volume del lago ( $6,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) risulterebbe un incremento di circa 7 µg/l derivante dal solo Pescone, trascurando gli apporti minori degli altri immissari.

Questo incremento è di fatto confermato dai campionamenti effettuati sul lago, da cui risulta una concentrazione media ponderata di P totale che passa da 82 µg/l del 16/9 a 91 µg/l del 25/9, con un incremento quindi di circa 9 µg/l. Non essendo in questa fase presenti attività di rilascio dei sedimenti, in quanto il bacino



lacustre era in condizioni di circolazione termica con valori di O<sub>2</sub> disciolto >5 mg/l sull'intera colonna d'acqua, tale incremento è pertanto imputabile ai soli apporti esterni.

La fioritura di cianobatteri sviluppatasi a partire dalla metà di settembre è stata dunque innescata dal notevole carico esterno di fosforo in ingresso nel bacino. Si sottolinea infatti che il compressore è stato spento in data 12 settembre, quindi prima della comparsa di tale fenomeno.

Dalle precedenti considerazioni risulta quindi evidente che un contenimento delle frequenti fioriture di cianobatteri nel bacino ovest richiede in primo luogo una riduzione degli apporti esterni di fosforo provenienti ancora da alcuni immissari.

## **ALLEGATI TECNICI**

# ANNONE OVEST

14/03/24 =====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	solfori mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri											
0,0	11,2	10,4	97	8,0	347						34
1,0											
2,0											
3,0	9,7	10,7	96	8,1	345						33
4,0											
5,0	9,5	10,1	91	8,0	343						31
6,0											
7,0	9,3	9,7	86	8,0	343						32
8,0											
9,3	9,1	9,0	79	7,9	345						31
Disco di Secchi: 4,1 m											

12/04/24 =====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	solfori mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri											
0,0	14,1	10,3	101	8,1	347						31
1,0											
2,0											
3,0	13,2	10,1	97	8,1	349						37
4,0											
5,0	12,9	9,5	90	8,0	348						37
6,0											
7,0	12,8	9,1	87	8,0	348						50
8,0											
9,0	12,7	8,1	77	7,9	348						58
Disco di Secchi: 3,4 m											

08/05/24 =====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	solfori mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri											
0,0	17,4	9,0	96	8,0	348						29
1,0											
2,0											
3,0	16,4	8,8	92	8,0	349						33
4,0											
5,0	16,0	7,9	81	7,9	350						33
6,0											
7,0	14,9	5,1	51	7,7	353						39
8,0											
9,1	14,4	2,0	20	7,5	358			0,00	0,32	0,52	66
Disco di Secchi: 5,5 m											

# ANNONE OVEST

04/06/24												
Metri	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	zolfo mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
0,0	21,1	9,3	107	8,1	340		11			0,17	19	32
1,0												
2,0												
3,0	19,4	7,7	86	7,9	341		11			0,19	18	35
4,0												
5,0	19,2	6,5	72	7,8	343		13			0,24	18	30
6,0												
7,0	19,1	6,6	73	7,8	343		14	0,00	0,00	0,25	19	34
8,0												
9,0	19,0	5,8	64	7,7	343		15	0,00	0,04	0,28	20	34

Disco di Secchi: 2,9 m

20/06/24												
Metri	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	zolfo mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
0,0	24,3	10,3	125	8,4	339							43
1,0												
2,0												
3,0	22,6	7,5	89	8,0	344							33
4,0												
5,0	21,9	5,7	66	7,8	347							33
6,0												
7,0	21,7	4,1	48	7,7	347				0,04			34
8,0												
9,3	20,9	0,9	10	7,5	366		50	0,00	0,39	0,57		102

Disco di Secchi: 3,0 m

04/07/24												
Metri	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	zolfo mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
0,0	25,2	13,6	169	8,5	324		8			0,08	13	33
1,0												
2,0												
3,0	24,1	10,2	125	8,3	343		12			0,1	13	60
4,0												
5,0	23,7	6,9	84	7,9	351		12			0,08	13	64
6,0												
7,0	23,3	4,1	49	7,6	357		13	0,00		0,14	11	37
8,0												
9,2	22,6	1,0	12	7,4	364	297	15	0,00	0,17	0,31	11	59

Disco di Secchi: 3,0 m

16/07/24												
Metri	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	zolfo mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
0,0	27,0	12,3	158	8,4	312							88
1,0												
2,0												
3,0	25,1	7,8	97	7,9	332							64
4,0												
5,0	24,9	6,6	82	7,8	334							54
6,0												
7,0	24,8	5,6	69	7,7	336							43
8,0												
9,4	24,4	1,7	21	7,4	347		53	0,00	0,25	0,28		101

Disco di Secchi: 1,1 m

# ANNONE OVEST

24/07/24												
=====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	solfori mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri												
0,0	27,9	12,0	156	8,5	298		18			0,09	<2	84
1,0												
2,0												
3,0	26,5	7,0	88	7,9	315		19			0,07	<2	71
4,0												
5,0	26,3	4,9	62	7,6	319		23			0,05	<2	63
6,0												
7,0	26,1	4,8	60	7,6	320		23		0,14	0,12	<2	62
8,0												
9,6	25,5	0,9	11	7,3	343	+401	68	0,00	0,32	0,30	2	113

Disco di Secchi: 1,1 m

06/08/24												
=====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	solfori mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri												
0,0	28,8	10,2	135	8,2	299		27			0,05	3	95
1,0												
2,0												
3,0	28,1	4,9	64	7,5	314		27			0,1	3	90
4,0												
5,0	27,8	2,6	34	7,4	318		33			0,17	4	84
6,0												
7,0	27,6	2,0	26	7,3	322	367	36	0,00	0,08	0,20	4	86
8,0												
9,3	26,3	0,0	0	7,3	348	27	91	0,01	0,55	0,86	4	239

Disco di Secchi: 1,0 m

13/08/24												
=====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	solfori mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri												
0,0	28,9	9,4	125	8,2	294							81
1,0												
2,0												
3,0	28,6	5,4	71	7,6	302							95
4,0												
5,0	28,4	4,3	57	7,5	305							89
6,0												
7,0	28,2	1,7	22	7,3	313	327	28	0,00	0,14	0,26		87
8,0												
9,5	27,0	0,0	0	7,2	336	27	130	0,01	0,95	1,15		296

Disco di Secchi: 1,0 m

27/08/24												
=====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	solfori mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri												
0,0	26,4	7,5	94	8,0	293		12			0,05	3	75
1,0												
2,0												
3,0	26,3	7,4	94	8,0	293		12			0,04	3	80
4,0												
5,0	26,3	7,1	90	8,0	294		12			0,04	3	79
6,0												
7,0	26,3	6,8	86	7,9	295		13	0,00	0,15	0,04	3	87
8,0												
9,4	26,3	6,0	76	7,7	296		15	0,00	0,27	0,04	3	121

Disco di Secchi: 1,0 m

# ANNONE OVEST

03/09/24												
=====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	zolfuri mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri												
0,0	26,5	7,4	95	8,0	297		14			0,04	<1	83
1,0												
2,0												
3,0	26,2	6,8	86	8,0	298		8			0,05	<1	83
4,0												
5,0	26,2	6,7	84	8,0	299		7			0,07	1	89
6,0												
7,0	26,2	6,5	82	7,9	299		12	0,00	0,16	0,07	1	88
8,0												
9,4	26,2	5,8	73	7,8	301		24	0,00	0,16	0,19	2	107

Disco di Secchi: 0,9 m

giovedì 12/9 è stato spento il compressore

16/09/24												
=====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	zolfuri mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri												
0,0	20,7	10,3	118	8,4	289							90
1,0												
2,0												
3,0	20,4	8,4	95	8,3	290							84
4,0												
5,0	20,4	7,9	90	8,2	291							75
6,0												
7,0	20,4	6,8	77	8,1	292		21	0,00	0,06			71
8,0												
9,2	20,3	5,7	65	7,9	294		26	0,00	0,12			86

Disco di Secchi: 1,0 m

25/09/24												
=====	Temp. C°	O <sub>2</sub> mg/l	satur. %	pH	Cond. uS/cm25°	Eh	P-PO <sub>4</sub> µg/l	zolfuri mg/l	Fe mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	P tot µg/l
Metri												
0,0	19,2	7,8	87	8,2	285		13			0,13	8	91
1,0												
2,0												
3,0	19,2	7,7	85	8,2	285		11			0,12	8	93
4,0												
5,0	19,2	7,7	85	8,2	285		10			0,12	7	89
6,0												
7,0	19,2	7,7	85	8,2	285		10	0,00		0,13	7	92
8,0												
9,3	19,1	6,9	77	8,1	287		14	0,00	0,09	0,17	7	92

Disco di Secchi: 1,0 m