

Progetto Interreg “PARCHIVERBANOTICINO”

Variazioni dei livelli del Lago Maggiore: valutazione degli effetti ambientali sul lago e sul Fiume Ticino sublacuale.

Sintesi in chiave gestionale



A cura di:

Elisa Cardarelli, Zeno Porro, Daniele Pellitteri-Rosa – Dipartimento di Scienze della Terra e dell’Ambiente, Università degli Studi di Pavia

Indice

Premessa	4
1. Introduzione	5
1.1. Contesto	5
1.2. Il progetto Interreg “PARCHIVERBANOTICINO”	5
1.3 Organizzazione del documento	7
2. WP3 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli attraverso indicatori disponibili	9
2.1 La regolazione dei livelli del Lago Maggiore	9
2.1.1. Regime idrologico naturale	9
2.1.2. Livelli di massima regolazione	10
2.1.3. Riserva idrica	11
2.1.4 Il Deflusso Minimo Vitale del Fiume Ticino	12
2.1.5 I lavori sullo sbarramento della Miorina	12
2.2 Andamento idrometrico del Lago Maggiore nel periodo di progetto 2019-2022	13
2.2.1. Anno 2019	13
2.2.2. Anno 2020	14
2.2.3. Anno 2021	15
2.2.4. Anno 2022	16
2.3 Analisi comparativa del periodo di progetto 2019-2022 con i valori medi del periodo 1943-2018	18
2.3.1 Afflussi a lago, portate erogate e derivate	18
2.3.2 Livelli idrometrici	20
2.4 Analisi comparativa nel periodo 1868-2022	21
Criterio A - Condizioni dell'ecosistema nel complesso	24
Criterio B - Erosione del canneto lacustre	26
Criterio C - Riproduzione Ciprinidi e Luccio	28
Criterio D - Nidificazione avifauna	32
Criterio E - Emersione dei litorali	38
Criterio F - Riproduzione Alborella	44
Criterio H - Trattamenti certi	48
3. WP4 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli sul sistema lago attraverso nuovi indicatori	51
Criterio I - Stato di salute del canneto	52
Criterio L - Allagamento del canneto	58
Criterio M - Stato degli habitat di interesse comunitario 3150 (habitat acquatico e vegetazione macrofitica) e 91EO (foreste palustri)	65
Criterio N - Biocenosi di macrofauna e meiofauna	70
Criterio O - Biocenosi di bivalvi	78
Criterio P - Funzionalità ecologica dell'area palustre come sito di sosta migratoria	82

Condizioni di riferimento extra-bacino (EB) – Il Lago di Mezzola	88
4. WP5 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli attraverso indicatori disponibili	95
4.1 Il fiume Ticino e il Lago Maggiore	95
4.2 Deflusso Minimo Vitale (DMV)	96
4.3 Regime fluviale e relazione con la regolazione degli sbarramenti	97
4.4 Variazioni temporali della portata e relazione con la regolazione dei livelli del Lago Maggiore	97
4.5 Altri fattori influenzanti il sistema fiume	99
Criterio Q – Comunità di macroinvertebrati bentonici nei periodi di magra	100
Criterio R – Bivalvi autoctoni	106
Criterio S – Disponibilità di habitat per ittiofauna e macroinvertebrati	108
5. Conclusioni	112

Premessa

Il progetto Interreg “PARCHIVERBANOTICINO” ha l’obiettivo di migliorare la gestione della risorsa idrica nel sistema Verbano/Ticino, in particolare in ottica ambientale, tramite la valutazione degli effetti sugli ecosistemi naturali della regolazione dei livelli del Lago Maggiore. Per il raggiungimento di questo obiettivo il progetto è stato articolato in 7 *Work Packages* (WP) (per una contestualizzazione del progetto si rimanda al paragrafo 1.2 *Il progetto Interreg “PARCHIVERBANOTICINO”* del presente documento).

In particolare, il WP7 - *Supporto alla governance*, in cui rientra il presente documento, si prefigge la valorizzazione delle informazioni raccolte nell’ambito dei precedenti WP 3, 4 e 5 e il loro utilizzo per fornire indirizzi che siano di supporto alla *governance* ambientale nell’area di interesse. Le attività del WP7 sono state svolte mediante un confronto costante e congiunto con il capofila italiano, il capofila svizzero e il Parco Lombardo della Valle del Ticino che, rappresentando gli enti preposti alla *governance* ambientale dell’area di interesse, possiedono conoscenze significative, anche complementari, e una visione d’insieme delle varie componenti che sono state oggetto di indagine dei WP 3, 4 e 5.

I prodotti del WP7 sono costituiti da due documenti: il primo è il presente rapporto di sintesi critica dei risultati dei WP 3, 4 e 5 al fine di individuare i migliori indicatori degli effetti ambientali della regolazione dei livelli del Lago Maggiore, mentre il secondo è rappresentato da una sintesi delle principali evidenze di questi effetti (*WP7.1 - Elementi per la definizione di linee guida per la governance ambientale dei livelli del Lago Maggiore*), con l’obiettivo di fornire elementi utili per la definizione di indirizzi gestionali dei livelli del lago attenti alle esigenze degli ecosistemi naturali che si sviluppano sia lungo le sponde del lago, sia a valle, lungo il Fiume Ticino.

Questo primo documento analizza quindi i risultati delle indagini svolte nel sistema lago (WP3, WP4) e nel sistema fiume (WP5), mettendo in evidenza quali tra gli ambienti e i *taxa* campionati abbiano mostrato effetti correlabili con la regolazione dei livelli del lago, in particolare i massimi livelli, e abbiano quindi le potenzialità per essere sviluppati in indicatori da applicare in maniera sistematica ed efficace per le valutazioni, sia sul breve sia sul lungo termine, della gestione del lago sugli ecosistemi lacustri e fluviali a valle. Le attività svolte nel WP7 contribuiscono quindi al raggiungimento di due dei risultati attesi del progetto (i.e. la definizione di una strategia di gestione sostenibile della risorsa idrica e il miglioramento della gestione delle aree naturali) e risponde ai bisogni del programma nell’ambito dell’Obiettivo Specifico 2.1 (Aumento delle strategie comuni per la gestione sostenibile della risorsa idrica).

1. Introduzione

1.1 Contesto

Il Lago Maggiore e il Fiume Ticino sono corpi idrici condivisi tra Italia e Svizzera, di rilevante interesse ambientale ed economico. In particolare, la presenza di numerose aree protette sia sulle sponde del lago che lungo l'asta fluviale ne fanno un serbatoio di biodiversità vegetale e animale e di mantenimento di ecosistemi e processi ecologici fondamentali da preservare. Il Lago Maggiore e il Fiume Ticino costituiscono anche un'importante risorsa idrica per l'acqua potabile, l'irrigazione (da cui dipendono circa 170.000 ha di aree agricole a valle del lago) e la produzione di energia idroelettrica (per circa 500 GWh/anno a pieno regime, a valle del lago), oltre a esercitare una forte attrazione turistica, catalizzando su di sé anche rilevanti interessi di tipo economico. Questi interessi generano conflitti d'uso che riguardano sia la regolazione dei livelli del lago, effettuata per mezzo dello sbarramento mobile della Miorina a partire dal 1943, sia le portate del Ticino emissario e del Po (del quale il Ticino è il principale affluente). La regolazione dei deflussi dal lago, se gestita nell'ottica dell'ottimizzazione della risorsa idrica per gli usi irrigui a valle (quindi in territorio italiano), può beneficiare di un aumento dei livelli del lago nel periodo primaverile/estivo; al contrario la fruizione turistica sulle rive del lago (sia in territorio svizzero che italiano), può beneficiare di livelli più bassi proprio nel periodo estivo; nell'ottica infine, della tutela degli ambienti naturali, può potenzialmente incidere sugli ecosistemi qualsiasi alterazione del naturale regime idrologico.

La complessità del tema della gestione di questi corpi idrici è aumentata anche: (1) dal carattere transfrontaliero degli stessi e delle priorità in essere a livello territoriale, rendendo necessaria una visione condivisa della gestione di queste risorse; (2) dai cambiamenti climatici in atto, che portano a sempre più frequenti periodi di siccità prolungata, rendendo prioritario un corretto utilizzo antropico della risorsa idrica che eviti sprechi e sovrasfruttamenti.

1.2 Il progetto Interreg "PARCHIVERBANOTICINO"

Il progetto Interreg "PARCHIVERBANOTICINO" è stato finanziato all'interno del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia Svizzera - 2017, con l'obiettivo di migliorare la gestione della risorsa idrica nel sistema Verbano/Ticino, tramite la valutazione degli effetti ambientali della regolazione dei livelli del Lago Maggiore. Obiettivo è anche quello di predisporre uno schema di gestione sostenibile ed esportabile a contesti analoghi, e che riduca i conflitti tra i portatori di interesse, dei livelli delle acque del lago e delle portate del Fiume Ticino. Questo schema deve essere condiviso tra Italia e Svizzera, ma anche tra i gestori delle aree protette e quelli della risorsa idrica.

A questo scopo, il progetto prevede un ampio partenariato che vede coinvolti i gestori delle aree protette lungo le sponde del lago e del fiume (Ente di gestione delle aree protette del Ticino e del Lago Maggiore - Capofila italiano-, Fondazione Bolle di Magadino - Capofila svizzero, Parco lombardo della Valle del Ticino, Riserva Naturale Pian di Spagna e Lago di Mezzola), il consorzio regolatore dei livelli del lago (Consorzio del Ticino) e due centri di ricerca del territorio (Università degli Studi dell'Insubria e Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca Sulle Acque).

Il progetto si appoggia alle conoscenze derivanti da progetti pregressi attuati nell'area di interesse e, in particolare, alle risultanze dei progetti: "Progetto Interreg IV - STRADA 2.0 - Strategie di adattamento

ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero”, “Progetto di sperimentazione del Deflusso Minimo Vitale sul Fiume Ticino e di verifica degli effetti ecologici prodotti” e “Sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore”. In questi progetti mancava però, da un lato, il coinvolgimento diretto di attori fondamentali nella gestione (es. Consorzio del Ticino), dall’altro, l’aspetto della cooperazione transfrontaliera, aspetti invece fondanti dell’attuale progetto.

Il progetto è articolato in 7 *Work Package* (WP):

WP1 – *Coordinamento e gestione*: questo WP ha l’obiettivo di garantire il raggiungimento dei risultati attesi dal progetto ed una buona *performance* di spesa mediante creazione dell’organigramma di progetto, scambio informativo interno al partenariato, elaborazione dei rapporti di esecuzione e monitoraggio sulle attività, rendicontazione economica;

WP2 – *Comunicazione*: questo WP ha l’obiettivo di sensibilizzare la cittadinanza e le amministrazioni nei confronti del tema della gestione sostenibile delle risorse idriche e della tutela degli ambienti acquatici mediante: la redazione di un piano di comunicazione; l’organizzazione di attività divulgative dedicate ai ragazzi, di eventi aperti alla cittadinanza e di giornate formative rivolte al personale tecnico-amministrativo che si occupa di tematiche ambientali e gestionali nell’area di progetto; la produzione di materiale informativo cartaceo e di un documentario; la creazione di un sito web di progetto;

WP3 – *Valutazione degli effetti della variazione dei livelli attraverso indicatori disponibili*: questo WP ha l’obiettivo di effettuare una selezione critica, di applicare e, laddove necessario, di perfezionare una serie di indicatori degli effetti ambientali della regolazione dei livelli del Lago Maggiore, già proposti in studi pregressi, e in particolare nel progetto STRADA 2.0, mediante: la raccolta di dati idrologici; l’applicazione di indicatori selezionati dai risultati del progetto STRADA 2.0; la verifica dell’efficacia degli stessi indicatori e l’eventuale perfezionamento delle modalità del loro utilizzo;

WP4 – *Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli sul sistema lago attraverso nuovi indicatori*: questo WP ha l’obiettivo di selezionare nuovi indicatori ecologici per la valutazione dello schema di gestione dei livelli del lago, durante il periodo di gestione ordinaria dello sbarramento della Miorina mediante: la raccolta e la riorganizzazione delle informazioni già disponibili in termini di patrimonio conoscitivo dei soggetti proponenti e di letteratura scientifica, relative all’oggetto dell’attività; lo studio su diverse componenti biologiche degli effetti del sistema di gestione dei livelli sulle biocenosi litorali del Lago Maggiore; lo studio del Lago di Mezzola come sistema di riferimento non regolato ed esterno da utilizzare per valutare comparativamente il grado di alterazione ecologica dovuta alla gestione dei livelli nel Lago Maggiore;

WP5 – *Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli sul sistema fiume attraverso nuovi indicatori*: questo WP ha l’obiettivo di selezionare degli indicatori per la valutazione della sostenibilità ecologica per il Fiume Ticino dello schema di gestione dei rilasci in essere di acqua dallo sbarramento della Miorina e di sue possibili variazioni mediante: l’installazione di sonde fisse per la misura di parametri fisici delle acque; lo studio degli effetti ecologici della gestione dei rilasci sui macroinvertebrati bentonici, su specie ittiche e sull’habitat acquatico del fiume;

WP6 – *Progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione ambientale*: questo WP ha l’obiettivo di realizzare interventi di riqualificazione ambientale di ambienti periacquatici di particolare pregio posti all’interno di tre riserve naturali (“Fondo Toce”, “Canneti di Dormelletto” e “Bolle di Magadino”), sottoposti alle minacce di interrimento/riduzione dei canneti e diffusione di specie vegetali

alloctone invasive, mediante: la progettazione e direzione ai lavori; la realizzazione di interventi di sfalcio dei canneti, contenimento di specie vegetali alloctone, ripristino della continuità dei canneti; il monitoraggio dell'efficacia degli interventi; la stesura di un documento di buone prassi per la gestione della vegetazione delle zone umide del lago Maggiore e più in generale dell'area EUSALP;

WP7 - Supporto alla governance: questo WP ha l'obiettivo di valorizzare le informazioni raccolte nell'ambito dei precedenti WP3, 4, 5 e 6 e il loro utilizzo per proporre linee guida che siano di supporto alla *governance* ambientale nell'area di interesse, mediante: la realizzazione di una sintesi dei risultati dei precedenti WP (in particolare WP3, 4 e 5) che metta in luce i migliori indicatori degli effetti ambientali della gestione e il loro possibile uso ai fini della definizione di regole per la gestione dei livelli del lago; la definizione di indirizzi gestionali per la *governance* ambientale, sulla base dei risultati della sintesi.

1.3 Organizzazione del documento

Il documento è organizzato in tre sezioni principali, dedicate ai tre WP che si sono occupati specificatamente, all'interno dell'Interreg "PARCHIVERBANOTICINO", di studiare gli effetti della variazione dei livelli di regolazione del Lago Maggiore, e in particolare dei massimi livelli nel periodo 15 marzo-15 settembre, sulle componenti biologiche dei sistemi lago e fiume.

Per ogni componente analizzata, è stata redatta una scheda che riporta le seguenti informazioni:

- **Fonte:** report dei partner/professionisti incaricati dell'indagine da cui sono tratte le informazioni.
- **Contesto:** breve descrizione delle caratteristiche biologiche e dei potenziali effetti delle variazioni dei livelli del lago sulla componente.
- **Descrizione:** descrizione della problematica connessa alla componente, se presente.
- **Indicatore:** definizione dell'indicatore, quando appartenente al WP3 che analizza gli indicatori proposti nel progetto *STRADA 2.0*.
- **Elaborazione:** campo di elaborazione, e quindi se proveniente dal progetto *STRADA 2.0* oppure nuovo indicatore.
- **Obiettivo:** scopi specifici e generali dell'indagine svolta.
- **Siti di monitoraggio:** principali aree di campionamento.
- **Metodologia:** principali tecniche di campionamento e analisi dei dati adottate.
- **Risultati:** principali risultati scientifici.
- **Conclusioni:** principali evidenze messe in risalto dallo studio, soprattutto in relazione agli effetti dei livelli di massima regolazione del lago.
- **Efficacia:** efficacia dell'indicatore, in particolare in relazione agli effetti dei livelli di massima regolazione del lago, sia sulla base delle conclusioni dell'autore dello studio sia sulla base delle valutazioni dell'ente esterno incaricato.
- **Osservazioni:** eventuali osservazioni e spunti dell'ente esterno incaricato di redigere la sintesi, sulla componente trattata.

Il documento è stato redatto rendendo le informazioni contenute nei report "leggibili" anche da un pubblico non esperto, ma mantenendo, in alcune sezioni (i.e. Siti di monitoraggio, Metodologia,

Risultati), carattere di scientificità. Tenere traccia dei siti di campionamento, delle metodologie adottate e dei principali risultati tecnico-scientifici, è sembrato rilevante come base di partenza per la replicabilità degli studi e per un loro eventuale sviluppo al fine di elaborare in maniera definitiva gli indicatori ritenuti più idonei.

Le conclusioni degli studi e l'efficacia della componente biologica indagata nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago sono riportati in maniera non tecnica e sintetica alla fine di ogni scheda (i.e. Conclusioni, Efficacia).

Considerata la complessità e l'interconnessione degli argomenti trattati, il processo di sintesi e valutazione dell'efficacia degli indicatori è stato portato avanti mediante un confronto costante e congiunto con il capofila italiano, il capofila svizzero e il Parco Lombardo della Valle del Ticino che, rappresentando gli enti preposti alla *governance* ambientale dell'area di interesse, possiedono conoscenze significative, anche complementari, e una visione d'insieme delle varie componenti che sono state oggetto di indagine dei WP 3, 4 e 5, ma anche interloquendo con i professionisti incaricati degli studi, che gentilmente hanno messo a disposizione le loro competenze per fornire approfondimenti e valutazioni supplementari.

Nella sintesi e nella valutazione dell'efficacia degli indicatori si è tenuto conto anche dei risultati di studi pregressi, in particolare le ricerche condotte all'interno della Riserva delle Bolle di Magadino sulle sponde svizzere del Lago Maggiore, allo studio "*Sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore*" e ai dati messi a disposizione dai capofila italiano e svizzero nel documento "*Sistema Lago: contestualizzazione, problematica e indicatori*", così come volontà del progetto stesso. In fase di proposta infatti, è stato sottolineato come per i diversi WP ci fosse la possibilità di appoggiarsi ad una considerevole mole di dati pregressa raccolta in particolare dagli enti gestori delle aree protette coinvolti nell'Interreg.

2. WP3 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli attraverso indicatori disponibili

Scopo di questo WP è stata la selezione critica, l'applicazione e, laddove necessario, il perfezionamento di indicatori degli effetti ambientali della regolazione dei livelli del Lago Maggiore, tra quelli già proposti negli studi pregressi, e in particolare nel progetto STRADA 2.0. Alcuni indicatori individuati dai precedenti progetti infatti, non erano stati applicati in territorio italiano o necessitavano di essere ulteriormente validati, ponendo particolare attenzione alla loro efficacia in periodo primaverile ed estivo, quando sono più elevati i conflitti d'uso; in questo periodo infatti, sono massime le portate in ingresso al lago, la richiesta idrica a valle (poiché all'utilizzo idroelettrico si aggiungono i massimi utilizzi irrigui) e la fruizione turistica sulle rive del lago.

Prima di affrontare i singoli indicatori e la loro efficacia, appare necessario effettuare una contestualizzazione, affrontando alcuni aspetti della regolazione del Lago Maggiore e gli andamenti idrometrici del lago durante il periodo di progetto (2019-2022), propedeutici all'interpretazione dei risultati di questo WP e dei successivi.

2.1 La regolazione dei livelli del Lago Maggiore

La regolazione dei livelli del Lago Maggiore è effettuata attraverso lo sbarramento mobile della Miorina, in comune di Golasecca (VA, Italia), attiva ufficialmente dal 1° gennaio 1943. La gestione dello sbarramento è affidata al Consorzio del Ticino (Ente Pubblico non Economico ai sensi della Legge 70/1975 istituito per la costruzione, manutenzione ed esercizio dell'opera regolatrice del lago Maggiore), che opera secondo precisi vincoli di sicurezza del territorio, nel rispetto dei limiti di massima e minima regolazione contenuti nell'atto di Concessione, in base alle esigenze degli utenti di valle, che includono principalmente esigenze idriche di tipo agricolo e industriale, ma anche a tutela del Deflusso Minimo Vitale (DMV) del Fiume Ticino (si veda paragrafo *2.1.4 Il Deflusso Minimo Vitale del Fiume Ticino*).

2.1.1 Regime idrologico naturale

Il regime naturale dei livelli del Lago Maggiore, riferimento "storico" presente prima della costruzione della diga della Miorina fino ad 80 anni fa, documentato dalle misurazioni risalenti al periodo precedente la costruzione dello sbarramento della Miorina (1868-1943), si esprime attraverso una doppia ciclicità annuale con dei picchi massimi nel mese di giugno e ottobre e dei livelli bassi in inverno e a fine estate (Fig. 8-9). Tale doppia ciclicità è riconducibile al tipo di regime idrologico dei principali affluenti (fiumi Ticino, Maggia, Toce, Tresa), di tipo pluvio-nivale meridionale o pluviale meridionale secondo la classificazione dei 16 tipi di regime idrologici proposta dall'Università di Berna per i corsi d'acqua svizzeri, o di tipo ad alimentazione mista pluvio-nivale, *sensu* Pardè. Il regime delle precipitazioni nevose, unitamente a quello delle precipitazioni, costituisce quindi un parametro fondamentale nel regime di alimentazione del Lago Maggiore. L'apporto idrico da parte dei ghiacciai è invece scarso, poiché questi coprono solamente una superficie compresa fra lo 0.2 e lo 0.4% dei bacini idrografici di Ticino, Maggia e Toce e sono assenti nel bacino del Fiume Tresa.

Un riferimento al regime idrologico naturale del Lago Maggiore permette, nell'ambito di questo documento che ha finalità di linee guida in ottica ambientale, di inquadrare e di meglio comprendere il contesto in cui si sono evoluti gli ecosistemi e i processi ecologici attivi lungo le sponde del lago, pur tenendo a mente che la presenza dello sbarramento della Miorina implica delle modifiche al suddetto regime pre-diga.

2.1.2 Livelli di massima regolazione

Lo zero idrometrico del Lago Maggiore è fissato a livello dello sbarramento stesso ed è pari a 193,01 m s.l.m. (quota italiana) e 192,66 m s.l.m. (quota svizzera). I limiti storici di massima regolazione del Lago, in essere dall'attivazione ufficiale della diga nel 1943 al 2006, sono legati al Disciplinare di Regolazione allegato alla Concessione n. 3680 del 24 gennaio 1940 e sono pari a +1,5 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende per il periodo compreso tra il 16 novembre e il 14 marzo e a +1,0 m per il periodo compreso tra il 15 marzo e il 15 novembre (Tab. 1).

Nel 2007, il livello estivo del Lago Maggiore, è stato per la prima volta mantenuto a una quota superiore a +1.00 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende: in occasione dell'emergenza idrica del 2007 la Presidenza del Consiglio dei Ministri italiana ha autorizzato il Consorzio del Ticino a derogare al limite massimo ordinario di regolazione il 30 maggio 2007. L'autorizzazione è stata prorogata fino al 30 giugno 2008, con un decreto del 28 dicembre 2007, e successivamente prorogata ancora il 30 giugno 2008. In anni più recenti, anche nel corso delle stagioni estive 2012 e 2013 sono stati registrati livelli superiori al limite massimo definito dal Disciplinare di Regolazione del 24 gennaio 1940 (Fonte: *"Sistema Lago: contestualizzazione, problematica e indicatori"* che cita un estratto della *"Nota all'indirizzo dell'Autorità di bacino del Po, tavolo tecnico per la regolazione del Lago Maggiore - Osservazioni sul primo triennio di sperimentazione, Dipartimento del Territorio, Ufficio Corsi d'acqua, m UCA, 5.12.2017"*).

Con Deliberazione n. 1/2015 del 12 maggio 2015, l'Autorità di Bacino del Fiume Po ha approvato l'avvio della sperimentazione, a fasi intermedie, dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore nel periodo estivo (dal 15 marzo al 15 settembre) con incremento da +1,00 m a +1,50 m (pari +194,51 m s.l.m. quota italiana e +194,16 m s.l.m. quota svizzera) sullo zero idrometrico di Sesto Calende (Tab. 1). Con Deliberazione n. 7/2017 del 14 dicembre 2017, l'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po ha modificato la Deliberazione n. 1/2015 fissando il livello di massima regolazione estiva (15 marzo - 15 settembre) in +1,25 m (pari +194,26 m s.l.m. quota italiana e +193,91 m s.l.m. quota svizzera) sullo zero idrometrico di Sesto Calende, con la possibilità di innalzarlo fino a +1,35 m in caso di crisi idrica severa e prolungata. All'inizio del 2022 è stato avviato una seconda sperimentazione della durata di 5 anni, che terminerà nel 2026.

Nel 2021 e nel 2022, per ragioni di sicurezza durante i lavori di manutenzione straordinaria dello sbarramento della Miorina, è stato richiesto al Consorzio del Ticino di ridurre il livello di massima regolazione nel periodo compreso tra il 21 agosto e il 31 dicembre.

Tabella 1. Limiti di massima regolazione del Lago Maggiore adottati nel periodo 1943-2022 (*Fonte: Relazione Attività WP3_01_Barengli*).

PERIODO	LIMITI STORICI	LIMITI PERIODO DI SPERIMENTAZIONE [2015-2020]	LIMITI PERIODO CANTIERE MIORINA [2021 e 2022]
1 gennaio → 15 marzo	+150 cm	+150 cm	+150 cm
15 marzo → 20 agosto	+100 cm	+125 / +135 cm	+125 cm
21 agosto → 15 settembre	+100 cm	+125 / +135 cm	+100 cm
16 settembre → 15 novembre	+100 cm	+100 cm	+50 cm
16 novembre → 31 dicembre	+150 cm	+150 cm	+50 cm

2.1.3 Riserva idrica

La presenza dello sbarramento della Miorina consente di immagazzinare temporaneamente acqua nel lago, con un volume direttamente correlato al livello idrometrico del lago stesso. Il massimo volume stoccabile nel lago è quindi, a sua volta, direttamente correlato al livello di massima regolazione, oltre il quale il gestore dello sbarramento non ha più la facoltà di trattenere acqua nel lago.

In Tab. 2 sono riportati i volumi idrici che possono essere stoccati nel Lago Maggiore in funzione dei livelli idrometrici corrispondenti ai limiti di massima regolazione vigenti o passati. Questi volumi sono calcolati rispetto alla quota di minima regolazione del lago, pari a -50 cm rispetto allo zero idrometrico di Sesto Calende, a cui corrisponde un volume utile di invaso pari a zero.

L'incremento di volume immagazzinabile nel lago grazie alla sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del lago è pari a 57 milioni di m³ e a 80 milioni di m³, rispettivamente per un limite di massima regolazione di +1,25 m e +1,35 m.

Tabella 2. Massimo volume invasabile nel Lago Maggiore in funzione del limite di massima regolazione dello stesso (*Fonte: Relazione Attività WP3_01_Barengli*).

QUOTA MASSIMA REGOLAZIONE	VOLUMI CORRISPONDENTI [Mm ³]
+ 100 cm	332.3
+ 125 cm	389.1
+ 135 cm	412.0
+150 cm	446.5

2.1.4 Il Deflusso Minimo Vitale del Fiume Ticino

Nel periodo 2009-2015 è stata effettuata la sperimentazione per il Deflusso Minimo Vitale (DMV) da rilasciare nel Fiume Ticino, mediante la quale sono state definite le seguenti portate minime da rilasciare nei vari periodi dell'anno: 24 m³/s tra gennaio e maggio, 17 m³/s tra giugno e agosto e 31 m³/s tra settembre e dicembre. Sia per cercare di mimare le variazioni stagionali naturali delle portate, sia per soddisfare le necessità dei vari utilizzatori della risorsa idrica che hanno differenti esigenze nell'arco dell'anno, il DMV non è costante, ma varia, come sopra esposto, in determinati periodi. Il periodo estivo è quello caratterizzato dal DMV più basso a causa della minore disponibilità idrica stagionale e dell'incremento del fabbisogno idrico per l'irrigazione.

Questi valori sono stati definiti in modo tale da permettere il raggiungimento del buono stato ecologico del corso d'acqua ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque; di conseguenza, il DMV del Fiume Ticino corrisponde attualmente al suo Deflusso Ecologico (DE). Il concetto di DE ha recentemente sostituito quello di DMV (Regione Lombardia, 2023) permettendo il passaggio dal garantire una portata istantanea minima al garantire un regime idrologico per il raggiungimento degli obiettivi ambientali indicati dalla Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), così come definito dalla Direttiva Deflussi Ecologici (30/2017). L'attuazione del DE avviene principalmente attraverso l'applicazione di fattori correttivi al DMV, che costituiscono la componente ambientale del DE.

Il DMV (o DE) rappresenta la principale misura di mitigazione dell'alterazione idrologica dell'ecosistema fluviale legato alla creazione dello sbarramento della Miorina. La funzione del DMV è di evitare che nei periodi di minore disponibilità idrica, alcuni tratti di fiume rischiano di andare in asciutta completa o quasi e quindi, tra i suoi obiettivi, vi sono quelli di (a) garantire il corretto svolgimento del ciclo vitale degli organismi animali e vegetali che vivono all'interno del fiume o che necessitano della presenza di acqua; (b) consentire una diluizione delle sostanze inquinanti che finiscono nel fiume evitando il raggiungimento di concentrazioni tossiche; (c) preservare il fiume da un riscaldamento eccessivo in estate. Nonostante questo, è importante sottolineare come valori di portata superiori al DMV/DE apportino benefici all'ecosistema fiume nel suo complesso, permettendo il collegamento con gli habitat peri-fluviali e una dinamica idrologica più rispondente alle esigenze di conservazione anche sul lungo periodo.

2.1.5 I lavori sullo sbarramento della Miorina

Nel luglio 2021, allo sbarramento della Miorina sono iniziati dei lavori di manutenzione straordinaria per il ripristino della capacità d'invaso di ritenuta, che prevedevano la sostituzione delle portine delle due campate di sinistra durante l'inverno 2021-2022 e la sostituzione delle portine delle due campate di destra nell'inverno 2022-2023. I lavori sono stati conclusi nel marzo 2023, prima dell'inizio della stagione irrigua e delle morbide primaverili.

In presenza dei cantieri di cui sopra, e in particolar modo nel periodo autunnale, sono stati adottati dei limiti di massima regolazione cautelativi con lo scopo di compensare la perdita di capacità di scarico dello sbarramento dovuto alla chiusura temporanea di una o più campate. In Tab. 1 sono riportati i limiti di massima regolazione effettivamente adottati nel 2021 e nel 2022. I limiti di massima regolazione adottati negli ultimi due anni solari (2021 e 2022) del progetto Interreg, in particolare nei mesi autunnali, sono differenti da quelli negli anni 2019 e 2020, e conseguentemente anche gli andamenti delle grandezze idrometriche, analizzate nel successivo paragrafo.

2.2 Andamento idrometrico del Lago Maggiore nel periodo di progetto 2019-2022

Fonte: Relazione Attività WP3_01 - Raccolta ed elaborazione di dati idrologici – Ing, Beniamino Barenghi

Complessivamente, nel periodo di interesse del progetto Interreg “PARCHIVERBANOTICINO”, si è assistito ad un regime idrologico in linea con quelli degli anni passati, con abbondanti apporti d’acqua in primavera e in autunno e regime di magra nei mesi invernali ed estivi. Si sono verificati due eventi di piena, nel mese di ottobre sia nel 2019 sia nel 2020. Nel 2021, si è assistito ad un’estate particolarmente piovosa, ma senza eventi di piena, che ha consentito al Consorzio del Ticino di soddisfare a pieno le domande degli utenti irrigui per tutta la stagione estiva. Nel 2022, infine, si è assistito a quello che probabilmente è stato l’anno più siccitoso per il bacino del Lago Maggiore a partire dal 1943, quando è iniziata la regolazione del lago. Fino al 30 settembre, termine della stagione estiva, il livello del lago non ha mai superato il valore di + 50 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende; gli afflussi a lago sono stati intorno al 50% dell’afflusso medio storico e le portate derivate dagli utenti del Consorzio del Ticino sono state sempre inferiori alle loro competenze.

Di seguito viene riportato nel dettaglio, in forma descrittiva, l’andamento idrometrico del Lago Maggiore registrato dal Consorzio del Ticino e analizzato dall’Ing. Barenghi, nell’intervallo temporale di sviluppo del progetto Interreg “PARCHIVERBANOTICINO”.

2.2.1 Anno 2019

Nel complesso, l’anno è stato caratterizzato da una buona disponibilità della risorsa idrica (Fig. 1). Nel dettaglio:

- gennaio, febbraio e marzo hanno visto un afflusso ridotto, con progressivo abbassamento del lago;
- aprile e maggio hanno visto due eventi di morbida (senza il superamento di +200 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) che hanno permesso di ripristinare la massima riserva idrica del lago, che è rimasto completamente invasato fino al 9 luglio, garantendo la richiesta idrica degli utenti del Consorzio del Ticino e un rilascio sempre superiore al DMV nel Fiume Ticino;
- nel periodo estivo, grazie alle piogge di agosto, il lago non è sceso sotto lo zero idrometrico , garantendo il livello del lago e la richiesta idrica degli utenti;
- fino all’inizio di ottobre c’è stato un breve periodo di carenza idrica, con il minimo annuale (-16 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) nella prima metà di ottobre che ha costretto il Consorzio del Ticino a ridurre la portata d’acqua destinata agli utenti;
- **nella seconda metà dell’ottobre del 2019 si è assistito al primo dei due eventi di piena nell’arco temporale del progetto:** il lago ha raggiunto il livello massimo di +213 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende (nella notte del 23 ottobre) e si è mantenuto al di sopra del livello soglia di +200 cm per 3 giorni;
- nei restanti mesi sono seguiti due eventi di morbida (senza il superamento di +200 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende).

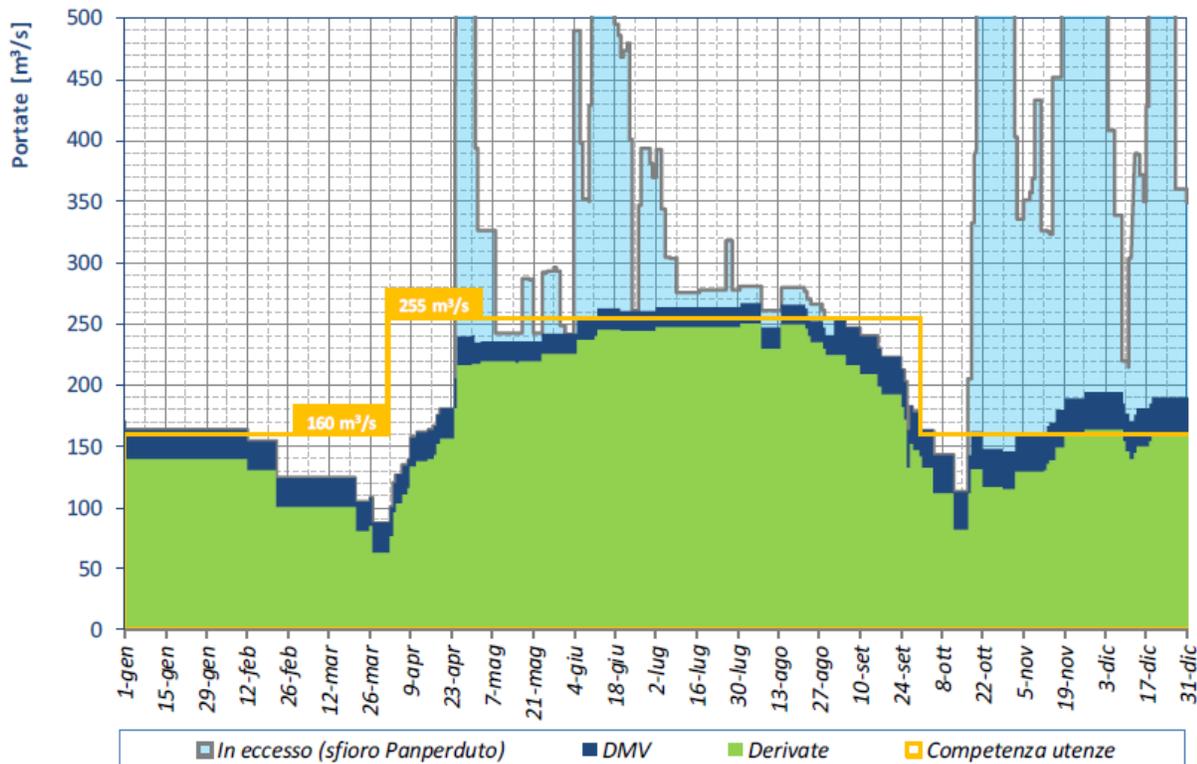


Fig. 1 Deflussi del Lago Maggiore (i.e. portate erogate dallo sbarramento della Miorina) suddivisi tra portate destinate agli utenti di valle del Consorzio del Ticino (in verde), deflusso minimo vitale (DMV) per il Fiume Ticino (in blu) e portate in eccesso scaricate nel fiume (in azzurro), nel corso del 2019. La linea arancione rappresenta la massima portata di competenza delle utenze a valle dello sbarramento, pari a 160 m³/s nella stagione invernale (ottobre - marzo) e a 255 m³/s nella stagione estiva (aprile - settembre). Il confronto tra il limite superiore dell'area verde e la linea arancione permette di valutare la differenza tra massima competenza delle utenze e portata effettivamente derivata (Fonte: *Relazione Attività WP3_01_Barengli*).

2.2.2 Anno 2020

Nel complesso, l'andamento delle grandezze idrometriche è stato molto simile alla maggior parte delle annate del decennio precedente (Fig. 2). Nel dettaglio:

- gennaio, febbraio, marzo, aprile hanno visto afflussi del lago tali da poter quasi sempre garantire agli utenti del Consorzio del Ticino la dotazione idrica richiesta;
- maggio e giugno hanno visto due eventi di morbida (senza il superamento di +200 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) che hanno permesso di ripristinare la riserva idrica accumulata nel lago e di erogare una portata superiore alla somma della domanda delle utenze e DMV;
- nel periodo estivo si è assistito a una progressiva riduzione dei livelli del lago, con portate ridotte soprattutto nel mese di agosto, penalizzando gli utenti del Consorzio;
- a fine agosto le piogge hanno consentito di ripristinare parte della riserva idrica del lago e di aumentare le portate destinate agli utenti;
- **a inizio ottobre si è verificato il secondo e ultimo evento di piena del lago durante il quadriennio**, quando il lago ha raggiunto il livello massimo di +267 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende (nella notte del 5 ottobre) e si è mantenuto al di sopra del livello soglia di +200 cm per

6 giorni. Per oltre un mese è stato quindi possibile rilasciare nel Fiume Ticino portate superiori alla somma tra domanda delle utenze di valle e DMV;

- a fine anno, il livello del lago è stato sempre mantenuto prossimo +100 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende ed è stato possibile destinare agli utenti del consorzio le portate di loro competenza.

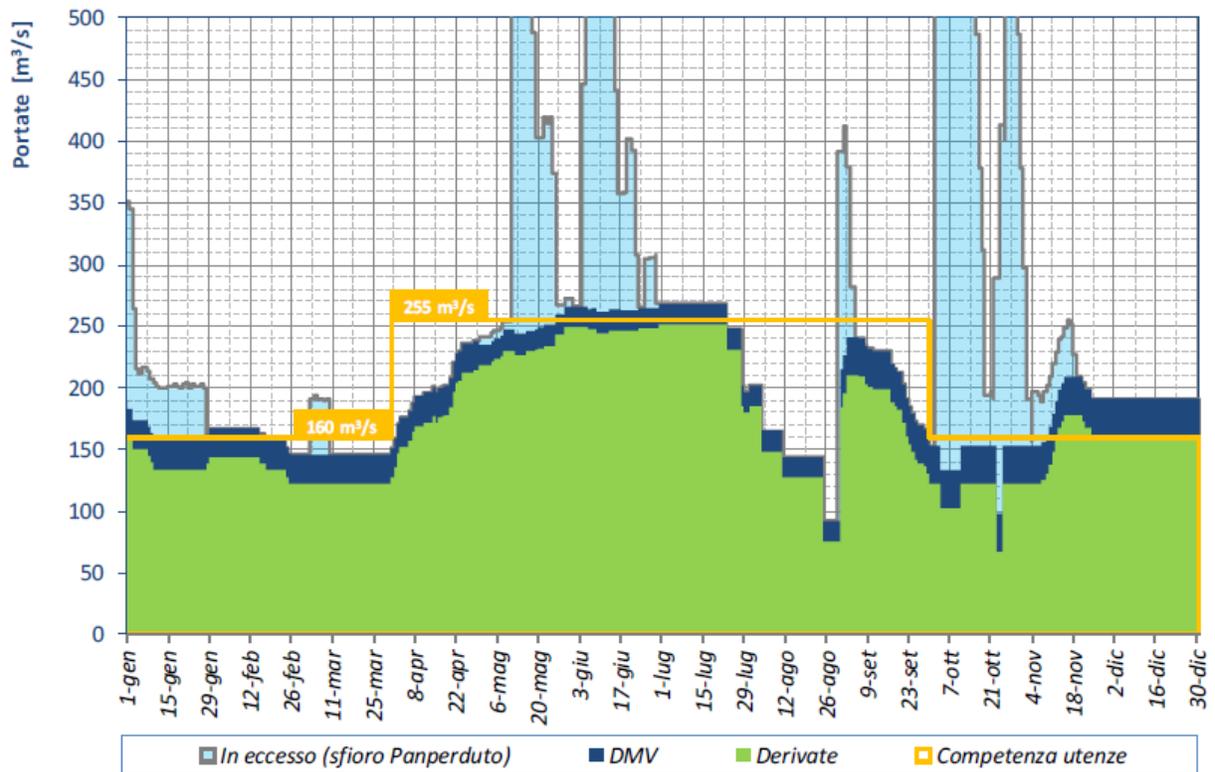


Fig. 2 Deflussi del Lago Maggiore (i.e. portate erogate dallo sbarramento della Miorina) suddivisi tra portate destinate agli utenti di valle del Consorzio del Ticino (in verde), deflusso minimo vitale (DMV) per il Fiume Ticino (in blu) e portate in eccesso scaricate nel fiume (in azzurro), nel corso del 2020. La linea arancione rappresenta la massima portata di competenza delle utenze a valle dello sbarramento, pari a 160 m³/s nella stagione invernale (ottobre - marzo) e a 255 m³/s nella stagione estiva (aprile - settembre). Il confronto tra il limite superiore dell'area verde e la linea arancione permette di valutare la differenza tra massima competenza delle utenze e portata effettivamente derivata (Fonte: *Relazione Attività WP3_01_Barengli*).

2.2.3 Anno 2021

Il 2021 è stato un anno particolare rispetto alle precedenti annate, in quanto caratterizzato da un'estate piovosa, quindi senza momenti di crisi idrica significativa (Fig. 3). Nel dettaglio:

- a gennaio, febbraio e marzo il lago non è mai sceso al di sotto di +80 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende pur mantenendosi sempre ad un livello ben al di sotto del limite di massima regolazione, garantendo agli utenti la dotazione idrica richiesta, senza intaccare la riserva accumulata nel lago;
- a fine aprile, a seguito dell'avvio della stagione irrigua, il lago ha raggiunto il livello minimo di tutto il 2021, quando è rimasto per un paio di giorni al di sotto dello zero idrometrico;

- a inizio maggio è stato possibile ripristinare un livello del lago prossimo al limite di massima regolazione estiva, che è stato di fatto mantenuto fino alla fine del mese di agosto. A metà luglio si è verificato l'unico evento di morbida dell'anno (+173 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende);
- settembre è stato caratterizzato dalla chiusura delle prime due campate dello sbarramento della Miorina per interventi di manutenzione straordinaria. Tra settembre e metà novembre, l'afflusso al lago è cresciuto in tre momenti, rendendo necessario aprire completamente le due campate di destra dello sbarramento, ma senza far registrare livelli del lago particolarmente alti;
- a partire dalla metà di novembre, gli afflussi a lago si sono progressivamente ridotti, ma sempre garantendo la dotazione idrica invernale agli utenti.

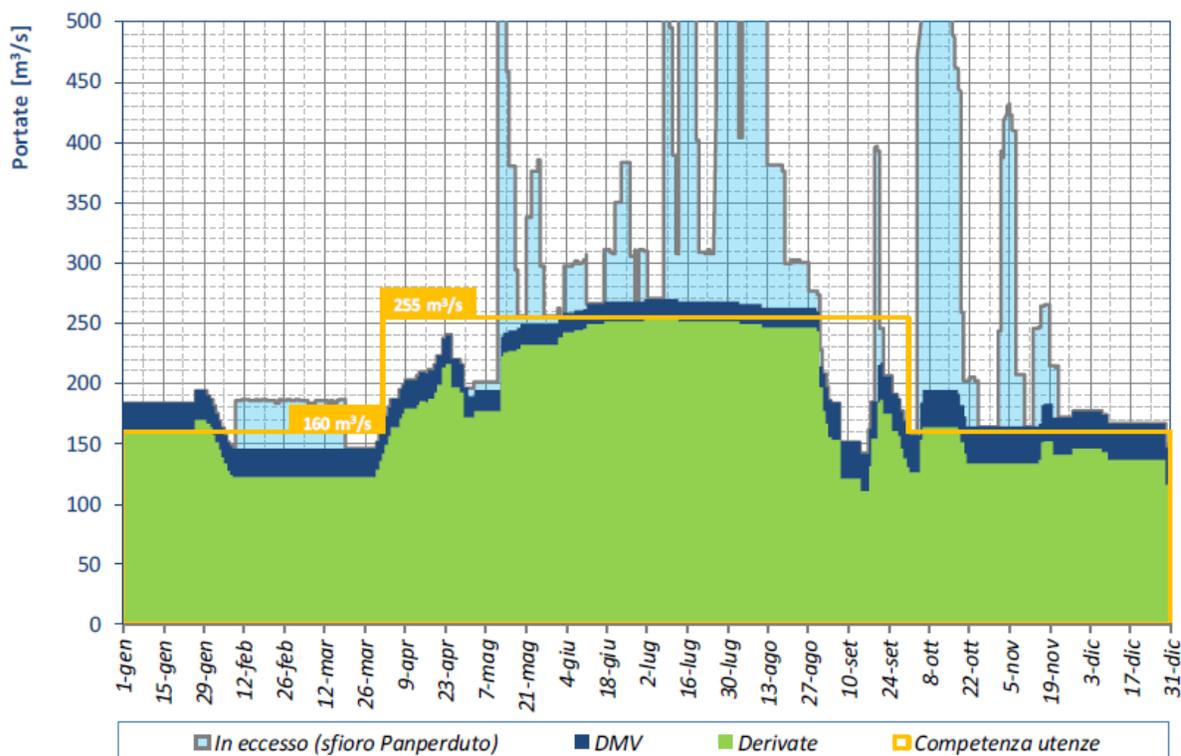


Fig. 3 Deflussi del Lago Maggiore (i.e. portate erogate dallo sbarramento della Miorina) suddivisi tra portate destinate agli utenti di valle del Consorzio del Ticino (in verde), deflusso minimo vitale (DMV) per il Fiume Ticino (in blu) e portate in eccesso scaricate nel fiume (in azzurro), nel corso del 2021. La linea arancione rappresenta la massima portata di competenza delle utenze a valle dello sbarramento, pari a 160 m³/s nella stagione invernale (ottobre - marzo) e a 255 m³/s nella stagione estiva (aprile - settembre). Il confronto tra il limite superiore dell'area verde e la linea arancione permette di valutare la differenza tra massima competenza delle utenze e portata effettivamente derivata (Fonte: *Relazione Attività WP3_01_Barengli*).

2.2.4 Anno 2022

Il 2022 è stato un anno caratterizzato da una siccità importante in cui, per la prima volta dall'inizio della regolazione nel 1943, il livello medio del lago è stato minore dello zero idrometrico di Sesto

Calende. In particolare, i livelli del lago (giornalieri rilevati alle ore 8:00) sono stati inferiori o uguali allo zero idrometrico per 167 giorni.

Un afflusso medio particolarmente ridotto e l'assenza di eventi meteorologici di rilievo, in grado di ripristinare almeno in parte la riserva idrica del lago, hanno fatto sì che i livelli del lago non abbiano mai raggiunto il limite di massima regolazione. Il periodo compreso tra il 22 ottobre e il 7 novembre è stato l'unico momento dell'anno in cui la portata erogata dal lago è stata superiore alla somma tra DMV e portata destinata agli utenti del Consorzio, con il raggiungimento del livello massimo annuale (+44 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) nella notte tra il 4 e il 5 novembre (Fig. 4).

Questo ha comportato che per quasi tutto l'anno, quantomeno fino al 22 ottobre, e quindi per un periodo che copre interamente la stagione irrigua, le portate erogate dal lago, al netto del DMV, sono sempre state ben al di sotto delle portate di competenza dei vari utenti del Consorzio del Ticino (Fig. 4). Dal 28 luglio al 10 agosto e dal 1 al 15 settembre, Regione Lombardia (d.d.g. n° 11150 del 27.07.2022) e Regione Piemonte (D.D. n° 385 del 27.07.2022) hanno concesso una deroga al rilascio del Deflusso Minimo Vitale con rilascio, nel primo caso, di 14 mc/s invece di 17 mc/s e, nel secondo caso, di 17 mc/s invece di 31 mc/s.

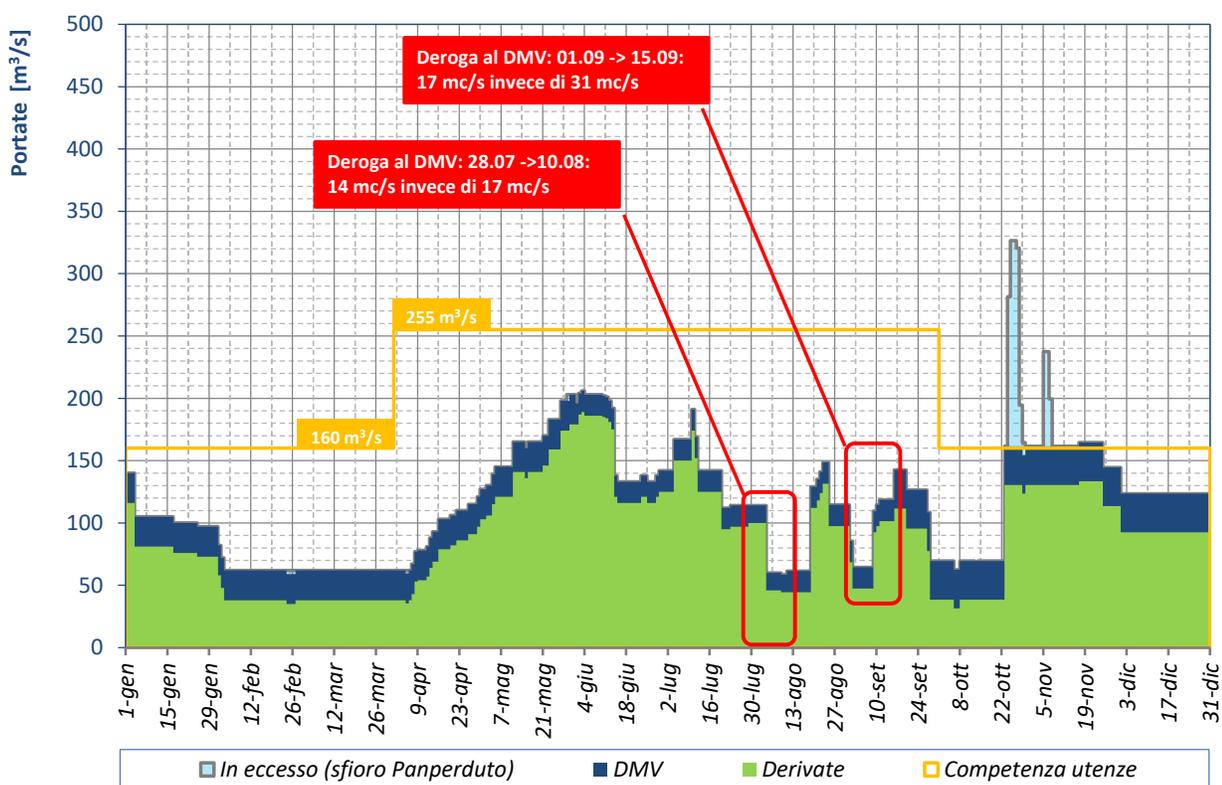


Fig. 4 Deflussi del Lago Maggiore (i.e. portate erogate dallo sbarramento della Miorina) suddivisi tra portate destinate agli utenti di valle del Consorzio del Ticino (in verde), deflusso minimo vitale (DMV) per il Fiume Ticino (in blu) e portate in eccesso scaricate nel fiume (in azzurro), nel corso del 2022. La linea arancione rappresenta la massima portata di competenza delle utenze a valle dello sbarramento, pari a 160 m³/s nella stagione invernale (ottobre - marzo) e a 255 m³/s nella stagione estiva (aprile - settembre). Il confronto tra il limite superiore dell'area verde e la linea arancione permette di valutare la differenza tra massima competenza delle utenze e portata effettivamente derivata (Fonte: *Relazione Attività WP3_01_Barengli*).

2.3 Analisi comparativa del periodo di progetto 2019–2022 con i valori medi del periodo 1943–2018

Fonte: Relazione Attività WP3_01 - Raccolta ed elaborazione di dati idrologici – Ing, Beniamino Barenghi

2.3.1 Afflussi a lago, portate erogate e derivate

Gli afflussi a lago sono caratterizzati, per loro natura, da un andamento discontinuo e con brusche e frequenti variazioni, dovuto alla variabilità delle precipitazioni e dello scioglimento delle nevi.

Durante l'arco temporale di progetto, gli afflussi complessivi sono stati (poco) al di sopra della media del periodo 1943–2022 (8'731 Mm³) solo nel 2019, mentre il 2022 è stato l'anno caratterizzato dal valore in assoluto più basso di afflussi a lago dall'inizio della regolazione (3'618 Mm³; Fig. 5).

Nel dettaglio, a livello stagionale:

- da gennaio a marzo (stagione invernale), gli afflussi a lago sono stati modesti, compresi tra il 10° e il 50° percentile degli anni passati, e sostanzialmente sempre inferiori a 160 mc/s (massima portata di competenza delle utenze a valle dello sbarramento della Miorina), ad eccezione del 2021 che è stato un anno caratterizzato da afflussi invernali relativamente alti. Nel 2022, già nei mesi invernali, gli afflussi medi a lago non superavano la soglia dei 100 mc/s;
- da aprile a giugno (mesi primaverili), normalmente caratterizzati da afflussi medi a lago importanti e da picchi dovuti alle precipitazioni primaverili, si osservano valori poco inferiori ai valori medi dei periodi precedenti per gli anni 2019, 2020 e 2021, mentre spicca il permanere di afflussi straordinariamente bassi per il 2022: in tutto il periodo delle “morbide primaverili”, nel 2022 gli afflussi a lago non hanno mai superato la soglia dei 200 mc/s;
- da luglio a metà settembre (periodo estivo), si osservano afflussi relativamente alti nel 2021 (quasi sempre superiori a 300 mc/s) e afflussi particolarmente ridotti nel 2022 (valori medi attorno ai 100 mc/s). Anche nel 2019 e nel 2020 gli afflussi a lago nel periodo estivo sono stati comparabili a quelli tipici delle annate più siccitose;
- da metà settembre a fine dicembre (periodo autunnale) si osserva un andamento degli afflussi a lago in linea con quelli dei periodi precedenti per gli anni 2019, 2020 e 2021, mentre continuavano ad essere inferiori alla media per l'anno 2022.

L'andamento delle portate erogate nel periodo 2019–2022 è conseguenza degli afflussi a lago e dunque simile a quello degli afflussi. Tra il 2019 e il 2022 si sono osservati pochi eventi di morbida che hanno richiesto la completa apertura dello sbarramento della Miorina (aprile - giugno - ottobre - novembre - dicembre 2019, maggio - giugno - ottobre 2020, luglio 2021). **Ad eccezione del 2022, le portate erogate sono state prossime ai valori medi dei periodi precedenti o poco inferiori ad essi.**

Anche per i volumi erogati, così come per i volumi in ingresso, solo nel 2019 si osserva un valore leggermente al di sopra della media del periodo 1943 -2022, mentre il 2022 è stato l'anno caratterizzato dal valore in assoluto più basso dall'inizio della regolazione del Lago Maggiore.

Le portate derivate seguono invece l'andamento della domanda degli utenti del Consorzio del Ticino, più bassa nel periodo invernale e maggiore nella stagione estiva, in linea con le esigenze irrigue. Nel 2022, le portate d'acqua destinate agli utenti sono state ben al di sotto sia delle massime portate ad essi concesse, sia delle portate derivate normalmente negli altri anni (Fig. 6).

I volumi derivati annualmente durante gli anni di progetto sono stati in linea con i valori relativi degli anni precedenti, ad eccezione del 2022, quando il volume complessivamente derivato dal Fiume Ticino è stato di 2'839 Mm³, a fronte di un valore medio tra il 1943 e il 2022 di 5'152 Mm³ (Fig. 5).

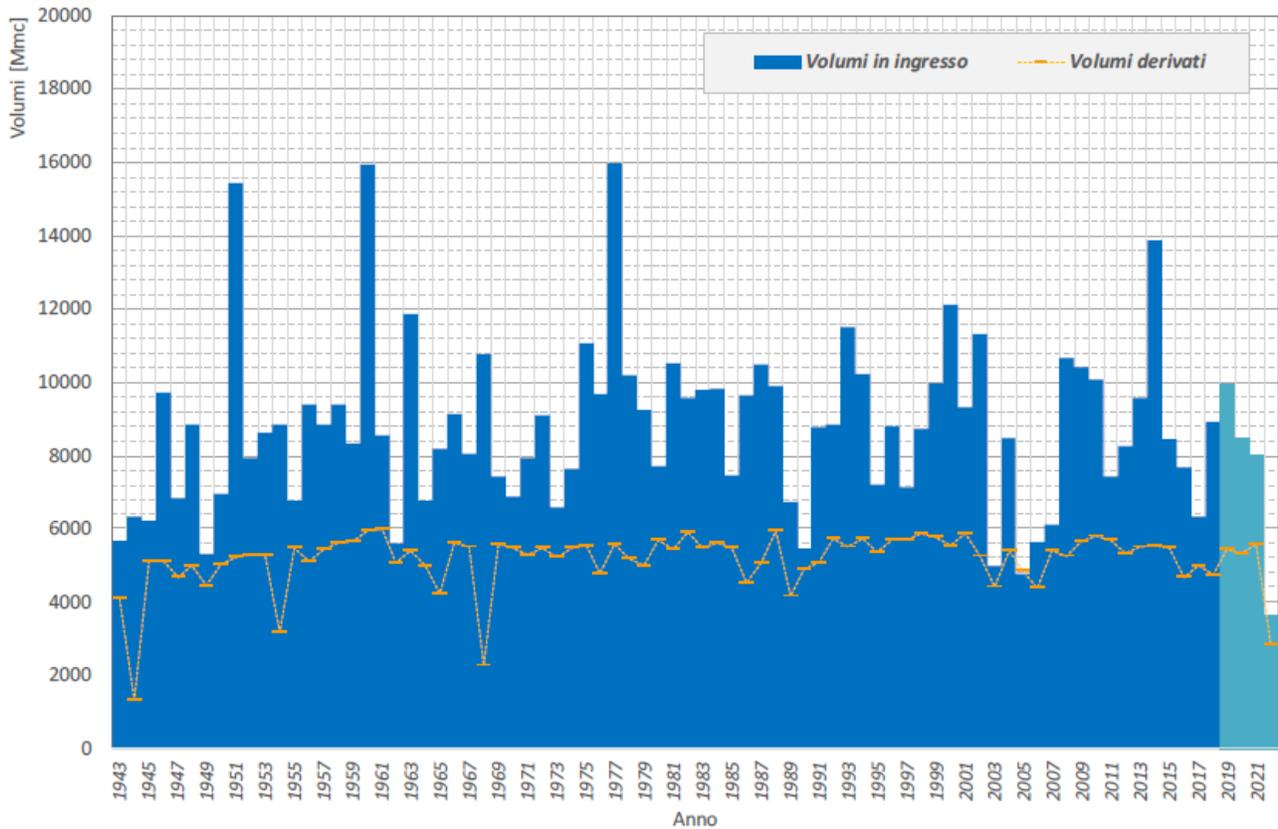


Fig. 5 Portate derivate - Volumi annui in ingresso al lago (in blu scuro il periodo 1943-2018 e in azzurro il periodo di progetto 2019-2022) e volumi annui derivati dal fiume Ticino (linea arancione nel periodo 1943-2022) (Fonte: Relazione Attività WP3_01_Barengli).

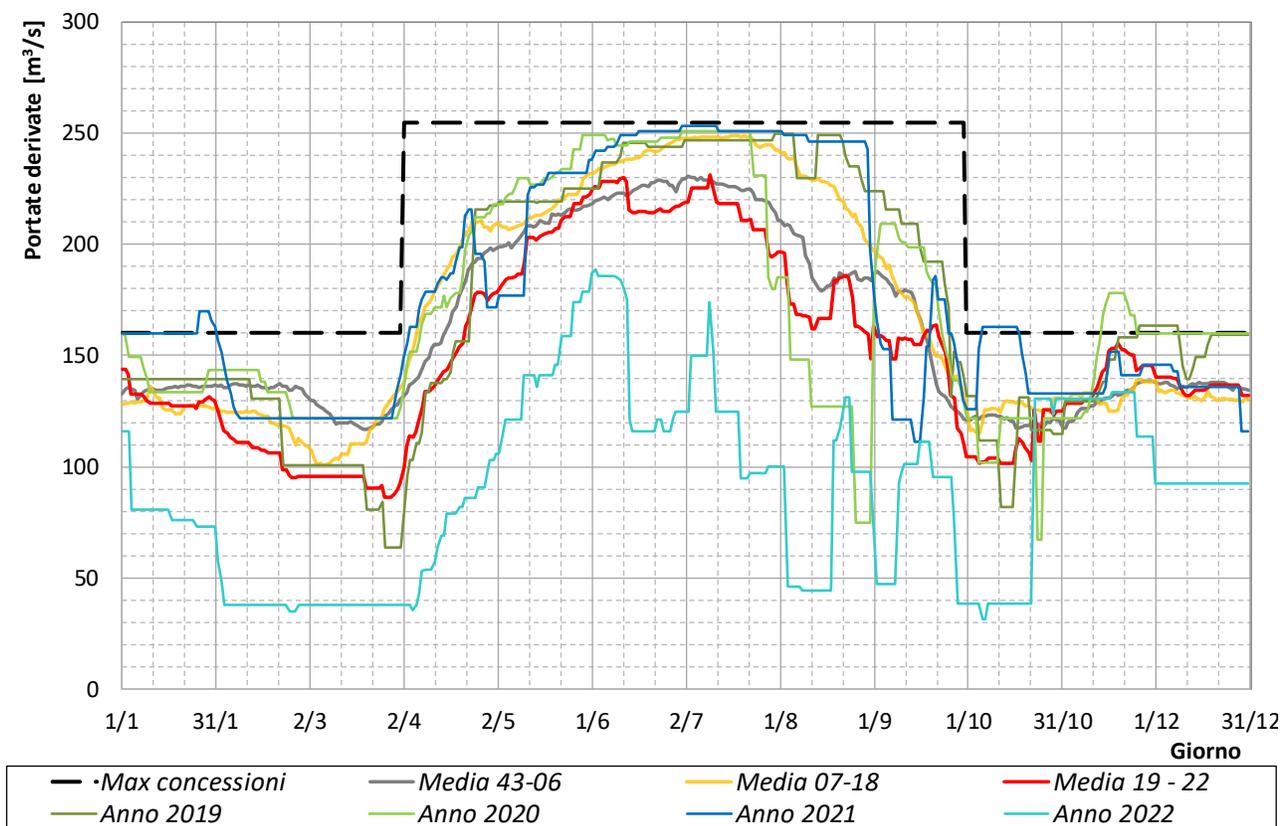


Fig. 6 Portate derivate nel periodo 1943-2006, prima della deroga al limite di massima regolazione estiva, nel periodo 2007-2018, durante l'innalzamento dei livelli estivi, e nel periodo di progetto 2019-2022, e portata massima di competenza delle utenze a valle dello sbarramento, pari a 160 m³/s nella stagione invernale (ottobre - marzo) e a 255 m³/s nella stagione estiva (aprile - settembre) (Fonte: Relazione Attività WP3_01_Barengli).

2.3.2 Livelli idrometrici

Negli anni 2019-2020-2021 si osservano livelli idrometrici molto simili ai livelli medi del periodo 2007 - 2018 (Fig. 7), periodo in cui è stato adottato un limite di massima regolazione estiva maggiore del limite storico di +100 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende. Per la stessa ragione, nel periodo estivo, l'altezza idrometrica del lago in questi anni è mediamente più alta della curva relativa all'andamento medio nel periodo 1943-2006. Per l'anno 2022, il livello idrometrico presenta un andamento anomalo, effetto della siccità che ha caratterizzato l'anno, con valori significativamente più bassi di tutti le curve di tutti i periodi precedenti (Fig. 7).

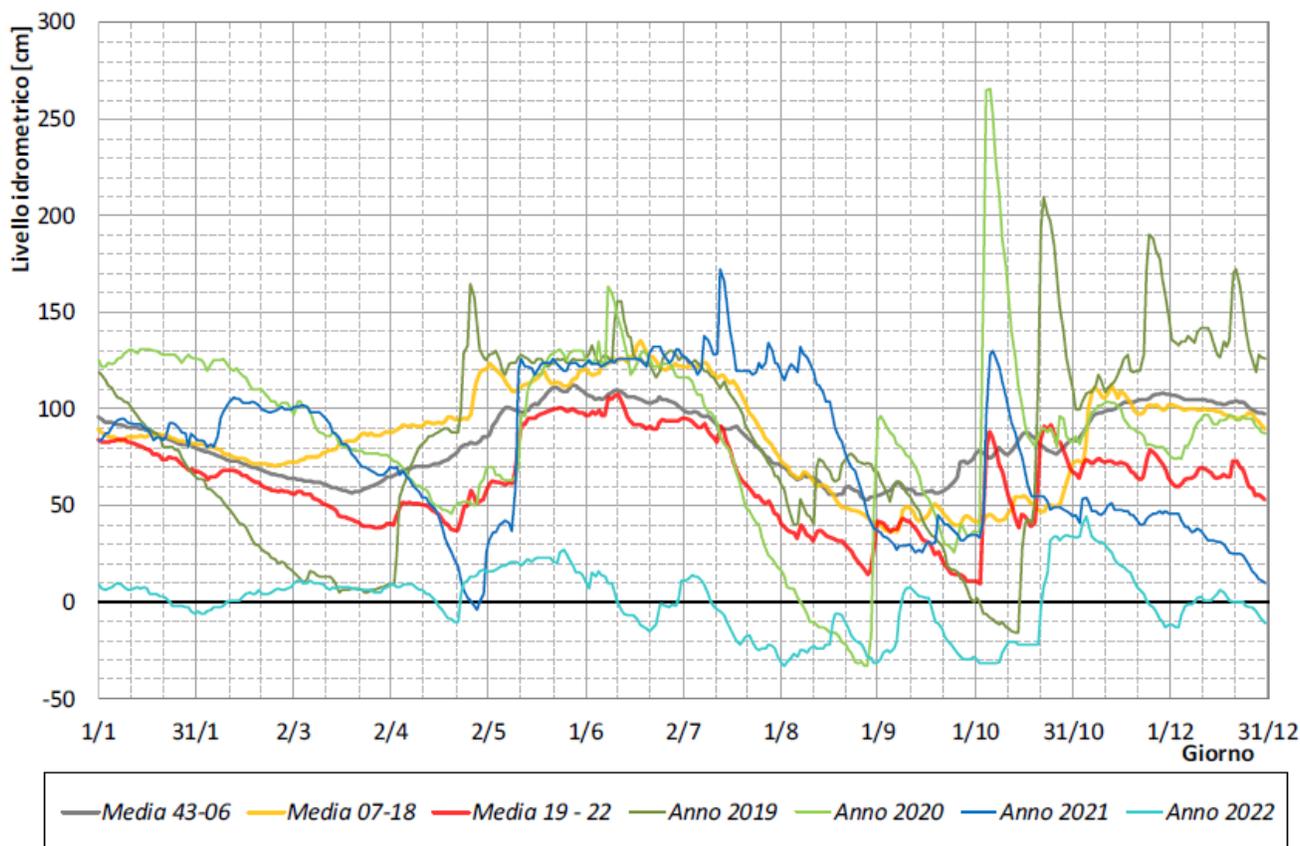


Fig. 7 Livelli idrometrici (cm rispetto allo zero idrometrico di Sesto Calende) nel periodo 1943-2006, prima della deroga al limite di massima regolazione estiva, nel periodo 2007-2018, durante l'innalzamento dei livelli estivi, e nel periodo di progetto 2019-2022 (Fonte: Relazione Attività WP3_01_Barengli).

2.4 Analisi comparativa nel periodo 1868-2022

Fonte: Relazione Attività WP3_01 - Raccolta ed elaborazione di dati idrologici - Ing, Beniamino Barengli

Grazie alle serie storiche di dati in possesso del Consorzio del Ticino, è stato possibile comparare gli andamenti annuali dei livelli idrometrici del Lago Maggiore in un periodo che copre complessivamente 155 anni, di cui 80 di regolazione del lago (1943 - 2022), e 75 di regime naturale (1868 - 1943). In particolare, i periodi sono:

- 1868 → 1942: lago non regolato, deflusso in regime libero
- 1943 → 2006: lago regolato, limiti di massima regolazione storici
- 2007 → 2022: lago regolato, deroga dei massimi livelli di regolazione estiva e sperimentazione di nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore. All'interno di questo periodo ricade l'arco temporale del progetto Interreg (2019-2022)

Dall'analisi comparativa degli andamenti annuali dei livelli idrometrici del Lago Maggiore nel periodo 1868-2022, emerge come la regolazione del lago, effettuata mediante lo sbarramento mobile della Miorina, abbia modificato in modo sostanziale l'andamento dei livelli rispetto a quello naturale,

soprattutto nel periodo invernale e inizio primaverile. In particolare, tra novembre e aprile si riscontra un aumento dei valori medi dei livelli idrometrici che, nei mesi centrali, supera i 90 cm (Fig. 8). Osservando i valori mediani, tali differenze diventano maggiori di 100 cm (Fig. 9). Nel periodo estivo, le differenze tra il periodo precedente la regolazione del lago e quello in cui il lago è stato regolato sono dell'ordine di pochi cm se si osservano i valori medi, mentre diventano più consistenti confrontando le mediane. Solo per il mese di giugno, la regolazione ha indotto una riduzione significativa tanto dei valori medi, quanto delle mediane.

Dal confronto tra il periodo di regolazione seguendo i limiti storici di massima regolazione (1943 - 2006) e quello in cui è stato aumentato il limite di massima regolazione estiva (2007 - 2022), si assiste ad un aumento dei valori medi che, tra aprile e luglio è dello stesso ordine di grandezza della differenza tra i diversi limiti di massima regolazione (ca. 10-20 cm), mentre si inverte (con un decremento dei valori medi) nei mesi di agosto e settembre (Figg. 8-9).

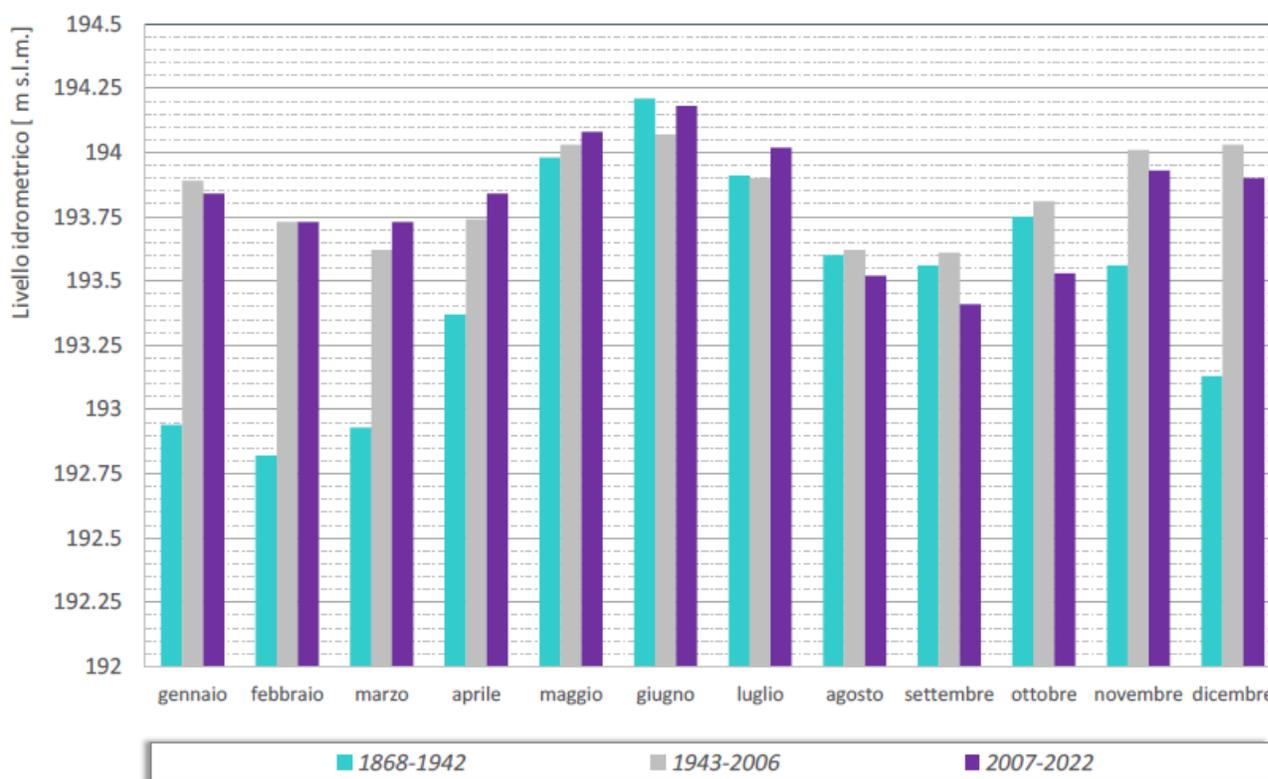


Fig. 8 Livelli idrometrici (valori media in metri s.l.m.) nel periodo 1868-1942, prima dell'entrata in funzione dello sbarramento della Miorina, nel periodo 1943-2006, prima della deroga al limite di massima regolazione estiva e nel periodo 2007-2022, durante l'innalzamento dei livelli estivi (Fonte: Relazione Attività WP3_01_Barengli).

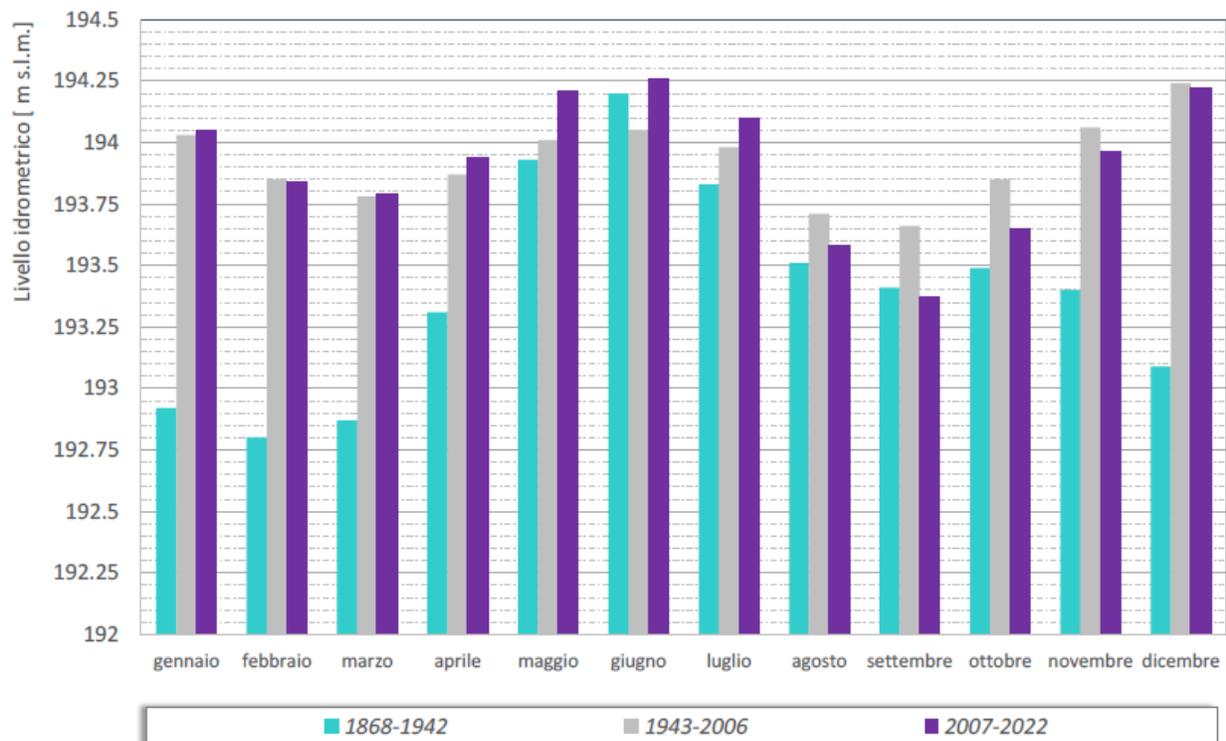


Fig. 9 Livelli idrometrici (valori medi in metri s.l.m.) nel periodo 1868-1942, prima dell'entrata in funzione dello sbarramento della Miorina, nel periodo 1943-2006, prima della deroga al limite di massima regolazione estiva e nel periodo 2007-2022, durante l'innalzamento dei livelli estivi (Fonte: *Relazione Attività WP3_01_Barengli*).

Criterio A - Condizioni dell'ecosistema nel complesso

Fonte: Relazione Attività WP3_02 - Consulenza per analisi di dati ecologici - Dott. Mattia Cordi

Descrizione: Partendo dal presupposto che la condizione migliore per lo sviluppo degli ecosistemi sia quella naturale, è immediato pensare che una misura del degrado ambientale sia la distanza tra il regime dei livelli presenti prima della costruzione dello sbarramento della Miorina (regime naturale) e quello creatosi a seguito della regolazione (regime regolato).

Indicatore: Distanza (m) tra regime regolato e regime naturale.

Obiettivo: Verifica della validità dell'indicatore nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche nel periodo di progetto.

Metodologia: Modellistica: il Consorzio del Ticino ha effettuato una simulazione dei livelli naturali del lago, rapportandoli ai livelli misurati nel corso del periodo di monitoraggio fra il 2019 e il 2022.

Risultati:

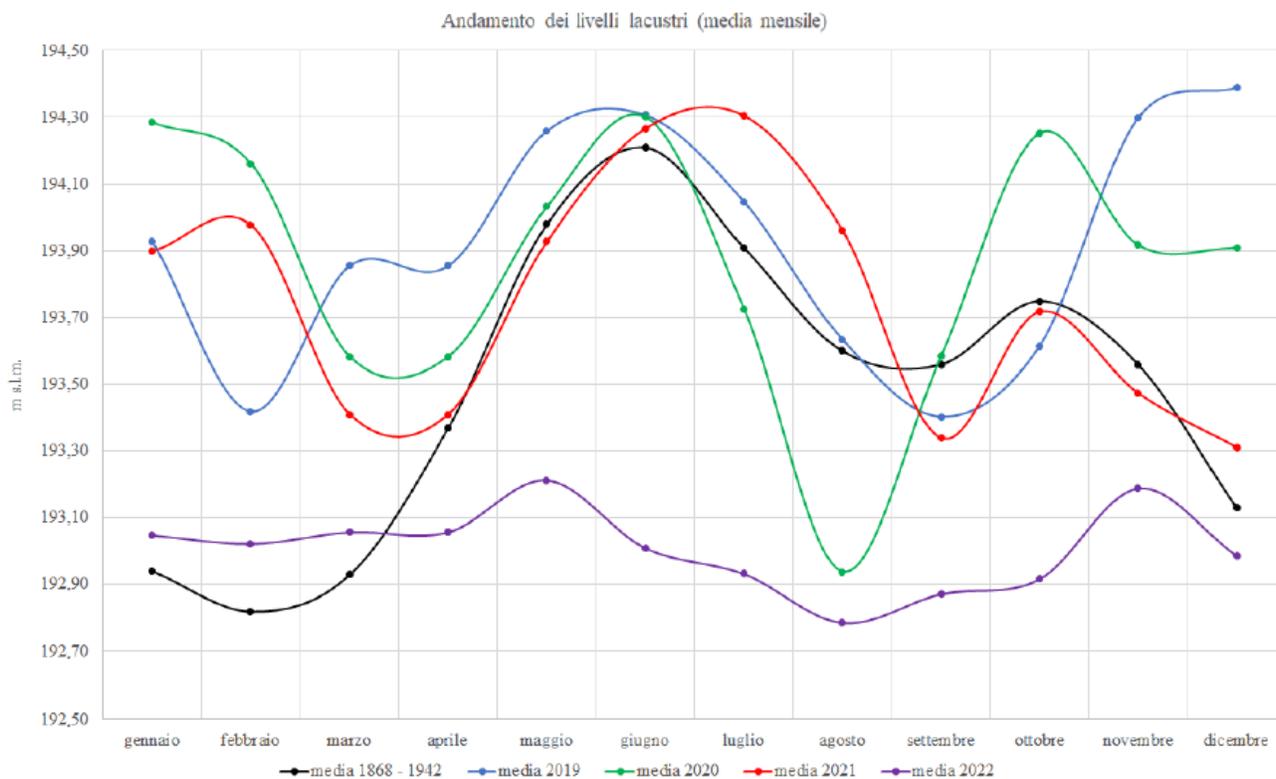


Fig. A.1 Livelli medi mensili (m s.l.m.) nel periodo a regime naturale (1868-1942; valori simulati) e nel periodo del progetto 2019-2022 (valori misurati) (Fonte: Relazione Attività WP3_02_Cordi).

Conclusioni: L'autore segnala un mancato scostamento tra i livelli naturali del lago, ossia misurati in assenza della diga, e quelli misurati nel periodo estivo durante gli anni di progetto (ad eccezione del

2022, anno eccezionalmente siccitoso). A partire da aprile, l'andamento è indicato come praticamente simile, con un picco massimo fra giugno e luglio (intorno a 194 m s.l.m.), per poi iniziare a scendere gradualmente a partire dal mese di luglio. Per i livelli invernali invece, viene segnalato uno scostamento dal regime naturale, con valori molto più bassi rispetto a quanto misurato nel regime regolato, con una differenza che può raggiungere anche 1,50 m.

Efficacia: L'autore non ritiene questo indicatore efficace per valutare lo stato di salute del lago in quanto la condizione naturale e quella regolata non si discostano nel periodo di invaso (i.e. primaverile-estivo) del lago e considera altri indicatori più adeguati allo scopo.

Osservazioni: Pur concordando con l'autore che, durante il progetto, sono stati individuati indicatori correlati in maniera più diretta agli effetti delle variazioni dei livelli del lago, l'ente esterno ritiene che il presente indicatore possa essere un valido strumento per monitorare lo stato di salute del lago perché gli studi del WP4 hanno mostrato una relazione rilevante di altre componenti biologiche (i.e. il canneto e l'avifauna migratrice) con i livelli del lago nel periodo di inizio primavera, in particolare con i mesi di marzo e aprile. Queste componenti nello specifico, sembrano essere adattate, per alcune funzioni vitali (i.e. rigenerazione e accumulo di grasso), a bassi livelli del lago nel periodo primaverile, di cui i valori pre-diga possono costituire riferimento. Analizzando il grafico in Fig. A1, che rappresenta i livelli negli anni di progetto e nel periodo pre-diga (regime naturale), appare infatti come, in primavera (marzo, aprile, maggio) e in estate (luglio), ci siano stati scostamenti medi di 30 cm, ma anche di oltre 60 cm rispetto al regime naturale. L'indicatore, anche in ragione della sua facile applicabilità (i.e. legato a misurazioni idrologiche con sonde già in sede), appare quindi di rilevante interesse per gli scopi del progetto. Un riferimento al regime idrologico naturale del Lago Maggiore permette di inquadrare e di meglio comprendere il contesto in cui si sono evoluti gli ecosistemi e i processi ecologici attivi lungo le sponde del lago, pur tenendo a mente che la presenza dello sbarramento della Miorina implica delle modifiche al suddetto regime pre-diga.

Critério B - Erosione del canneto lacustre

Fonte: Relazione Attività WP3_02 - Consulenza per analisi di dati ecologici - Dott. Mattia Cordì + Relazione Attività WP4_02 - Rilievo e analisi dello stato ed estensione della vegetazione igrofila - Dott. Andrea Romanò

Descrizione: Se le onde battono a lungo sulla sponda al piede delle canne, il terreno sotto le radici viene lentamente eroso e i cespi di canna sradicati. Per tener conto di questo fenomeno si è definita una fascia di livelli, detta fascia di erosione del canneto, all'interno della quale è opportuno che il livello del lago rimanga il meno possibile.

Indicatore: Numero medio annuo di giorni [giorni/anno] in cui il livello del lago si trova nella fascia di erosione del canneto (+0/+20 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende).

Obiettivo: Verifica della validità dell'indicatore nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche nel periodo di progetto + Validazione dei valori di quota della fascia di erosione del canneto.

Siti di monitoraggio: Canneto di Fondo Toce (sito FC1).

Metodologia: Raccolta dei dati relativi ai livelli lacustri giornalieri e calcolo del numero di giorni in cui questi ricadono nella fascia di erosione del canneto. Integrazione con rilievi delle quote inferiori e superiori della fascia di erosione del canneto di Fondo Toce, rilevate nel 2020.

Risultati: I giorni misurati nella fascia di erosione sono stati 45 nel 2019, 8 nel 2020, 12 nel 2021 e 162 nel 2022 (Fig. B1). Inoltre, le indagini sperimentali hanno messo in evidenza fenomeni di erosione nel canneto localizzato nell'area di Fondo Toce, con la fascia di erosione che si colloca alle quote riportate in Tab. B1.

Tabella B.1 Quote minime, massime e medie inferiori e superiori (in metri s.l.m. e in m sullo zero idrometrico di Sesto Calende) della fascia di erosione del canneto di Fondo Toce (*Fonte: Relazione Attività WP4_02_Romanò*).

Quote inferiori della fascia di erosione (m s.l.m.)		Quote inferiori relative della fascia di erosione (m)	Quote superiori della fascia di erosione (m s.l.m.)		Quote superiori relative della fascia di erosione (m)
Valore massimo	193,56	0,55	Valore massimo	193,75	0,74
Valore minimo	192,74	-0,27	Valore minimo	193,29	0,28
Valore medio	193,10	0,09	Valore medio	193,51	0,50

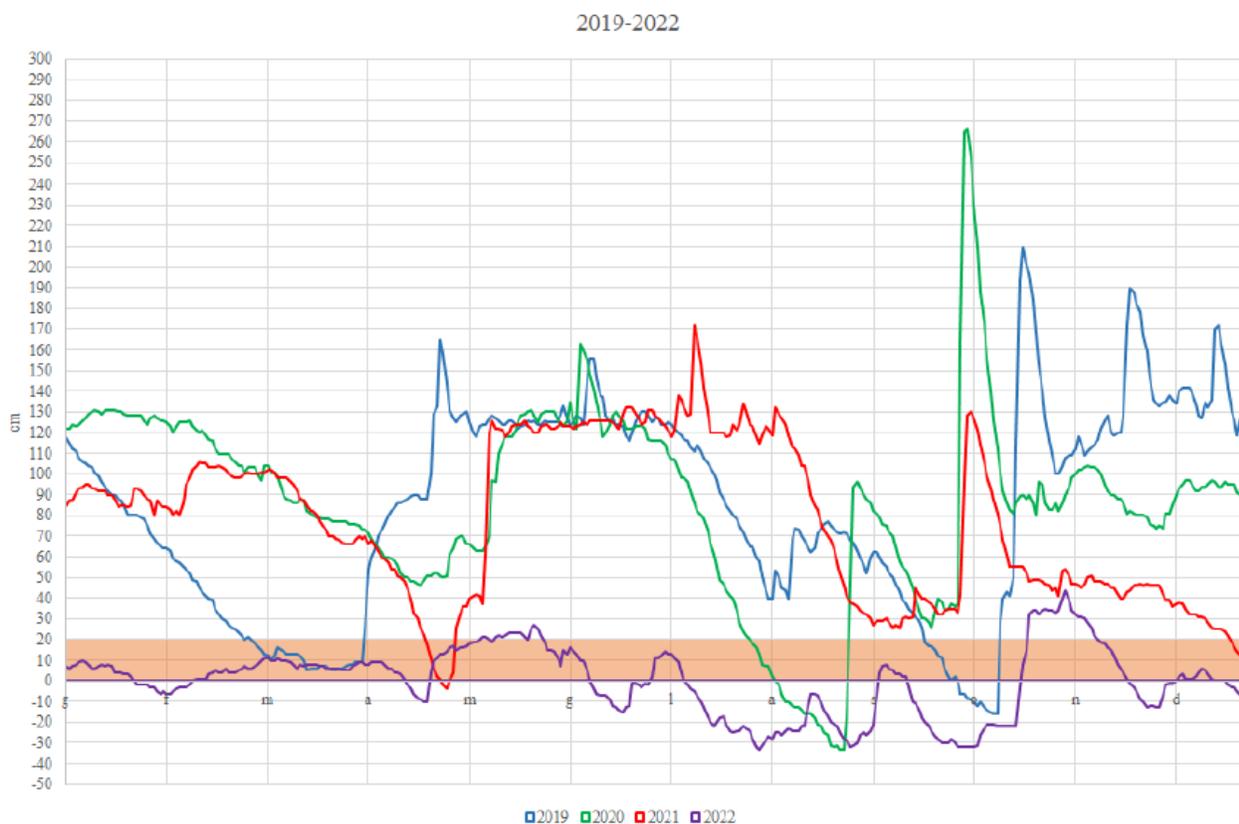


Fig. B.1 Livelli lacustri (in cm rispetto allo zero idrometrico di Sesto Calende) nel periodo di progetto 2019-2022 e fascia di erosione del canneto, che si colloca tra 0 e +20 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende (Fonte: Relazione Attività WP3_02_Cord).

Conclusioni: La attività sperimentali indicano la necessità di aggiornare i valori dell'indicatore, rispetto a quelli proposti nel progetto *STRADA 2.0*, con uno spostamento verso l'alto di una decina di centimetri per il limite minimo della fascia di erosione e +30 cm per la fascia superiore (quindi da +0/+20 cm a +9/+50 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende). L'autore ritiene però necessario validare queste nuove soglie con rilievi anche in altri siti lungo le sponde del lago.

Efficacia: La fascia di erosione del canneto ricade sempre al di sotto della soglia di massima regolazione, anche storica, risultando quindi più influenzato da variazioni di livello non dettate dai massimi livelli. Problematici sono lunghi periodi con livelli bassi del lago, principalmente connessi però a eventi prolungati di siccità, come avvenuto nel 2022. L'indicatore da solo non appare quindi efficace nel rilevare effetti delle variazioni dei livelli di massima regolazione del lago sulle componenti ecosistemiche.

Osservazioni: La componente appare comunque importante da monitorare in associazione ad altri indicatori dello stato di salute del canneto, come rilievi sull'*habitus* di crescita ad agglomerati (*clumping*), morte dei rizomi (evidente talvolta laddove il *clumping* non si esprime), estensione / profondità del piede del canneto lacustre, arretramento del canneto.

Critério C - Riproduzione Ciprinidi e Luccio

Fonte: Relazione attività WP3_03 - Rilievo e analisi del successo riproduttivo di specie ittiche - Dott. Veterinario Cesare Mario Puzzi + Relazione Attività WP3_02 - Consulenza per analisi di dati ecologici - Dott. Mattia Cordì + Relazione Attività WP4_02 - Rilievo e analisi dello stato ed estensione della vegetazione igrofila - Dott. Andrea Romanò

Contesto: L'ambiente lacustre dei canneti rappresenta un habitat per numerose specie di pesci litorali (es. Luccio *Esox cisalpinus*, Agone *Alosa agone*, Ciprinidi) che utilizzano la fascia palustre/acquatica quale habitat per la frega e lo sviluppo della prole. Un abbassamento eccessivo del livello lacuale nel periodo primaverile-estivo costituisce un evento limitante per la loro riproduzione, perché la profondità dell'acqua nel canneto e l'area della zona sommersa divengono insufficienti.

Descrizione: Le magre estive rientrano nel ciclo naturale del lago e non mettono a rischio le riproduzioni dei Ciprinidi (famiglia *Cyprinidae*) e del Luccio, ma lo sono periodi di abbassamento prolungato. Se un anno la riproduzione non avviene o è limitata, essa risulta limitata anche negli anni successivi, pur se i livelli tornano normali, poiché il numero dei riproduttori è stato ridotto. Le conseguenze si annullano solo nel lungo periodo.

Indicatori: (1) Frazione (%) del periodo di frega (tra il 1° maggio e il 31 luglio) in cui i Ciprinidi non possono utilizzare il canneto (livello inferiore di +50 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende); (2) Frazione (%) del periodo di frega (tra il 15 febbraio e il 30 aprile) in cui il Luccio non può utilizzare il canneto (livello inferiore a +50 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende).

Elaborazione: All'interno del progetto *STRADA 2.0*.

Obiettivo: Verifica della validità dell'indicatore nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche nel periodo di progetto + Validazione dei valori di quota del lago in cui i pesci litorali non possono utilizzare il canneto.

Metodologia:

Emersione dei canneti

Raccolta dei dati relativi ai livelli lacustri giornalieri e calcolo della frazione percentuale del periodo in cui il livello lacustre è inferiore alla soglia di accesso al canneto secondo quanto definito in "Indicatore".

Studio integrativo: successo riproduttivo dei pesci litoranei

Il successo riproduttivo dei Ciprinidi e del Luccio è stato indagato mediante cattura dei giovani dell'anno e valutando la struttura di popolazione, attraverso pesca elettrica da imbarcazione nelle aree di canneto. Per ciascuna specie viene stimata l'abbondanza in classi secondo l'indice di Moyle modificato e la proporzione tra le principali classi di età.

Siti di monitoraggio:

Emersione dei canneti

Per la validazione dei valori di quota del lago in relazione a diverse percentuali di allagamento del canneto, si fa riferimento alla *Relazione Attività WP4_02 – Rilievo e analisi dello stato ed estensione della vegetazione igrofila – Dott. Andrea Romanò* riassunta nel *Criterio L – Allagamento del canneto (Sponde italiane)*. Si rimanda quindi al riassunto del suddetto criterio per i siti di monitoraggio, la metodologia e i principali risultati.

Successo riproduttivo dei pesci litoranei

Cinque aree a canneto monitorate nel 2020 (05-08-15/06-17/07) e nel 2021 (15-16/07) (Fig. C1):

- Monvalle/Brebbia (VA) – Palude Bozza Monvallina
- Angera (VA) – Palude Bruschera isolino Partegora
- Angera (VA) – Palude Bruschera
- Lisanza (VA) – Idroscalo
- Dormelletto (NO) – Canneti di Dormelletto

I campionamenti non sono stati ripetuti nel 2022 a causa dei livelli estremamente bassi del lago che avrebbero generato risultati difficilmente interpretabili.

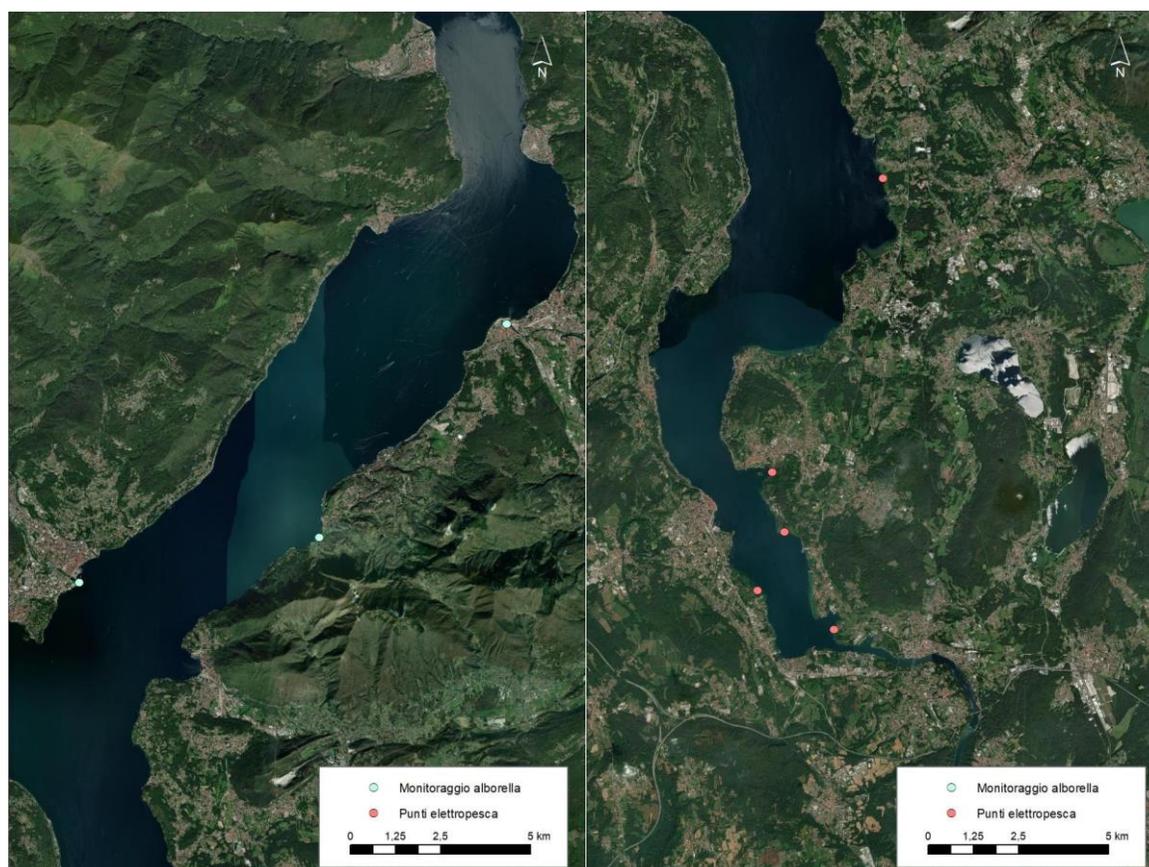


Fig. C1. Localizzazione dei siti di monitoraggio del successo riproduttivo dei Ciprinidi (pallini rosa) negli anni 2020-21 (Fonte: *Relazione Attività WP3_03_Puzzi*).

Risultati:

Emersione dei canneti

I giorni misurati con livello lacustre al di sotto della soglia + 50 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende sono rispettivamente (Fig. C2): per Tinca (*Tinca tinca*) e Carpa (*Cyprinus carpio*) (tra il 1° maggio e il 31 luglio) 0 (0%) nel 2019, 10 (11%) nel 2020, 10 (11%) nel 2021 e 92 (100%) nel 2022 e per il Luccio (tra il 15 febbraio e il 30 aprile) 49 (65%) nel 2019, 8 (11%) nel 2020, 16 (21%) nel 2021 e 75 (100%) nel 2022.

La *Relazione Attività WP4_02 - Dott. Andrea Romanò*, riassunta nel *Criterio L - Allagamento del canneto*, mette in evidenza quanto segue per le aree a canneto monitorate lungo le sponde di lago ricadenti in territorio italiano: con livelli del lago pari a +50 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende solo poco più del 2% delle superfici a canneto risultano sommerse, frazione che sale rispettivamente al 18%, 47%, 63% e 83% in corrispondenza di livelli pari a +100 cm, +125cm, +135 cm e +150 cm sullo zero idrometrico (Fig. L5).

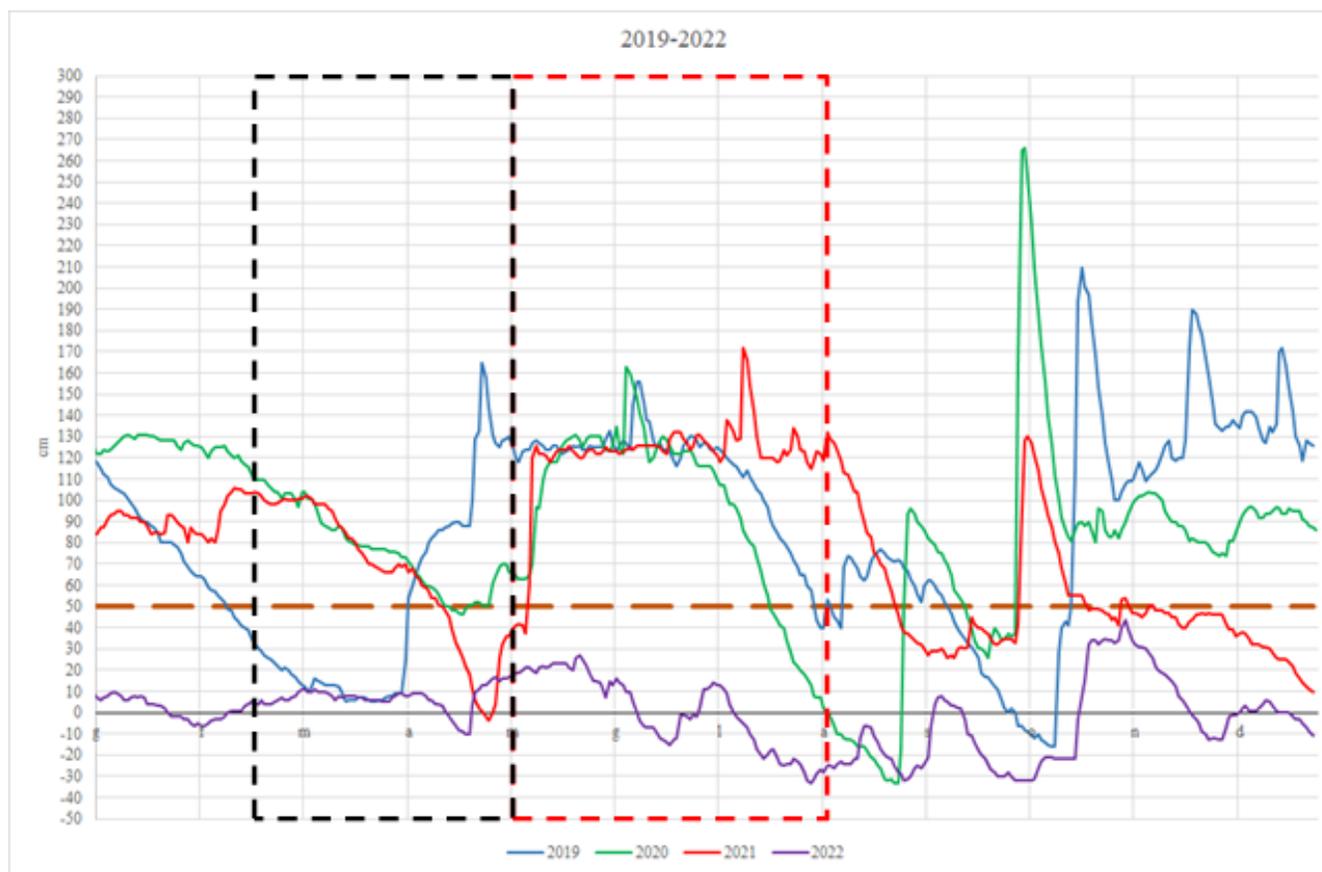


Fig. C2. Livelli del lago (in cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) negli anni 2019-20-21-22 e limite inferiore (linea marrone tratteggiata) sotto il quale il canneto non è più idonea alla riproduzione per Tinca e Carpa (dal 1/5 al 31/7; box rosso tratteggiato) e per il Luccio (dal 15/2 al 30/4; box nero tratteggiato) (Fonte: *Relazione Attività WP3_02_Cordi*).

Successo riproduttivo dei pesci litorali

Nel 2020 è emersa una netta prevalenza di specie alloctone nella comunità ittica: Gardon (*Rutilus rutilus*), Carassio (*Carassius carassius*), Siluro (*Silurus glanis*) e Persico sole (*Lepomis gibbosus*). In particolare, il Gardon è risultata la specie più abbondante, presente sempre con popolazioni da comuni ad abbondanti dominate da classi giovanili, caratterizzate anche da giovani dell'anno, indice dell'utilizzo delle aree di canneto monitorate come *nursery*. Tra le specie *target* (famiglia *Cyprinidae* e Luccio), sono stati catturati, con frequenze classificate da rare a occasioni, esemplari di Alborella (*Alburnus alburnus*; prevalenza di giovani), Scardola (*Scardinius erythrophthalmus*), Carpa (prevalenza di adulti) e Cavedano (*Squalius cephalus*; prevalenza di giovani). Nel 2021 invece, è stata osservata una prevalenza di specie autoctone. In particolare, tra le specie *target*, sono state rilevate Scardola e Cavedano, specie più abbondanti e rappresentate solo da individui giovani, a conferma dell'utilizzo del canneto come *nursery*, e Alborella e Carpa (anche con individui adulti). Nel 2022, a causa dei bassi livelli idrici, i canneti sono risultati completamente asciutti e quindi indisponibili come habitat di deposizione delle uova e come area di *nursery*.

Conclusioni: Necessità di un aggiornamento dell'indicatore per quanto riguarda la sua applicazione sulle sponde ricadenti in territorio italiano. In particolare, il livello superiore andrebbe portato da +50 cm sullo zero idrometrico a Sesto Calende, come suggerito nel progetto *STRADA 2.0*, a +100 cm. Un accesso per i pesci ad aree significative e non solo marginali delle aree a canneto è possibile infatti a partire da quota + 100 cm, a salire. Per quanto riguarda le sponde ricadenti in territorio svizzero, l'accesso dei pesci alle aree di canneto come siti di riproduzione viene segnalato, con l'attuale gestione dei livelli, come già possibile a quota +50cm sopra lo zero idrometrico di Sesto Calende (Fonte: Documento conclusivo redatto dai capofila svizzero e italiano "*Sistema Lago: contestualizzazione, problematica e indicatori*").

L'Agone, specie litofila che si riproduce in acque basse vicino a riva, inizialmente presente nella lista di specie *target* per l'indicatore, non viene invece considerato utile a causa della sua modalità riproduttiva, che prevede la deposizione di uova non adesive (i.e. libere di muoversi sul fondo) e quindi meno soggette a impatti negativi in funzione delle variazioni dei livelli del lago.

Efficacia: A seguito di aggiornamento, l'indicatore appare efficace nel valutare le variazioni dei livelli del lago sulla riproduzione dei pesci litorali. Appare però necessario che venga utilizzato in abbinamento ad altri indicatori, nello specifico quelli che valutano lo stato di salute del canneto (*clumping*, morte dei rizomi) e la sua estensione/profondità del piede, con particolare attenzione alle aree localizzate alle quote più basse. Poiché l'innalzamento del livello del lago per l'indicatore dei pesci litorali genera un effetto positivo, occorre infatti controllare parallelamente se esso causa impatti sull'habitat riproduttivo degli stessi.

Criterio D - Nidificazione avifauna

Attività WP3_03 - Rilievo e analisi del successo riproduttivo delle specie ornitiche - Dott. Matteo Moroni + Relazione Attività WP3_02 - Consulenza per analisi di dati ecologici - Dott. Mattia Cordì

Contesto: L'avifauna legata al canneto è stata individuata come potenziale indicatore nel progetto *STRADA 2.0*, assumendo a priori che l'innalzamento dei livelli lacustri durante il periodo riproduttivo potesse avere conseguenze negative su questa componente biologica. La quota indicata è stata stimata a +85 cm sopra lo zero idrometrico di Sesto Calende. In aggiunta, gli esperti hanno selezionato lo Svasso Maggiore (*Podiceps cristatus*) come specie di particolare interesse in quanto nidifica sul pelo dell'acqua (nido flottante, ancorato ai canneti o alla vegetazione acquatica), con periodo di nidificazione e di cova che si estende solitamente da inizio aprile a fine giugno

Descrizione: Tra il 15 aprile e il 31 agosto avviene la riproduzione dell'avifauna che nidifica nel canneto. Se il livello lacuale supera la quota a cui i nidi vengono costruiti, questi sono distrutti e la riproduzione compromessa. Per quanto concerne lo Svasso maggiore, sono da evitare abbassamenti repentini e significativi del livello lacuale nel periodo tardo-primaverile. Al contrario, un innalzamento graduale del livello in questo periodo non arreca danni al processo di nidificazione.

Indicatore: (1) Frazione (%) del periodo di nidificazione in cui il livello lacuale è superiore alla soglia dei nidi (+85 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende); (2) Media dei massimi decrementi annui di livello (m) durante il periodo di cova dello Svasso Maggiore.

Elaborazione: All'interno del progetto *STRADA 2.0*.

Obiettivo: Verifica della validità dell'indicatore nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche nel periodo di progetto.

Metodologia:

Livelli lacustri

Raccolta dei dati relativi ai livelli lacustri giornalieri e calcolo (1) della frazione percentuale del periodo di nidificazione in cui il livello lacuale è superiore alla soglia dei nidi e (2) della media dei massimi decrementi annui di livello (m) durante il periodo di cova dello Svasso maggiore.

Studio integrativo: successo riproduttivo di specie ornitiche

La stima del popolamento di coppie nidificanti legate all'ambiente di canneto è stata indagata combinando il metodo *point count* (censimento per punti d'ascolto) con il metodo *line transect* (trasetti campione su percorso lineare). Oltre a riportare le specie e il numero di individui contattati, sono stati calcolati i seguenti indici: ricchezza specifica, indice diversità di Shannon e indice di dominanza di Simpson.

Siti di monitoraggio:

Successo riproduttivo di specie ornitiche

Cinque siti a partire dalla primavera inoltrata fino all'inizio dell'estate nel periodo 2020-2021 (Fig. D1): Fondotoce, Palude Bozza Monvallina e Sabbie d'Oro, Palude Bruschera, Canneti di Dormelletto, Boschi del Ticino

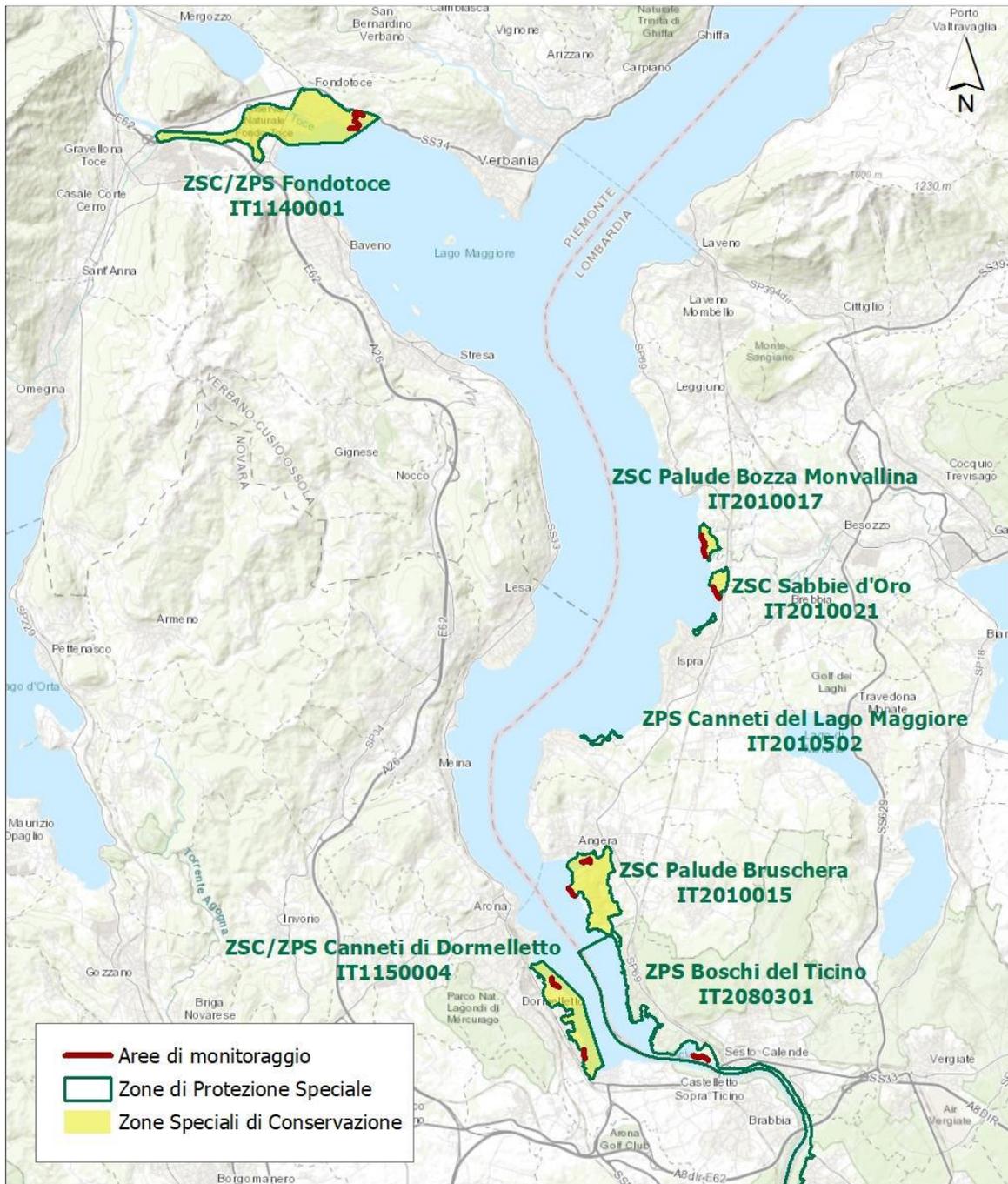


Fig. D1. Ubicazione delle aree di monitoraggio dell'avifauna nidificante nel periodo 2020-21 (Fonte: *Relazione Attività WP3_03_Moroni*).

Risultati:

Livelli lacustri

I giorni misurati con livello lacustre superiore a + 85 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende, tra il 15 aprile e il 31 agosto, sono stati 101 (73%) nel 2019, 63 (45%) nel 2020, 101 (73%) nel 2021 e 0 (2%) nel 2022 (Fig. D2).

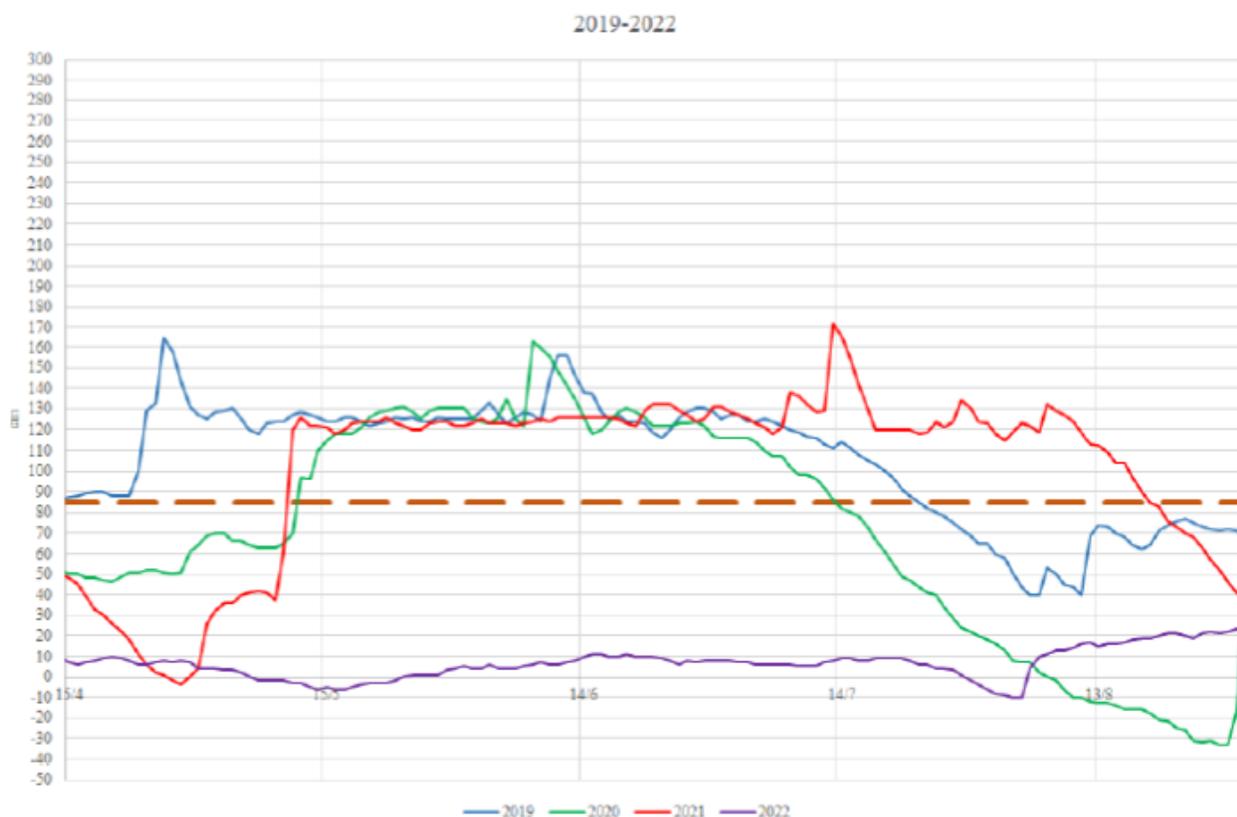


Fig. D2. Livelli del lago (in cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) negli anni 2019-20-21-22 e limite del livello idoneo alla riproduzione dell'avifauna nel canneto (linea marrone tratteggiata) nel periodo 15 aprile - 31 agosto (Fonte: Relazione Attività WP3_02_Cordi).

Per quanto riguarda i livelli del lago in relazione al periodo di riproduzione dello Svasso maggiore, non sono state osservate riduzioni repentine dei livelli né nel periodo di progetto, né in relazione al periodo precedente la costruzione dello sbarramento della Miorina (Fig. D3).

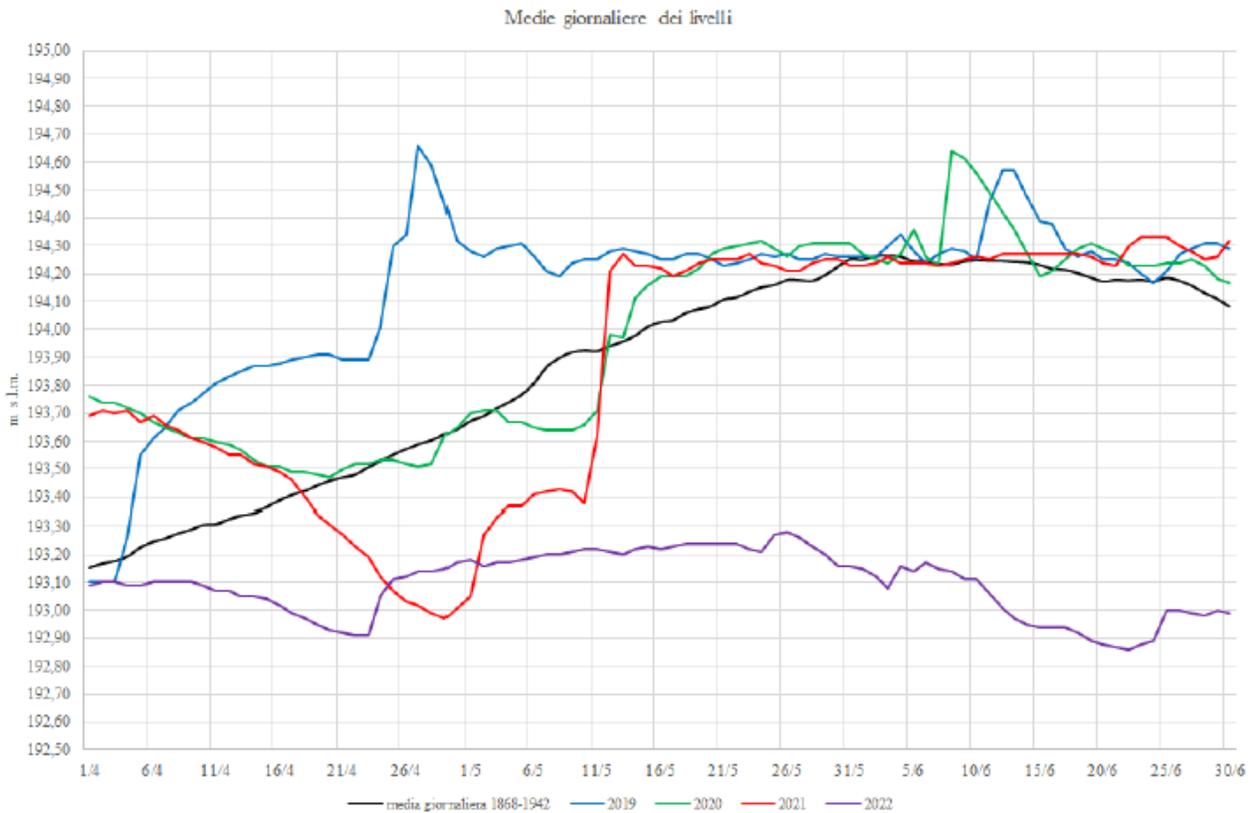


Fig. D3. Livelli del lago (m s.l.m.) tra il 1868 e il 1942 (medie giornaliere in regime naturale; linea nera) e nel periodo di progetto 2019-2022 nel periodo di riproduzione dello Svasso maggiore, tra il 11 aprile e il 30 giugno (Fonte: Relazione Attività WP3_02_Cordi).

Successo riproduttivo di specie ornitiche

Singoli siti. Il sito di Fondo Toce è risultato particolarmente idoneo alla presenza di specie ornitiche tipiche, grazie all'ampio sviluppo del canneto e alla presenza di radure protette che offrono riparo, facendo registrare un numero di specie e individui sempre elevato. Il sito è anche un'importante zona di nidificazione per Svasso maggiore, Folaga (*Fulica atra*), Cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*; interessante il buon numero di esemplari osservati nel 2021) e Cannareccione.

La Palude Bozza Monvallina è una delle zone che ospita i canneti di maggior estensione sul Lago Maggiore e risulta anche protetta da un'ampia fascia di vegetazione riparia che contribuisce ad aumentare la complessità naturale dell'ambiente. Molto numerose sono le popolazioni di Svasso maggiore, Folaga e Cigno reale (*Cygnus olor*). Interessante anche la presenza, seppur con basse frequenze, di Martin pescatore (*Alcedo atthis*), Airone rosso (*Ardea purpurea*), Nitticora (*Ncticorax ncticorax*), Cannaiola, Cannareccione (*Acrocephalus arundinaceus*) e Usignolo di fiume (*Cettia cetti*).

A Palude Bruschera il canneto è protetto da una fascia di fitta vegetazione, anche se si trova vicino al centro abitato di Angera. Fra il 2020 e il 2021, è stato contattato il maggior numero di specie, tra le quali anche Airone rosso, Tarabusino (*Ixobrychus minutus*), Porciglione (*Rallus aquaticus*), Moretta (*Aythya nyroca*) e Fistione turco (*Netta rufina*). Le popolazioni più abbondanti rimangono quelle di

Svasso maggiore e Folaga; anche Tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*), Cannaiola e Cannareccione sono ben rappresentati.

A Dormelletto i canneti occupano zone differenti, passando da aree isolate e protette ad altre modificate dall'intervento antropico (es. presenza di moli e ormeggi). Il popolamento ornitico risente quindi del disturbo antropico e della frammentazione del canneto, con conseguenti minori abbondanze. Folaga, Svasso maggiore, Cannareccione e Germano reale (*Anas platyrhynchos*) sono risultate le specie con maggior presenza.

Il sito dei Boschi del Ticino è costituito da un mosaico di ambienti creato dalla transizione tra lago e fiume, dove il canneto puro ha una superficie modesta e si trova mescolato a cespugli e zone alberate. Grazie alla diversità ambientale quindi, è notevole la ricchezza di specie nidificanti legate alle sponde ma, in generale, il numero di individui delle singole specie non è particolarmente elevato. Folaga e Svasso maggiore presentano buone popolazioni, insieme a Cannaiola, Cannareccione e Tuffetto.

L'area nel suo complesso. Nonostante le peculiarità di ogni sito indagato, non è emersa una grande variazione nel numero di specie legate all'ambiente di canneto, in ragione del fatto che i siti sono relativamente vicini e hanno caratteristiche ambientali simili, ad eccezione di parametri quali ampiezza del canneto ed esposizione. La ricchezza in specie varia da un minimo di 8 (Boschi del Ticino - Sesto Calende nel 2021) a un massimo di 13 (Palude Bruschera - Angera nel 2021) nei due anni e le specie che determinano la variabilità sono spesso con abbondanze sporadiche.

In generale, fra le specie *target*, quelle più abbondanti sono risultate la Folaga e lo Svasso maggiore, seguiti da Cannaiola, Tuffetto, Cigno reale e Cannareccione. Tra il monitoraggio del 2020 e quello del 2021, il numero di osservazioni complessive è diminuito in quasi tutti i siti esaminati; la ragione potrebbe essere legata al maggior disturbo dato dalla presenza antropica, particolarmente ridotta nell'anno 2020 a causa dell'avvenimento pandemico di Covid-19.

Importante notare come la ricchezza specifica e soprattutto l'abbondanza degli individui siano risultati inferiori laddove i canneti si presentano discontinui e/o di modesto spessore, con una correlazione negativa tra l'abbondanza delle specie più comuni e l'estensione delle zone a canneto utilizzabili per la nidificazione. Di conseguenza, il minor numero di individui per specie è stato osservato nell'area di Sesto Calende, dove i canneti sono più frammentati e costituiti da fasce di modesta estensione anche se la maggior diversità ambientale permette di ospitare comunque un elevato numero di specie.

Conclusioni: Dai risultati ottenuti dal presente progetto e dall'analisi di quelli contenuti in progetti precedenti non si ritiene che un innalzamento graduale dei livelli del lago possa essere considerato un fattore di rischio diretto sull'avifauna lacustre in periodo riproduttivo, in termini di numero di individui e diversità di specie. Le specie ornitiche sono infatti influenzate da variazioni repentine (innalzamenti o abbassamenti) che però sono spesso legate a eventi particolari, come quelli di piena, che determinano anche procedure di emergenza per abbassare i livelli del lago in tempi brevi.

Per i popolamenti ornitici nidificanti è invece risultata di grande importanza l'ampiezza delle aree a canneto e la loro integrità e, per alcune specie, il disturbo antropico. È plausibile ipotizzare che variazioni nell'estensione dei canneti possano influenzare le popolazioni nel lungo periodo, rendendo l'avifauna un indicatore indiretto del degrado del canneto, risultato invece direttamente influenzato dalla regolazione dei livelli del Lago Maggiore (si vedano *Criterio I - Stato di salute del canneto* e *Criterio L - Allagamento del canneto*).

Efficacia: Non si ritiene l'avifauna nidificante un indicatore efficace per valutare gli effetti diretti della variazione dei livelli di massima regolazione del Lago Maggiore. E' comunque una componente biologica importante da monitorare in quanto indicatore della funzionalità ecologica del canneto, e quindi interessante da mantenere in associazione agli indicatori dello stato di salute del suo habitat (es. rilievi sull'*habitus* di crescita, estensione e allagamento del canneto).

Criterio E - Emersione dei litorali

Fonte: Relazione Attività WP3_03 – Rilievo e analisi dello stato degli habitat di interesse comunitario: habitat 3130 – Dott. Mattia Cordì + Relazione Attività WP3_02 – Consulenza per analisi di dati ecologici – Dott. Mattia Cordì

Contesto: L'habitat 3130 - Acque stagnanti, da oligotrofe a mesotrofe, con vegetazione dei *Littorelletea uniflorae* e/o degli *Isoëto-Nanojuncetea*, secondo il Manuale Italiano di interpretazione degli habitat della Direttiva 92/43/CEE, è rappresentato da una componente vegetazionale costituita da comunità anfibe di piccola taglia sia perenni e annuali, sia annuali pioniere (attribuibili rispettivamente all'ordine *Littorelletalia uniflorae* e *Nanocyperetalia fusc*). Queste comunità, che possono presentarsi anche separatamente, colonizzano le fasce litorali di laghi e pozze con acque stagnanti, da oligotrofe a mesotrofe, su substrati poveri di nutrienti o fondali melmosi periodicamente emersi.

Descrizione: A seguito della regolazione dei livelli del Lago Maggiore, il periodo di emersione dei banchi di sabbia e ghiaia (litorali), su cui si riproducono i nanocipereti litoranei, diminuisce drasticamente (risultato del progetto *STRADA 2.0*). Questi litorali costituiscono un ambiente ecologicamente molto importante (habitat 313), sia per la conservazione dello spazio vitale di specie vegetali minacciate d'estinzione, sia per la migrazione dell'avifauna. In condizioni naturali, i litorali emergono per lunghi periodi tra il 1° settembre e il 31 marzo e pertanto, per valutare la riduzione della loro emersione, è stato introdotto l'indicatore.

Indicatore: Frazione [%] del periodo di normale emersione dei litorali in cui il livello lacuale è superiore alla soglia di emersione (+35 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende).

Elaborazione: All'interno del progetto *STRADA 2.0*.

Obiettivo: Verifica della validità dell'indicatore nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche nel periodo di progetto + Validazione della quota di emersione dei litorali rilevata nel progetto *Sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore* mediante il monitoraggio dell'habitat 3130, superiore a quanto riportato nei risultati del progetto *STRADA 2.0*.

Metodologia:

Emersione dei litorali

Raccolta dei dati relativi ai livelli lacustri giornalieri e il calcolo della frazione percentuale del periodo di normale emersione dei litorali in cui il livello lacustre è superiore alla soglia di emersione secondo quanto definito in "Indicatore". Per la validazione della quota di emersione dei litorali si veda il paragrafo seguente *Studio integrativo*.

Studio integrativo: stato dell'habitat 3130

Integrazione con rilievi topografici effettuati con strumentazione Topcon HIPER V, per mappare l'estensione dell'habitat 3130, e rilievi per censire le specie presenti nell'habitat stesso.

Siti di monitoraggio:

Studio integrativo: stato dell'habitat 3130

Sei siti monitorati nel 2020-21-22 (Tab. E.1, Fig. E1) in primavera (aprile 2021 e fine aprile/inizio maggio 2022), a fine estate (agosto 2020, settembre 2021 e 2022) e in inverno (gennaio 2022).

Tabella E1. Localizzazione dei siti di monitoraggio dell'habitat di interesse comunitario 3130 nel triennio 2020-21-22 (Fonte: *Relazione Attività WP3_03_Cord*).

ID SITO	COMUNE	RETE NATURA 2000
1	Dormelletto	ZSC-ZPS Canneti di Dormelletto
2	Sesto Calende	ZPS Boschi del Ticino
3	Sesto Calende	ZPS Boschi del Ticino
4	Sesto Calende	ZPS Boschi del Ticino
5	Angera	ZSC Palude Bruschera
6	Angera	ZSC Palude Bruschera

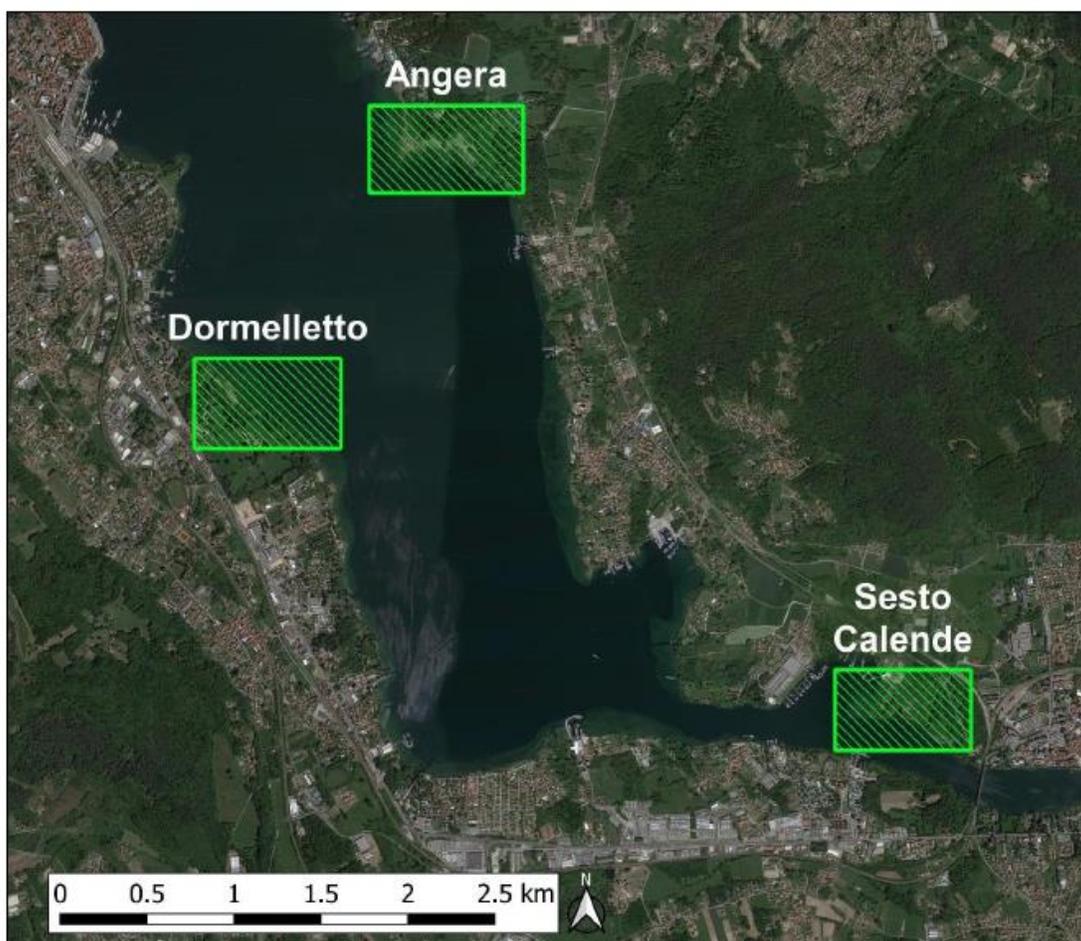


Fig. E1. Localizzazione dei tre comuni in cui ricadono i siti di monitoraggio dell'habitat di interesse comunitario 3130 nel triennio 2020-21-22 (Fonte: *Relazione Attività WP3_03_Cord*).

Risultati:

Emersione dei litorali

I giorni misurati di emersione dei litorali, con livello lacustre +35 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende tra il 1° settembre e il 31 marzo, sono stati 142 (67%) nel 2019, 206 (97%) nel 2020, 172 (81%) nel 2021 e 4 (2%) nel 2022 (Fig. E2).

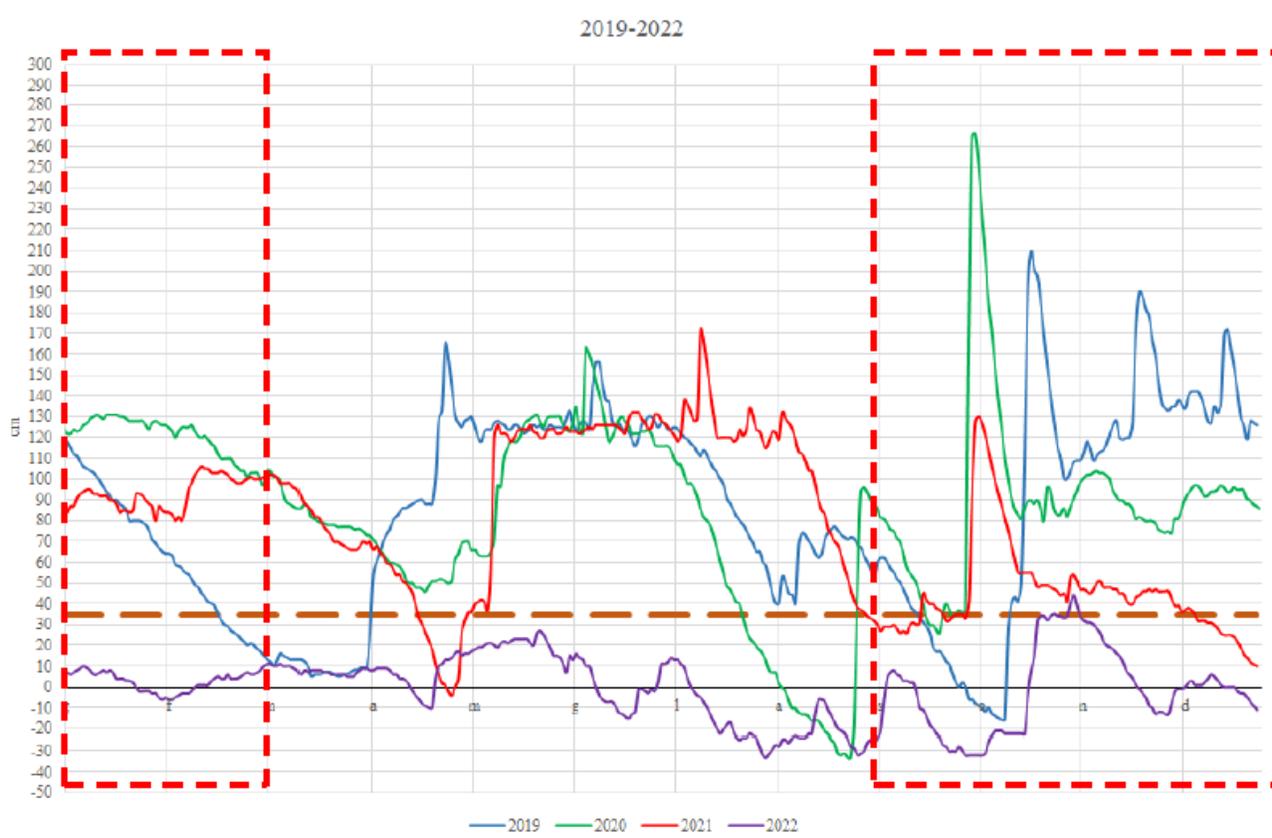


Fig. E1. Livelli del lago (in cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) negli anni 2019-20-21-22 e limite del livello di emersione dei litorali (linea marrone tratteggiata) nel periodo 1° settembre - 31 marzo (box rossi tratteggiati) (Fonte: Relazione Attività WP3_02_Cordi).

Studio integrativo: stato dell'habitat 3130

Premessa. Tra il 2020 e il 2022 sono state effettuate 6 campagne di monitoraggio; le prime 3 hanno permesso di caratterizzare le specie vegetali presenti nell'habitat 3130 e la sua estensione e distribuzione altimetrica in condizioni idrologiche differenti, e in particolare:

- fine agosto 2020 con livelli prossimi a 192,70 m s.l.m. in tutti i 6 siti di monitoraggio;
- aprile 2021 con livelli prossimi a 193,00 m s.l.m. in tutti i 6 siti di monitoraggio;
- settembre 2021 con livelli prossimi a 193,30 m s.l.m. in tutti i 6 siti di monitoraggio.

Nei restanti 3 monitoraggi, effettuati a gennaio, aprile e settembre 2022, che hanno presentato livelli lacustri ricompresi in quelli già indagati precedentemente (prossimi a 193,05 m s.l.m. a gennaio, 193,15

m s.l.m. ad aprile e tra 192,75 m s.l.m. e 193,05 m s.l.m. a settembre), sono state evidenziate solo eventuali variazioni rispetto alle due annualità precedenti.

Rilievi topografici. L'estensione maggiore dell'habitat 3031 è stata rilevata nell'estate 2020 (a titolo di esempio si porta la mappa delle estensioni del Sito 2 in comune di Sesto Calende e ricompreso nella ZPS Boschi del Ticino; Fig. E3). Ad agosto 2020 è corrisposto il livello più basso del lago durante le sessioni di campionamento effettuate negli anni 2020-21-22 (ca. 192.70 m s.l.m.), che è stato preceduto da un periodo prolungato con livelli bassi che hanno permesso lo sviluppo sia della vegetazione perenne, acquatica o anfibia, riferibile all'ordine *Littorelletalia uniflorae* (*Eleocharis acicularis*, *Littorella uniflora*), sia di quella annuale pioniera degli aspetti meno frequentemente inondata, riferibile all'ordine *Nanocyperetalia fuscii* (*Cyperus* spp.). Nell'estate 2021 sono state rilevate estensioni minori dell'habitat 3130 in ragione dei livelli idrometrici maggiori (prossimi a 193,30 m s.l.m.) presenti nei giorni in cui sono stati effettuati i rilievi.

La massima estensione della vegetazione riconducibile all'habitat 3130 nel triennio di studio è quindi quella dell'agosto 2020 e si attesta alle quote riportate in Tab. E2.

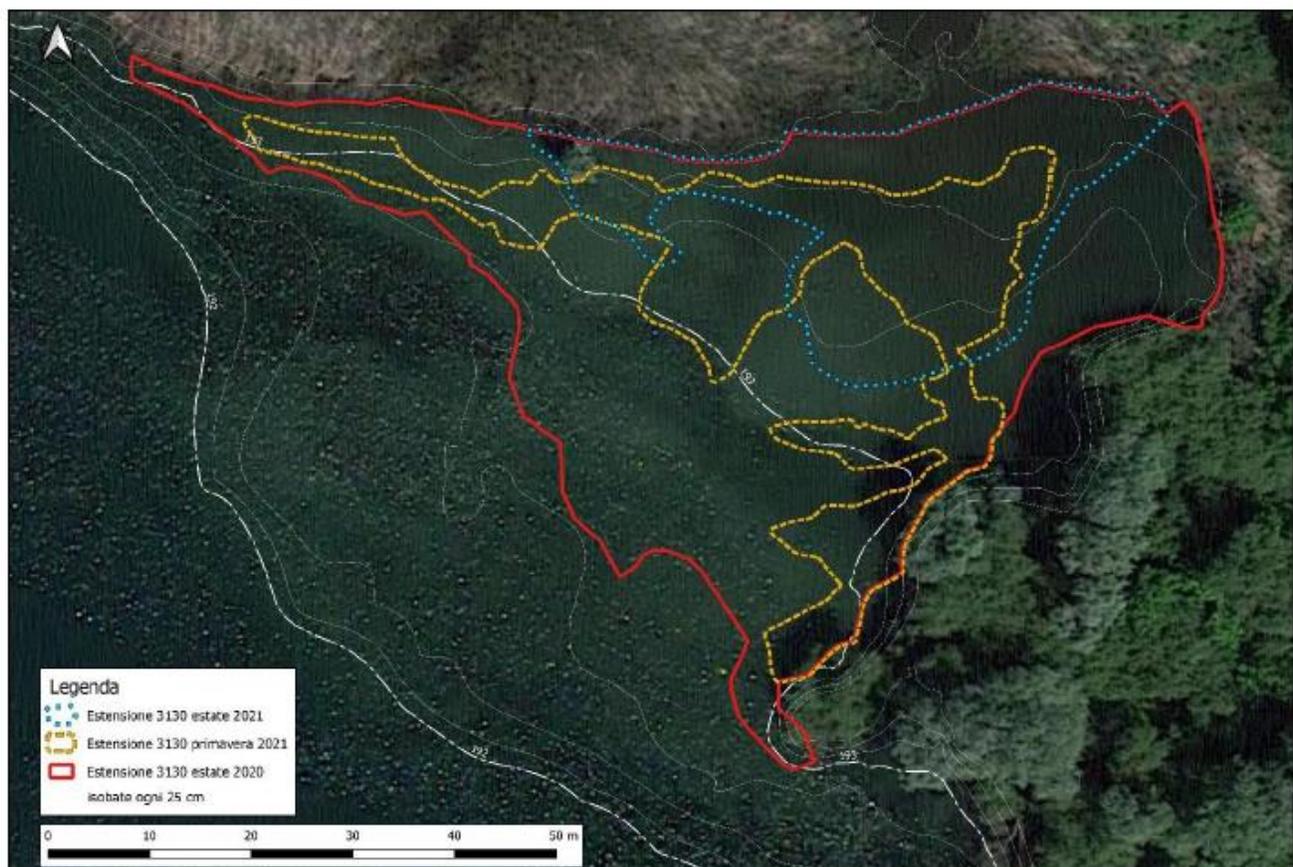


Fig. E3. Estensione dell'habitat 3130 rilevato nel Sito 2 nell'estate 2020 (in rosso), nella primavera 2021 (in arancione tratteggiato) e nell'estate 2021 (in azzurro tratteggiato) (Fonte: *Relazione Attività WP3_03_Cordi*).

Tabella E2. Quota minima e massima (in m s.l.m.) nei 6 siti di monitoraggio delle superfici colonizzate da vegetazione riconducibile all'habitat 3130 durante agosto 2020 (Fonte: Relazione Attività WP3_03_Cord).

ID Sito	Superficie colonizzata da vegetazione riconducibile all'habitat 3130	
	Quota minima (m s.l.m.)	Quota massima (m s.l.m.)
1	192,66	193,65
2	192,75	193,73
3	192,82	193,81
4	192,80	193,68
5	192,77	193,69
6	192,69	193,44
MINIMO	192,66	193,44
MEDIA	192,75	193,67
MASSIMO	192,82	193,81

Rilievi floristici. I rilievi floristici nel corso del progetto hanno permesso di rilevare la presenza di 6 specie riconducibili all'habitat 3130, il cui elenco e caratteristiche sono riportate in Tab. E3.

Tabella E3. Specie riconducibili all'habitat 3130, e caratteristiche principali, rinvenute nel triennio 2020-21-22 (Fonte: Relazione Attività WP3_03_Cord).

	Indice N - valore delle sostanze nutritive (Landolt <i>et al.</i> , 2010)	Forma biologica (classificazione di Raunkjaer)
<i>Eleocharis acicularis</i>	povero in nutrienti	<u>Geofite/Terofite - piante perenni che trascorrono la stagione avversa con fusti sotterranei metamorfosati/</u> piante annuali che compiono il loro ciclo vitale nella buona stagione mentre trascorrono la stagione avversa allo stato di semi.
<i>Littorella uniflora</i>	povero in nutrienti	Idrofite - piante acquatiche con gemme perennanti completamente immerse o natanti nell'acqua.
<i>Ranunculus reptans</i>	povero in nutrienti	<u>Emicriptofite/Idrofite - piante perennanti per mezzo di gemme poste a livello del terreno/</u> piante acquatiche con gemme perennanti completamente immerse o natanti nell'acqua
<i>Cyperus fuscus</i>	da mediamente povero a mediamente ricco in nutrienti	Terofite - piante annuali che compiono il loro ciclo vitale nella buona stagione mentre trascorrono la stagione avversa allo stato di semi.
<i>Cyperus michelianus</i>	da mediamente povero a mediamente ricco in nutrienti	
<i>Lindernia dubia</i>	ricco in nutrienti	

La maggior ricchezza di specie è stata registrata in estate, quando, sia nel 2020 che nel 2021, sono state rilevate tutte le 6 specie riconducibili all'habitat 3130 ed elencate in Tab. E3. Anche nel 2022 sono state rilevate queste 6 specie ma i livelli anomali del lago, molto bassi, hanno favorito anche l'ingresso di specie pioniere, annuali, nitrofile e antropofile (es. *Persicaria lapathifolia* e *Bidens frondosa*).

Durante le indagini primaverili (2021-2022) ed invernali (gennaio 2022), si è assistito ad un impoverimento della ricchezza floristica rispetto all'estate: erano infatti presenti le sole specie perenni, non essendo ancora germinate quelle annuali. Durante le 3 sessioni primaverili e invernali, le specie rilevate all'interno di ogni sito non sono variate, mettendo in evidenza la stabilità delle comunità vegetali presenti e il mantenimento delle potenzialità dell'habitat durante tutto l'anno.

I rilievi hanno permesso anche di osservare:

- *Ranunculus reptans*, che pur non essendo diagnostica dell'habitat 3130, è una specie di pregio rara;
- *Littorella uniflora*, campionata in primavera 2022 per la prima volta nel progetto e assente anche nel progetto *Sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore*. Questa specie è molto rara e presente con certezza in Italia solo in Lombardia e in Sardegna (di dubbia presenza in Veneto e non più ritrovata da lungo tempo in Piemonte ed Emilia-Romagna; portale Dryades; www.dryades.units.it);
- *Lindernia dubia*, specie alloctona invasiva rilevata spesso negli ambienti fangosi.

Conclusioni: Necessità di un aggiornamento dell'indicatore e in particolare del valore della soglia di emersione dei litorali che andrebbe portato da 193,36 m s.l.m. (+35 cm sullo zero idrometrico a Sesto Calende), come suggerito nel progetto *STRADA 2.0*, a quota 193,81 (+80 cm sullo zero idrometrico a Sesto Calende). Tale risultato è pienamente in linea anche con quanto osservato nella ZSC-ZPS Fondo Toce durante il progetto *Sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore*.

Efficacia: La soglia di emersione dei litorali ricade sempre al di sotto della soglia di massima regolazione, anche storica, risultando quindi più influenzato da variazioni di livello non dettate dai massimi livelli.

Criterio F - Riproduzione Alborella

Fonte: Relazione attività WP3_03 – Rilievo e analisi del successo riproduttivo di specie ittiche - Dott. Veterinario Cesare Mario Puzzi + Relazione Attività WP3_02 - Consulenza per analisi di dati ecologici - Dott. Mattia Cordì

Contesto: L'alborella (*Alburnus arborella*) è un pesce con discreta valenza ecologica, in grado di svolgere il suo ciclo biologico in diversi tipi di ambienti acquatici, purché le acque siano sufficientemente pulite e ossigenate. Specie litofila e pelagica, vive in aree prive di vegetazione e con acqua profonda; si riproduce dalla fine di maggio fino a giugno-luglio.

Descrizione: Le uova muoiono quando, nel periodo tra la deposizione e la schiusa, il livello decresce oltre la profondità a cui le uova sono state deposte. In particolare, l'abbassamento dei livelli del lago potrebbe determinare rischi di esposizione e messa in asciutta dei nidi di frega localizzati presso riva in zone poco profonde e generare impatti sulla riproduzione in relazione ai seguenti fattori specifici:

- profondità minima a cui avviene la deposizione: sensibile anche a modeste escursioni di livello;
- durata della schiusa: quanti più giorni richiede la schiusa delle uova e tanto più prolungata sarà la finestra temporale di vulnerabilità delle stesse;
- periodo riproduttivo: se la frega avviene in periodi relativamente stabili dal punto di vista climatico e idrologico, sarà più ridotto il rischio di asciutta. La condizione peggiore è quando la deposizione avviene in situazioni di livelli particolarmente elevati rispetto alla norma, in cui è maggiore la possibilità di successive riduzioni.

Indicatore: Percentuale delle uova deposte dall'Alborella che non si schiudono poiché le uova muoiono quando, nel periodo tra la deposizione e la schiusa, il livello decresce oltre la profondità a cui sono state deposte.

Elaborazione: All'interno del progetto *STRADA 2.0*.

Obiettivo: Verifica della validità dell'indicatore nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche nel periodo di progetto.

Siti di monitoraggio: Il monitoraggio dell'attività di frega dell'Alborella è stato effettuato da metà maggio a fine giugno 2019-20-21 in tre siti: Caldé di Castelvecchana (VA) – terza darsena; Luino (VA) – foce del Fiume Tresa; Verbania (VB) – foce del Torrente San Bernardino. Solo nel sito di Caldè, area storica di frega della specie, è stata osservata attività riproduttiva; è in questo sito che si sono concentrate le attività di conteggio uova effettuate in date 14/06 e 26/06/2019, 01/06/2020 e 08/07/2021.

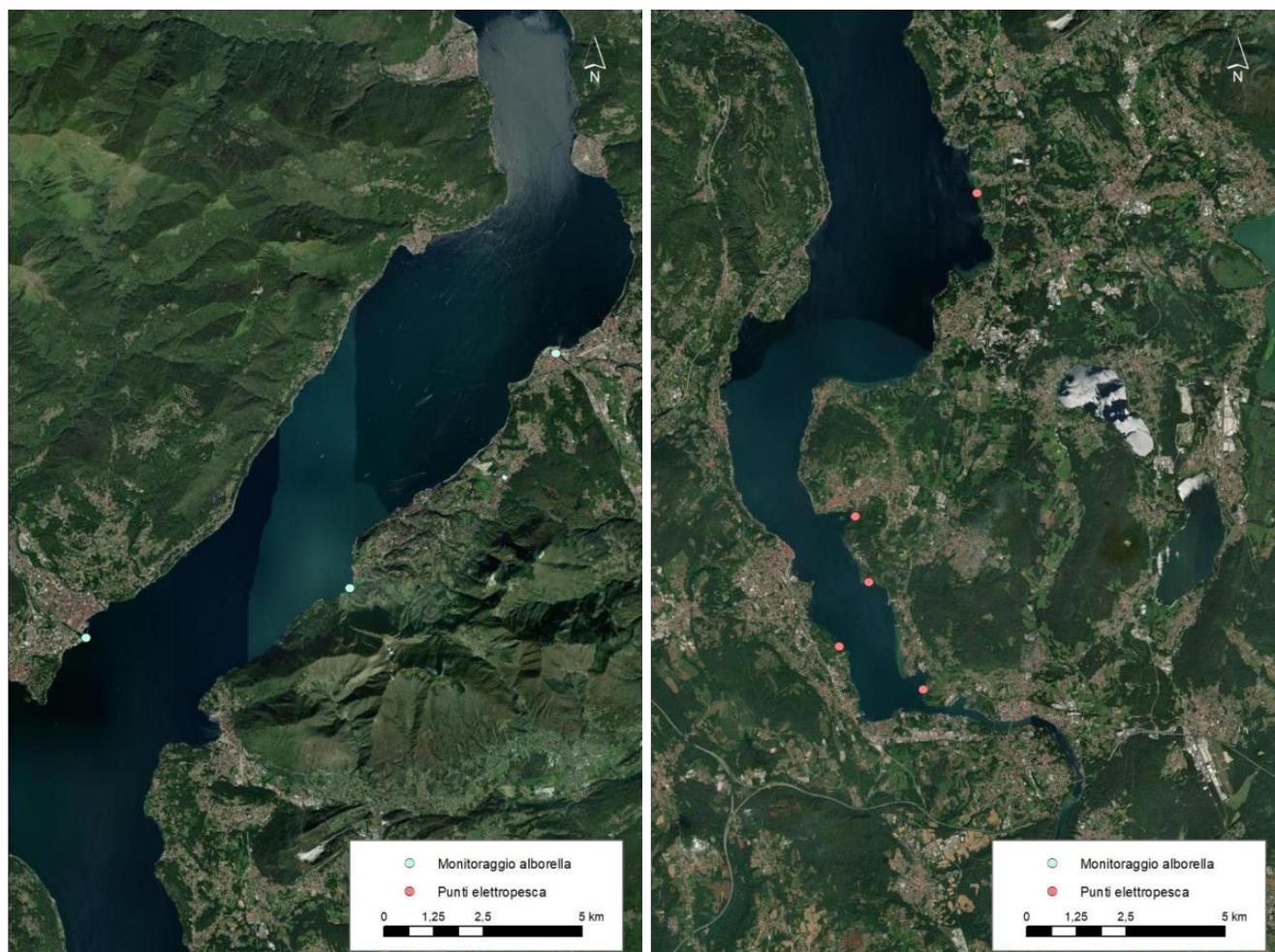


Fig. F1. Localizzazione dei siti di monitoraggio dell'Alborella (pallini azzurri) negli anni 2019-20 (*Fonte: Relazione Attività WP3_03_Puzzi*).

Metodologia: I conteggi delle uova deposte sono stati effettuati lungo transetti in cui, a intervalli di 10 cm di profondità, sono state contate le uova deposte in un quadrato di 20 x 20 cm. Contemporaneamente è stato misurato il profilo di ciascun transetto (i.e. distanza dal pelo libero e profondità dell'acqua) e la temperatura dell'acqua alle ore 10:00.

Risultati: La maggior densità di uova, in termini assoluti, è stata rilevata nel transetto più distante dalla spiaggia frequentata dai bagnanti sia nel 2019 sia nel 2020. Per quanto riguarda la profondità di deposizione (Fig. F2) e la percentuale di uova rinvenute asciutte:

- nel 2019, la profondità massima di deposizione è risultata pari a 0,6 m, con il 90% di uova deposte entro i primi 0,3 m di profondità. Tra il 12 e il 18 giugno, periodo stimato durante il quale è avvenuta la schiusa dell'evento di deposizione del 14 giugno, il livello idrometrico del lago è diminuito di 31 cm in 5 giorni (Fig. F3), portando verosimilmente in asciutta circa il 90% delle uova deposte. Tra il 23 e il 29 giugno 2019, periodo durante il quale è stata osservata la deposizione del 25 giugno, a parte una leggera diminuzione di 3 cm il primo giorno, il livello idrometrico è aumentato di 14 cm nei 5 giorni successivi; in questo caso è plausibile che siano finite in asciutta meno del 10% delle uova deposte;

- nel 2020, la profondità massima di deposizione è risultata pari a 0,5 m, con il 90% delle uova presenti nei primi 10 cm (50% delle uova rinvenute all'asciutto). Tra il 30 maggio e il 5 giugno 2020, periodo durante il quale è stata osservata la deposizione del 1° giugno, il livello idrometrico è diminuito di circa 8 cm in 4 giorni per poi aumentare di circa 16 cm negli ultimi due giorni (Fig. F3); questa diminuzione iniziale, seppur contenuta, è stata sufficiente a determinare l'asciutta del 50% delle uova deposte a riva;
- nel 2021, l'attività riproduttiva è risultata concentrata nei primi 10 cm di profondità ma in generale molto modesta e tardiva a causa di un periodo di instabilità meteorologica. Tra il 5 luglio e l'11 luglio 2021, periodo durante il quale è stata osservata la deposizione del 7 luglio, il livello è sceso di 5 cm nei primi 2 giorni ed è risalito di 20 cm nei 2 giorni successivi (Fig. F3); l'abbassamento ha comportato una perdita di uova stimata intorno al 15%.

Dal complesso delle osservazioni effettuate, si evince che l'Alborella nel Lago Maggiore depone le uova con una evidente preferenza per la fascia litorale, con profondità inferiore a 30 cm (Fig. F2), su materiale litoide (in prevalenza ghiaia grossolana e piccoli ciottoli); ciò si accorda con le informazioni bibliografiche disponibili. La deposizione di uova a basse profondità vicino a riva comporta un potenziale rischio di asciugata in relazione alle fluttuazioni del livello del lago.

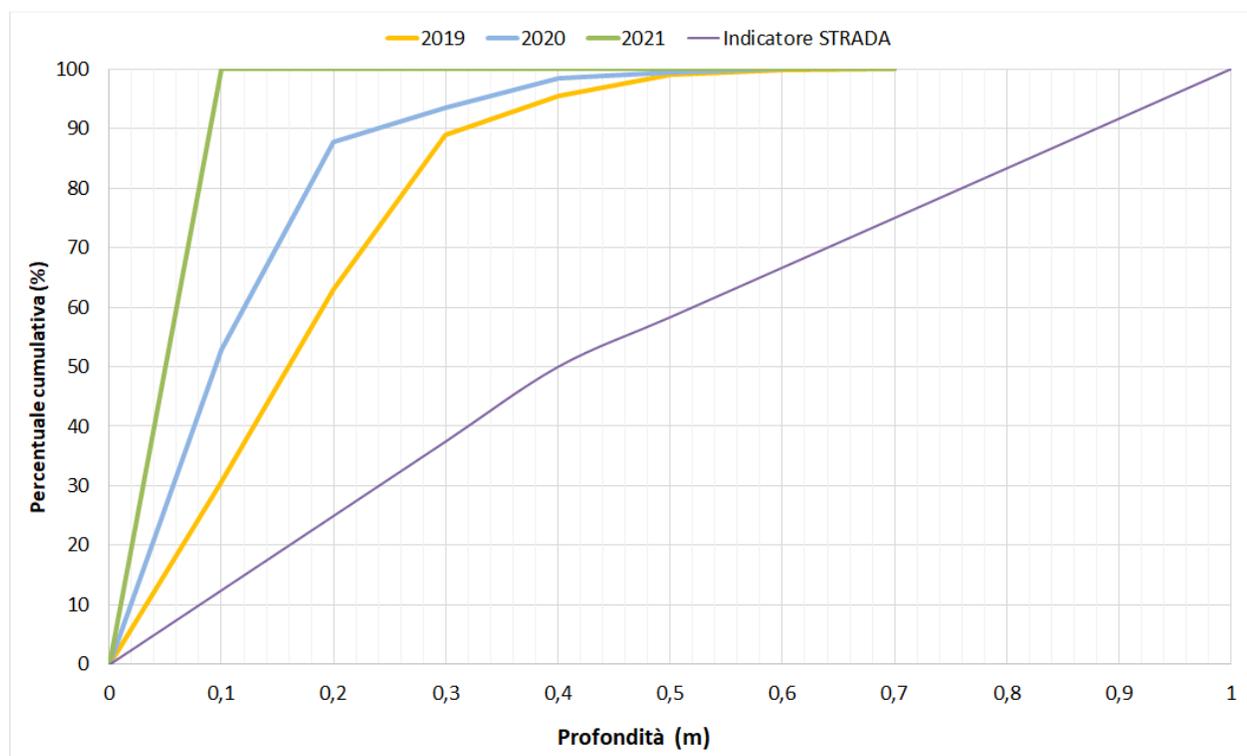


Fig. F2. Profondità di deposizione delle uova di alborella misurate fra il 2019 e il 2021 e confronto con il dato indicato dal progetto STRADA (Fonte: Relazione Attività WP3_02_Cord).

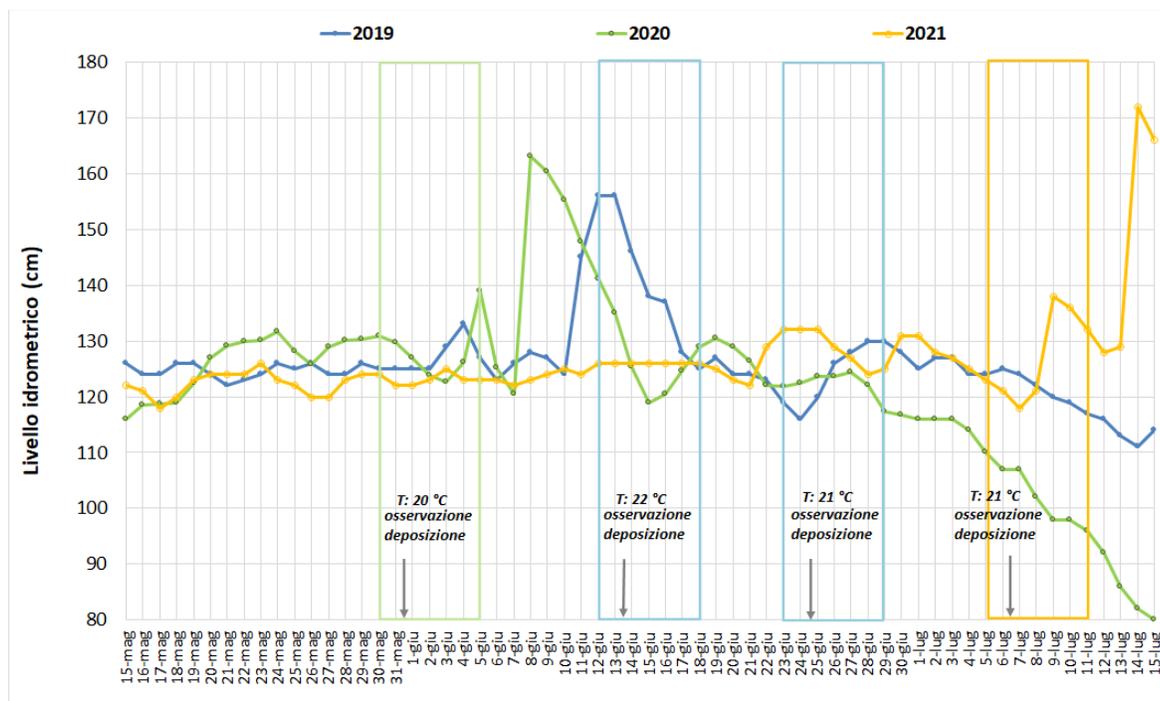


Fig. F3. Sovrapposizione dell'andamento dell'attività riproduttiva dell'Alborella con le altezze idrometriche del lago relative al periodo 15 maggio – 15 luglio per il triennio 2019-2021 (Fonte: *Relazione Attività WP3_03_Puzzi*).

Conclusioni: Necessità di un aggiornamento dell'indicatore e in particolare con valori minori rispetto a quelli ipotizzati nel progetto *STRADA 2.0* in quanto le deposizioni dell'Alborella risultano limitate ai primi 30 cm di profondità.

Nel progetto non sono state previste attività di approfondimento relative alla riproduzione del Coregone, in termini di percentuale delle uova deposte che non si schiudono, indicatore elaborato in parallelo a quello sull'Alborella durante il progetto *STRADA 2.0*.

Efficacia: L'indicatore non appare efficace a valutare i valori assoluti di regolazione del lago, ma invece si presta a valutare variazioni di livello, anche repentine, intese come "stabilità" dello stesso.

Criterio H - Trattamenti certi

Relazione Attività WP3_02 - Consulenza per analisi di dati ecologici – Dott. Mattia Cordì + Documento conclusivo redatto dai capofila svizzeri e italiani "Sistema Lago: contestualizzazione, problematica e indicatori"

Contesto: Le specie di Culicidi *Aedes vexans* e *A. sticticus* depongono le uova nel fango; le uova si schiudono nel momento in cui il terreno viene allagato. Dopo la schiusa, che avviene in 48 ore, le larve rimangono nell'acqua per 8-15 giorni prima di metamorfosare. Nel periodo primaverile-estivo, l'innalzamento dei livelli del lago crea le condizioni idonee alla deposizione di uova da parte delle zanzare, allagando temporaneamente i terreni nei pressi delle sponde. Questo dà origine a pullulazioni che provocano disagio alla popolazione locale e ai turisti, generando la necessità di effettuare trattamenti per il loro contenimento.

Descrizione: L'indicatore valuta il disagio provocato alla popolazione in seguito a pullulazioni di zanzare in numero di trattamenti necessari al contenimento dell'insetto. Si determina una situazione in cui è certamente necessario un trattamento ogni volta che, nel periodo in cui le pullulazioni possono verificarsi (15 aprile - 15 settembre), il livello supera la soglia oltre la quale le zanzare depongono le uova (+85 cm sullo zero idrometro di Sesto Calende) e nei sette giorni precedenti non sono stati effettuati trattamenti.

Indicatore: Numero medio annuo (trattamenti/anno) dei trattamenti certi.

Obiettivo: Verifica della validità dell'indicatore nel rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche nel periodo di progetto.

Metodologia: Raccolta dei dati relativi ai livelli lacustri giornalieri e calcolo del numero di giorni in cui questi ricadono oltre la soglia di deposizione delle zanzare (+85 cm rispetto allo zero idrometrico di Sesto Calende). Integrazione con confronto del numero di trattamenti effettuati nel periodo 1990-2006, corrispondente a livelli di massima regolazione "storici" (+1 m sullo zero idrometrico nel periodo 15 marzo-15 settembre), con quelli effettuati nel periodo 2007-2022, in cui è stato effettuato un innalzamento dei livelli di massima regolazione a +1,25/1,35 m.

Siti di monitoraggio:

Studio integrativo: variazione nel numero di trattamenti

Riserve delle Bolle di Magadino e Foce della Maggia. Analisi dei dati di archivio sui trattamenti effettuati contro le pullulazioni di larve di zanzara a partire dal 1990.

Risultati: Il numero di giorni in cui il livello del lago è stato superiore alla soglia indicata di +85 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende nel periodo 1° aprile - 31 agosto è stato pari a 101 giorni nel 2019, 69 nel 2020, 101 nel 2021 e 0 nel 2022 (Fig. F1).

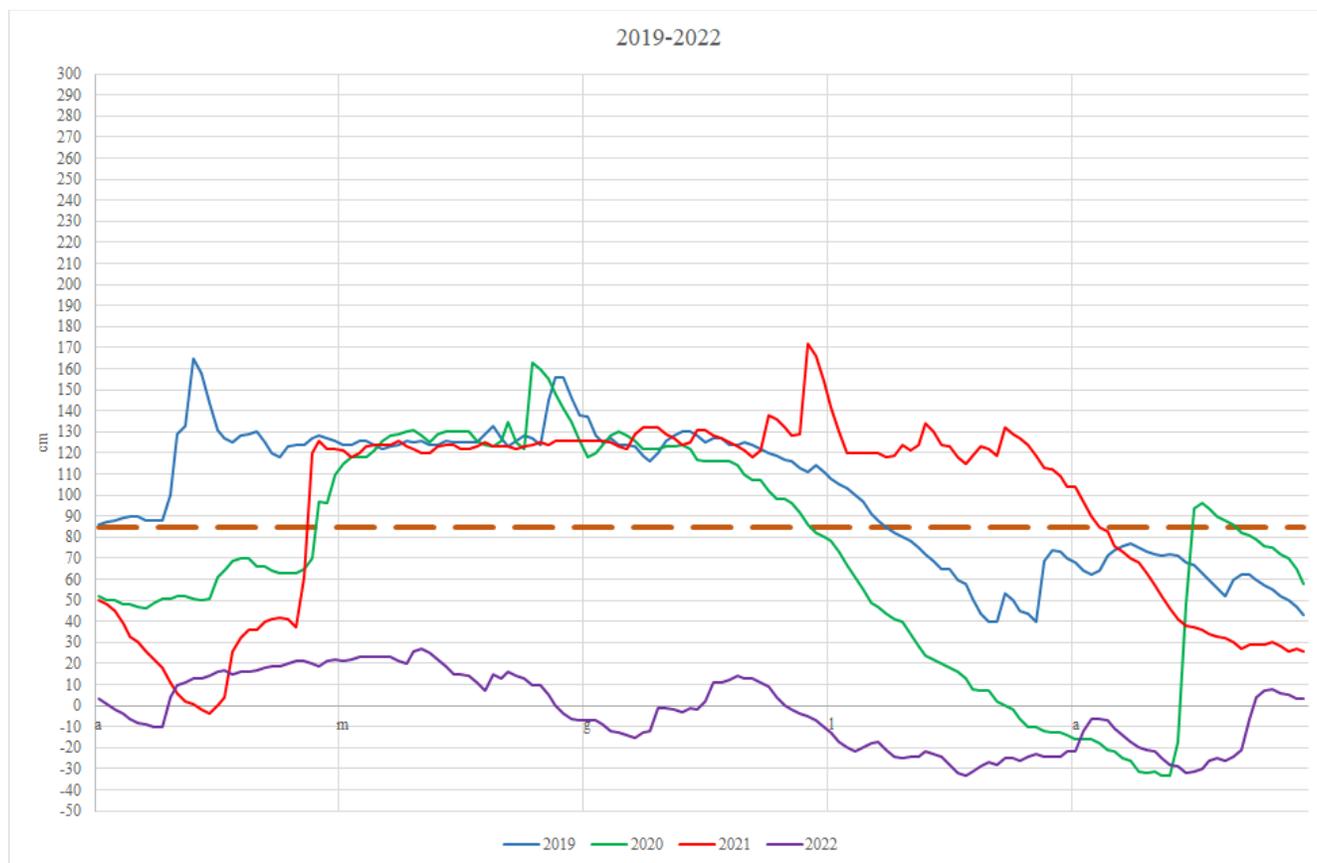


Fig. H1. Livelli lacustri fra il 2019 e il 2022 e soglia di +85 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende (linea marrone tratteggiata) che segna il numero di giorni con trattamenti certi (Fonte: *Relazione Attività WP3_02_Cord*).

Variazione nel numero di trattamenti

Il numero di trattamenti non varia con la quota di massima regolazione del lago (Fig. H2), ma viene stimato un aumento della superficie da trattare, in relazione agli eventi di innalzamento periodico dei livelli del lago, che avviene a quote maggiori con i valori di massima regolazione a +1,25/+1,35 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende.

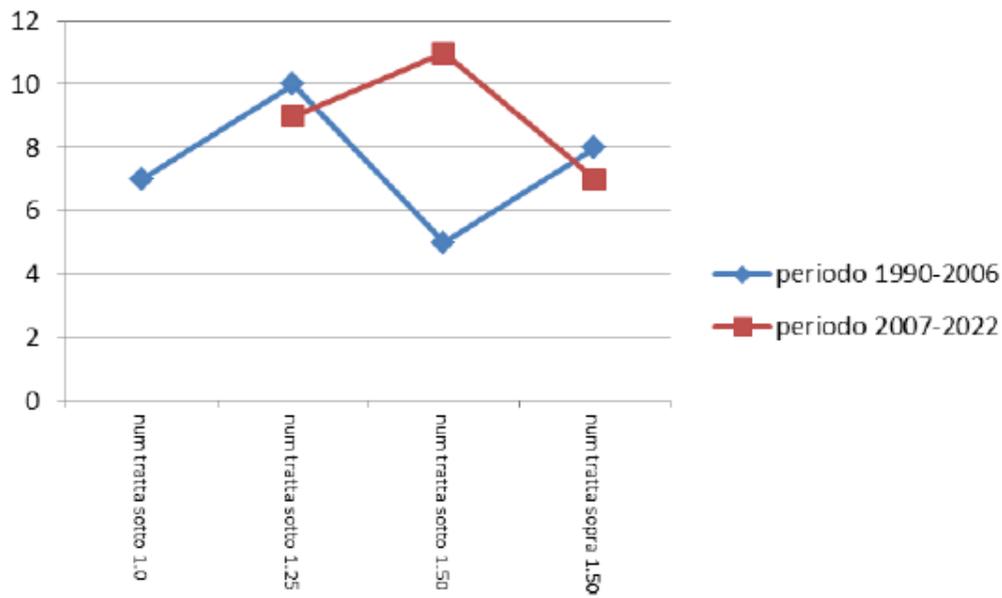


Fig. H2. Numero di trattamenti in relazione ai massimi livelli del lago (m sullo zero idrometrico di Sesto Calende) nel periodo 1990-2006 (in blu) e nel periodo 2007-2022 (in rosso), rispettivamente prima e dopo l'entrata in vigore dei nuovi livelli di massima regolazione nel periodo 15 marzo-15 settembre (*Fonte: Documento_Sistema Lago*).

Conclusioni: L'innalzamento dei livelli del lago nel periodo primaverile-estivo, in caso di allagamento temporaneo dei terreni, pur non determinando un incremento del numero di trattamenti da effettuare, determina potenzialmente un incremento della superficie idonea alla deposizione da parte delle femmine di zanzara e quindi da trattare, con conseguenti maggiori costi per le amministrazioni e disagi alla popolazione in caso di trattamento inefficace.

Efficacia: L'indicatore appare di interesse per la valutazione degli effetti ambientali dei livelli di massima regolazione del lago, anche se necessita di approfondimenti in sponda italiana, dove il problema viene segnalato a Fondo Toce ma non è documentato con analogo dettaglio.

3. WP4 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli sul sistema lago attraverso nuovi indicatori

Scopo di questo WP è stata la selezione di nuovi indicatori ecologici per la valutazione dello schema di gestione dei livelli del lago, durante il periodo di gestione ordinaria dello sbarramento della Miorina, poiché è noto che durante gli eventi di piena lo sbarramento risulta completamente abbattuto e l'andamento dei livelli risulta determinato esclusivamente dal rapporto fra le portate in ingresso e quelle in uscita. I nuovi indicatori sono stati pensati *ad hoc*, ma comunque sulla base della letteratura scientifica esistente in materia e sull'importante patrimonio conoscitivo dei soggetti coinvolti nel progetto, che da anni studiano e gestiscono gli ambienti dell'area di interesse. Anche in questo WP, come nel WP3, è stata posta una particolare attenzione agli effetti sulle diverse componenti biologiche oggetto di monitoraggio dei livelli del lago durante le stagioni primaverile ed estiva.

Inoltre, questo WP ha anche indagato le componenti biologiche del Lago di Mezzola, identificato come sistema di riferimento non regolato ed esterno per valutare comparativamente il grado di alterazione ecologica dovuta alla gestione dei livelli nel Lago Maggiore.

Criterio I – Stato di salute del canneto

Fonte: Relazione Attività WP4_02 - Attività di approfondimento sul canneto nelle Bolle di Magadino – Dott. Lisa Elzi e Nicola Patocchi + Relazione Attività WP4_02 – Rilievo e analisi dello stato ed estensione della vegetazione igrofila – Dott. Andrea Romanò

Contesto: Gli ambienti a canneto sono habitat importanti per molte specie animali (es. ittiofauna, avifauna, anfibi e rettili), ma in regressione in tutta Europa; le cause di questo declino possono essere varie (es. eutrofizzazione, regolazione artificiale dei livelli delle acque e moti ondosi, specie aliene invasive, pascolamento, attacco da parte di insetti). Un intervento per promuovere il mantenimento e l'espansione del canneto è lo sfalcio degli steli secchi di *Phragmites australis* durante l'inverno, che ne incentiva la ricrescita. Questa pratica può essere però rischiosa in quei contesti dove i germogli di canna potrebbero venire sommersi e quindi morire, come lungo le sponde di laghi regolati artificialmente quali il Lago Maggiore.

Descrizione: La sommersione totale dei germogli di canna può provocarne il soffocamento ed impedirne la crescita.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo indicatore, anche se gli effetti della sommersione sui germogli di canna è stato rilevato nel monitoraggio dei siti italiani nel progetto *Sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore*.

Obiettivo: Verificare la validità dell'habitat a canneto, e dei parametri ad esso associati, come possibile indicatore da sviluppare con lo scopo di rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche del sistema lacustre + Verificare l'effetto dei livelli del lago nel periodo primaverile sulla crescita dei germogli di canna.

Siti di monitoraggio:

Riserva delle Bolle di Magadino (Svizzera)

Quattordici quadrati 20x20 m all'interno delle formazioni a canneto delle Bolle di Magadino, a tre quote: (a) bassa: < 193,475 m s.l.m.; (b) media: tra 193,476 m e 193,7 m s.l.m.; (c) alta: > 193,7 m s.l.m. (N.B. le quote si riferiscono alla scala svizzera, che è a -0.35 m rispetto a quella italiana).

I quadrati sono stati individuati a inizio 2019 e sfalciati manualmente, con asportazione del materiale risultante, a febbraio 2019 e durante l'inverno 2020-21 (solo i quadrati C1 e C2 sono stati sfalciati invece a inizio 2022).

E' stato monitorato lo stato vegetativo delle canne, parametro ritenuto più idoneo a mettere in evidenza eventuali effetti delle variazioni dei livelli massimi di regolazione del lago sullo stato di salute del canneto, anche a seguito dei risultati di studi precedenti (Moret 1996). I rilievi utilizzati per le analisi sono stati quelli effettuati nel 2021 e nel 2022, tra marzo e luglio, in corrispondenza di ogni cambiamento significativo dei livelli del lago, o mensilmente, quando non è stata osservata nessuna variazione. Le misure prese sono state l'altezza media delle canne e la densità in sottoquadrati di 1x1 m, ponendo attenzione anche alle variazioni di quota all'interno di uno stesso quadrato. Uno studio

analogo è stato condotto nei canneti della Riserva naturale di Fondo Toce e nel sito Spiagge d'Oro Monvalle, i cui dati sono stati integrati nella Relazione Attività a cura dei Dott. Lisa Elzi e Nicola Patocchi, permettendo di estendere le valutazioni a diverse aree del lago.

Inoltre, è stata comparata la distribuzione e l'area occupata del canneto acquatico con struttura orizzontale, ma con formazioni a *clumping* evidenti (la crescita a *clumping*, i.e. in agglomerati, è sintomo di un cattivo stato di salute del canneto) all'interno della Riserva delle Bolle di Magadino nel 1992 e nel 2021, mediante indagine cartografica.

Sponde ricadenti in territorio italiano

Tra il 2020 e il 2022, sono stati monitorati 42 plot di 1x1 m all'interno di 11 settori spondali rappresentativi dei canneti del Lago Maggiore (Verbania, Brebbia e Besozzo, Angera, Dormelletto, Sesto Calende). In ogni plot, ogni anno durante la stagione vegetativa sono state rilevate, sulle cannuce di *Phragmites australis*, densità (n/m^2) e altezza (quest'ultima solo nel 2022) delle piante vive; alla fine della stagione vegetativa (tarda estate) sono state determinate le specie vegetali presenti, la copertura e il substrato su cui si sviluppavano e, per la sola *Phragmites australis*, l'altezza (m), il diametro (mm), il numero di nodi (n), le densità di culmi vitali, fioriti e apici secchi (n/m^2) e la presenza dell'habitus di accrescimento per cespi (clumping).

Risultati:

Riserva delle Bolle di Magadino (Svizzera)

Sviluppo del canneto e livelli del lago. In generale, i dati del 2021-22, seppur con variazioni annuali e legate alla quota del lago, mostrano come l'inizio della crescita delle canne, intesa come presenza di germogli di altezza inferiore a 50 cm, possa essere riferita alla fine di marzo, e si protragga fino a metà maggio, quando invece la maggior parte delle canne supera i 50 cm di altezza (N.B. alle quote più basse, i germogli sotto i 50 cm possono essere presenti anche fino a fine maggio). Tra fine marzo e metà maggio dunque, i germogli risultano a forte rischio di sommersione e quindi di soffocamento e deperimento.

In Fig. 11 sono rappresentate le soglie di livello del lago (+193,5 m e +193,2 m s.l.m. quota svizzera, pari a +193,85 m e +193,55 m s.l.m. quota italiana) oltre le quali, soprattutto le aree localizzate a bassa quota che si sviluppano in depressioni, rischiano di andare incontro a una mancata ricrescita delle canne, se sfalciati in inverno, a causa del possibile soffocamento. Il canneto acquatico, tipico dell'area e in buona salute, si è adattato alla soglia di regolazione primaverile storica (i.e. +1 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende). La regolazione dei livelli del lago ha in ogni caso anticipato i rialzi primaverili (si vedano Fig. 8-9), che cominciano già da marzo e con circa +40 cm ad aprile, mesi ancora critici per la crescita dei germogli di canna. Questi innalzamenti sono considerati nello studio quale probabile origine della regressione del fronte del canneto negli ultimi cinquant'anni, potenzialmente accelerati dal 2007 con l'innalzamento a +1,5 m (un ulteriore innalzamento di ca. +10 cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende nel mese di aprile). A questi seguirà, verosimilmente, un nuovo adattamento verso quote più alte dell'*optimum* di crescita di questo habitat, fattore problematico per una riserva di piccole dimensioni e attorniata da ambienti antropizzati (agricoli e infrastrutture), come quella delle Bolle di Magadino.



Fig. 11. Livelli lacustri (in m s.l.m. e in cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende – quota svizzera) in relazione alla crescita del canneto rilevata tra il 2021 e il 2022. Simboli dello stato di crescita del canneto nelle aree più basse (A) e alte (B) dei quadrati con quota variabile: triangolo verde = buona crescita; stella rossa = aree di mancata crescita. Struttura fisionomica del canneto nella Riserva delle Bolle di Magadino: in azzurro = canneto palustre denso in buono stato di salute con strutture orizzontali; in verde scuro = canneto palustre sparso; in verde chiaro = canneto palustre denso verticale / pseudocanneto terrestre; in verde oliva = canneto sparso misto a cariceto; in arancio, cariceto denso. Le linee grigie rappresentano i livelli di regolazione del lago, la linea blu il limite superiore per il canneto palustre e le linee rosse le altitudini di interesse gestionale.

Distribuzione del canneto a clumping. In circa 20 anni, la distribuzione del canneto con habitus a *clumping* è quasi raddoppiata, passando da 33 256 m² nel 1992 a 56 322 m² nel 2021 (Fig. 12).

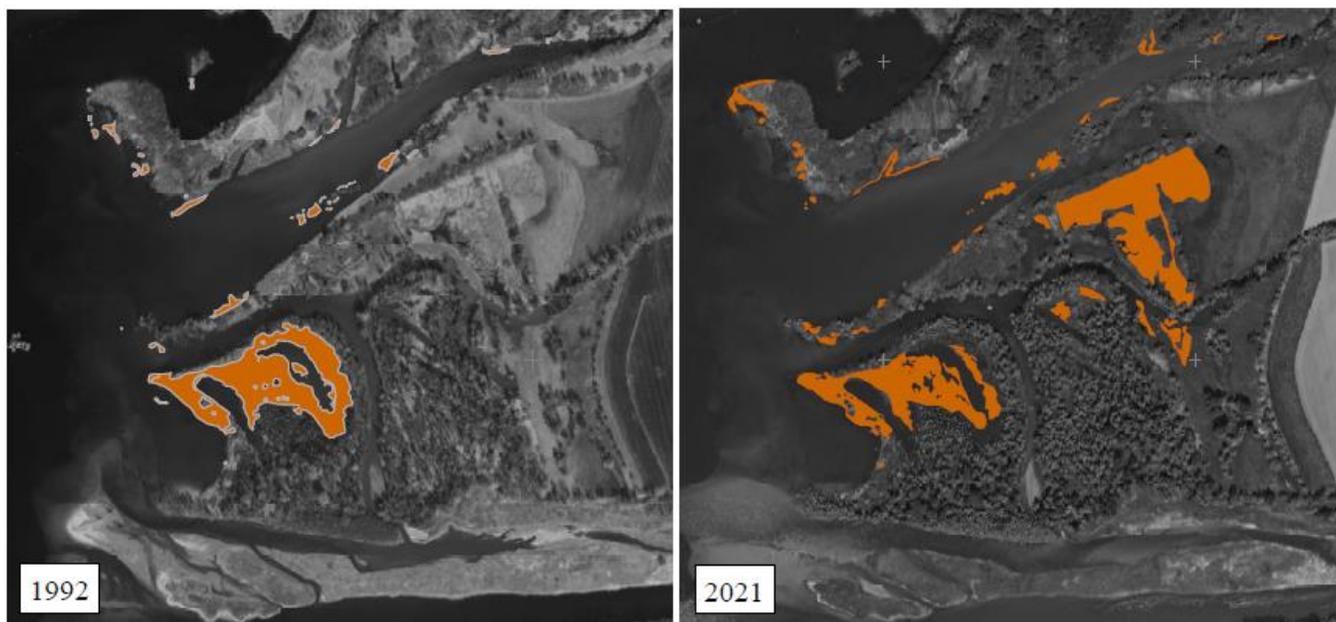


Fig. 12. Distribuzione del canneto a *clumping* nella parte centrale della Riserva delle Bolle di Magadino nel 1992 (a sinistra) e nel 2021 (a destra).

Sponde ricadenti in territorio italiano

Macroarea Verbania. *Phragmites australis* è risultata presente in tutti gli 11 plot indagati, insieme ad altre specie quali: *Lindernia dubia*, *Rorippa amphibia*, *Ranunculus reptans*, *Eleocharis acicularis* e *Littorella uniflora*, presenti con basse coperture nel 2020-21. Nel 2022, i bassi livelli del lago hanno permesso anche la colonizzazione di specie nitrofile, pioniere e caratteristiche di ambienti ricchi di limo (es. *Erigeron* sp., *Echinochloa crus-galli*, *Persicaria lapathifolia* e *Persicaria hydropiper*). Nell'area sono presenti fenomeni di *clumping*.

Macroarea Brebbia e Besozzo. *Phragmites australis* è risultata presente in 9 su 12 plot indagati. Nel 2022, sono comparse anche specie caratteristiche di ambienti ricchi di limo (es. *Persicaria hydropiper*). Nell'area sono presenti fenomeni di *clumping*.

Macroarea Angera. *Phragmites australis* è risultata presente in tutti i 9 plot indagati, insieme ad altre specie quali: *Littorella uniflora* e *Schoenoplectus lacustris*, presenti con basse coperture nel 2020-21. Nel 2022, *Littorella uniflora* ha incrementato la sua copertura e sono comparse anche specie anfibe tipiche della fascia litorale come *Ranunculus reptans* e *Cyperus fuscus*, e specie pioniere e caratteristiche di ambienti ricchi di limo (es. *Erigeron* sp., *Urtica dioica*, *Phytolacca americana* e *Persicaria hydropiper*).

Macroarea Dormelletto. *Phragmites australis* è risultata presente in tutti e 4 i plot indagati, come unica specie.

Macroarea Sesto Calende. *Phragmites australis* è risultata presente in tutti e 6 i plot indagati, insieme ad altre specie quali: *Gratiola officinalis* e *Carex elata*, presenti con basse coperture nel 2020-21. Nel 2022, è stata rilevata anche la colonizzazione di specie alloctone, pioniere e caratteristiche di ambienti

ricchi di limo (es. *Persicaria lapathifolia*, *Lindernia dubia*, *Cyperus fuscus*, *Alnus glutinosa*, *Salix cinerea* e *Robinia pseudoacacia*).

Tutte le macroaree. In tutte le macroaree indagate, i plot localizzati a quote più elevate sono costituiti quasi esclusivamente da *Phragmites australis*. La densità, misurata come numero di cannuce vive al m², è aumentata nel periodo compreso tra aprile e agosto-settembre per decrescere verso la fine della stagione vegetativa (ottobre). Anche l'altezza media delle cannuce misurata nel 2022, è risultata simile tra le macroaree, con valori attorno ai 10 cm a marzo, che salgono a circa 60 cm ad aprile e attorno o oltre i 2 m da giugno. Nel complesso, la densità di cannuce (n/m²) in tarda primavera/inizio estate non è risultata correlata con la quota, mentre l'altezza e il diametro delle stesse è aumentato con la quota.

I plot indagati sono stati classificati sulla base della struttura fisionomica rilevata nel 2022 utilizzando le stesse classi della Riserva delle Bolle di Magadino (Fig. I3). Il canneto palustre denso, caratterizzato da una struttura più consistente e a minor rischio di frammentazione, è risultato quello localizzato nella fascia compresa tra 193,55 m e 193,85 m s.l.m.

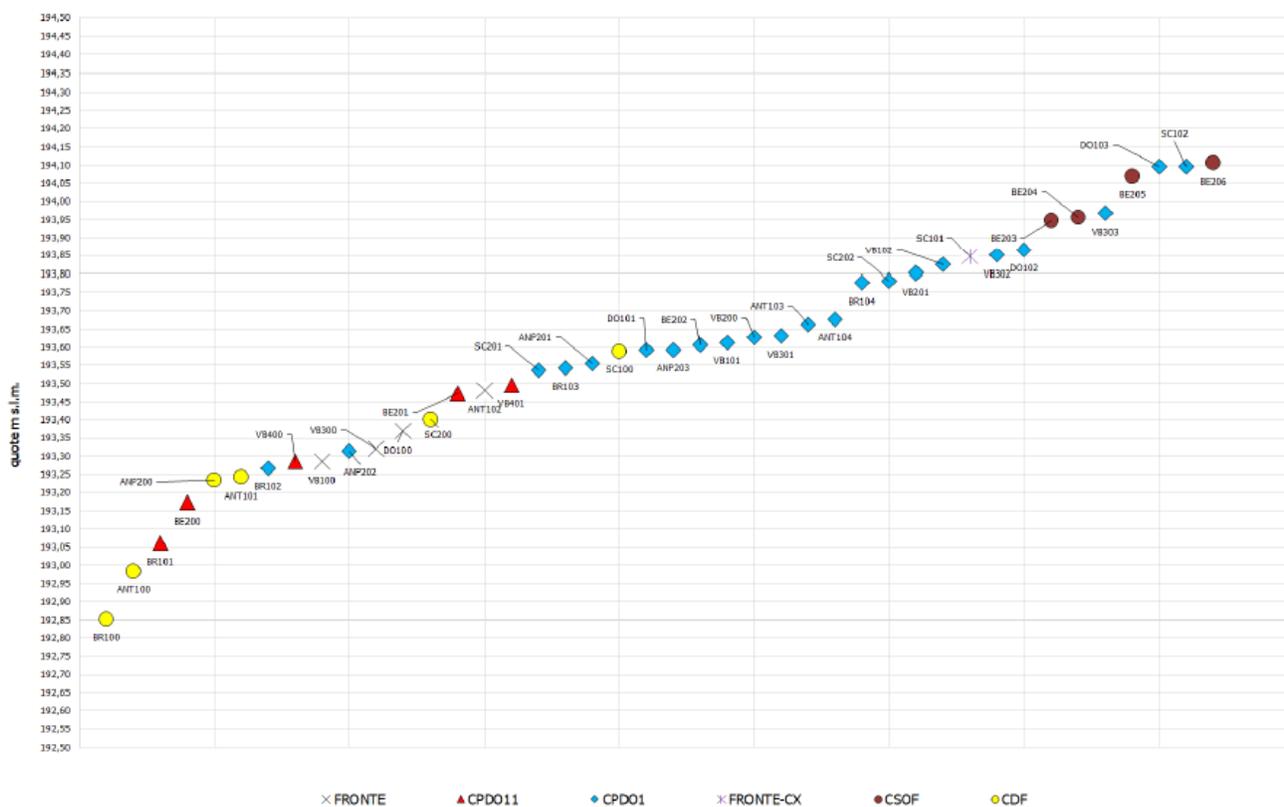


Fig. I1. Quote (m s.l.m. – quota italiana) dei plot monitorati nel periodo 2020-21-22 e struttura fisionomica del canneto lungo le sponde italiane: X = fronte acquatico del canneto maturo (zona di transizione tra substrato nudo o cannuce sparse e canneto denso); in rosso = *clump*; in azzurro = canneto palustre con struttura orizzontale; asterisco = canneto palustre denso con presenza di *Carex* sp.; in marrone = canneto soffocato da altra vegetazione (principalmente *Apios americana* e *Urtica dioica*); in giallo = cannuce davanti al fronte maturo.

Conclusioni: I risultati della Riserva delle Bolle di Magadino confermano che i livelli del lago influenzano la crescita del canneto; la sommersione prolungata dei germogli in primavera, soprattutto tra metà marzo e la fine di aprile, ne può causare il soffocamento e il deperimento, in accordo con analisi precedenti (*Sperimentazione dei nuovi livelli di esercizio del Lago Maggiore*) e anche in apparente conformità con i rilievi sulle sponde italiane, che registrano altezze dei culmi inferiori a 50-60 cm fino ad aprile. L'indagine condotta nella Riserva delle Bolle di Magadino indica anche come la soglia dei livelli del lago sotto la quale sarebbe meglio evitare di effettuare interventi di sfalcio, perché legata a possibile rischio di non ricrescita del canneto per sommersione primaverile è 193,5 m s.l.m. (quota svizzera, pari a 193,85 m s.l.m. quota italiana); sotto i 193,2 m s.l.m. (quota svizzera, pari a 193,55 m s.l.m.), il rischio risulta ancora più elevato. Inoltre, l'innalzamento dei livelli primaverili del lago può determinare un ulteriore innalzamento dell'*optimum* di crescita del canneto (di cui lo studio riporta già i primi segnali per la Riserva delle Bolle di Magadino) e quindi una regressione del fronte dello stesso, che può non essere possibile in termini di superfici retrostanti colonizzabili.

Lo studio svizzero indica inoltre come sia importante non utilizzare solo l'altezza del canneto quale parametro indicatore dello stato di salute dello stesso, ma di tenere conto anche della presenza di aree con *habitus* di crescita a *clumping* o senza ricrescita; l'altezza negli agglomerati può inizialmente infatti essere simile a quella del canneto circostante in buono stato di salute.

Infine, dalla sperimentazione effettuata nell'ambito del WP6_05 "Monitoraggio dell'efficacia degli interventi di riqualificazione ambientale nella Riserva naturale del Fondo Toce e nella Riserva naturale dei Canneti di Dormelletto e la definizione di buone prassi", a cura di SEAcop STP, sembra emergere un possibile stress a breve termine sul canneto (in termini di altezze minori e allettamento maggiore nelle parcelle sfalciate rispetto a quelle non sfalciate) da parte degli interventi di riqualificazione, che dovrebbe essere monitorato almeno sul medio termine.

Efficacia: L'habitat monitorato risulta un indicatore efficace degli effetti ambientali delle variazioni dei livelli, anche massimi, di regolazione del lago e meritevole di essere sviluppato come indicatore in termini di numero di giorni in cui il lago non superi una data quota, soprattutto nella stagione primaverile. Gli autori dello studio su sponde italiane segnalano che, per le aree di indagine di loro competenza, la quota, il periodo e la durata della sommersione delle cannuce, per essere tradotte in un indicatore efficace, soprattutto in relazione ai massimi livelli, necessitano di studi aggiuntivi.

Critério L – Allagamento del canneto

Fonte: Relazione Attività WP4_02 - Quantificazione della superficie e degli habitat maggiormente sommersi con una soglia di regolazione maggiore – Dott. Nicola Patocchi + Relazione Attività WP4_02 – Rilievo e analisi dello stato ed estensione della vegetazione igrofila – Dott. Andrea Romanò + Relazione Attività WP4_02 - Rilievo della morfologia dei litorali – Dott. Ing. Beniamino Barengi + Relazione Attività WP4_02 – Analisi della morfologia dei litorali e rilievo dell'estensione della vegetazione igrofila – Dott. Ing. Stefano Molinari

Contesto: Gli ambienti a canneto sono habitat importanti per molte specie animali (es. ittiofauna, avifauna, anfibi e rettili), ma in regressione in tutta Europa. L'aumento dei livelli in laghi regolati è identificato come uno dei maggiori fattori di rischio per il mantenimento di questo habitat, sia in termini di nuove superfici permanentemente sommerse, sia in termini di allagamento periodico quando avviene in fasi particolarmente delicate come quello di crescita primaverile, quando la sommersione dei nuovi germogli ne può compromettere la loro sopravvivenza.

Descrizione: L'innalzamento prolungato dei livelli del lago, con particolare attenzione al periodo primaverile, può determinare un allagamento permanente del canneto con conseguente innalzamento dell'*optimum* di crescita e quindi una regressione del fronte dello stesso, che può non essere possibile in termini di superfici retrostanti colonizzabili.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo Indicatore.

Obiettivo: Stimare l'estensione degli habitat a canneto in relazione alla quota e quantificare le superfici soggette ad allagamento in relazione ai massimi livelli del lago + Verificare la validità dell'habitat di canneto, e dei parametri ad esso associati, come possibile indicatore da sviluppare con lo scopo di rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche del sistema lacustre.

Siti di monitoraggio:

Riserva delle Bolle di Magadino e Foce Maggia (Svizzera)

Sulla base di elaborazioni cartografiche che hanno preso in considerazione i modelli topografici del terreno e le carte degli habitat presenti, sono stati stimati gli ettari e le superfici percentuali che andrebbero incontro a sommersione per la Riserva delle Bolle di Magadino e Foce della Maggia.

Le superfici inondate vengono quantificate per fasce di 25 cm a partire dalla soglia di regolazione storica primaverile del lago, pari a +1 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende, considerando anche la fascia di influenza -25 cm al di sotto del livello del terreno e quindi la fascia radicale in contatto diretto con la falda.

Sponde ricadenti in territorio italiano

Sulla base di elaborazioni cartografiche e di verifiche su campo (percorrendo il perimetro del lago mediante imbarcazione) sono state censite le aree a canneto lungo le sponde del lago ricadenti in territorio italiano. Di tutte le aree mappate, ne sono state selezionate 18 (principalmente localizzate nella parte meridionale del lago) rappresentative per estensione, con frammentazione e disturbo

antropico limitato o assente, e facilmente accessibili. Per le elaborazioni della superficie a canneto sommersa in relazione ai livelli di regolazione del lago, sono stati utilizzati i dati raccolti nel 2020 nelle aree di Angera, Dormelletto, Monvalle, Fondo Toce e Sesto Calende.

Queste elaborazioni sono state possibili grazie alle attività propedeutiche riassunte nelle Relazioni Attività WP4_02 degli Ing. Barenghi e Molinari. La prima relazione è incentrata sulle attività di (a) raccolta dati batimetrici, condotta con ausilio di GPS ed ecoscandaglio, e topografici, condotta da terra tramite GPS, e (b) rilievi LIDAR, che hanno interessato tra le 10 e le 13 zone di monitoraggio ricadenti nelle aree di Angera, Dormelletto, Monvalle, Fondo Toce e Sesto Calende che includevano i 18 canneti oggetto di monitoraggio da parte del Dott. Romanò. La seconda relazione contiene le mappe batimetriche (che riportano pendenza del fondale, profondità e isobate) e i modelli digitali del terreno (DTM) ottenuti dall'elaborazione di questi dati. Di seguito, un esempio di mappe realizzate per l'area di Sesto Calende (Fig. L1).



Fig. L1. Mappa batimetrica (a sinistra) e DTM (a destra) per l'area di Sesto Calende (Fonte: Relazione Attività WP4_02_Molinari).

Per i 18 siti a canneto monitorati dal Dott. Romanò è anche stata rilevata la morfologia del fronte e le sue variazioni nel periodo 2020-21-22, con l'ausilio di strumentazione topografica Topcorn Hiper V. La rappresentazione grafica dei punti di monitoraggio è riportata nella Relazione Attività WP4_02 dell'Ing. Molinari, mentre l'elaborazione in mappe con le linee del fronte sono riportate nella Relazione Attività WP4_02 del Dott. Romanò.

Risultati:

Riserva delle Bolle di Magadino e Foce della Maggia

Nel complesso, le superfici che si trasformeranno da habitat palustri ad habitat acquatici, e quelle che verranno sommerse, vengono stimate rispettivamente pari a 35 ha (33 ha per le Bolle di Magadino + 2 ha per la Foce della Maggia) e 31 ha (28 ha per le Bolle di Magadino + 3 ha per la Foce della Maggia) per lo scenario con rialzo primaverile pari a +1,25 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende (Fig. L2).

Le superfici sono ovviamente maggiori e rispettivamente pari a 47 ha (44 ha per le Bolle di Magadino + 3 ha per la Foce della Maggia) e 43 ha (39 ha per le Bolle di Magadino + 4 ha per la Foce della Maggia) per lo scenario con rialzo primaverile pari a +1,50 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende.

In totale, la superficie trasformata e sommersa oscilla rispettivamente tra il 13% e il 17% e tra il 12% e il 16% dell'estensione cumulata delle due aree protette, con gli scenari +1.25 m e +1.50 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende (la percentuale riguarda solo le superfici interessate dai 25 e 50 cm di rialzo a partire dal limite storico di +1,00 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende).

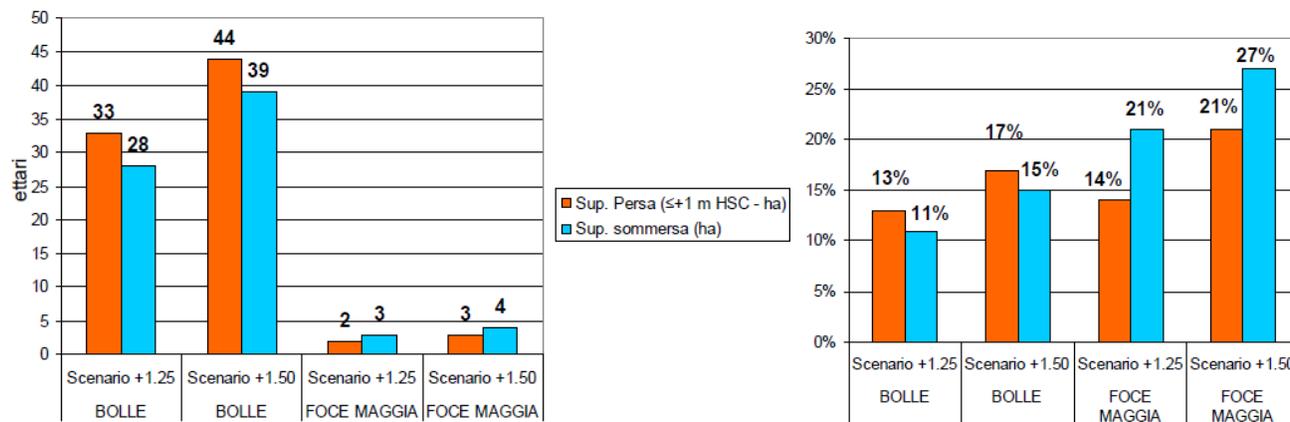


Fig. L2. Superfici in ettari (a sinistra) e percentuali (a destra) sul totale dell'estensione delle aree protette Bolle di Magadino e Foce della Maggia soggette a trasformazione da habitat palustre ad acquatico (in rosso) e a sommersione (in azzurro) in caso di innalzamento costante dei livelli di massima regolazione primaverile del lago a +1,25 m e +1,50 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende (il riferimento è il livello di regolazione storica a +1 m) (Fonte: Relazione Attività WP4_02_Patocchi).

Gli habitat maggiormente impattati da un costante innalzamento dei livelli primaverili del lago saranno in particolare cariceti, megaforie e lischeti e formazioni monospecifiche a Salice bianco (*Salix alba*; Fig. L3).

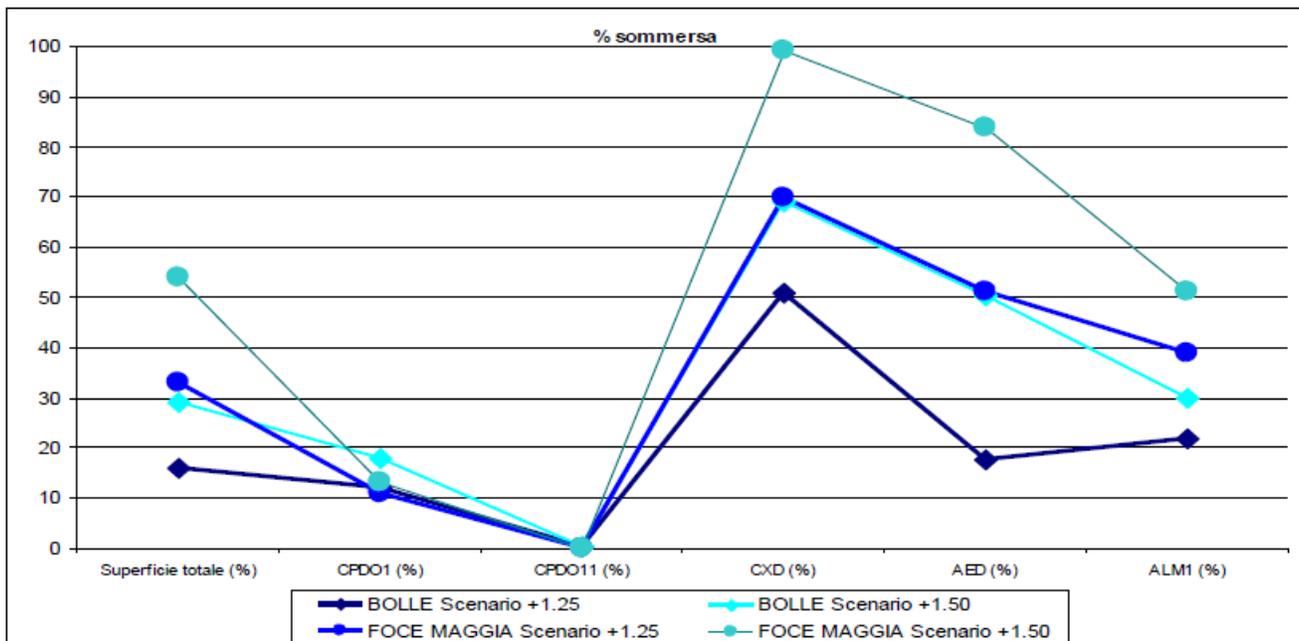


Fig. L3. Percentuali di habitat soggetto a sommersione sul totale dell'estensione delle aree protette Bolle di Magadino e Foce della Maggia in caso di innalzamento costante dei livelli di massima regolazione primaverile del lago a + 1,25 m e + 1,50 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende (il riferimento è il livello di regolazione storica a +1 m). CPDO1: canneti acquatici; CPDO11: canneti acquatici con formazioni a *clumping*; CXD: cariceti; AEM: megaforbie e lischeti; ALM1: formazioni monospecifiche a Salice bianco (Fonte: *Relazione Attività WP4_02_Patocchi*).

Sponde ricadenti in territorio italiano

Per la descrizione dei singoli siti di campionamento, si rimanda alla Relazione Attività WP04_2 del dott. Andrea Romanò. A titolo esemplificativo, di seguito si riportano alcune delle elaborazioni effettuate per il sito Fondo Toce, dove è presente uno dei canneti più estesi del Lago Maggiore, e che sono disponibili all'interno della Relazione per ogni area monitorata. In particolare, per il canneto denominato come Fondo Toce 2 (FT2) le elaborazioni mostrano come solo il 7% della superficie ricade al di sotto della quota di 194,01 m s.l.m. (quota italiana, pari a 193,66 m s.l.m. quota svizzera), corrispondente alla quota di regolazione storica primaverile di + 1 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende (Fig. L4). Alle quote di massima regolazione primaverile, attualmente in via di sperimentazione, e cioè a quote +1,25 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende, la superficie sommersa aumenta al 41%, mentre a quote + 1,50 m raggiunge l'85%.

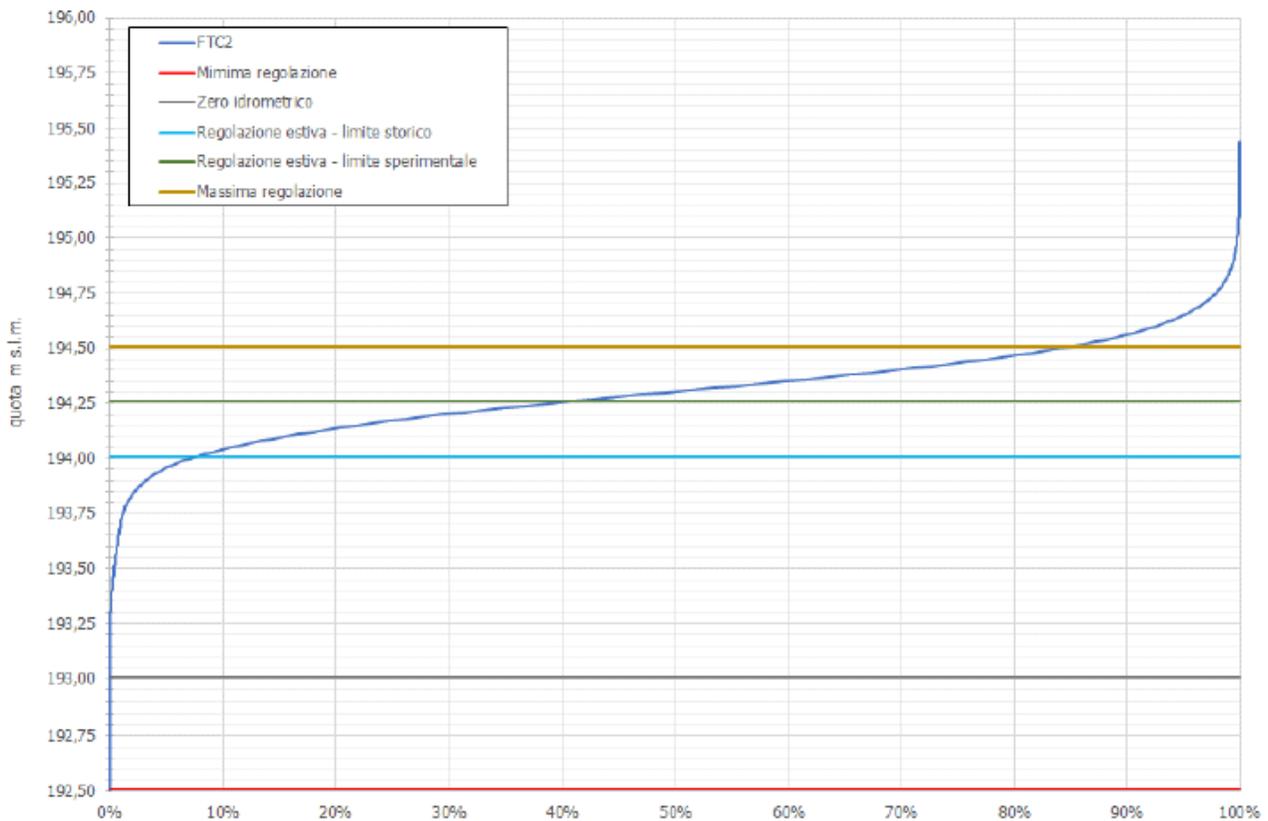


Fig. L4. Percentuali di canneto soggetto a sommersione sul totale dell'estensione nel sito di Fondo Toce (FT2) in caso di innalzamento dei livelli di massima regolazione primaverile del lago a +1,25 m (in verde) e +1,50 m (in marrone) sullo zero idrometrico di Sesto Calende (il riferimento è il livello di regolazione storica a +1 m; in azzurro) (Fonte: *Relazione Attività WP4_02_Romanò*).

Per quanto riguarda il totale delle aree a canneto monitorate (i.e. 18 siti), il limite storico di regolazione primaverile (194,01 m s.l.m. quota italiana, pari a 193,66 m s.l.m. quota svizzera, i.e. +1 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende) comporta la sommersione del 18% delle superfici, frazione che sale rispettivamente al 47%, 63% e 83% in caso di innalzamento della quota primaverile a +1,25 m (194,26 m s.l.m. quota italiana, pari a 193,91 m s.l.m. quota svizzera), +1,35 m (194,36 m s.l.m. quota italiana, pari a 194,01 m s.l.m. quota svizzera) e +1,50 m (194,51 m s.l.m. quota italiana, pari a 194,16 m s.l.m. quota svizzera) (Fig. L5).

Ad eccezione del 2022, anno particolare per la prolungata siccità, in cui i livelli del lago sono sempre stati molto bassi, con conseguente scarsissimo allagamento delle superfici, nei restanti tre anni di progetto (2019-2020-2021), la percentuale di canneto sommersa è risultata paragonabile nel periodo maggio-luglio e si attesta tra circa il 40 e il 60%. I valori più elevati di allagamento (attorno al 90%) corrispondono a eventi idrologici rilevanti.

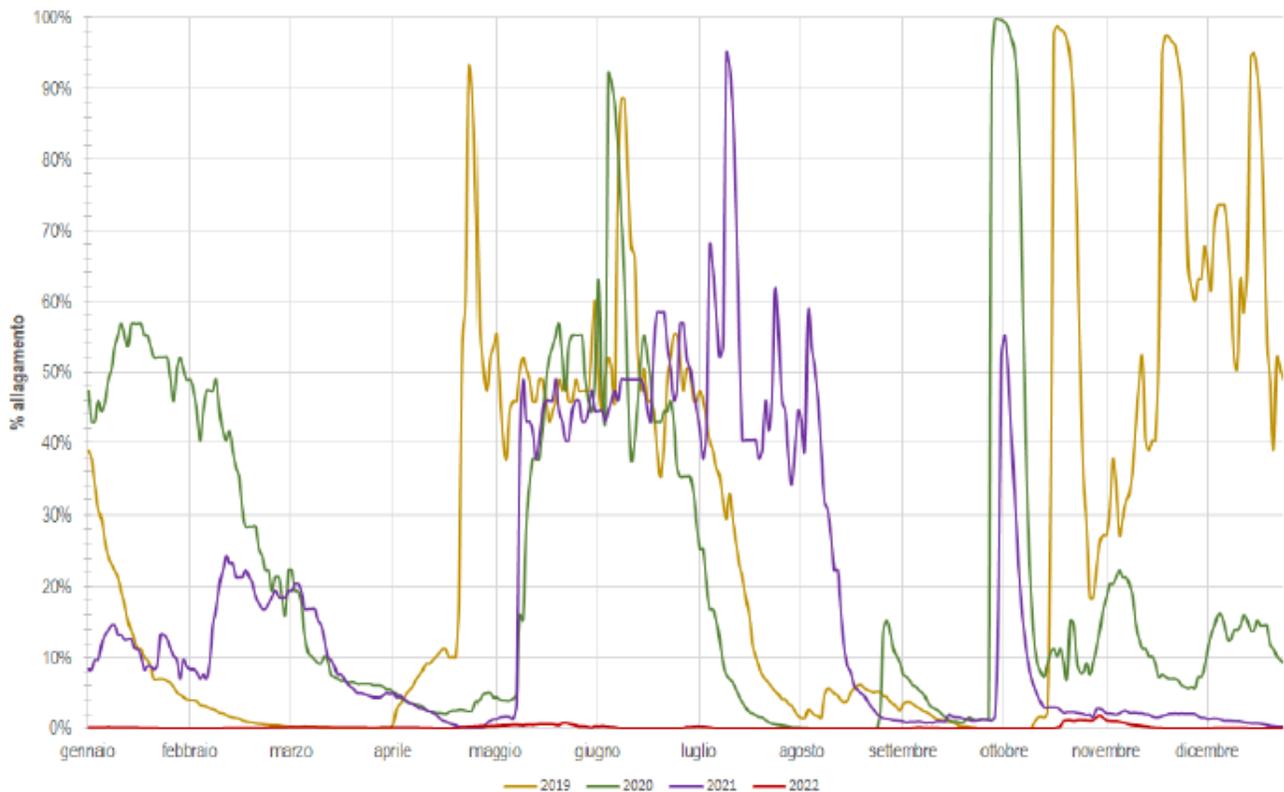


Figura 4-7. Confronto degli allagamenti dei canneti durante i 4 anni di monitoraggio

Fig. L5. Percentuali di canneto soggetto a sommersione sul totale dei 18 siti monitorati nel periodo di progetto 2019-20-21-22 (Fonte: *Relazione Attività WP4_02_Romano*).

Conclusioni: Le elaborazioni effettuate in sponda svizzera riportano come un innalzamento dei livelli di massima regolazione del lago nel periodo primaverile-estivo possano impattare gli habitat acquatici e palustri delle aree protette lungo le sponde, sia in termini di superfici perse sia trasformate, con effetti tanto maggiori quanto più alti sono i livelli del lago e minori le dimensioni dell'area protetta interessata, soprattutto in assenza di nuove superfici retrostanti potenzialmente colonizzabili.

Anche gli studi in sponda italiana mostrano come, con l'incremento dei massimi livelli di regolazione, le superfici soggette ad allagamento siano rilevanti, con estensioni tanto maggiori quanto maggiore è il livello massimo.

Efficacia: La stima delle superfici di habitat trasformati da palustri ad acquatici e sommerse appare un indicatore efficace degli effetti ambientali delle variazioni dei livelli di massima regolazione del lago e meritevole di essere sviluppato come indicatore in termini di numero di giorni in cui il lago non supera una data quota, soprattutto nella stagione primaverile. Così come appare rilevante definire la soglia di perdita/trasformazione dell'habitat che non ne comprometta la funzionalità ecologica. Gli autori dello studio su sponde italiane segnalano che, per l'elaborazione dell'indice, è rilevante effettuare approfondimenti mirati su: quota assoluta, durata temporale dello specifico livello, periodo stagionale

in cui tale livello si verifica, livelli del periodo precedente e successivo rispetto a quello considerato, e dinamica di lungo periodo. Particolare attenzione è da porre al periodo di sviluppo del canneto che va da fine di marzo ad aprile.

Criterio M - Stato degli habitat di interesse comunitario 3150 (habitat acquatico e vegetazione macrofitica) e 91E0 (foreste palustri)

Fonte: Relazione Attività WP4_01 - Rilievo e analisi dello stato degli habitat di interesse comunitario: HABITAT 3150 E 91E0 - Dott. Mauro Alessandro Bardazzi + Documento conclusivo redatto dai capofila svizzeri e italiani "Sistema Lago: contestualizzazione, problematica e indicatori"

Contesto: Gli habitat 91E0* (Foreste alluvionali di *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior* - *Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*) e 3150 (Laghi eutrofici naturali con vegetazione del *Magnopotamion* o *Hydrocharition*) sono entrambi habitat legati alla presenza d'acqua.

L'habitat 91E0* riassume diverse tipologie di consorzi boschivi igrofilo, suddivisibili in formazioni ripariali (in prossimità di corsi d'acqua e quindi influenzate dall'azione della corrente) e formazioni palustri (in prossimità di corpi idrici lentici e/o senza forte corrente). Sono perlopiù formazioni miste (ontani, pioppi e salice bianco).

L'habitat 3150 comprende formazioni composte da macrofite, idrofite legate a corpi idrici lacustri con acque eutrofiche, la cui composizione varia in base alla dimensione del bacino. In generale, sono formazioni paucispecifiche o addirittura monospecifiche. Le specie più frequenti sono idrofite radicate con apparato vegetativo completamente sommerso (es. *Potamogeton perfoliatus*, *Stuckenia pectinata*) o con apparato vegetativo almeno parzialmente emerso (es. *Nuphar lutea* e *Trapa natans*), pleustofite (es. *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia australis* - sommerse - e *Lemna minor* - galleggiante), ed elofite (*Carex* spp. e *Phragmites australis*), queste ultime in corrispondenza di fondali bassi e spesso indicatrici di interrimento dell'habitat.

Descrizione: Dal momento che gli habitat 3150 e 91E0* sono habitat legati ai corpi idrici che si sviluppano nella fascia di contatto tra questi ultimi e i terreni emersi, possono essere direttamente influenzati dai livelli del corpo idrico e dalle sue variazioni.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo Indicatore.

Obiettivo: Verificare la validità degli habitat 3150 e 91E0* come possibili indicatori da sviluppare con lo scopo di rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche del sistema lacustre.

Siti di monitoraggio: Cinque aree di monitoraggio localizzate in siti Natura 2000 (Fig. M1):

- ZSC Palude Bruschera IT2010015, denominata Area 1;
- ZSC Sabbie d'Oro IT2010021, denominata Area 2;
- ZSC Palude Bozza Monvallina IT2010017, denominata Area 3;
- ZSC-ZPS Fondo Toce IT1140001, denominata Area 4;
- ZSC-ZPS Canneti di Dormelletto IT1150004, denominata Area 5.

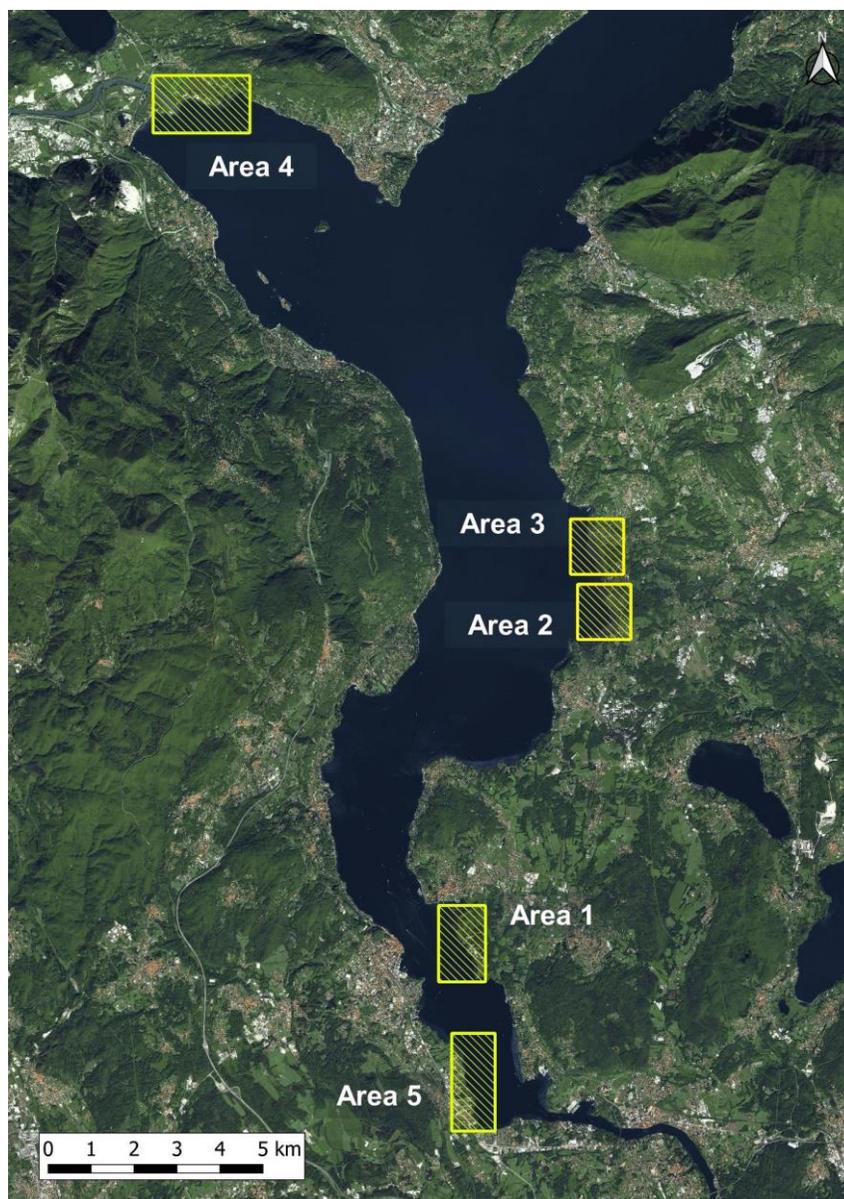


Fig. M1 Localizzazione delle aree di monitoraggio degli habitat di interesse comunitario 91E0* e 3150 (*Fonte: Relazione Attività WP4_01_Bardazzi*).

Metodologia: Sono stati raccolti:

- 1) dati plano-altimetrici, per poter correlare la comparsa di eventuali modifiche nell'estensione degli habitat durante gli anni alla regolazione dei livelli lacustri;
- 2) dati riguardanti la composizione floristica, per caratterizzare le fitocenosi presenti.

I rilievi di mappatura e indagine della composizione floristica dell'habitat 91E0* sono stati eseguiti durante l'estate 2020, l'inverno 2021 e gli autunni 2021 e 2022. Le indagini relative all'habitat 3150 sono state eseguite durante le estati 2020 e 2021. Per quest'ultimo habitat, è stato seguito un metodo diverso per il lamineto, per il quale è possibile una mappatura precisa della sua estensione basata sulle piante

emerse, ed il potameto sommerso, per il quale gli sforzi si sono concentrati nel misurare le profondità di colonizzazione dell'habitat.

Risultati:

*Habitat 91E0**

L'habitat è apparso fortemente legato alle dinamiche lacustri, con una composizione della componente legnosa che varia in modo significativo a seconda della quota a cui l'habitat è posto. A quote più elevate, *Salix alba* è affiancato da esemplari del genere *Populus*, nonché sporadicamente da *Alnus glutinosa*, *Ulmus minor* e *Fraxinus excelsior* e dalle invasive *Acer negundo* e *Robinia pseudoacacia*. Il sottobosco è sovente dominato da *Rubus*. A quote inferiori, invece, le comunità si semplificano fino ad arrivare a formazioni pure di *Salix alba* su suoli sabbiosi spogli.

Negli anni, non sono state notate variazioni significative nella composizione floristica; tuttavia, nel 2022, anno caratterizzato da livelli del lago molto bassi, le aree non vegetate dei siti posti a quote più basse sono state colonizzate da specie prevalentemente sinantropiche e nitrofile (es. *Erigeron sp.*, *Echinochloa crusgalli*, *Persicaria lapathifolia*, *Bidens frondosa*, *Apios americana*, *Urtica dioica*, *Sicyos angulatus* e *Solidago gigantea*).

Per questo habitat non si sono evidenziati effetti chiari della variazione dei regimi idrici. Elemento degno di nota relativo alle quote più basse degli habitat 91E0_01, 91E0_03, 91E0_04, 91E0_05, 91E0_06, è però la presenza di fenomeni erosivi del substrato minerale alla base dei salici arborei, con esposizione di parte dell'apparato radicale, processo risultato inversamente proporzionale alla quota e alla distanza dall'acqua (Tab. M1).

Tabella M1. Quote minima e massima (in m s.l.m. e in m sullo zero idrometrico di Sesto Calende) delle porzioni di habitat risultate soggette a erosione del substrato alla base dei salici, con conseguente esposizione di parte dell'apparato radicale (*Fonte: Relazione Attività WP4_01_Bardazzi*).

	Quota minima m s.l.m.		Quota massima m s.l.m.	
91E0_01	193,27	0,26	193,90	0,89
91E0_03	193,07	0,06	193,79	0,78
91E0_04	193,32	0,31	194,02	1,01
91E0_05	193,05	0,04	193,75	0,74
91E0_06	193,23	0,22	193,68	0,67

Habitat 3150

L'habitat è risultato composto da comunità in genere paucispecifiche, spesso addirittura monospecifiche, costituite da idrofite obbligate. L'habitat è stato rilevato nelle sue diverse forme, ovvero composto da idrofite radicate sul fondale, completamente sommerse o parzialmente emerse, oppure da idrofite pleustofitiche, completamente immerse nel volume d'acqua o presenti sul pelo dell'acqua. Le specie principali censite e la rispettiva fascia di profondità sono riportate in Tabella M2.

Le abbondanze sono risultate maggiori nell'intervallo compreso fra 192,00 e 190,50 m s.l.m. In linea generale, le coperture sono risultate scarse nel primo metro, aumentano fino ai 2 m di profondità, superati i quali tornano a scendere.

Conclusioni:

*Habitat 91E0**

L'habitat, data anche la sua importanza ecologica, appare come un utile indicatore della presenza di eventuali fenomeni erosivi determinati dalla variazione dei livelli idrici. Tuttavia, questa funzione va considerata valida solo su tempi maggiori a quelli considerati nel presente studio, dal momento che l'evoluzione dell'habitat avviene in modo lento e graduale.

Habitat 3150

Per quanto riguarda quest'habitat, lo studio non evidenzia effetti negativi legati all'aumento dei livelli idrici del Lago Maggiore. Potenziali effetti negativi si potrebbero avere, piuttosto, in corrispondenza di variazione dei livelli su valori bassi, sia a causa di un effetto di disturbo fisico sia per l'esposizione delle rive, con conseguente essiccazione delle piante eventualmente cresciute nel primo metro di profondità.

Per l'habitat, merita una nota la specie endemica *Trapa natans verbanensis*. La specie è stata rilevata solo marginalmente nel corso delle indagini effettuate durante gli anni di progetto e non è stata oggetto di approfondimenti specifici. Il capofila italiano segnala però la contrazione del popolamento della specie, che vive ancorata al fondale nelle prime fasi del suo ciclo vegetativo per poi diventare flottante. La sommersione prolungata della pianta in primavera non ne permette quindi l'emersione e ne compromette il ciclo vitale. Dal 2009, quando la superficie occupata dalla specie nel sito di Fondo Toce era pari a 5,7 ha, si è registrata una contrazione costante, con superfici pari a 1,5-2 ha negli anni 2012-13-17-18 e pari a pochi esemplari negli anni 2014-15-19-20. L'aumento sperimentale dei livelli, insieme alla presenza della Nutria che se ne nutre, viene considerato tra i fattori chiave coinvolti nel fenomeno di contrazione (Documento *Sistema Lago: contestualizzazione, problematica e indicatori*).

Tabella M2. Valori medi di abbondanza rinvenuti per singola specie in una determinata fascia di profondità in tutti i siti monitorati nel 2020 e 2021 per l'habitat 3150 (Fonte: Relazione Attività WP4_01_Bardazzi).

	<i>Najas major</i>	<i>Zannichellia palustris</i>	<i>Vallisneria spiralis</i>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	<i>Elodea nuttallii</i>	<i>Lagarosiphon major</i>	<i>Nuphar lutea</i>	<i>Utricularia australis</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Stuckenia pectinata</i>	<i>Potamogeton trichoides</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Nitella flexilis</i>
194,00-193,50 m s.l.m.								1	1					
193,50-193,25 m s.l.m.	2	3			1			4	1	1		2		1
193,25-193,00 m s.l.m.	2	2	2	1	1	1		4	1	1	2	2		2
193,00-192,50 m s.l.m.	2	1	3	1	1	1					2	2		2
192,50-192,00 m s.l.m.	3	2	1	2	3	2	1				4	1		3
192,00-191,50 m s.l.m.	3		1	2	4	2	1				4	2		
191,50-191,00 m s.l.m.	3		1	2	4	3	1				4	2		
191,00-190,50 m s.l.m.	3		1	2	4	4	1					2		
190,50-190,00 m s.l.m.	3		1	1	3	4	1					2		
190,00-189,50 m s.l.m.	3		2		2	4	1					2		
189,50-189,00 m s.l.m.	3		2		2	3	1					2		
189,00-188,00 m s.l.m.	3		2		1	2	1					2	1	
188,00-187,50 m s.l.m.	3		2		2	2						2	1	
187,50-187,00 m s.l.m.	3		2		2	2						2	1	
187,00-185,50 m s.l.m.													2	

Efficacia: L'habitat 3150 è risultato maggiormente influenzato da bassi livelli idrici del Lago Maggiore e non si presta quindi ad essere sviluppato in un indicatore delle variazioni dei massimi livelli. La specie *Trapa natans verbanensis* appare attualmente presente a densità troppo basse, nel solo sito di Fondo Toce, per essere sviluppato in un indicatore.

L'habitat 91E0* risulta di interesse per la valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli per i siti localizzati alle quote più basse, anche se i tempi del fenomeno di erosione connessi appaiono lunghi rispetto alle esigenze collegate all'utilizzo di un indicatore. In ogni caso, i fenomeni erosivi sono stati registrati entro la fascia di regolazione storica (i.e. +1,0 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende), e quindi al momento non di supporto per valutare un ulteriore rialzo dei massimi livelli.

Osservazioni: Proseguire le attività di monitoraggio intraprese dall'Ente gestore della Riserva naturale di Fondo Toce sulla specie *Trapa natans verbanensis* è importante a fini conservazionistici e anche per verificare gli effetti dei massimi livelli di regolazione primaverili-estivi sul ciclo vegetativo della specie.

Criterio N – Biocenosi a macrofauna e meiofauna

Fonte: Relazione Attività WP4_02 - Individuazione ed applicazione di indicatori dello stato di qualità dei litorali lacustri – Dott.sse Kamburska L., Ciampittiello M., Di Lorenzo T., Rogora M., Zaupa S., Boggero A. In “Relazione Attività WP4_02 - Il Lago Maggiore, il fiume Ticino sublacuale e le aree naturali protette. Verifica e sperimentazione di scenari di gestione sostenibili e condivisi – Dott.ssa Angela Boggero

Contesto: Macrofauna e meiofauna svolgono un'importante funzione di collegamento tra i livelli trofici primari e quelli superiori, contribuendo al flusso di energia all'interno dell'ecosistema. Mentre la macrofauna è comunemente utilizzata come bioindicatore per rilevare gli impatti del disturbo antropico attraverso l'analisi degli eventuali effetti su distribuzione, diversità e abbondanza, la meiofauna costituisce a tutt'oggi uno strumento di biomonitoraggio in gran parte inesplorato, nonostante la sua importanza.

Descrizione: Le biocenosi a macrofauna e meiofauna sono sensibili alle repentine variazioni dei livelli idrici. In particolare, la macrofauna può essere utilizzata come *proxy* delle condizioni di stress dell'interfaccia acqua-sedimento, mentre la meiofauna come *proxy* delle condizioni di stress dell'interfaccia sedimento superficiale-sedimento sub-superficiale.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo Indicatore.

Obiettivo: Verificare la validità della macro- e meiofauna come possibili indicatori da sviluppare con lo scopo di rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche del sistema lacustre litorale.

Siti di monitoraggio: I campionamenti sono stati realizzati in tre aree protette (Fig. N1): la Riserva delle Bolle di Magadino (Svizzera), la Riserva naturale di Fondo Toce (Piemonte, IT) e la Riserva naturale della Bruscherà (Lombardia, IT). Le stazioni, oltre a rappresentare le principali aree riparie naturali del Lago Maggiore, sono posizionate in tre diversi punti del lago e quindi sono influenzate in maniera differente dalla regolazione dei livelli idrici. In ogni stazione è stata monitorata una coppia di siti: uno che tende ad essere asciutto nel periodo di basso livello idrico e uno permanentemente bagnato.

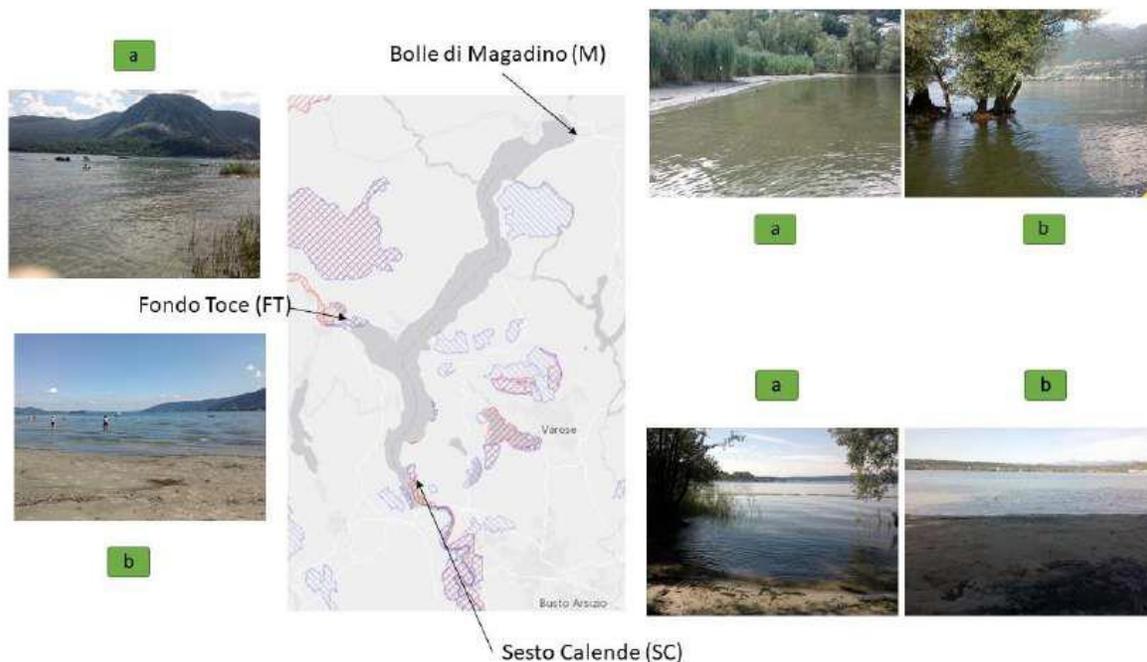


Fig. N1 Le aree di campionamento per la macrofauna e la meiofauna durante il periodo di progetto 2019-20-21. (a) habitat soggetti ad asciutte, durante il periodo di minimo invaso; (b) habitat permanentemente bagnati (*Fonte: Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

Metodologia:

Macrofauna e meiofauna

I tre siti sono stati campionati nel corso di sei visite (Tab. N1), mediante retino immanicato.

Tabella N1. Date di campionamento della macro- e meiofauna, e rispettivi livelli del lago (quota italiana). Il livello "alto" si intende rispetto al periodo di studio in cui si è svolto il progetto (*Fonte: Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

Agosto 2019	193,44	Medio
Settembre 2019	193,33	Basso
Luglio 2020	193,91	Alto
Agosto 2020	193,15	Basso
Settembre 2020	193,57	Medio
Luglio 2021	194,12	Alto

In totale sono stati analizzati 8 parametri ricadenti in due categorie:

(1) tassonomici, quali ricchezza, densità e l'abbondanza di ciascun rango di *taxon* per macro- e per meio-fauna;

(2) funzionali, quali biomassa e lunghezza corporea (per la macrofauna questi parametri sono stati valutati solo per i ditteri chironomidi, in quanto principali rappresentanti della fascia litorale), strategia alimentare, forma del corpo (solo per la meiofauna), struttura in età e genere sessuale (per il *taxon* Crustacea Copepoda).

Tabella N2. Siti di campionamento e rispettive coordinate geografiche (gradi dms), anni e mesi di prelievo dei campioni, codici delle singole repliche e numero di campioni raccolti per le singole analisi. Simboli: chironomide = macrofauna; copepode = meiofauna; goccia d'acqua = idrochimica; X = campione non prelevato per sito in secca o livello dell'acqua troppo alto (*Fonte: Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

Nome sito	Coordinate sito	2019		2020			2021			
		Agosto	Settembre	Luglio	Agosto	Settembre	Luglio			
Sesto Calende asciutta	45° 45' 13.04" N 08° 35' 28.91" E	08-SCa-R1	09-SCa-R1	07-SCa-R1	08-SCa-R1	09-SCa-R1	07-SCa-R1	6	6	6
		08-SCa-R2	09-SCa-R2	07-SCa-R2	08-SCa-R2	09-SCa-R2	07-SCa-R2	6	6	
		08-SCa-R3	09-SCa-R3	07-SCa-R3	08-SCa-R3	09-SCa-R3	07-SCa-R3	6	6	
Sesto Calende bagnata	45° 45' 05.83" N 08° 35' 35.47" E	08-SCb-R1	09-SCb-R1	07-SCb-R1	x	09-SCb-R1	07-SCb-R1	5	5	6
		08-SCb-R2	09-SCb-R2	07-SCb-R2	08-SCb-R2	09-SCb-R2	07-SCb-R2	6	6	
		08-SCb-R3	09-SCb-R3	07-SCb-R3	08-SCb-R3	09-SCb-R3	07-SCb-R3	6	6	
Magadino asciutta	46° 09' 01.60" N 08° 51' 25.46" E	08-Ma-R1	09-Ma-R1	07-Ma-R1	x	09-Ma-R1	07-Ma-R1	5	5	6
		08-Ma-R2	09-Ma-R2	07-Ma-R2	08-Ma-R2	09-Ma-R2	07-Ma-R2	6	6	
		08-Ma-R3	09-Ma-R3	07-Ma-R3	08-Ma-R3	09-Ma-R3	x	5	5	
Magadino bagnata	46° 09' 36.47" N 08° 51' 16.12" E	08-Mb-R1	09-Mb-R1	07-Mb-R1	08-Mb-R1	09-Mb-R1	07-Mb-R1	6	6	6
		08-Mb-R2	09-Mb-R2	07-Mb-R2	08-Mb-R2	09-Mb-R2	07-Mb-R2	6	6	
		08-Mb-R3	09-Mb-R3	07-Mb-R3	08-Mb-R3	09-Mb-R3	x	5	5	
Fondo Toce asciutta	45° 56' 10.63" N 08° 29' 26.96" E	08-FTa-R1	09-FTa-R1	07-FTa-R1	08-FTa-R1	09-FTa-R1	07-FTa-R1	6	6	6
		08-FTa-R2	09-FTa-R2	07-FTa-R2	08-FTa-R2	09-FTa-R2	07-FTa-R2	6	6	
		08-FTa-R3	09-FTa-R3	x	08-FTa-R3	09-FTa-R3	x	4	4	
Fondo Toce bagnata	45° 56' 07.08" N 08° 29' 34.69" E	08-FTb-R1	09-FTb-R1	07-FTb-R1	08-FTb-R1	09-FTb-R1	07-FTb-R1	6	6	6
		08-FTb-R2	09-FTb-R2	07-FTb-R2	08-FTb-R2	09-FTb-R2	07-FTb-R2	6	6	
		08-FTb-R3	09-FTb-R3	x	08-FTb-R3	09-FTb-R3	x	4	4	
								100	100	36

Chimismo delle acque

Nei tre siti sono stati raccolti parametri relativi al chimismo delle acque, quali conducibilità a 20 °C, alcalinità totale, fosforo reattivo, fosforo totale, azoto totale (6 campionamenti realizzati in 2 stazioni per ciascuno dei 3 siti; Tab. N2).

Analisi idro-morfologiche dei litorali

Al fine di valutare la qualità dell'habitat e le alterazioni a livello di bacino, sono stati raccolti dati idro-morfologici presso 44 stazioni distribuite sull'intero perimetro del lago (incluse le aree di campionamento di progetto), applicando il metodo *Lake Habitat Survey*, rivisto e adattato per i laghi italiani. Le informazioni raccolte hanno riguardato principalmente le caratteristiche della zona riparia (presenza e tipo di vegetazione, presenza di artificializzazioni), della sponda, della zona litorale (presenza di vegetazione e/o di materiale artificiale), la presenza di spiagge e le loro caratteristiche, le attività umane (aree residenziali, commerciali, attività ricreative, darsene, imbarcaderi etc.), la presenza di habitat (boschi di latifoglie, arbusti e cespugli, canneti, roccia).

Un'analisi approfondita degli habitat, in particolare nelle stazioni di campionamento del progetto, è stata svolta in corrispondenza di valori particolarmente bassi del livello del lago (tra 192,72 m e 193,30 m s.l.m. quota italiana, pari a 192,37 m e 192,95 m s.l.m. quota svizzera) al fine di individuare tutti i

possibili habitat, compresi quelli che in situazioni di livello maggiore non sono visibili e quindi non identificabili.

Risultati:

Macrofauna

Per quanto riguarda le analisi tassonomiche e di comunità, i ditteri chironomidi sono risultati il gruppo più abbondante, rappresentando circa il 63% dell'intera popolazione (Fig. N2). Per questa ragione, la valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli idrici sulle comunità, in termini di ricchezza e abbondanza, e sulle componenti funzionali, in termini di biomassa e lunghezza corporea, è stata realizzata solo per i ditteri chironomidi (analisi svolte su 1197 individui dei 7413 censiti).

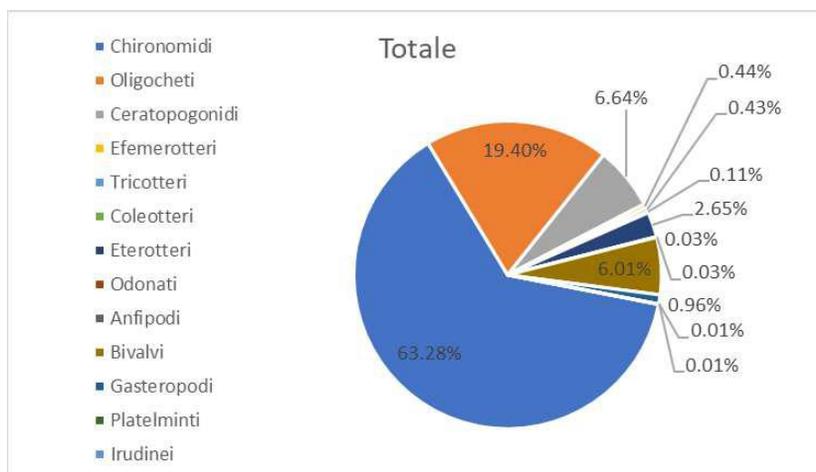


Fig. N2. Abbondanza relativa dei *taxa* campionati durante il periodo di progetto (Fonte: *Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

L'abbondanza relativa delle 4 sottofamiglie di chironomidi censite (chironomine, ortocladine, tanipodine e prodiamesine) è risultata simile a livelli medi e bassi del lago, mentre a livelli alti è aumentata quella delle ortocladine, a discapito delle chironomine, che ad ogni modo è rimasta la sottofamiglia di gran lunga più abbondante. La ricchezza di *taxa* e il numero di individui di chironomidi tendono, in linea generale, a crescere all'aumentare del livello del lago (Fig. N3). La dimensione e il peso degli individui sono risultati maggiori a livelli medi e alti del lago (Fig. N4), mentre il chimismo delle acque non ha mostrato effetti rilevanti sui parametri investigati

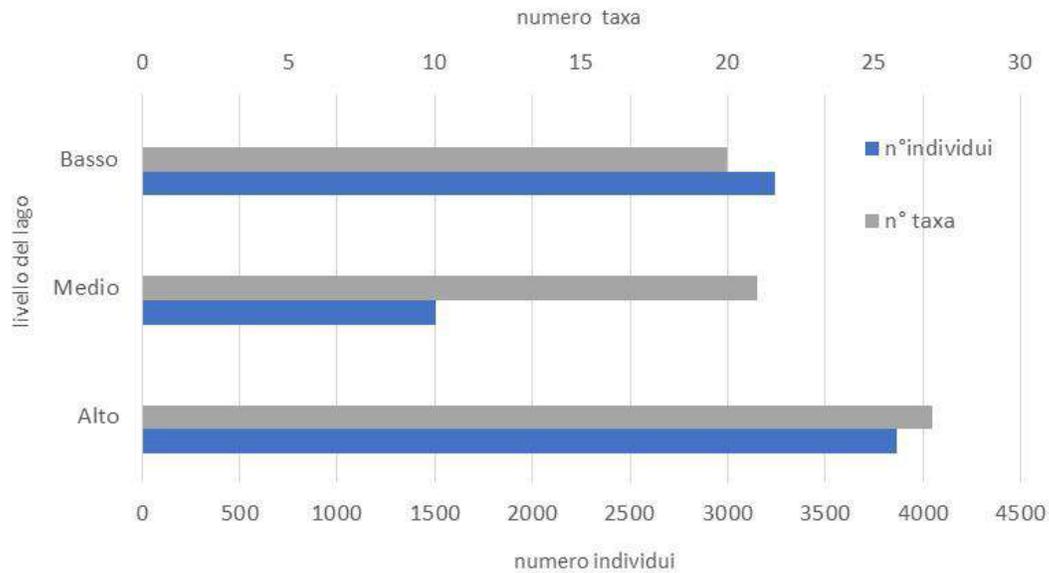


Fig. N3. Numero di taxa (in grigio) e di individui (in blu) di ditteri chironomidi in corrispondenza dei 3 livelli del lago oggetto di analisi durante il periodo di progetto (Fonte: *Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

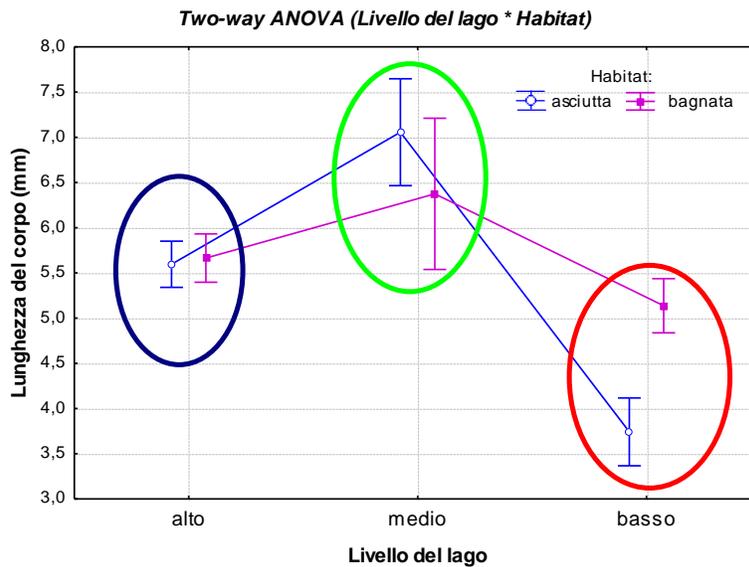


Fig. N4. Analisi della varianza a due vie (livello del lago: basso, medio, alto; tipo di habitat: asciutto e bagnato) in relazione alla lunghezza dei chironomidi. Le barre identificano gli intervalli di confidenza al 95% (Fonte: *Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

Meiofauna

A livello tassonomico, la composizione della comunità è risultata variare in base ai livelli idrici (e non in base a habitat e sito di campionamento), con evidenti differenze tra i livelli basso e medio ed il livello alto (Fig. N5).

A differenza della macrofauna, le conoscenze a livello funzionale relative alla meiofauna sono scarse; per questa ragione, i tratti considerati nel presente report sono in parte mai stati indagati precedentemente. In particolare:

1. I tratti funzionali relativi a locomozione e strategie alimentari non sono risultati variare in modo significativo.
2. I tratti relativi alla dieta sono risultati dipendere dall'habitat e dal sito, ma non dai livelli idrici.
3. I tratti relativi a dimensione e forma corporea sono apparsi influenzati unicamente dai livelli idrici. Le differenze si sono evidenziate tra il livello alto e gli altri due livelli, con individui di dimensioni maggiori e forme cilindriche legati a livelli idrici maggiori.
4. Il chimismo delle acque non ha mostrato avere un effetto rilevante sui parametri indagati.

Per quanto riguarda i copepodi, non sono stati evidenziati effetti significativi delle variazioni dei livelli idrici a livello dell'intera taxocenosi. Tuttavia, le abbondanze di due specie dominanti (*Paracyclops fimbriatus* e *Attheyella crassa*) sono risultate influenzate negativamente da un livello idrico basso. Specie invece maggiormente generaliste sono risultate più abbondanti in corrispondenza di livelli medi del lago.

Chimismo delle acque

Le variabili relative al chimismo delle acque non sono apparse significative quando messe in relazione ai parametri tassonomici e funzionali oggetto di analisi per macro- e meiofauna. Questo nonostante la chimica delle acque delle diverse stazioni di campionamento abbia presentato alcune differenze. In particolare, presso la stazione di Magadino è risultata maggiore la concentrazione di soluti, nutrienti e silice, rispetto alle stazioni di Fondo Toce e Sesto Calende. Inoltre, le due stazioni di Magadino sono risultate differenti l'una dall'altra, con il sito b caratterizzato da livelli più elevati di P, N ammoniacale e N totale. Queste differenze non sono state osservate tra i siti di Fondo Toce e Sesto Calende.

Analisi idro-morfologiche dei litorali

Sono stati identificati i seguenti habitat di particolare rilevanza:

- zona riparia: boschi di latifoglie, arbusti e cespugli, prati naturali;
- zona di sponda: arbusti e cespugli, terra, roccia, piante igrofile (es. salici);
- zona litorale: canneto, spiagge di ghiaia, sabbia, ciottoli, roccia.

In modo indicativo, il bosco di latifoglie copre circa il 22% del perimetro del bacino, gli arbusti e cespugli il 16%, la roccia il 13%, il canneto l'11% e i prati naturali lo 0,6%. Con un livello del lago basso (tra 192,72 e 193,30 m s.l.m. quota italiana, pari a 192,37 m e 192,95 m s.l.m. quota svizzera), tramite il metodo *Lake Habitat Survey*, sono state identificate numerose spiagge naturali, sia vegetate che non vegetate, che coprono circa il 20-25% del perimetro.

Il 34,7 % delle aree naturali del lago è risultato in corrispondenza delle aree campionate. La relazione tra la presenza di habitat naturali e ben diversificati come quelli presenti nelle tre stazioni di

campionamento, è coerente con i risultati dei campionamenti di macro- e meio-fauna: maggiore è la naturalità e la diversificazione dell'habitat e maggiore è la biodiversità della comunità sotto analisi.

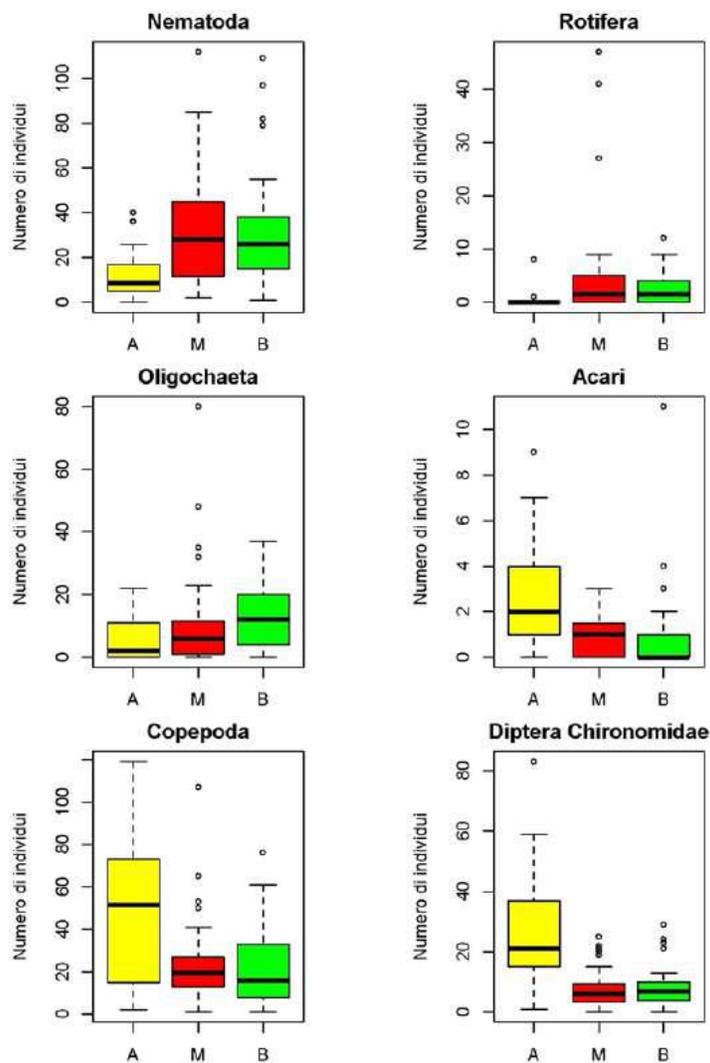


Fig. N5. Boxplot rappresentanti le abbondanze di nematodi, rotiferi, oligocheti, acari, copepodi e ditteri chironomidi nei periodi di alto (A), medio (M) e basso (B) livello idrico registrati nei mesi estivi 2019-2021 (*Fonte: Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

Conclusioni:

Macrofauna. A livelli del lago superiori a 193,9 m s.l.m. (quota italiana, pari a 193,55 m s.l.m. quota svizzera) corrispondono comunità di ditteri chironomidi più ricche in specie e abbondanza (i.e. numero di individui). A livelli più bassi, proliferano le specie di chironomidi di piccola taglia, meglio adattate ai bassi livelli e alle conseguenti temperature più elevate. La proliferazione delle specie di piccola taglia, per quanto influenzi positivamente il parametro di diversità funzionale legato alla dimensione, influisce sulla struttura dell'intera rete trofica in quanto tutti i predatori, per raggiungere la stessa efficienza energetica, dovranno catturare un numero maggiore di prede (anche se questo dipende dal valore

nutrizionale delle grandi prede rispetto a quello delle piccole prede). Conseguenze simili si hanno per livelli alti dove proliferano specie di grandi dimensioni. Tutto questo causa un'alterazione della rete trofica con ricadute a livello funzionale dell'intero ecosistema con perdita/alterazione dei servizi ecosistemici connessi.

Meiofauna. La meiofauna è risultata influenzata dalle rapide variazioni dei livelli idrici osservate durante i tre anni di monitoraggio. Tuttavia, laddove sono state evidenziate relazioni tra la comunità meio-bentonica e i livelli idrici, esse sono da considerarsi non critiche. Inoltre, effetti negativi sulla diversità funzionale sono stati evidenziati al diminuire dei livelli idrici piuttosto che al loro aumento. Tuttavia, nel presente studio non sono state considerate alcune importanti funzioni vitali (quali respirazione, alimentazione, crescita, riproduzione e sopravvivenza), che non si può escludere siano influenzate dalla regolazione dei livelli idrici, sebbene tale effetto non sia stato osservato dal monitoraggio effettuato sulla meiofauna.

Chimismo delle acque e analisi idro-morfologiche dei litorali. Per quanto riguarda il chimismo, non sono stati evidenziati effetti rilevanti su macro- e meiofauna. Per quanto concerne i litorali si sottolinea come la gestione dei livelli possa influenzare la permanenza degli habitat essenziali per macro- e meiofauna. In particolare, livelli alti in determinati momenti dello sviluppo delle biocenosi potrebbero avere conseguenze negative in termini di disponibilità di habitat, sebbene tale effetto non sia stato osservato dal monitoraggio effettuato sulla meiofauna.

Efficacia:

Macro- e meiofauna. I livelli idrici più bassi appaiono i maggiormente problematici per macro- e meiofauna. Livelli del lago elevati possono però avere conseguenze negative su aspetti funzionali e morfologici con conseguenze sull'intera rete trofica, il funzionamento dell'ecosistema e i servizi ecosistemici ad esso connessi. Altre conseguenze negative si evidenziano sugli habitat e, a cascata, sulle comunità a causa di un aumento dell'uniformità e conseguente diminuzione della varietà. Non è da quindi escludere che eventuali studi in futuro possano permettere di approfondire effetti sulle comunità di macro- e meiofauna, attualmente solo evidenziati, utilizzabili quali indicatori per valutare gli effetti dei massimi livelli di regolazione del lago.

Analisi idro-morfologiche dei litorali. L'analisi della distribuzione e quantificazione degli habitat spondali appare un criterio efficace per la valutazione delle variazioni dei massimi livelli di regolazione del lago e meritevole di essere sviluppato in un indicatore.

Critério 0 – Biocenosi di bivalvi

Fonte: Relazione Attività WP4_02 - Individuazione ed applicazione di indicatori dello stato di qualità dei litorali lacustri – Dott. N. Riccardi, V. Modesto, D. Manca. In “Relazione Attività WP4_02 - Il Lago Maggiore, il fiume Ticino sublacuale e le aree naturali protette. Verifica e sperimentazione di scenari di gestione sostenibili e condivisi – Dott.ssa Angela Boggero”

Descrizione: Le variazioni dei livelli idrici possono avere effetti negativi sulle popolazioni di molluschi bivalvi. Riduzioni di livello possono indurre mortalità massive di molluschi rimasti all’asciutto o esposti a temperature eccessivamente elevate. Viceversa, l’innalzamento dei livelli può abbassare le temperature alle quali i bivalvi sono esposti influenzandone l’attività riproduttiva.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo Indicatore.

Obiettivo: Verificare la validità delle biocenosi di bivalvi come possibile indicatore da sviluppare con lo scopo di rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche del sistema lacustre.

Siti di monitoraggio: I campionamenti sono stati realizzati in tre aree protette (Fig. 01): la Riserva delle Bolle di Magadino (Svizzera), la Riserva naturale di Fondo Toce (Piemonte, IT) e la Riserva naturale della Bruscheria (Lombardia, IT). Le stazioni, oltre a rappresentare le principali aree riparie naturali del Lago Maggiore, sono posizionate in tre diversi punti del lago e quindi sono influenzate in maniera differente dalla regolazione dei livelli idrici.

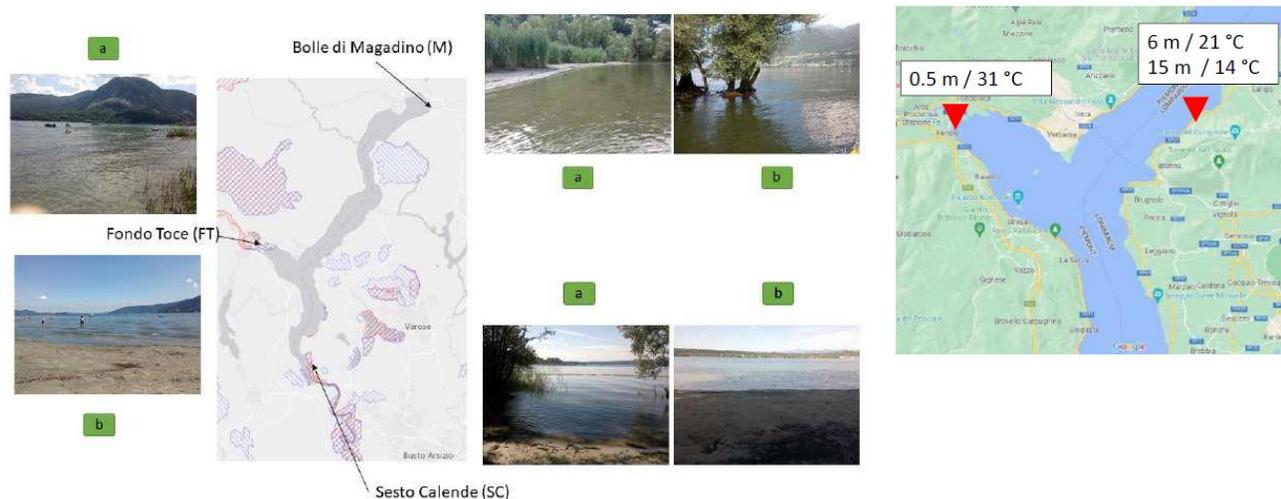


Fig. 01 Le aree di campionamento per i bivalvi (a sinistra) e per *Unio elongatulus* (a destra) durante il periodo di progetto 2019-20-21-22. Nella figura a sinistra: (a) habitat soggetti ad asciutte, durante il periodo di minimo invaso; (b) habitat permanentemente bagnati. Nella figura a destra, nei riquadri sono riportate le profondità di campionamento e le relative temperature (Fonte: Relazione Attività WP4_02_Boggero).

Metodologia:

Habitat naturale

In totale sono stati analizzati 8 parametri ricadenti in due categorie:

- (1) tassonomici, quali densità e abbondanza di ciascuna specie di bivalvi nativi ed invasivi;
- (2) funzionali quali (a) la biomassa, la struttura dimensionale delle popolazioni delle diverse specie; (b) la condizione riproduttiva e la prevalenza di parassiti castratori nella specie nativa dominante (*Unio elongatulus*).

Le popolazioni di bivalvi sono state campionate in ogni sito (Fig. 01) a settembre 2019, agosto 2020, marzo-aprile e agosto 2021, aprile e agosto 2022, lungo transetti perpendicolari alla riva (profondità comprese fra 0,5 e 5 m). Sono stati eseguiti 18 campionamenti quantitativi mediante quadrati e 5 campionamenti visuali, entrambi in immersione.

I campionamenti di *Unio elongatulus* sono stati effettuati campionamenti a profondità di 1, 6 e 15 m nel periodo più caldo dell'anno (16 luglio) (a Punta Granelli per le profondità maggiori e a Feriolo per il campione superficiale; Fig. 01).

Laboratorio

Sono stati effettuati esperimenti in laboratorio volti ad individuare eventuali risposte comportamentali repentine (es. aperture delle valve) alle variazioni fisiche (livello, movimento e temperatura dell'acqua) legate alla regolamentazione artificiale del lago.

Risultati:

Habitat naturale

In tutte le stazioni monitorate il popolamento è risultato dominato da specie invasive, in particolar modo *Corbicula fluminea*, che rappresenta tra il 60% e il 90% degli individui nei tre siti. Gli Unionidi, sia nativi (*Unio elongatulus* e *Anodonta* spp.) sia invasivi (*Sinanodonta woodiana*), sono risultati rari. Non sono stati evidenziati potenziali effetti negativi della gestione dei livelli sulle variazioni spazio-temporale in termini di densità e biomassa delle specie campionate. E' stato invece osservato un declino generalizzato delle popolazioni di bivalvi.

Tabella 01. Elenco dei *taxa* di bivalvi identificati nei tre siti di campionamento (Fonte: *Relazione Attività WP4_02_Boggero*).

Taxa	Magadino	Fondo Toce	Sesto Calende
<i>Corbicula fluminea</i>	+	+	+
<i>Dreissena polymorpha</i>	+	+	+
<i>Sinanodonta woodiana</i>	+	+	+
<i>Unio elongatulus</i>	+	+	+
<i>Anodonta</i> spp	+	+	+

Per quanto riguarda le parassitosi, *C. fluminea* è l'unica specie risultata esente da parassiti mentre la specie nativa *U. elongatulus* è risultata pesantemente parassitata (Tab. O2). Gli approfondimenti su *U. elongatulus* hanno evidenziato come esemplari a profondità minori, e quindi esposti a temperature maggiori, fossero maggiormente parassitati da Trematodi castratori, con ripercussioni negative sul potenziale riproduttivo. Sia la percentuale di femmine, sia il numero di individui non parassitati sono risultati aumentare al decrescere della temperatura (Fig. O2).

Tabella O2. Presenza di parassiti nelle diverse specie di bivalvi campionate. Prevalenza nella popolazione: +++ = > 60 %; ++ = > 40 %; + = 10 - 20 %; - = assente (Fonte: Relazione Attività WP4_02_Boggero).

	<i>Rhipidocotyle campanula</i>	Idracarini	Ciliati	<i>Aspidogaster</i> sp.	<i>Chaetogaster</i> sp.
<i>Unio elongatulus</i>	+++	+++	+++	-	-
<i>Anodonta</i> spp.	++	+++	+++	+	+
<i>S. woodiana</i>	+	+++	++	+	+
<i>D. polymorpha</i>	-	-	++	-	-
<i>Corbicula fluminea</i>	-	-	-	-	-

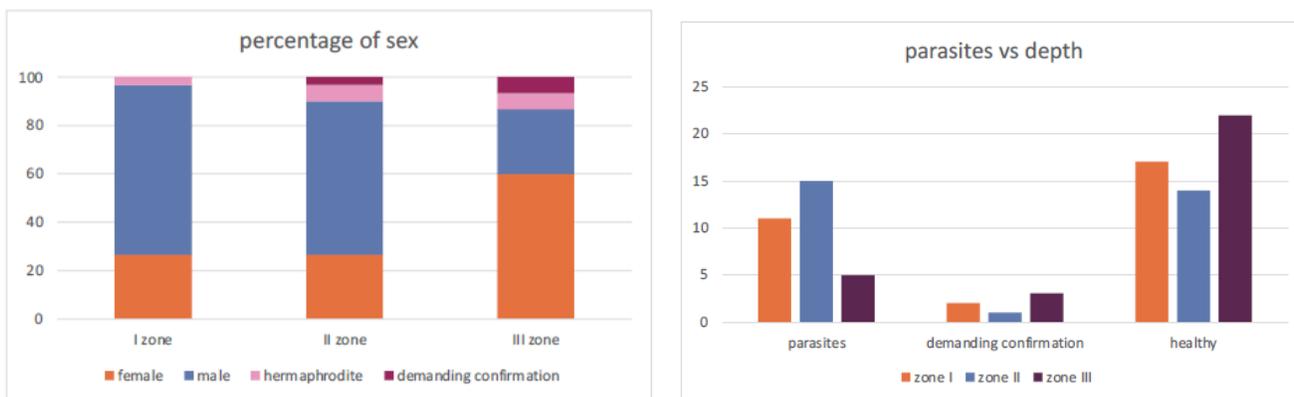


Fig. O2 Percentuale di maschi, femmine ed ermafroditi (a sinistra) e numero di individui sani e parassitizzati (a destra) in popolazioni di *U. elongatulus* in tre diverse zone termali: I = acque basse con temperature elevate in estate e fredde in inverno; II = acque a profondità media; III = acque profonde e fresche con variazioni ridotte di temperatura nel corso dell'anno (Fonte: Relazione Attività WP4_02_Boggero).

Laboratorio

I test di laboratorio hanno evidenziato come i bivalvi nativi non mostrino reazioni comportamentali negative al disturbo causato dalle variazioni di livello dell'acqua, simulate in condizioni controllate, fatto salvo il caso in cui ci sia spostamento di sedimento, possibilità considerata improbabile nel caso della regolazione dei livelli del Lago Maggiore. Per quanto riguarda le temperature, si evidenziano effetti legati solo all'aumento di queste e non alla riduzione entro l'intervallo rappresentativo delle variazioni stagionali del Lago Maggiore.

Conclusioni: Non sono stati evidenziati potenziali effetti negativi della gestione dei livelli sulle variazioni spazio-temporali in termini di densità e biomassa delle specie campionate. Inoltre, le risposte comportamentali valvometriche, testate in laboratorio, non appaiono un indicatore utile degli effetti della variazione dei livelli idrici.

Di interesse sembra invece l'effetto che la gestione dei livelli può avere sulla temperatura dell'acqua e di conseguenza sulle comunità di bivalvi. L'innalzamento dei livelli può favorire un abbassamento delle temperature con conseguente minor carico parassitario sulla specie nativa *U. elongatulus*. Un abbassamento delle temperature può però anche limitare la riproduzione delle specie impedendo/rallentando lo sviluppo delle cellule riproduttive e delle larve. Non è chiaro il *trade off* tra questi due fenomeni. Inoltre, un innalzamento dei livelli nel periodo primaverile-estivo, ampliando l'intervallo naturale delle fluttuazioni stagionali, potrebbe spingere gli animali a spostarsi verso zone inondate durante la fase di innalzamento e restarvi intrappolati durante la successiva fase di riduzione del livello, esponendo gli animali ad un incremento rapido delle temperature e ad essiccamento. I comportamenti di evitamento dell'essiccamento da parte dei bivalvi sono ancora oggetto di approfondimento.

Efficacia: Allo stato delle conoscenze attuali, le comunità di bivalvi non appaiono come indicatori efficaci diretti della variazione dei livelli di massima regolazione del lago, anche se gli studi in corso potrebbero evidenziare parametri meritevoli di attenzione soprattutto in relazione alle fluttuazioni dei livelli stessi, la cui ampiezza è invece correlata anche alle soglie massime di regolazione.

Critério P - Funzionalità ecologica dell'area palustre come sito di sosta migratoria

Fonte: Relazione Attività WP4_04 - Analisi della funzionalità ecologica dell'area palustre quale sito di sosta migratoria - Alessio Martinoli, Clara Tattoni, Mattia Panzeri, Silvia Giuntini, Alessandra Gagliardi, Adriano Martinoli, Damiano Preatoni, Nicola Patocchi, Roberto Lardelli

Contesto: Le aree di *stopover* sono i siti in cui l'avifauna migratrice si ferma per riposare, nutrirsi e trovare riparo durante la migrazione ed hanno quindi un ruolo cruciale nel determinare la sopravvivenza degli uccelli durante questa fase delicata del loro ciclo vitale. L'efficacia di un sito di *stopover* dipende dalla sua posizione geografica, dalla disponibilità di microhabitat e dall'assenza di disturbo. Le aree umide costituiscono i più importanti siti di *stopover* per numerose specie ornitiche. Dal momento che la variazione anche minima dei livelli idrici comporta un'alterazione nella biomassa di insetti e nella disponibilità di microhabitat entro un'area umida, ne consegue un potenziale effetto anche sull'efficacia del sito come area di *stopover* per gli uccelli migratori.

Descrizione: A seguito della regolazione dei livelli del Lago Maggiore, si verifica una variazione delle condizioni ambientali delle aree palustri litorali che potenzialmente influisce sul ruolo dell'habitat come sito di *stopover* per l'avifauna migratrice. In particolare, è plausibile un effetto negativo sul ripristino energetico e sul foraggiamento dei migratori durante la sosta, così come un ridotto uso dell'area (i.e. non utilizzo e/o sosta più breve) da parte degli stessi.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo Indicatore.

Obiettivo: Verificare la validità dell'avifauna in migrazione come possibile indicatore da sviluppare con lo scopo di rilevare gli effetti delle variazioni dei livelli del lago, con particolare riferimento ai livelli di massima regolazione, sulle componenti ecosistemiche del sistema lacustre + Evidenziare eventuali correlazioni significative tra (1) i livelli idrici del lago e il ripristino delle risorse energetiche e il foraggiamento degli individui in migrazione durante la sosta; (2) i livelli idrici del lago e il *Bird Traffic Rate* (BTR), ovvero il tasso di passaggio degli uccelli entro un'area specifica.

Siti di monitoraggio: Riserva delle Bolle di Magadino (apice settentrionale del Lago Maggiore, territorio Svizzero; Fig. P1).

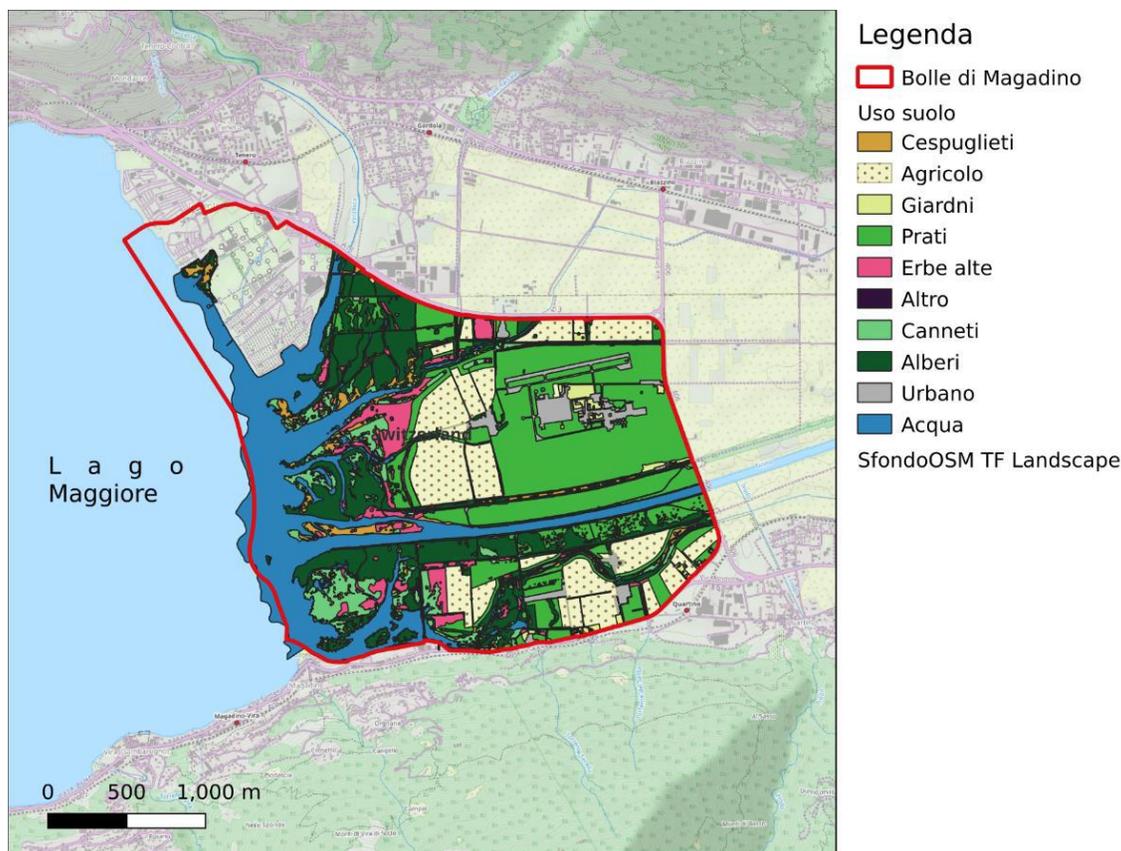


Fig. P1 Mappa della Riserva Bolle di Magadino e relative tipologie di LULC (Land Use / Land Cover) (Fonte: Relazione Attività WP4_04_Martinoli).

Metodologia:

Inquadramento

Al fine di valutare come gli habitat dell'area di studio vengono influenzati dalla variazione dei livelli idrici, è stata realizzata una stima della superficie allagata attraverso (1) simulazione con modello 3D tramite tecniche GIS e (2) estrazione da immagini satellitari.

Relazione tra il ripristino delle risorse energetiche durante lo stopover e livelli idrici

La relazione tra i livelli idrici e il ripristino delle risorse energetiche durante lo *stopover* è stata studiata su cinque specie *target*: Migliarino di palude (*Emberiza schoeniclus*), Capinera (*Sylvia atricapilla*), Cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*), Pettiroso (*Erithacus rubecula*) e Luì piccolo (*Phylloscopus collybita*). Queste specie sono quelle più frequentemente catturate dalla Stazione di Inanellamento della Riserva delle Bolle di Magadino, che ha fornito i dati (15 027 record tra il 2008 e il 2022; Tab. P1). Le specie differiscono per l'ecologia alimentare e l'utilizzo dei microhabitat nell'area di sosta. In particolare, il Pettiroso si nutre per lo più di invertebrati e di frutta, mangiando al suolo o sui rami bassi degli arbusti nelle aree boschive o negli ecotoni. La Capinera ha un'ecologia alimentare simile, ma mostra meno frequentemente un comportamento di permanenza al suolo e si nutre soprattutto sugli arbusti. Il Luì piccolo si nutre quasi esclusivamente di invertebrati sugli arbusti, ma compiendo frequenti catture di ditteri da posatoio. La Cannaiola è fortemente legata ai canneti, dove si

nutre di invertebrati. Il Migliarino di palude, invece, può foraggiarsi sia nei canneti sia nei campi e nelle aree aperte, nutrendosi di invertebrati e semi.

Tabella P1. Periodo e numero di giorni di cattura e misurazione delle specie target di uccelli presso la stazione di inanellamento della Riserva delle Bolle di Magadino (*Fonte: Relazione Attività WP4_04_Martinoli*).

ANNO	DA	A	N GIORNI
2008	09 marzo	28 maggio	80
2009	09 aprile	26 aprile	17
2010	28 marzo	02 maggio	35
2011	23 marzo	02 luglio	101
2017	26 marzo	13 maggio	48
2018	19 marzo	12 maggio	54
2019	18 marzo	27 maggio	70
2021	20 marzo	02 maggio	43
2022	20 marzo	10 maggio	51

L'analisi di questi dati ha permesso di perseguire tre obiettivi specifici:

- 1) confronto dei valori di massa (peso, in g) degli uccelli catturati all'alba e al tramonto durante ciascuna giornata di attività della stazione di inanellamento;
- 2) calcolo della differenza di quantità di grasso tra l'ultima cattura e la prima cattura dell'intera sessione di cattura per tutti gli individui catturati almeno due volte;
- 3) verifica della correlazione tra 1) e 2) e i livelli idrici del Lago Maggiore, con l'obiettivo ausiliario di evidenziare eventuali *changepoint*, ovvero valori soglia "critici" nei livelli idrici.

Relazione tra BTR e livelli idrici

Il BTR è stato misurato tramite l'ausilio di un radar BirdScan MR1 attivo per 868 giorni, posizionato nei pressi del campus Agroscope di Cadenazzo. Per le analisi sono stati considerati i dati di 351 giorni potenzialmente interessati dal passo primaverile, tra il 1° marzo e il 31 maggio di ogni anno (Tab. P2).

Tabella P2. Periodo e numero di giorni di rilievo tramite Radar considerati ai fini dello studio (*Fonte: Relazione Attività WP4_04_Martinoli*).

DA	A	N GIORNI
02/05/2019	04/06/2019	33
01/03/2020	31/05/2020	92
01/03/2021	31/05/2021	92
01/03/2022	31/05/2022	92

I valori di BTR registrati sono stati correlati al numero di catture realizzate presso la Stazione di Inanellamento della Riserva delle Bolle di Magadino, al fine di valutare l'utilizzabilità del BTR come *proxy* per la quantificazione dello *stopover*. Conseguentemente, è stata analizzata la relazione tra i valori di BTR e i livelli idrici del Lago Maggiore, con l'obiettivo ausiliario di evidenziare eventuali *changepoint*, ovvero valori soglia "critici" nei livelli idrici.

Risultati:

N.B. le quote si riferiscono alla scala svizzera, che è a -0.35 m rispetto a quella italiana.

Inquadramento

L'estensione dell'area allagata al variare dei livelli del lago stimata con la modellizzazione 3D è stata generalmente maggiore di quella ottenuta con le immagini satellitari (tra 74,54 e 251,3 ha, e tra 81,45 e 171,17 ha rispettivamente, per livelli del lago tra 192,3 e 194,9 m s.l.m. quota svizzera, pari a 192,65 e 195,25 m s.l.m. quota italiana) e una distribuzione spaziale diversa.

Per quanto riguarda la modellizzazione 3D, il livello del lago di 194,8 m s.l.m. risulta un punto di soglia al di sopra del quale le aree occupate da alberi, cespuglieti, canneti ed erbe alte iniziano ad allagarsi più rapidamente in confronto a livelli più bassi di questo valore (Fig. P2).

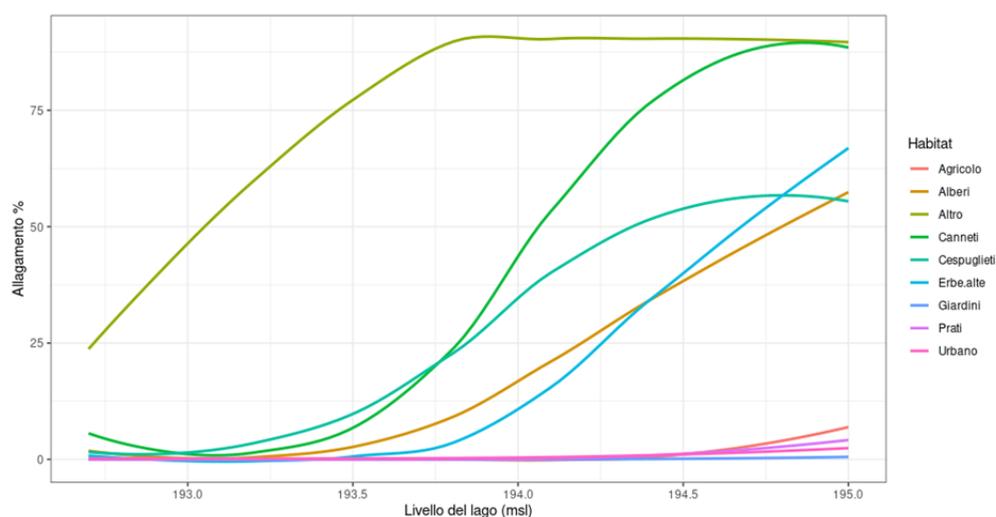


Fig. P2 Percentuale allagata dei diversi tipi di habitat secondo la carta della vegetazione semplificata della Riserva delle Bolle di Magadino, al crescere del livello del lago, ottenuta con la modellazione 3D. La categoria "Altro" comprende le spiagge e le aree senza vegetazione sulle rive (Fonte: Relazione Attività WP4_04_Martinoli).

Relazione tra il ripristino delle risorse energetiche durante lo stopover e livelli idrici

Le 5 specie *target* sono risultate significativamente più pesanti al tramonto rispetto all'alba; l'attività di *stopover* presso l'area della Riserva Bolle di Magadino garantisce quindi alle specie possibilità di foraggiamento. Nonostante ciò, per tutte le specie i valori di grasso sono risultati significativamente inferiori nell'ultima ricattura rispetto alla prima.

Per Capinera (Fig. P3) e Migliarino di palude è stato possibile evidenziare un effetto negativo dell'altezza dei livelli idrici del Lago Maggiore sul peso (registrato al tramonto), e un valore critico sopra il quale il peso delle due specie cala sensibilmente, rispettivamente pari a $193,12 \pm 0,52$ m s.l.m. (quota svizzera, pari a $193,47 \pm 0,52$ m s.l.m. quota italiana) per la prima specie e pari a $192,88 \pm 0,06$ m s.l.m. (quota svizzera, pari a $194,23 \pm 0,06$ m s.l.m. quota italiana) per la seconda.

Non sono state evidenziate relazioni significative tra la massa di grasso e i livelli idrici del Lago Maggiore.

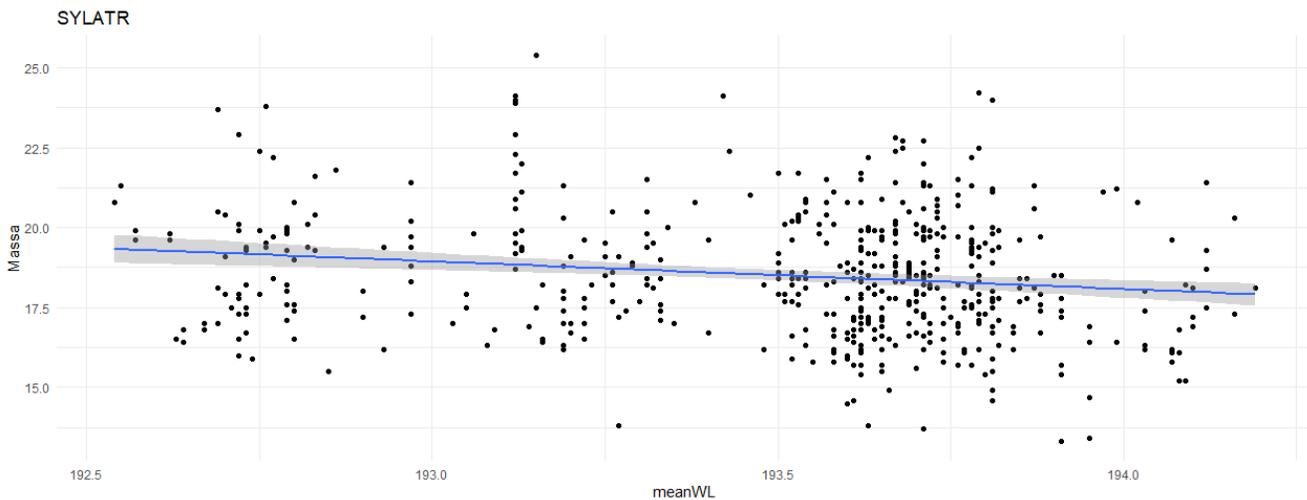


Fig. P3 Peso al tramonto della Capinera rispetto al livello medio giornaliero del Lago Maggiore. In blu la retta di regressione GLM (\pm IC) (Fonte: *Relazione Attività WP4_04_Martinoli*).

Relazione tra BTR e livelli idrici

Il numero di uccelli catturati all'interno della Stazione di Inanellamento della Riserva delle Bolle di Magadino è risultato significativamente correlato al valore di BTR registrato entro i 500 m dal suolo. Pur con alcune limitazioni, il BTR è stato quindi considerato come *proxy* affidabile della quantificazione dell'attività di *stopover* da parte dell'avifauna. Le analisi hanno messo in evidenza una relazione negativa significativa tra BTR e livelli idrici del Lago Maggiore, in particolare durante l'inizio della primavera (i.e. marzo; Fig. P4), in accordo con quanto osservato per peso e ingrassamento per le specie *target* migratrici precoci (i.e. Capinera e Migliarino di palude). La relazione tra BTR e livelli idrici diventa assente o debole più avanti nella stagione (i.e. aprile-maggio; Fig. P4), quando anche i dati sull'ingrassamento delle specie *target* migratrici di questo periodo (es. Cannaiola e Pettiroso), ben adattate a foraggiare in canneti allagati, mostrano come non vi sia una perdita di peso durante lo *stopover*. Una possibile spiegazione delle differenze mensili, ancora sotto indagine, è la minor disponibilità di prede in termini di larve di insetti edafiche e acquatiche a inizio primavera, la cui emergenza può essere influenzata negativamente dalla sommersione dei terreni per le prime e dalle basse temperature dell'acqua per le seconde.

Nel complesso, dall'analisi dei *change point* è emerso un valore soglia di 193,32 m s.l.m. (quota svizzera; pari a 193,67 m s.l.m. quota italiana) superato il quale il BTR diminuisce significativamente.

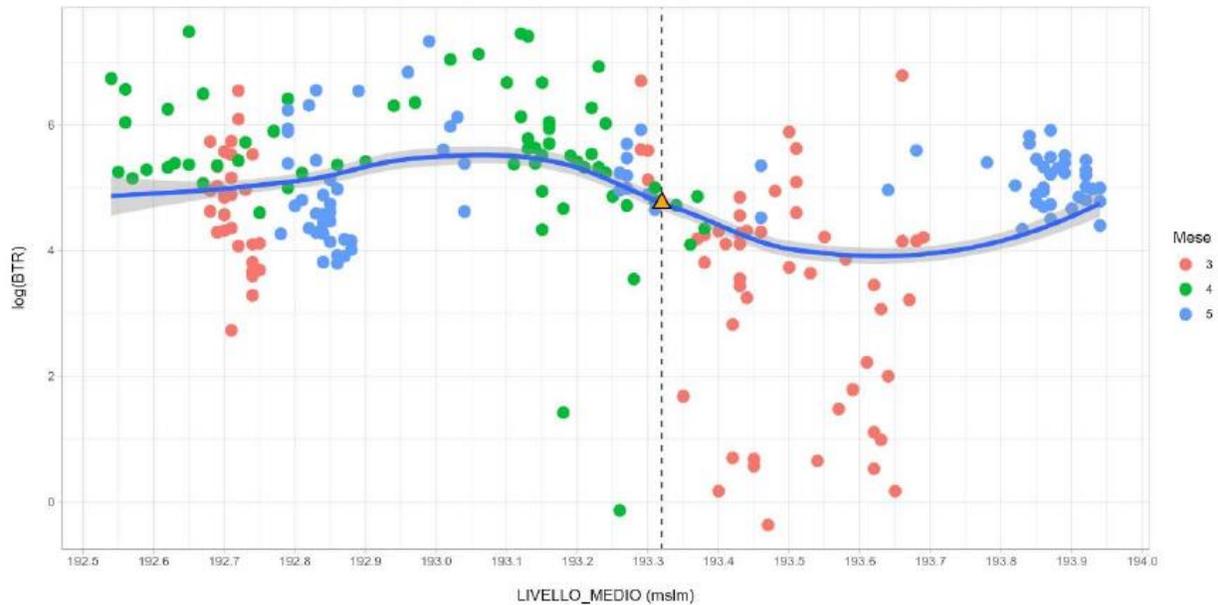


Fig. P4 BTR (log-trasformato) < 500 m dal 1° marzo al 31 maggio 2020-21-22 rispetto ai livelli idrici medi giornalieri del Lago Maggiore. I colori si riferiscono ai mesi di monitoraggio (3 = marzo; 4 = aprile; 5 = maggio), come da legenda. La linea blu rappresenta la retta di regressione del modello GLM (\pm IC). Il triangolo giallo rappresenta l'unico *change point* significativo del modello, posto in corrispondenza del livello idrico del Lago Maggiore pari a 193,32 m s.l.m. (Fonte: Relazione Attività WP4_04_Martinoli).

Conclusioni: Lo studio ha messo in evidenza la presenza di effetti negativi significativi di livelli idrici elevati sull'idoneità dell'area palustre della Riserva delle Bolle di Magadino come sito di *stopover* per l'avifauna migratrice. Questi effetti sono risultati evidenti tuttavia solo per alcune specie (Capinera e Migliarino di palude) e per alcuni periodi dell'anno (marzo – prima metà di aprile). Lo studio ha rilevato tre livelli critici sopra i quali l'efficacia dell'area come sito *stopover* diminuisce ($192,88 \pm 0,06$ m; $193,12 \pm 0,52$ m; $193,32$ m – quota svizzera). Lo studio indica che una politica di gestione che permetta l'attestarsi dei livelli idrici, in particolare durante il mese di marzo, a valori anche solo leggermente inferiori a $193,32$ m s.l.m. (quota svizzera; pari a $193,67$ m s.l.m. quota italiana) avrebbe benefici sostanziali per l'avifauna migratrice in termini di maggior idoneità della Riserva delle Bolle di Magadino come area di sosta.

Efficacia: I flussi di avifauna migratrice, il BTR e alcune caratteristiche (es. peso) delle specie *target* per il Lago Maggiore appaiono indicatori efficaci degli effetti ambientali delle variazioni dei livelli del lago e meritevoli di essere sviluppati come indicatori in termini di numero di giorni in cui il lago non superi una data quota, soprattutto nella stagione primaverile. Gli autori dello studio ritengono che la correlazione tra livelli idrici e flussi migratori andrebbe studiata per più anni al fine di essere tradotta in indicazioni robuste.

Osservazioni: Le tre soglie critiche identificate, seppur in un *range* di quote apparentemente limitato, interessano un intervallo, dal minimo al massimo, di oltre 40 cm. Questo appare come un elemento da approfondire per la definizione di un eventuale indicatore, considerato che anche piccole variazioni di livello, dell'ordine dei 10 cm, hanno la potenzialità di determinare effetti rilevanti sull'ecosistema lacustre.

Condizioni di riferimento extra-bacino (EB) – Il Lago di Mezzola

Fonte: Relazioni Attività WP4_05 – Analisi delle condizioni di riferimento extra bacino – Studio sulla vegetazione a cura di GRAIA s.r.l. + Studio sull'avifauna a cura di Alessio Martinoli, Clara Tattoni, Mattia Panzeri, Silvia Giuntini, Alessandra Gagliardi, Adriano Martinoli, Damiano Preatoni

Contesto: Il Lago di Mezzola è un lago prealpino profondo di origine naturale. L'area è protetta dalla Riserva Naturale Pian di Spagna e Lago di Mezzola, che è anche sito Rete Natura 2000 (ZSC e ZPS). La Riserva è stata istituita da Regione Lombardia nel 1983 con lo scopo di proteggere gli ambienti naturali presenti, tra cui le zone umide, e flora e fauna connesse, in particolare l'avifauna.

Descrizione: Le attività di rilievo della vegetazione igrofila, in particolare del canneto, e dell'avifauna costituiranno un riferimento di sistema non regolato per valutare lo stato ecologico delle aree naturali spondali che si sviluppano lungo il Lago Maggiore, sottoposto invece a regolazione dei livelli. In particolare, per quanto riguarda l'avifauna, il Lago di Mezzola è ecologicamente simile alla Riserva delle Bolle di Magadino sotto il profilo della funzionalità ecologica come area di *stopover* migratorio.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo Indicatore.

Obiettivo: Analizzare lo stato ecologico di un lago non regolato.

Siti di monitoraggio: L'area di indagine è localizzata nella parte meridionale del Lago di Mezzola (Fig. EB1 e EB4), dove il corpo idrico è circondato da praterie igrofile, canneti di estensione significativa e resti di bosco planiziale ripariale.

Rilevo topografico e batimetrico

Il rilievo topografico delle aree a canneto è stato effettuato a settembre 2021, nel momento di massima espansione dell'habitat, utilizzando lo strumento Topcon Hiper V; il rilievo batimetrico della porzione meridionale del Lago di Mezzola è stato eseguito a maggio 2021 con ausilio di strumentazione GPS ed ecoscandaglio.

Stato di salute del canneto

Tra il 2021 e il 2022, sono stati monitorati 45 plot di 1x1 m all'interno di 9 settori spondali (Fig. EB1). In ogni plot, ogni anno durante la stagione vegetativa sono state rilevate sulle cannuce di *Phragmites australis* densità (n/m^2) e altezza (quest'ultima solo nel 2022) delle piante vive; alla fine della stagione vegetativa (tarda estate) sono state determinate le specie vegetali presenti, la copertura e il substrato su cui si sviluppavano e, per la sola *Phragmites australis*, l'altezza (m), il diametro (mm), il numero di nodi (n), le densità di culmi vitali, fioriti e apici secchi (n/m^2) e la presenza dell'habitus di accrescimento per cespi (clumping).



Fig. EB1. Localizzazione dei plot, all'interno dei 9 settori spondali, monitorati per la valutazione dello stato di salute del canneto nella porzione meridionale del Lago di Mezzola negli anni 2021-22 (Fonte: *Relazione Attività WP4_05_GRAIA*).

Avifauna

Analogamente a quanto realizzato per il *Criterio P - Funzionalità ecologica dell'area palustre come sito di sosta migratoria*, sono state realizzate le seguenti attività ed analisi:

(1) monitoraggio dell'attività migratoria con l'ausilio di un radar (attivo per 75 giorni, di cui 54 utilizzati per le analisi - 06/10-02/11/2021 e 05/10-01/11/2022) e confronto dei dati raccolti con quelli della Stazione di Inanellamento di Cascina Poncetta situata nella Riserva Pian di Spagna. Rispetto al lavoro realizzato presso la Riserva delle Bolle di Magadino, i dati raccolti sono risultati quantitativamente inferiori (i.e. dimensione del campione ridotta) e la raccolta dati è stata realizzata in autunno anziché

in primavera. Questa discrepanza stagionale è legata sia al diverso momento di attività delle stazioni di inanellamento nei due siti sia alla presenza di un solo radar che quindi è stato usato in due momenti differenti;

(2) confronto dei valori di massa (peso, in g) degli uccelli catturati all'alba e al tramonto durante ciascuna giornata di attività della stazione di inanellamento;

(3) calcolo della differenza di quantità di grasso tra l'ultima cattura e la prima cattura dell'intera sessione di cattura per tutti gli individui catturati almeno due volte.

Risultati:

Livelli idrometrici

Non essendo disponibili i livelli quotidiani del Lago di Mezzola in quanto non monitorati in continuo, sono state fatte delle elaborazioni sui seguenti dati: (a) livelli giornalieri rilevati nel periodo 1953-1982 da parte del Consorzio dell'Adda; (b) livello idrico quotidiano del fiume Mera a valle del lago presso il Ponte del Passo rilevati da Arpa Lombardia.

I livelli del lago nel periodo 1953-1982 (Fig. EB2) sono in linea con le portate del suo immissario ed emissario, il Fiume Mera, e sono minimi a fine inverno (marzo) e massimi tra la fine della primavera e l'inizio dell'estate (giugno e luglio). La differenza di quota tra i valori medi mensili minimi e massimi è di circa 1 m e le variazioni (in incremento) maggiori si registrano nei mesi primaverili.

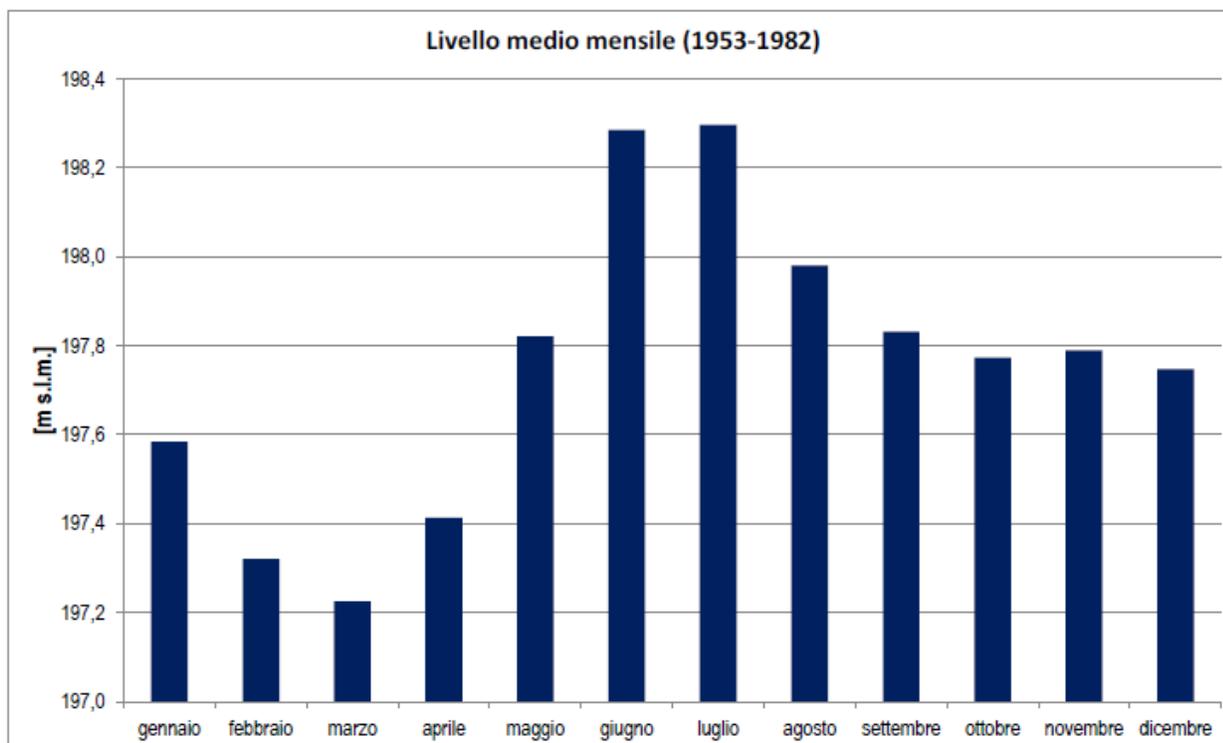


Fig. EB2. Livelli idrometrici medi mensili (m s.l.m.) del Lago di Mezzola nel periodo 1953-1982 (Fonte: *Relazione Attività WP4_05_GRAIA*).

L'andamento dei livelli del lago nel periodo di progetto 2019-2020-2021-2022, calcolato sulla base dei valori di quota del Fiume Mera a Sorico (Fig, EB3), mostra un andamento comparabile nei primi tre anni ed uno anomalo nel 2022, legato alla siccità di quest'ultimo anno che ha portato il lago a livelli molto bassi soprattutto nel periodo estivo.

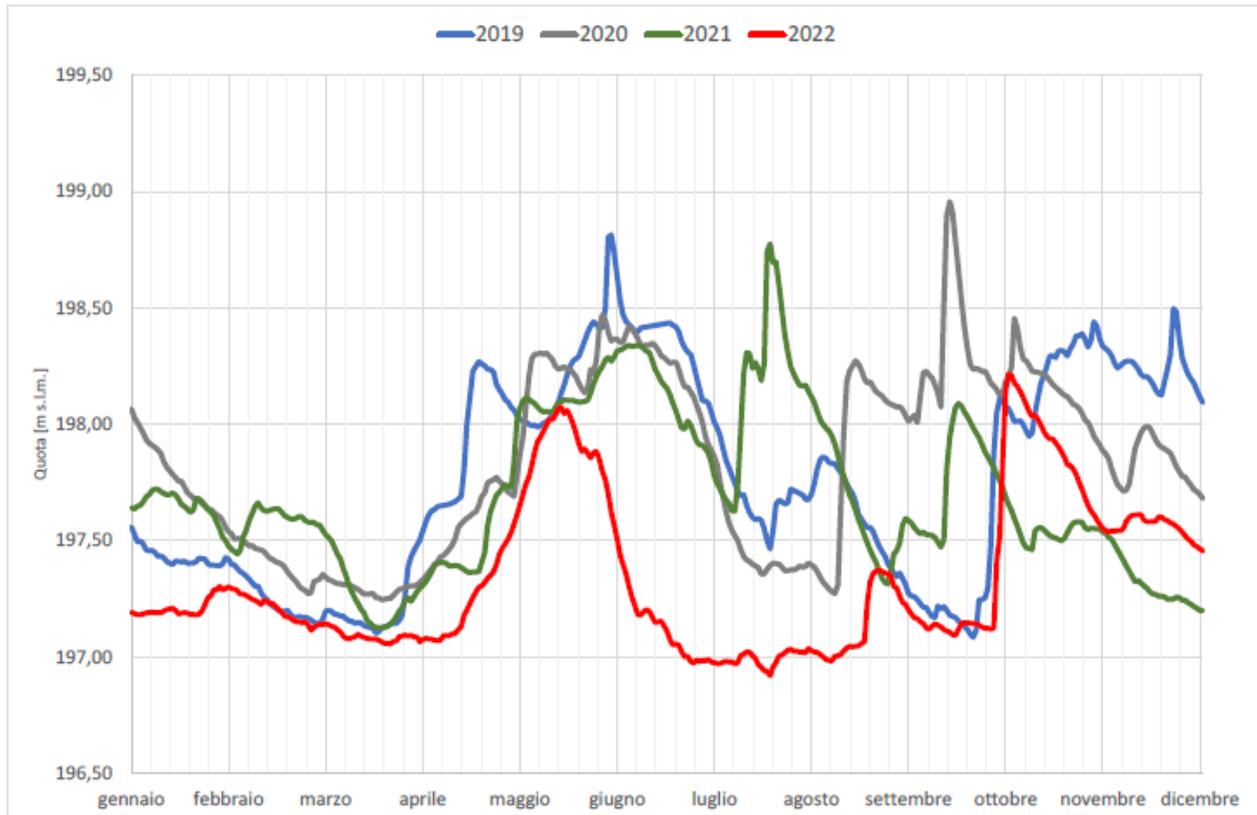


Fig. EB3. Livelli idrometrici giornalieri (m s.l.m.) del Lago di Mezzola nel periodo di progetto 2019-20-21-22, calcolati sulla base dei valori di quota del Fiume Mera a Sorico (Fonte: Relazione Attività WP4_05_GRAIA).

Vegetazione igrofila

Le vegetazioni acquatiche e igrofile rilevate nel corso della stagione 2021 sono state:

- Vegetazione acquatica. Nelle acque aperte sono state individuate le specie *Chara globularis*, *Elodea nuttallii*, *Zannichellia palustris*, *Potamogeton crispus*, *Potamogeton perfoliatus* e *Potamogeton lucens*, idrofite completamente sommerse; nei canali che si sviluppano all'interno del canneto sono state censite *Nuphar lutea* e *Hippuris vulgaris*, specie caratterizzate dalla presenza di piante con fiori e foglie in parte emerse o galleggianti.
- Vegetazione perilacustre. Costituita da specie in grado di tollerare le continue variazioni di livello di acqua e di resistere a episodi di sommersione e prosciugamento, la vegetazione perilacustre risulta rappresentata principalmente dal canneto a *Phragmites australis*. Altre specie tipiche di questi ambienti, individuate durante le indagini, sono *Eleocharis acicularis*, *Littorella uniflora*, *Ranunculus reptans*, *Schoenoplectus lacustris*, *Typha latifolia* e *Rorippa amphibia*.

- Cariceti. Praterie igrofile su suoli inondatai almeno in qualche momento dell'anno, dominate da specie del genere *Carex* di grosse dimensioni (principalmente *C. elata*). Sono state censite anche *Lycopus europaeus*, *Juncus effusus*, *Gratiola officinalis* e *Myosotis scorpioides*.
- Praterie a molinia (*Molinia coerulea*). Praterie interessate da episodi di sommersione del tutto eccezionali, che si presentano più o meno eterogenee anche per effetto del loro eventuale utilizzo come pascolo o come prateria da fieno. Durante le indagini, in questi ambienti sono state osservate *Lythrum salicaria*, *Gratiola officinalis*, *Lychnis flos-cuculi* ed *Equisetum palustre*.

Carta batimetrica e fronte del canneto

I rilievi hanno permesso di elaborare una carta batimetrica (Fig. EB4) con isobate a 0,5 m che ha messo in evidenza come, nelle aree prospicienti il fronte acquatico dei canneti siano presenti prevalentemente ampie zone suborizzontali che degradano dolcemente da quote prossime ai 197,2 m s.l.m. fino a 196,0 m. Il fronte acquatico del canneto risulta praticamente continuo ad eccezione di un tratto di circa 40 m dove si sviluppa un cariceto.

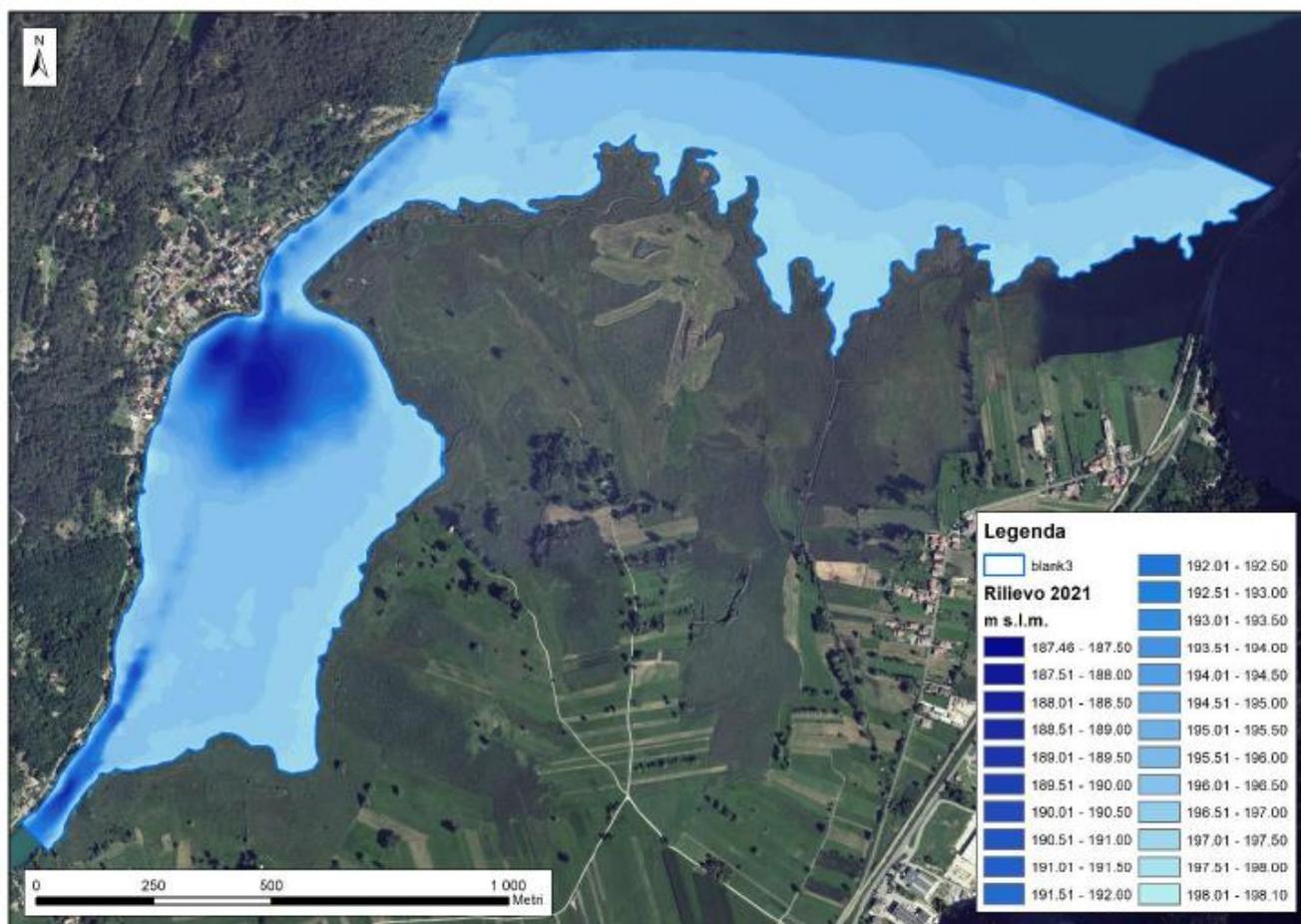


Fig. EB4. Carta batimetrica con isobate a 0,5 m della parte meridionale del Lago di Mezzola (Fonte: Relazione Attività WP4_05_GRAIA).

Stato di salute del canneto

Phragmites australis è risultata presente in tutti i plot ad eccezione di uno (plot 9.1). In generale, in tutti i plot la densità, misurata come numero di cannuce vive al m², è aumentata nel periodo compreso tra aprile e giugno per decrescere verso la fine della stagione vegetativa (ottobre). L'altezza media delle cannuce, misurata nel 2022, è risultata pari a circa 20 cm ad aprile, per salire attorno a 70 cm a maggio e attorno o oltre i 2 m da giugno. Nel complesso, la densità di cannuce (n/m²) in tarda primavera/inizio estate non è risultata correlata con la quota, mentre l'altezza e il diametro delle stesse è aumentato con la quota. L'*habitus* di accrescimento per cespi (*clumping*) è stato riscontrato in 2 soli plot, di cui uno mostra un numero di cannuce al metro quadro simile ad altri plot che non presentano segni di *clumping*.

Nel 2021, nei plot posti sul fronte acquatico del canneto o comunque soggetti a continue variazioni del livello lacustre, *P. australis* è stata rilevata in popolamenti monospecifici o insieme a poche altre specie, principalmente anfibie tipiche della fascia litorale tra cui *Rorippa amphibia*, *Ranunculus reptans*, *Eleocharis acicularis* e *Littorella uniflora*). A quote superiori, su suoli inondati solo in qualche momento dell'anno, sono risultate presenti anche *Carex elata* e *Myosotis scorpioides*. Nel 2022, anno con livelli estivi del lago molto bassi, è stata confermata la presenza delle specie rilevate nel 2021, con alcuni incrementi di copertura e la comparsa di nuove specie quali ad esempio: *Persicaria hydropiper*, *Cyperus fuscus*, *Agrostis stolonifera*, *Lythrum salicaria*, *Bidens frondosa* e *Mentha* sp.. Durante il 2022 inoltre, è stato osservato un avanzamento del canneto di circa 5-6 metri rispetto al 2021 dovuto principalmente a crescita da rizoma e da stolone epigeo, mentre è stata registrata la presenza sporadica di piantine da seme di *Phragmites australis*.

Avifauna

L'attività migratoria registrata con il radar (*Bird Traffic Rate - BTR*) non è risultata correlata alle catture realizzate presso la Stazione di Inanellamento di Cascina Poncetta, non permettendo di utilizzare il BTR come *proxy* per lo *stopover* dell'avifauna sul Lago di Mezzola. Questa mancata correlazione potrebbe dipendere dal fatto che la migrazione autunnale si svolge in modalità differente rispetto a quella primaverile. Nel primo caso gli spostamenti sono più gradualmente, con soste più prolungate e prevalentemente a carico dei giovani dell'anno, mentre in primavera la durata della sosta è limitata per l'esigenza degli individui di raggiungere per primi i siti di nidificazione migliori.

Inoltre, la ridotta dimensione del campione e la natura della migrazione autunnale non hanno fatto registrare aumenti di peso elevati per le specie indagate come quelli osservati nella Riserva delle Bolle di Magadino, e, nuovamente, non è stato registrato accumulo di grasso sostanziale.

In generale, si osserva una ridotta efficacia del sito nel garantire adeguate risorse trofiche durante lo *stopover* migratorio autunnale, pur essendo in questo periodo meno limitante sotto il profilo del fabbisogno energetico, e pur essendo l'attività di inanellamento effettuata in corrispondenza del passo dei migratori intrapaleartici, che tendono a limitare l'accumulo di grasso rispetto ai migratori transahariani.

Conclusioni: I livelli medi primaverili del Lago di Mezzola risultano aumentare da marzo a giugno, con incrementi più elevati tra aprile e maggio e tra maggio e giugno. Tra marzo e aprile, alle minori altezze

delle cannuce corrispondono i livelli di quota minori, in apparente accordo con i tempi di crescita di *Phragmites australis* e quindi con il mantenimento di un buono stato di salute e di adeguate superfici di canneto. Gli autori dello studio vegetazionale ritengono però necessarie ulteriori indagini, su un periodo più lungo, per effettuare confronti organici tra il Lago di Mezzola e il Lago Maggiore. Nel documento "*Sistema Lago: contestualizzazione, problematica e indicatori*" vengono forniti i seguenti spunti di riflessione: l'estensione dei fenomeni di *clumping*, la quota di crescita dei canneti, insieme alla ricrescita da seme in caso di abbassamenti consistenti dei livelli del lago, e l'estensione delle superfici del *Littorella uniflora*, registrati sul Lago di Mezzola possono costituire dei parametri utili per una prima valutazione dello stato ecologico del Lago Maggiore in riferimento a un lago non regolato.

Per quanto riguarda l'avifauna, i dati non hanno permesso di indagare le relazioni tra ruolo dell'area come sito di *stopover* e livelli idrici, pur essendo emersa un'apparente minor idoneità dell'area come sito di *stopover* in termini di disponibilità di risorse trofiche rispetto alla Riserva delle Bolle di Magadino.

Efficacia: Il Lago di Mezzola sembra essere una condizione di riferimento extra-bacino efficace almeno per quanto riguarda la componente vegetazionale, anche se mancano confronti organici con le condizioni regolate del Lago Maggiore.

Osservazioni: Se il Lago di Mezzola rimanesse condizione di riferimento extra-bacino, sarebbe di grande utilità, compatibilmente con le possibilità tecniche ed economiche legate alle future indagini, installare una stazione di misura idrologica in continuo, attualmente assente, che permetterebbe di approfondire le relazioni dell'ecosistema con i livelli del lago.

4. WP5 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli attraverso indicatori disponibili

Scopo di questo WP è stata la selezione di indicatori per la valutazione della sostenibilità ecologica per il fiume Ticino dello schema di gestione dei rilasci in essere di acqua dallo sbarramento della Miorina e di sue possibili variazioni, con particolare riferimento alla disponibilità di volumi/portate per la mitigazione di magre estive particolarmente prolungate e i tempi di esecuzione delle manovre di apertura delle paratoie per la variazione dei livelli e quindi delle portate nel fiume.

Il sistema di regolazione dei deflussi dal Lago Maggiore deve infatti garantire non solo la tutela degli ambienti naturali sul lago, ma anche di quelli fluviali, oltre agli usi antropici delle acque (innanzitutto per l'irrigazione). Una scarsa disponibilità idrica nel lago può avere infatti, come effetto nel fiume, la presenza di portate minime (pari al solo Deflusso Minimo Vitale - DVM) per periodi prolungati, con potenziali effetti negativi sugli ecosistemi fluviali, con probabilità tanto maggiori in estate, quando coincidono temporalmente la minima disponibilità idrica (magra estiva naturale), la massima necessità di acqua per l'irrigazione e temperature delle acque più elevate.

Prima di affrontare i singoli indicatori e la loro efficacia, appare necessario effettuare una contestualizzazione, affrontando alcuni aspetti degli andamenti di portata del fiume, propedeutici all'interpretazione dei risultati di questo WP. Le seguenti informazioni sono tratte dalla *Relazione Attività WP5 - Valutazione degli effetti delle variazioni dei livelli sul sistema fiume attraverso nuovi indicatori, Introduzione - Dott.ssa Silvia Quadroni*

4.1 Il Fiume Ticino e il Lago Maggiore

Il Fiume Ticino è per portata media alla confluenza (348 m³/s), il secondo fiume d'Italia e il primo affluente del Fiume Po. È tra i fiumi italiani di maggiore interesse naturalistico, e il mantenimento funzionale del suo ecosistema è direttamente influenzato dalla presenza, lungo il suo corso, del Lago Maggiore. Il Lago Maggiore rappresenta un'importante discontinuità dal punto di vista delle caratteristiche idrologiche tra il tratto di monte, lungo 91 km, e quello di valle, lungo 110 km, funzionando come una grande vasca d'accumulo che permette di smorzare le variazioni di portata tra i due tratti. Per esempio, un picco di piena che si verifica nel tratto di monte arriva con tempi più dilatati nel tratto di valle, ed il successivo decremento di portata è più lungo. La quantità e l'andamento delle portate in uscita dal lago sono regolate artificialmente attraverso lo sbarramento mobile della Miorina, che permette di ridurre il deflusso di acqua dal lago in determinati periodi, per poi incrementarlo in altri, in funzione degli utilizzi antropici o del deflusso di eventuali piene. A valle della diga della Miorina sono presenti ulteriori sbarramenti a servizio di derivazioni, che prelevano una parte dell'acqua del fiume per convogliarla in canali ad uso irriguo e idroelettrico. L'acqua derivata torna solo in parte al fiume, per cui questi prelievi determinano una riduzione della portata. In particolare, gli sbarramenti e i prelievi presenti nel tratto di fiume oggetto di indagine del WP5, incluso tra lo sbarramento della Miorina e il canale Langosco per un totale di 31 km, sono:

- diga di Porto della torre: primo sbarramento presente sul tratto sublacuale del fiume, consente la produzione di energia idroelettrica tramite la centrale di Porto della Torre; a monte della diga è presente l'opera di presa del canale Regina Elena, che può derivare un massimo di 70 m³/s;
- diga del Panperduto: questa diga consente la derivazione, in sponda sinistra, di un massimo di 55 m³/s di competenza del Canale Villoresi oltre a un massimo di 120 m³/s di competenza del Canale Industriale (ENEL Green Power - EGP). Parte dell'acqua derivata dal Canale Industriale è rilasciata nuovamente in Ticino circa 20 km più a valle, nei pressi della filarola del Naviglio Langosco. A valle della diga del Panperduto viene garantito il rilascio del Deflusso Minimo Vitale (DMV; si veda paragrafo seguente) e la portata di competenza delle rogge;
- filarola delle Rogge Novaresi: quest'opera di sbarramento, in materiale sciolto, è posta circa 1,8 km a valle della precedente ed è quindi in una sezione in cui una parte consistente della portata del Ticino è stata prelevata. La filarola consente la derivazione, in sponda destra, di un massimo di 7.26 m³/s.

4.2 Deflusso Minimo Vitale (DMV)

A valle degli sbarramenti elencati viene garantito il rilascio di un quantitativo minimo di acqua necessario per la sopravvivenza dell'ecosistema fluviale, il cosiddetto Deflusso Minimo Vitale (DMV). Il DMV è previsto per legge ed è stato definito nel corso di una sperimentazione condotta nel periodo 2009-2015, mediante la quale sono state definite le seguenti portate minime da rilasciare nei vari periodi dell'anno: 24 m³/s tra gennaio e maggio, 17 m³/s tra giugno e agosto e 31 m³/s tra settembre e dicembre. Sia per cercare di mimare le variazioni stagionali naturali delle portate sia per soddisfare le necessità dei vari utilizzatori della risorsa idrica che hanno differenti esigenze nell'arco dell'anno, il DMV non è costante, ma varia, come sopra esposto, in determinati periodi. Il periodo estivo è quello caratterizzato dal DMV più basso a causa della minore disponibilità idrica stagionale e dell'incremento del fabbisogno idrico per l'irrigazione.

Questi valori sono stati definiti in modo tale da permettere il raggiungimento del buono stato ecologico del corso d'acqua ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque; di conseguenza, il DMV del Fiume Ticino corrisponde al suo Deflusso Ecologico (DE). Il concetto di DE ha recentemente sostituito quello di DMV (Regione Lombardia, 2023) permettendo il passaggio dal garantire una portata istantanea minima al garantire un regime idrologico per il raggiungimento degli obiettivi ambientali indicati dalla Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), così come definito dalla Direttiva Deflussi Ecologici (30/2017). L'attuazione del DE avviene principalmente attraverso l'applicazione di fattori correttivi al DMV, che costituiscono la componente ambientale del DE.

Il DMV (o DE) rappresenta la principale misura di mitigazione dell'alterazione idrologica dell'ecosistema fluviale legato alla creazione dello sbarramento della Miorina. La funzione del DMV è di evitare che nei periodi di minore disponibilità idrica, alcuni tratti di fiume rischiano di andare in asciutta completa o quasi e quindi tra i suoi obiettivi vi sono quelli di (a) garantire il corretto svolgimento del ciclo vitale degli organismi animali e vegetali che vivono all'interno del fiume o che necessitano della presenza di acqua; (b) consentire una diluizione delle sostanze inquinanti che finiscono nel fiume evitando il raggiungimento di concentrazioni tossiche; (c) preservare il fiume da un riscaldamento eccessivo in estate. Nonostante questo, è importante sottolineare come valori di portata superiori al DMV/DE apportino benefici all'ecosistema fiume nel suo complesso, permettendo il

collegamento con gli habitat peri-fluviali e una dinamica idrologica più rispondente alle esigenze di conservazione anche sul lungo periodo.

4.3 Regime fluviale e relazione con la regolazione degli sbarramenti

Nel tratto indagato nell'ambito del WP5 (si veda Fig. Q1), il regime fluviale è caratterizzato da due periodi di morbida, uno in primavera e uno in autunno, e due periodi di magra, uno in inverno e uno in estate. L'andamento delle portate, così come l'entità, la durata e la frequenza degli eventi di piena sono funzione delle precipitazioni nel bacino sublacuale, circumlacuale e montano, e della modalità di gestione delle portate presso lo sbarramento della Miorina. Considerando come piena ordinaria quella che si verifica quando la portata in uscita dal lago supera circa 1000 m³/s (corrispondente a un'altezza idrometrica del lago di 2 m), è possibile individuare mediamente un evento all'anno a partire dall'entrata in esercizio della diga della Miorina.

Dal punto di vista idraulico-morfologico, in questo tratto fluviale è possibile individuare due segmenti distinti: (1) uno compreso tra la diga della Miorina e quella del Panperduto, in cui la presenza della quasi totalità delle portate rilasciate dal Lago Maggiore e l'effetto di rigurgito dei due sbarramenti, di Porto della Torre e del Panperduto, determinano caratteristiche lentiche, con acque profonde e scarsamente turbolente; (2) l'altro, compreso tra la diga del Panperduto e la fine del tratto stesso, in cui le portate sono ridotte a causa delle derivazioni e il fiume ha profondità minori e maggiore turbolenza. In questo tratto, il rilascio del DMV (o DE) dovrebbe garantire, anche nei periodi di magra, il mantenimento di caratteristiche ecologiche accettabili nonostante i prelievi. La maggior parte delle indagini ecologiche realizzate nell'ambito del WP5, si è concentrata in questo secondo segmento in quanto presenta le maggiori criticità dal punto di vista dell'alterazione idrologica. In particolare, sono state selezionate due stazioni di monitoraggio, una a Somma Lombardo (T1 in Fig. Q1) poco a valle (3 km) della diga del Panperduto e l'altra situata tra i comuni di Oleggio e Lonate Pozzolo (T2 in Fig. Q2), a distanza di 12 km dalla prima, caratterizzata da portate maggiori grazie al contributo del bacino residuo (52 km²) e soprattutto della falda acquifera, specialmente durante i periodi di magra.

4.4 Variazioni temporali della portata e relazione con la regolazione dei livelli del Lago Maggiore

Nel periodo 1943-2019, le portate a valle dello sbarramento della Miorina hanno mostrato variazioni significative, in particolare verso un generale decremento della portata. Inoltre, nel Fiume Ticino, l'entità delle portate di fine estate (i.e. settembre) ha mostrato una diminuzione significativa, indipendentemente dalle condizioni idrologiche generali dell'anno, in accordo con quanto già rilevato per i corsi d'acqua europei a partire dagli anni '60.

In alcuni casi, gli andamenti temporali di specifici parametri idrologici sono risultati influenzati dall'esercizio della diga della Miorina. Ad esempio, la frequenza dei periodi di bassa portata, al suo massimo negli anni '60, è diminuita nei decenni successivi. Questo può essere attribuito alla derivazione dell'acqua per la produzione di energia idroelettrica, ridotta in quel periodo durante i fine-settimana, nei periodi di minore immagazzinamento idrico del Lago Maggiore. Un'ulteriore modifica rispetto alla precedente gestione dei deflussi del Lago Maggiore è legata all'entrata in vigore del DMV nel Fiume Ticino, iniziato nel 2009. Tuttavia, distinguere gli effetti del cambiamento climatico da quelli

del cambiamento della gestione della risorsa idrica sulle modifiche dei parametri idrologici nel lungo periodo, è molto complesso.

Dal confronto tra gli andamenti temporali delle portate a valle dello sbarramento della Miorina e di quello del Panperduto nel periodo 2001-2013 è emerso come questi presentino alcuni tratti comuni. L'andamento delle portate medie mensili è risultato caratterizzato da due picchi, uno a maggio e uno a novembre. Inoltre, durante il periodo di magra invernale, le portate sono risultate essere più stabili che nel periodo estivo: a valle della diga del Panperduto, i giorni con portate pari al DMV sono stati in media l'81% del numero totale di giorni da gennaio a marzo, mentre il 67% da agosto a ottobre.

In Fig. 10 sono riportati gli andamenti delle portate medie giornaliere registrati a valle delle due dighe durante gli anni del progetto Interreg 2019-20-21- 22. Nel 2019 e nel 2020 si possono osservare i due caratteristici periodi di morbida e i due di magra, mentre nel 2021 non si è verificata la magra estiva, anche se la portata media annua presso la diga del Panperduto è risultata leggermente inferiore al valore medio del periodo 2001-2022 (100 m³/s). Il 2022 è stato un anno anomalo, estremamente siccitoso, dove la magra invernale si è protratta fino a fine settembre, con valori minimi di portata, anche in deroga al DMV.

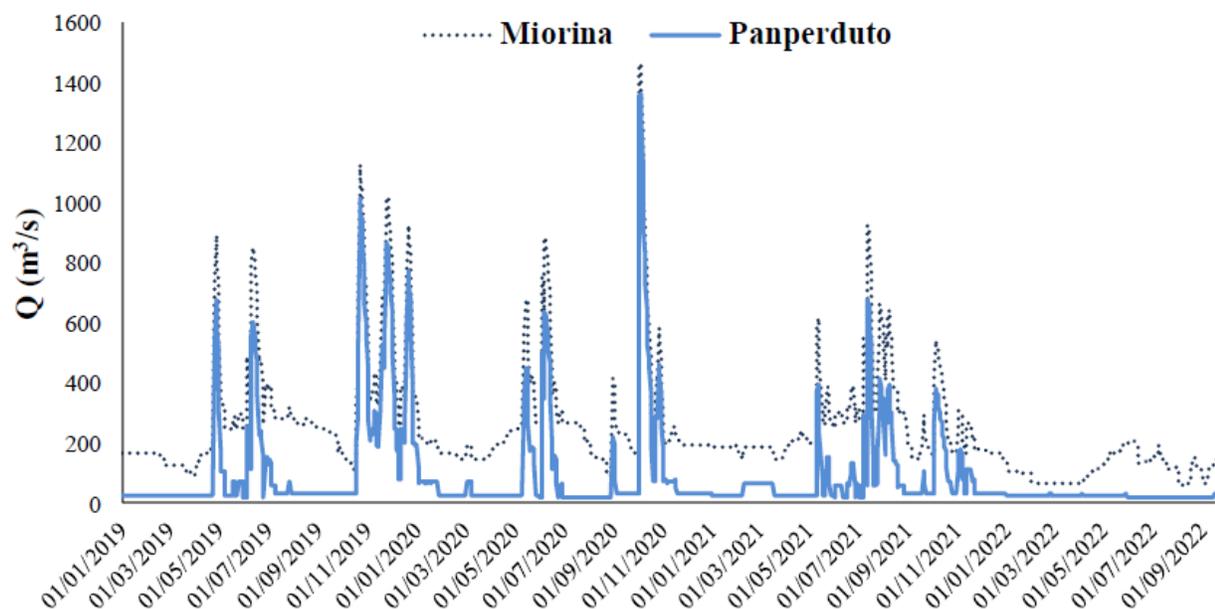


Fig 10 Andamento delle portate medie giornaliere (m³/s) a valle delle dighe della Miorina e del Panperduto da gennaio 2019 a settembre 2022 (Fonte: Relazione Attività WP5_01_Quadroni).

In Fig. 11 l'andamento delle portate a valle della diga del Panperduto è messo a confronto con l'andamento del livello del Lago Maggiore per il periodo di progetto. Per livelli del lago inferiori a 40 cm, nel fiume si sono registrati sempre valori pari al DMV, mentre per valori superiori a 40 cm si sono registrati sia valori di DMV che valori di portata più elevati. I periodi di morbida del fiume sono sempre coincisi con livelli del lago superiori all'intervallo di regolazione dello sbarramento della Miorina.

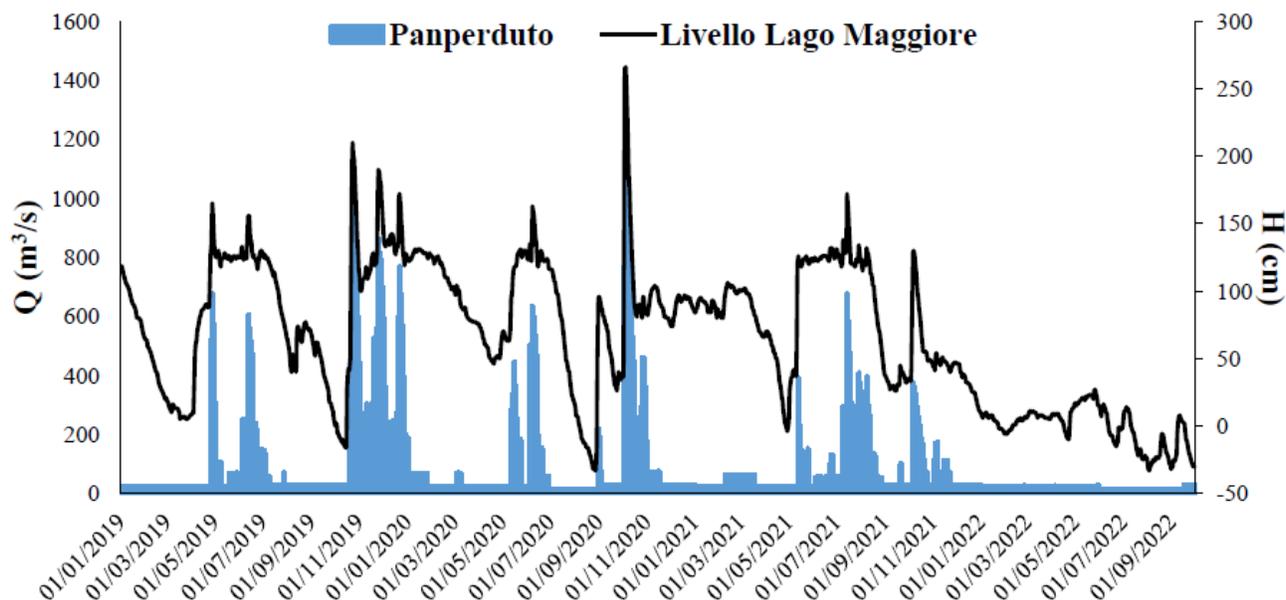


Fig. 11 Andamento delle portate medie giornaliere (m^3/s) a valle della diga del Panperduto e del livello del Lago Maggiore (cm sullo zero idrometrico di Sesto Calende) da gennaio 2019 a settembre 2022 (Fonte: Relazione Attività WP5_01_Quadroni).

4.5 Altri fattori influenzanti il sistema fiume

Le dinamiche ecologiche del sistema fiume nel tratto considerato nell'ambito del progetto potrebbero essere influenzate, oltre che dall'alterazione idrologica, da:

- alterazioni morfologiche: il tratto appare deframmentato. In particolare, sia la diga di Porto della Torre, sia la diga del Panperduto sono state dotate di sistemi di risalita della fauna ittica, mentre la filarola delle rogge novaresi, per le sue caratteristiche strutturali e per il fatto di essere temporanea, è da considerarsi una struttura valicabile. Il tratto presenta inoltre al suo interno, numerosi elementi di pregio naturalistico, anche se, in alcune porzioni, il fiume ha subito modificazioni delle sponde e degli ambienti naturali limitrofi per diversi motivi (sicurezza idraulica, agricoltura, ecc.). Nell'area immediatamente a valle delle opere di derivazione, sono evidenti fenomeni di erosione dell'alveo con conseguenti effetti soprattutto sulle sponde;
- inquinamento delle acque: il tratto non presenta criticità rilevanti, benchè gravino comunque dei carichi inquinanti derivanti da: (a) scarichi di reflui civili; (b) attività agricolo-zootecniche; (c) attività industriali; (d) aree naturali (limitato).
- specie alloctone: le principali minacce sulle biocenosi acquatiche autoctone, nel tratto sono: (a) siluro (*Silurus glanis*), originario dell'Europa centro-orientale e caratterizzato da un'ampia adattabilità ambientale; (b) barbo europeo (*Barbus barbus*), minaccia la conservazione della specie autoctona congenerica (il barbo comune - *Barbus plebejus*), con cui forma ibridi;
- pressioni predatorie sulla fauna ittica: esercitata dal siluro e da uccelli ittiofagi, come il cormorano (*Phalacrocorax carbo*), che negli ultimi anni ha notevolmente incrementato la sua presenza in tutto il territorio regionale, in conformità con il trend positivo registrato a livello nazionale.

Criterio Q – Comunità di macroinvertebrati bentonici nei periodi di magra

Fonte: Relazione Attività WP5_02 - Analisi dello stato e trend della comunità di macroinvertebrati in funzione delle scelte gestionali – Dott.sse Silvia Quadroni e Livia Servanzi, Prof. Giuseppe Crosa

Contesto: I macroinvertebrati sono definiti come invertebrati di ambiente acquatico di dimensioni superiori a 1 mm e comprendenti organismi appartenenti a varie categorie tassonomiche: Insetti, Crostacei, Irudinei, Molluschi, Oligocheti, e più di rado Platelminti, Poriferi, Celenterati, Nematodi, Briozoi e Idracarini. Questi organismi hanno un ruolo fondamentale nell'ecosistema in quanto occupano diverse nicchie ecologiche e sono fonte di cibo per altri organismi, quali pesci, anfibi, rettili e uccelli. Sono usati come bioindicatori, essendo fortemente sensibili alle perturbazioni ambientali, poco vagili e facilmente monitorabili.

Descrizione: Le dighe interrompono la continuità fluviale, riducendo la circolazione dei sedimenti e dei nutrienti e ostacolando il movimento dei macroinvertebrati, necessario per il completamento del loro ciclo vitale. Tra gli effetti delle dighe, quello di maggior rilievo è la riduzione delle portate (a volte con abbassamenti oltre il Deflusso Minimo Vitale – DMV, previsto per legge), che a sua volta determina una riduzione dell'alveo bagnato (i.e. quantità d'acqua nel fiume) e della velocità della corrente. Una ridotta velocità comporta un maggior deposito di sedimento, che contribuisce alla perdita di habitat utile ai macroinvertebrati, riducendo la presenza di cavità naturali. Inoltre, a portate inferiori corrispondono di norma temperature maggiori.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo indicatore.

Obiettivo: Valutazione biologica delle conseguenze sul Fiume Ticino della modalità di gestione dei rilasci d'acqua provenienti dal Lago Maggiore, attraverso (1) il monitoraggio della comunità di macroinvertebrati bentonici in concomitanza con i periodi di magra, in particolare estivi, e (2) attraverso lo studio degli effetti dei repentini cambi di livello, dovuti all'apertura dello sbarramento della Miorina, sulla comunità di macroinvertebrati.

Siti di monitoraggio: Due stazioni di monitoraggio, una a 3,2 km a valle della diga del Panperduto (T1), rappresentativa delle maggiori criticità idrologiche legate alla presenza della diga, e una a 15 km a sud della stessa (T2), caratterizzata da portate più elevate (Fig. Q1).

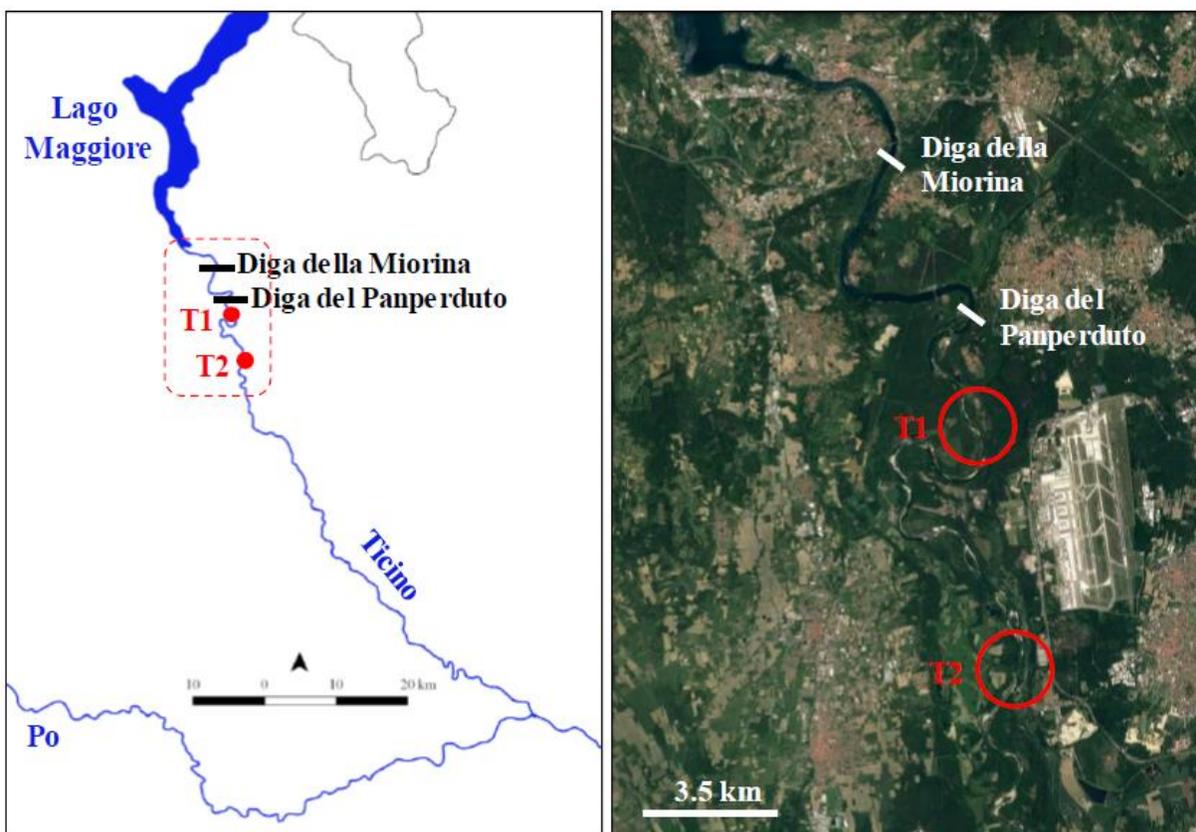


Fig. Q1 Stazioni di monitoraggio dei macroinvertebrati bentonici sul Fiume Ticino, a valle della diga del Panperduto (T1 e T2) (Fonte: *Relazione Attività WP5_02_Quadroni*).

Metodologia: In totale, sono state eseguite 7 sessioni di campionamento, 4 nel periodo estivo e 3 nel periodo invernale. In particolare, sono stati effettuati:

- 6 campionamenti a T1 nell'estate 2019;
- 7 campionamenti a T1 nell'inverno 2019-2020;
- 6 campionamenti a T1 nell'estate 2020;
- 11 campionamenti a T1 e T2 nell'inverno 2020-2021;
- 2 campionamenti a T1 e T2 nell'estate 2021;
- 11 campionamenti a T1 e T2 nell'inverno 2021-2022;
- 6 campionamenti a T1 e T2 nell'estate 2022.

Per ciascuna sessione, i campionamenti sono stati svolti con cadenza circa quindicinale a partire dall'inizio della stagione di magra fino al suo termine. Dei principali mesohabitat rilevati (*riffle*: corrente elevata e bassa profondità; *run*: bassa profondità, scarsa turbolenza e corrente a flusso laminare; *pool*: elevata profondità e corrente debole), la maggior parte dei campionamenti sono stati realizzati in aree *riffle* (mesohabitat caratterizzante la porzione di fiume indagata) e, in misura minore, in aree *run*, a scopo comparativo.

Al fine di valutare gli effetti della portata sui macroinvertebrati sono state calcolate:

- densità totale (i.e. numero totale di individui al m²);

- densità relativa EPT (i.e. percentuale di Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri, ordini di insetti maggiormente sensibili alle perturbazioni ambientali);
- densità relativa di Chironomidi, famiglia di insetti tollerante le perturbazioni ambientali;
- indice di stato ecologico STAR_ICMi e relativi sei sub-indici, che descrivono lo stato dell'ambiente sulla base di alcune caratteristiche della comunità (abbondanza, tolleranza/sensibilità, ricchezza /diversità);
- indice LIFE e Flow_T di alterazione idrologica.

I valori di questi parametri sono stati (a) comparati con i dati sulla comunità macrobentonica raccolti durante il periodo di sperimentazione del DVM del Fiume Ticino (i.e. 2010-2015), (b) relazionati alle portate medie giornaliere rilasciate a valle della diga del Panperduto e alle variabili chimico-fisiche delle acque (misurate ogni 30 minuti a partire dall'11/11/2020 grazie al posizionamento di una sonda in T2), e (c) confrontati tra le stazioni T1 e T2.

Risultati:

Periodo estivo

Le portate sono risultate variare ampiamente nel corso degli anni di progetto (Fig. Q2). Nonostante queste differenze, i parametri chimico-fisici registrati (quali ossigeno disciolto, conducibilità e pH) sono risultati relativamente stabili, fatta eccezione per la temperatura, che è risultata significativamente più alta nell'estate 2022 rispetto alle altre due estati considerate.

In tutti i campionamenti svolti nella stazione T1 nei diversi anni di rilievo è stata osservata una predominanza degli ordini di insetti Efemerotteri, Tricotteri e Ditteri (Fig. Q3). L'estate 2022 è stata caratterizzata da una maggior abbondanza di bivalvi e da valori generalmente più bassi degli indici considerati.

Il confronto tra i dati raccolti nelle stazioni T1 e T2 ha evidenziato differenze significative, in particolare per l'estate 2022 (periodo di forte siccità), nella composizione specifica delle comunità e in parte per gli indici derivati (1-GOLD e Shannon-Wiener). In particolare, nel 2022 a T1 è stata riscontrata una maggior abbondanza di Hydropsychidae, Rhyacophilidae, *Dugesia* e Dreissenidae, mentre a T2 sono risultati più abbondanti gli Efemerotteri (*Baetis*, *Caenis*, *Ecdyonurus*, *Ephemerella*), *Leuctra* e i Simuliidae, oltre ai Neritidae.

Il confronto tra i dati raccolti nel periodo di progetto e quelli pregressi mostra una composizione della comunità di macroinvertebrati bentonici abbastanza stabile. La maggior parte delle metriche rilevate nel periodo di progetto ha presentato valori inclusi nel *range* registrato nel periodo 2010-2015 ad eccezione del 2022 quando, in corrispondenza delle stazioni T1 e T2 nel 2022, sono stati rilevati valori inferiori a quelli registrati tra il 2010-2015.

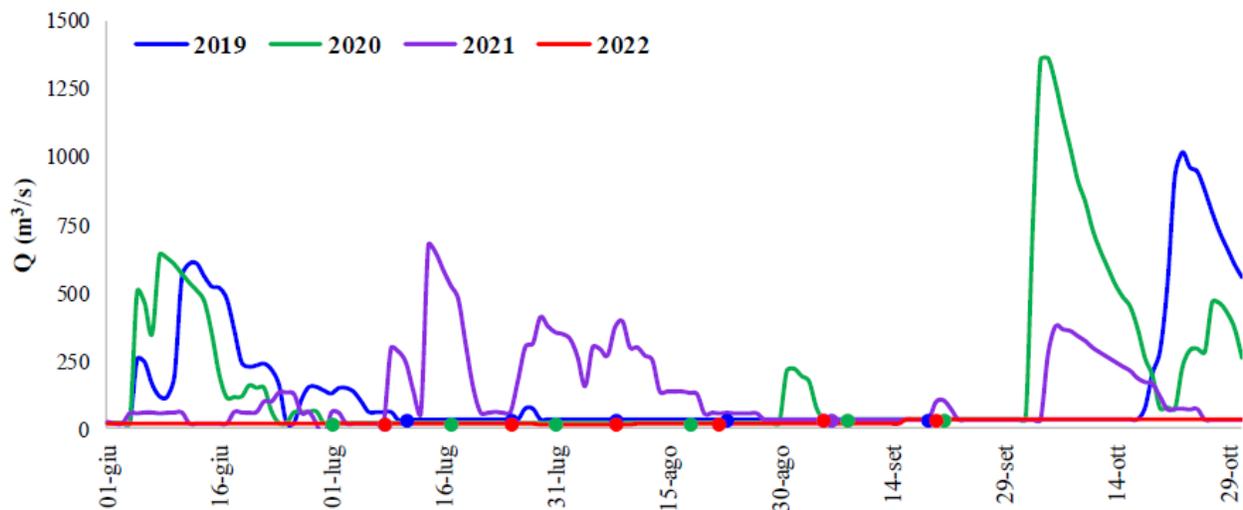


Fig. Q2 Andamento delle portate del Fiume Ticino nel periodo estivo durante il periodo di progetto 2019-20-21-22 con indicazione delle date di campionamento della comunità di macroinvertebrati bentonici (pallini colorati) (Fonte: Relazione Attività WP5_02_Quadroni).

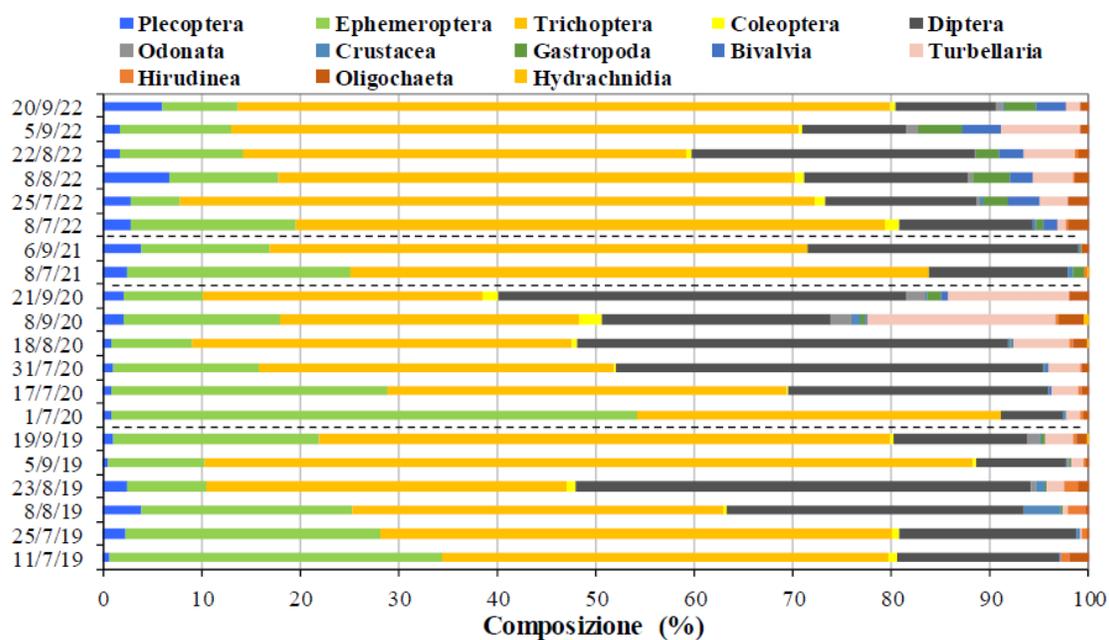


Fig. Q3 Andamento della composizione percentuale dei principali gruppi tassonomici nei periodi di magra estiva del Fiume Ticino in corrispondenza della stazione di monitoraggio T1 durante il periodo di progetto 2019-20-21-22 (Fonte: Relazione Attività WP5_02_Quadroni).

Periodo invernale

I tre periodi monitorati (i.e. 2019-20, 2020-21, 2021-22) hanno presentato un andamento delle portate molto diverso (Fig. Q4), soprattutto con una durata della magra differente; meno evidenti invece le differenze nei parametri chimico-fisici considerati (temperatura, concentrazione di ossigeno disciolto, pH e conducibilità), che comunque sono risultati variare con le portate. In particolare, temperature più elevate e conducibilità inferiore sono state registrate in corrispondenza di maggiori portate. I periodi di magra registrati sono stati interrotti da eventi con portate più elevate.

Anche in questo periodo, così come in estate, la comunità è risultata dominata da tre ordini di insetti (i.e. Efemerotteri, Tricotteri e Ditteri). In tutti e tre i periodi considerati, la densità relativa di EPT è aumentata a fine inverno / inizio primavera. Questo aumento non è risultato influenzato della presenza o meno dell'evento con portate più elevate (che ha interrotto il periodo di magra negli inverni 2019-20 e 2020-21, ma non 2021-22).

Il confronto tra i dati raccolti in corrispondenza delle stazioni T1 e T2 ha evidenziato differenze significative, in particolare nell'inverno 2022, quando è stata rilevata una densità maggiore di Chironomidae, *Baetis*, Hydropsychidae e Psychomyiidae a T1 mentre a T2 sono risultati più abbondanti Simuliidae, *Caenis*, *Ecdyonurus* e Asellidae.

Per quanto riguarda il confronto con i dati pregressi è stata evidenziata una forte differenza con le densità rilevate nel 2015, anno con densità particolarmente basse e comunità "povere" dominate da Chironomidi. In generale, sia in corrispondenza della stazione T1 sia in T2, sono stati rilevati valori massimi e minimi al di fuori del *range* pregresso. In particolare, sono risultati inferiori i valori minimi della maggior parte degli indici osservati a T2 nell'inverno 2020/2021.

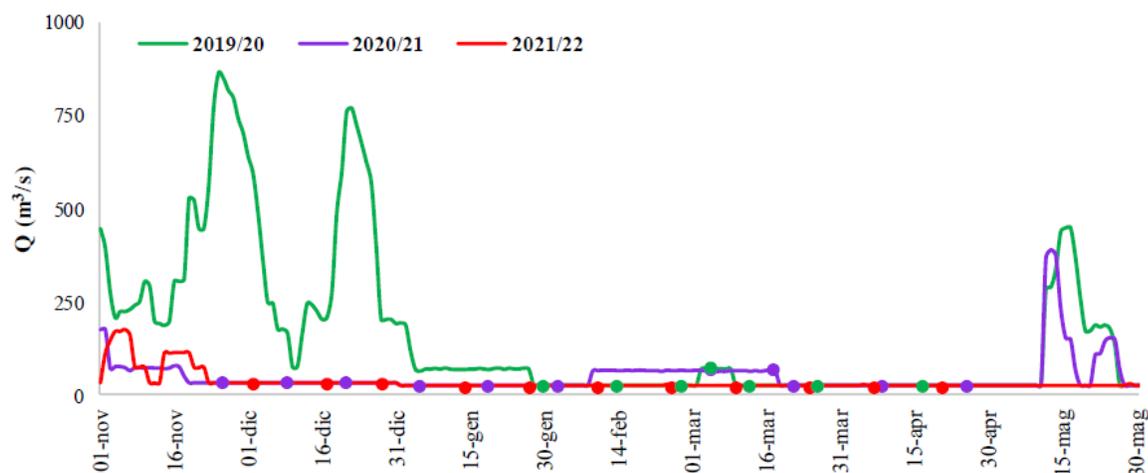


Fig. Q4 Andamento delle portate del Fiume Ticino nel periodo invernale durante il periodo di progetto 2019-20-21-22 con indicazione delle date di campionamento della comunità di macroinvertebrati bentonici (pallini colorati) (Fonte: Relazione Attività WP5_02_Quadron).

Conclusioni: Nonostante le differenze idrologiche e dei principali parametri chimico-fisici nel periodo di progetto 2019-20-21-22, non sono state osservate variazioni rilevanti nella composizione della

comunità di macroinvertebrati bentonici, mostrando come la comunità del Ticino sia abbastanza stabile e resiliente.

In generale, vengono confermate le relazioni positive tra portata (DMV) e biodiversità, e tra durata dei periodi di magra e densità, già riscontrate dall'analisi di dati pregressi (i.e. periodo 2010-2015). Inoltre:

- l'estate 2022 ha messo in evidenza come densità particolarmente elevate di molluschi (soprattutto le specie alloctone tra cui *Dreissena polymorpha* e *Corbicula fluminea*) potrebbero essere un buon indicatore di periodi di magra estrema;
- eventi relativamente improvvisi con portata più elevata (come quelli che hanno interrotto i periodi di magra estiva nel 2019 e nel 2020) sembrano agire come disturbi intermedi, che aumentano temporaneamente ricchezza, diversità e qualità delle comunità, riducendo la densità dei *taxa* più abbondanti e riequilibrando la comunità;
- periodi di disturbo molto basso o molto elevato possono invece determinare una riduzione della biodiversità tramite un innalzamento dei livelli di competizione interspecifica o attraverso il superamento dei limiti tollerati dagli organismi acquatici per alcuni parametri chimico-fisici.

Efficacia: Non si evince una relazione chiara tra gli indici derivati dalle densità dei macroinvertebrati bentonici con la regolazione dei livelli del Lago Maggiore, ma non si esclude che possano esserci nessi rilevanti. Alcuni parametri possono essere utili indicatori di periodi di magra estiva eccessivamente prolungati, quali: (a) concentrazione di ossigeno disciolto e temperatura; (b) STAR_ICMi, Log(sel_EPTD+1), Shannon-Wiener e densità di molluschi, soprattutto alloctoni. Questi indicatori necessitano in ogni caso di un approfondimento.

Criterion R – Bivalvi autoctoni

Fonte: Relazione Attività WP5_02 - Analisi dello stato e trend della comunità di macroinvertebrati in funzione delle scelte gestionali – Dott.ssa Angela Boggero

Contesto: Tutte le specie di bivalvi d'acqua dolce italiane sono minacciate: *Microcondylaea bonellii*, *Unio elongatulus*, *U. mancus*, *Anodonta anatina*, *A. cygnea* e *A. exulcerata*. Queste specie saranno presto inserite in lista rossa (IUCN) e risultano quindi di rilevante interesse conservazionistico.

Descrizione: La gestione dei livelli può direttamente influenzare l'habitat occupato dai bivalvi d'acqua dolce nel sistema fluviale.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo indicatore.

Obiettivo: Verificare lo stato delle popolazioni di bivalvi d'acqua dolce lungo il corso del Fiume Ticino, con un *focus* sulla specie fortemente minacciata *Microcondylaea bonellii*.

Siti di monitoraggio: I campionamenti sono stati realizzati in località di presenza nota dei bivalvi di interesse, distribuite lungo il corso del fiume negli anni 2019, 2020 e 2022 (Fig. R1).

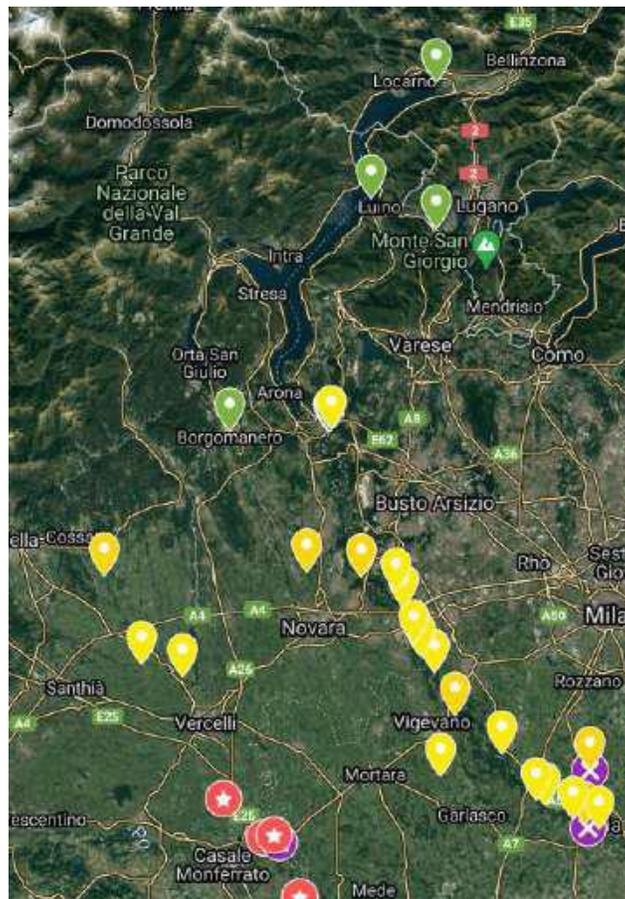


Fig. R1 Aree di campionamento dei bivalvi nel 2019 (in verde) e nel 2020 (in giallo) (Fonte: Relazione Attività WP5_02_Boggero).

Metodologia: Al fine di rilevare la presenza di bivalvi d'acqua dolce autoctoni nel sistema fiume, sono stati utilizzati due approcci: (1) tecnica dell'*environmental DNA (eDNA)*, per verificare l'eventuale presenza di *Microcondylaea bonellii*, (2) esplorazione dei siti idonei tramite immersioni.

Risultati: I test realizzati tramite la tecnica dell'*eDNA* nel 2020 hanno dato riscontri positivi per *Microcondylaea bonellii* solo per quanto riguarda il sito di segnalazione storica nei pressi del ponte ferroviario di Pavia. L'*eDNA* non ha dato ulteriori riscontri per il 2022. Anche le immersioni effettuate nel sito di presenza nel 2021 non hanno dato esito positivo; è stato perciò impossibile quantificare la dimensione della popolazione. La popolazione, se ancora presente, è presumibilmente prossima all'estinzione.

Durante le immersioni esplorative realizzate nei siti idonei noti, si è registrata la presenza di altri bivalvi, anche se per la maggior parte esotici invasivi, eccezion fatta per alcuni rari esemplari di *Unio elongatulus*.

Conclusioni: Le popolazioni autoctone di bivalvi risultano particolarmente scarse e in declino a causa di un aumento delle specie invasive, di un rimaneggiamento dei fondali e della pesca a scopo alimentare. Una gestione dei livelli che non tenga conto di possibili effetti sull'habitat occupato dai bivalvi d'acqua dolce nel sistema fluviale potrebbe ulteriormente peggiorare una situazione già critica.

Efficacia: I bivalvi pur essendo meritevoli di monitoraggio sul medio-lungo termine per ragioni conservazionistiche, non appaiono degli indicatori facilmente applicabili per la valutazione degli effetti della regolazione dei livelli del Lago Maggiore sul sistema fiume, a causa delle basse densità.

Criterio S – Disponibilità di habitat per ittiofauna e macroinvertebrati

Fonte: Relazione Attività WP5_03 Studio della disponibilità di habitat e delle sue variazioni in funzione delle scelte gestionali – Dott.sse Silvia Quadroni e Livia Servanzi, Prof. Giuseppe Crosa + Relazione Attività WP5_04 Analisi genetica di specie ittiche target – Dott.sse Serena Zaccara, Caterina Maria Antognazza e Silvia Quadroni, Prof. Giuseppe Crosa

Contesto: Il Barbo comune (*Barbus plebejus*) e la Trota marmorata (*Salmo marmoratus*) sono state individuate quali specie *target* per rilevare le alterazioni sul sistema fiume, insieme ai macroinvertebrati bentonici. L'importanza di questi ultimi come indicatori è spiegata all'interno del *Criterio Q - Comunità di macroinvertebrati bentonici nei periodi di magra*. Per quanto riguarda i pesci, il Barbo comune è specie tipica di fiumi planiziali, di rilevante interesse conservazionistico (inserita negli Allegati II e V della Direttiva Habitat e nella Lista Rossa IUCN dei Vertebrati italiani), mentre la Trota marmorata è un salmonide caratteristico per il Fiume Ticino.

Descrizione: La regolazione idrica dei livelli del Lago Maggiore può avere importanti conseguenze sulle portate del Fiume Ticino, andandone a modificare le condizioni idro-morfologiche e gli habitat associati. Questo può avere importanti conseguenze sulle comunità di pesci e macroinvertebrati presenti.

Indicatore: Da definire.

Elaborazione: Nuovo indicatore.

Obiettivo: Studio delle caratteristiche dell'habitat fluviale (descritto su base di profondità, velocità di corrente e tipo di substrato) come indicatore delle conseguenze sul Fiume Ticino della modalità di gestione dei rilasci d'acqua provenienti dal Lago Maggiore + Studio della genetica della specie target *Barbus plebejus*.

Siti di monitoraggio: Lo studio è stato svolto lungo il tratto di fiume T1 durante i mesi di agosto 2020 e 2022 (Fig. S1), mentre i campioni utilizzati per le analisi genetiche del Barbo comune sono stati raccolti presso le località Panperduto, Somma Lombardo e Pavia (Fig. S5).



Fig. S1 Tratto di Fiume Ticino indagato per le caratteristiche dell'habitat (*Fonte: Relazione Attività WP5_03_Quadroni*).

Metodologia: Al fine di perseguire gli scopi stabiliti, sono stati realizzati:

1. un rilievo della topografia e delle condizioni idro-morfologiche nel tratto di Fiume Ticino caratterizzato da maggiore criticità idrologica, in particolare quello nei pressi di Somma Lombardo (T1; Fig. S1);
2. la modellazione dell'habitat al variare della portata del fiume, utilizzando portate pari a quelle definite per il DMV e portate simulate scelte nel *range* di quelle degli eventi che hanno interrotto i periodi di magra, estivi e invernali, durante il periodo di progetto 2019-20-21-22;
3. la definizione dell'habitat disponibile per le specie *target* e per i macroinvertebrati in funzione della portata del fiume e delle sue variazioni (su base delle variabili: velocità, profondità e substrato);
4. la caratterizzazione genetica delle popolazioni di Barbo comune.

Risultati: Il tratto di fiume oggetto di indagine è risultato nettamente più idoneo per la Trota marmorata rispetto al Barbo comune (Fig. S2-S3), con generale idoneità maggiore evidenziata per i giovani rispetto agli adulti. Inoltre, la Trota marmorata sembra essere avvantaggiata da condizioni di bassa portata (Fig. S2), al contrario del Barbo che è risultato positivamente influenzato da un lieve aumento delle portate (Fig. S3).

Per quanto riguarda i macroinvertebrati, il *taxon* per cui è risultata la maggior disponibilità di habitat è stato il genere *Baetis* (ordine Ephemeroptera), con un'elevata porzione di area a preferenza massima evidenziata in corrispondenza della portata simulata più bassa (Fig. S4). Il modello in generale, ha indicato una diminuzione di idoneità per i macroinvertebrati all'aumentare della portata.

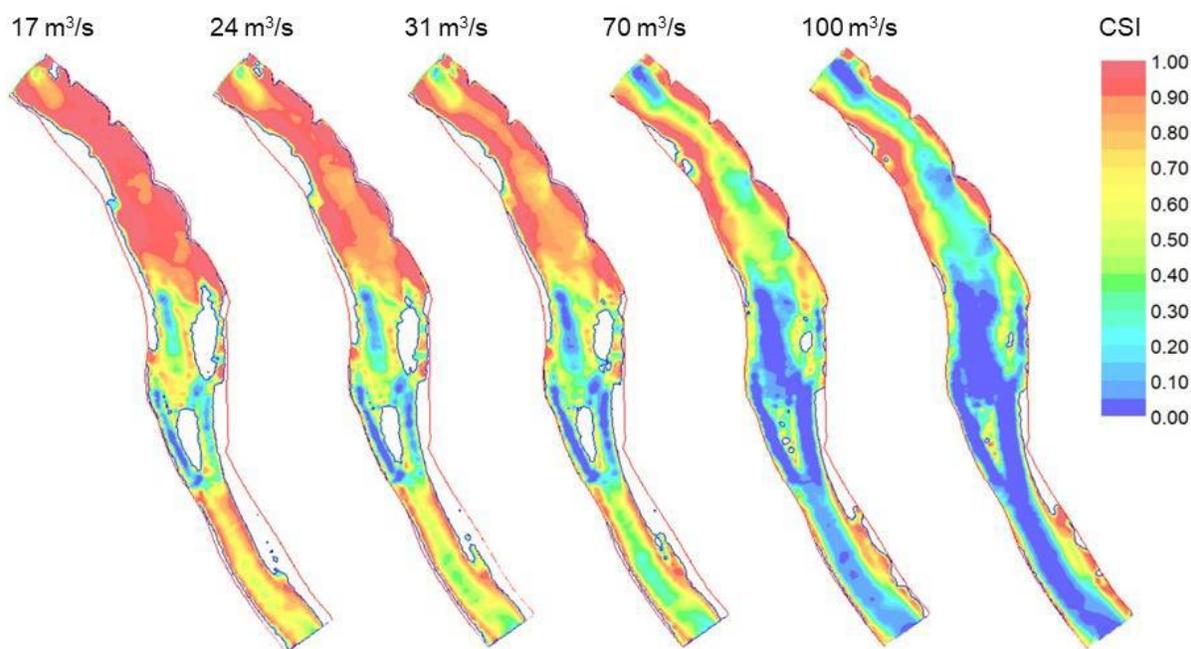


Fig. S2 Mappe di idoneità per la Trota marmorata al variare della portata nel tratto di Fiume Ticino indagato (T1). In rosso le zone ad idoneità maggiore, in blu scuro quelle a idoneità minore (Fonte: *Relazione Attività WP5_03_Quadroni*).

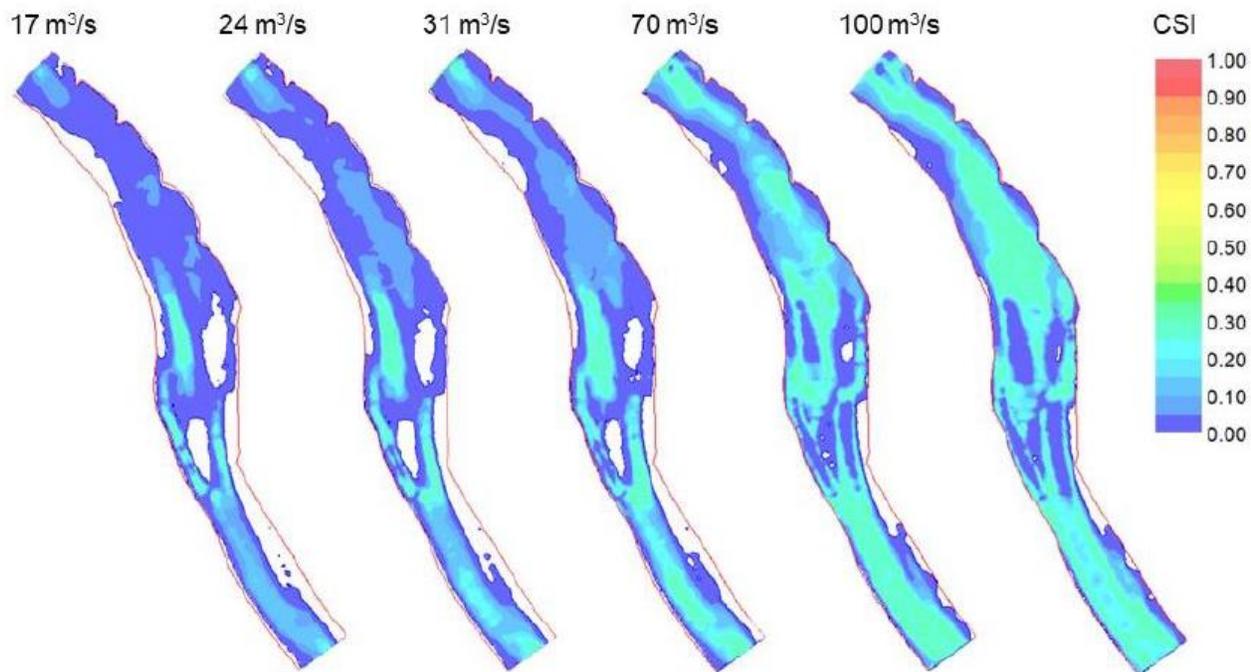


Fig. S3 Mappe di idoneità per il Barbo comune al variare della portata nel tratto di Fiume Ticino indagato (T1). In rosso le zone ad idoneità maggiore, in blu scuro quelle a idoneità minore (Fonte: *Relazione Attività WP5_03_Quadroni*).

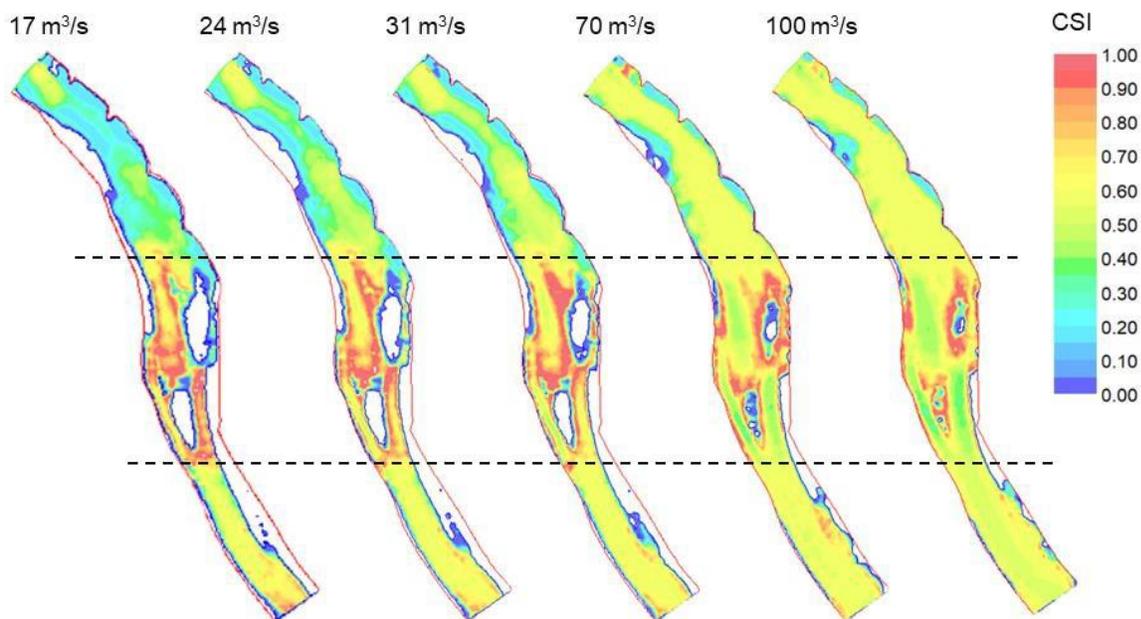


Fig. S4 Mappe di idoneità per il genere *Baetis* al variare della portata nel tratto di Fiume Ticino indagato (T1). In rosso le zone ad idoneità maggiore, in blu scuro quelle a idoneità minore. Tra le linee nere tratteggiate, l'area a maggior idoneità per il genere (Fonte: *Relazione Attività WP5_03_Quadroni*).

Dalle analisi genetiche è emerso come la popolazione di Barbo comune, presente nel tratto di Fiume Ticino indagato, sia compromessa in termini di inquinamento genetico, dalla colonizzazione del fiume da parte della specie alloctona Barbo europeo (*B. barbus*) (Fig. S5).

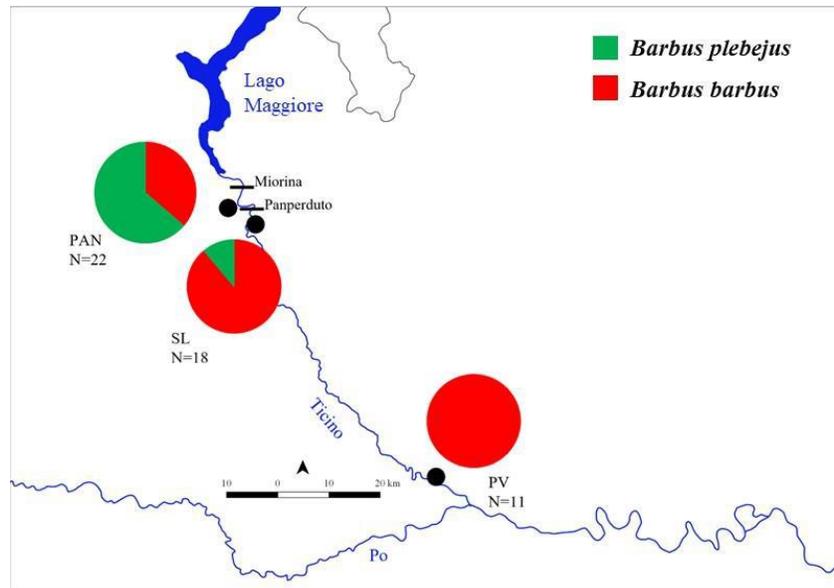


Fig. S5 I tre siti di campionamento dei barbi lungo il tratto di Fiume Ticino sublacuale (PAN: Panperduto, SL: Somma Lombardo, PV: Pavia). I grafici a torta mostrano la frequenza relativa degli aplotipi di *Barbus plebejus* (verde) e di *Barbus barbus* (rosso) (Fonte: Relazione Attività WP5_04_Zaccara).

Conclusioni: Per quanto riguarda la fauna ittica, il Barbo comune è risultato positivamente influenzato da un lieve aumento di portata, a differenza della Trota marmorata che sembra essere avvantaggiata da condizioni di bassa portata. Per quanto riguarda il macrobenthos, portate maggiori della minima simulata, sembrano sfavorevoli per tutti i *taxa*. Anche se in apparente contrasto con i risultati del *Criterio Q - Comunità di macroinvertebrati bentonici nei periodi di magra*, dove viene evidenziata una relazione positiva tra portata e biodiversità, in quest'ultimo sono in realtà gli eventi di piena di piccola intensità a determinare un aumento di ricchezza e diversità delle comunità macrobentoniche (anche se con una diminuzione delle densità).

Le analisi genetiche hanno evidenziato una forte presenza della specie alloctona *Barbus barbus*.

Efficacia: Per quanto riguarda la fauna ittica, le specie *target*, pur essendo meritevoli di monitoraggio sul medio-lungo termini per ragioni conservazionistiche, non appaiono degli indicatori facilmente applicabili per la valutazione degli effetti della regolazione dei livelli del Lago Maggiore sul sistema fiume, sia per le basse densità sia per l'inquinamento genetico con specie alloctone. Per quanto riguarda i macroinvertebrati bentonici, non appare evidente la relazione tra regolazione dei livelli del lago ed effetti sulla comunità. Gli autori segnalano però che approfondimenti in termini di applicazione dei modelli utilizzati su altre specie ittiche più rappresentative dell'attuale comunità presente nel Fiume Ticino sub-lacuale, così come su altre tipologie di habitat, potrebbe mettere in evidenza aspetti utili ai fini della bioindicazione in relazione alla regolazione dei livelli del lago.

5. Conclusioni

La mole di dati raccolti durante il progetto Interreg “PARCHIVERBANOTICINO” costituisce un contributo rilevante e di alto valore tecnico-scientifico al servizio delle esigenze, non solo progettuali, ma anche future, di elaborazione di indicatori efficaci per la valutazione degli effetti ambientali della regolazione del Lago Maggiore. Questa mole di dati si va ad aggiungere a quella degli studi pregressi, condotti negli anni dagli enti territoriali e gestori delle aree protette presenti lungo le sponde del lago.

Benché tutte le componenti siano meritevoli di attenzione e di monitoraggio in termini conservazionistici, non tutte si sono rivelate, allo stato attuale delle conoscenze, ugualmente efficaci nel rilevare eventuali effetti della regolazione dei livelli del lago, soprattutto massimi, sui sistemi lago e fiume. Questo può essere collegato a diversi fattori, come ad esempio il fatto che la componente biologica (a) abbia soglie di quota legate a fenomeni di degrado al di sotto della soglia di massima regolazione storica (i.e. +1 m sullo zero idrometrico di Sesto Calende), (b) sia ormai presente, negli ecosistemi, a densità troppo basse per costituire un indicatore su vasta scala, (c) sia maggiormente influenzata da livelli bassi del lago, (d) sia deficitaria di dati e necessiti di approfondimenti, soprattutto in termini di correlazione con i livelli del lago.

Per la trattazione delle singole componenti e una valutazione dell'efficacia è possibile consultare le singole schede, dove è possibile anche avere accesso ai principali dati a supporto, che costituiscono base di partenza per approfondimenti e integrazioni. Di seguito si riportano brevemente le componenti biologiche con le maggiori potenzialità in termini di indicatori, per i sistemi lago e fiume.

Sistema lago

Canneto: l'estensione delle superfici allagate in relazione ai livelli idrici, soprattutto nei mesi di marzo-aprile, risulta una delle componenti più efficaci tra quelle analizzate durante il progetto, nel rilevare gli effetti dei livelli di regolazione del lago, con particolare attenzione verso quelli massimi. In accordo con quanto sviluppato per gli indicatori WP3, sarebbe auspicabile elaborare l'indicatore in termini di numero di giorni in cui il livello del lago non dovrebbe superare una data quota sopra lo zero idrometrico di Sesto Calende, con particolare attenzione alla definizione dello stesso in periodo primaverile.

Tutte le misure legate allo stato di salute di questo habitat (es. altezza e diametro delle cannuce, presenza di fenomeni di *clumping*, erosione al piede del canneto) costituiscono parametri rilevanti di supporto.

Avifauna migratrice: i flussi di avifauna migratrice (utilizzando il *Bird Traffic Rate* - BTR) e alcune caratteristiche (es. peso) delle specie *target* per il Lago Maggiore risultano indicatori efficaci degli effetti ambientali degli incrementi di livello del lago, soprattutto nei mesi di marzo-aprile, e meritevoli di essere sviluppati come indicatori in termini di numero di giorni in cui il lago non superi una data quota, soprattutto nella stagione primaverile. La componente, allo stato attuale delle conoscenze, risponde in maniera simile al suo habitat (principalmente il canneto), alle variazioni dei livelli del lago.

Si precisa che l'applicabilità dell'indicatore è anche funzione della disponibilità/costo della strumentazione tecnica necessaria (es. apparecchiature radar).

Ittiofauna: la componente, sviluppata in un indicatore nell'ambito del progetto *STRADA 2.0*, è legata alla frazione del periodo di frega in cui i Ciprinidi e il Luccio non possono utilizzare il canneto come sito riproduttivo perché il livello del lago è sotto una data quota. L'indicatore è stato aggiornato con nuove soglie di quota, grazie alle indagini condotte nel corso del progetto Interreg, e si è rivelato efficace nel rilevare gli effetti ambientali dei livelli del lago, anche massimi. La componente, allo stato attuale delle conoscenze, appare rispondere in maniera difforme al suo habitat riproduttivo (i.e. canneto) alle variazioni dei livelli del lago, soprattutto per quanto riguarda il Luccio, il cui periodo di frega si colloca tra fine inverno e inizio primavera.

Macro- e meiofauna: per la macro- e meiofauna, così come i bivalvi, bassi livelli del lago risultano più problematici. La disponibilità di habitat per questi organismi risulta però potenzialmente influenzata dai livelli lacustri, anche massimi. La disponibilità di habitat o i *taxa* stessi potrebbero essere quindi sviluppati in indicatori utili per valutare gli effetti ambientali della regolazione del lago, anche se allo stato attuale delle conoscenze, appaiono necessitare di maggiori approfondimenti scientifici rispetto alle componenti precedenti.

Zanzare: la componente, sviluppata in un indicatore nell'ambito del progetto *STRADA 2.0*, è legata alla necessità di effettuare un trattamento di contenimento delle zanzare ogni volta che il livello del lago supera una certa soglia e nei giorni precedenti non sono stati effettuati trattamenti. L'estensione della superficie da trattare è correlata ai livelli del lago, soprattutto massimi. L'indicatore, benché di interesse soprattutto in termini di benessere pubblico, necessita però di essere meglio circostanziato in sponda italiana.

Una nota a parte merita l'indicatore **Condizioni dell'ecosistema nel complesso**. Anche se non ritenuto idoneo per valutare lo stato di salute del lago dall'autore dell'analisi, soprattutto in relazione ad altri indicatori come la vegetazione igrofila, l'ente esterno ritiene che possa invece costituire un valido strumento di monitoraggio, soprattutto a supporto delle componenti biologiche "Canneto" e "Avifauna migratrice", che hanno mostrato una relazione negativa con livelli elevati del lago nel periodo di inizio primavera, in particolare nei mesi di marzo e aprile, quando anche il lago in regime naturale pre-diga mostrava bassi livelli. Il suggerimento di valutare le potenzialità di questo indicatore nasce anche in ragione della sua facile applicabilità (i.e. legato a misurazioni idrologiche con sonde già in sede), rispetto a misurazioni topografiche/cartografiche o legate a strumentazioni radar/campagne di inanellamento necessarie per canneti e avifauna.

Sistema fiume

Nell'ambito del WP5 non è stato possibile indagare in modo diretto gli effetti della regolazione dei livelli del Lago Maggiore, e in particolare dell'innalzamento del livello del lago, sul Fiume Ticino sublacuale. Infatti, la loro correlazione con le dinamiche fluviali, ed in particolare con il mantenimento del Deflusso Minimo Vitale (DMV), non può essere definita prescindendo dalle politiche di sfruttamento della risorsa idrica per scopi irrigui ed energetici a valle della diga della Miorina, dagli eventi meteorologici e dagli andamenti climatici.

Le indagini svolte e le conoscenze dell'ente gestore Parco lombardo della Valle del Ticino mostrano però, come il rispetto dei valori di **Deflusso Minimo Vitale (DMV)** sia prioritario per il mantenimento di buone condizioni delle cenosi del fiume, ma anche che valori di portata superiori potrebbero garantire il collegamento con gli habitat peri-fluviali. Il DMV, anche a seguito di adeguamento al nuovo concetto

di Deflusso Ecologico (DE), che tiene conto della componente ambientale in maniera più organica, può costituire un indicatore utile al fine di verificare la persistenza di condizioni ambientali minime sostenibili per il sistema fiume in relazione al sistema di gestione delle acque invase nel lago. Inoltre, alcuni parametri chimico-fisici delle acque e delle cenosi a macroinvertebrati, possono essere utili indicatori di periodi di magra estiva eccessivamente prolungati, quali: (a) **concentrazione di ossigeno disciolto e temperatura**; (b) **STAR_ICMi, Log(sel_EPTD+1), Shannon-Wiener** (indici descrittivi dello stato dell'ambiente sulla base delle caratteristiche delle comunità macrobentoniche) e **densità di molluschi**, soprattutto quelli alloctoni. Questi indicatori necessitano in ogni caso di un approfondimento.

Per quanto riguarda i parametri chimico-fisici, si segnala che una sonda multi-parametrica è già stata posizionata a valle della diga del Panperduto, come *output* di progetto.

Per alcune componenti biologiche analizzate nei WP 4 e 5, ma in particolare quelle del sistema fiume, emerge l'esigenza di poter meglio correlare i livelli del lago (soprattutto quelli massimi in ragione degli obiettivi progettuali) e le modalità di rilascio delle acque con la componente stessa, ponendo particolare attenzione alla stagionalità dei processi. Soprattutto la durata e i mesi interessati dal fenomeno indagato, sono dati fondamentali per poter sviluppare dei valori soglia di quota e un periodo temporale definito di applicazione della componente biologica come indicatore.

Infine, le componenti che verranno sviluppate in indicatori esprimeranno un effetto sugli ecosistemi della regolazione del lago. Appare fondamentale che le soglie individuate vengano valutate anche in relazione al "grado di soddisfazione" che generano, tra gli altri, sui portatori di interessi economici e fruitivi, al fine di supportare indirizzi gestionali condivisi e volti a minimizzarne i conflitti, sempre nel rispetto delle esigenze di sicurezza pubblica.