

**Piano di Sviluppo e Coesione del Ministero dell'Ambiente e della
Sicurezza Energetica**

ANALISI DEGLI EFFETTI ECOLOGICI SULLA LANCA DI RETRO-PENNELLO DI GUSSOLA A SEGUITO DELL'INTERVENTO DI ABBASSAMENTO DEI PENNELLI DI NAVIGAZIONE DEL FIUME PO IN LOCALITÀ ISOLA MARIA LUIGIA

Report finale – rev marzo 2025

Documento a cura di Rossano Bolpagni & Gruppo di Lavoro UNIPR-PO

Redazione: marzo 2025

Biodiversità

Lycaena dispar/lepidotteri & odonati: F. Leandri¹, S. Hardersen¹

Ostracodi: G. Rossetti

Habitat: R. Bolpagni

Avifauna: D. Longhi

Ittiofauna: F. Nonnis-Marzano, P.M. Rontani

Qualità & Funzionamento

E. Cavallini, B. Grandi, L. Gazzoldi, D. Nizzoli

Telerilevamento

N. Ghirardi², M. Pinardi², R. Bolpagni, M. Bresciani²

DNA metabarcoding

L. Gruppuso³, E. Lumini³, S. Voyron³, A. Laini³, M. Saccò⁴, C. Ferrari, R. Bolpagni

Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po

Paola Gallani, Fernanda Moroni

¹consulenti di UNIPR; ²CNR-IREA; ³CNR-IPSP; ⁴Curtin University, Perth - AUS

INDICE

INTRODUZIONE	5
INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO, DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO REALIZZATO E FINALITÀ DELLA RICERCA	5
ORGANIZZAZIONE E FINALITÀ DEL <i>REPORT</i>	7
CONSIDERAZIONI SULLO STATO DI ATTUAZIONE DELLE ATTIVITÀ.....	7
ATTIVITÀ 1.....	9
SOTTO-ATTIVITÀ 1A: MONITORAGGIO DELLA SPECIE <i>LYCAENA DISPAR</i> /LEPIDOTTERI	9
SOTTO-ATTIVITÀ 1B: MONITORAGGIO DEGLI ODONATI	9
MATERIALI E METODI: <i>Lycaena dispar</i> /lepidotteri	9
MATERIALI E METODI: <i>odonati</i>	10
RISULTATI: <i>Lycaena dispar</i> /lepidotteri + <i>odonati</i>	11
CONSIDERAZIONI: CONFRONTO 2021 - 2023.....	13
SOTTO-ATTIVITÀ 1C: MONITORAGGIO DEGLI OSTRACODI.....	16
MATERIALI E METODI.....	16
RISULTATI	17
CONSIDERAZIONI: CONFRONTO 2021 - 2023.....	19
SOTTO-ATTIVITÀ 1D: MONITORAGGIO DEGLI HABITAT AI SENSI DELLA DH	20
MATERIALI E METODI.....	20
RISULTATI	20
INDICATORI E VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DEGLI HABITAT	28
CARTA DEGLI HABITAT.....	30
SOTTO-ATTIVITÀ 1E: MONITORAGGIO DELLA COMUNITÀ ORNITICA.....	33
SPECIE OGGETTO DEL MONITORAGGIO.....	33
PERIODI E FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO	33
METODOLOGIA DI RIFERIMENTO	33
RISULTATI	36
CONSIDERAZIONI DI SINTESI	42
SOTTO-ATTIVITÀ 1F: MONITORAGGIO DELLA COMUNITÀ ITTICA	45
MATERIALI E METODI & RISULTATI.....	45
CONSIDERAZIONI DI SINTESI.....	45
ATTIVITÀ 2 & 3.....	47
ATTIVITÀ 2: MONITORAGGIO DI <i>ROUTINE</i> "QUALITÀ CHIMICO-FISICA DI ACQUE E SEDIMENTI"	47
MATERIALI E METODI.....	47
Raccolta e trattamento dei campioni di acqua	47
Evoluzione giornaliera della temperatura e della concentrazione dell'ossigeno disciolto	50
Raccolta e trattamento dei campioni di sedimento	50

RISULTATI	51
Caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua della lanca e del fiume Po	51
Caratterizzazione del sedimento della lanca di Gussola	60
ATTIVITÀ 3: QUANTIFICAZIONE DI INDICATORI DI FUNZIONAMENTO DELL'ECOSISTEMA ACQUATICO	63
MATERIALI E METODI	63
Misura del metabolismo complessivo del sistema acquatico	63
Misura del metabolismo bentico, dei flussi di fosforo e azoto inorganici e dei tassi di denitrificazione	64
RISULTATI	66
Misura del metabolismo complessivo del sistema acquatico	66
Metabolismo bentico e flussi di fosforo, azoto e silice inorganici	69
CONSIDERAZIONI DI SINTESI DEL PRIMO TRIENNIO	73
ATTIVITÀ 4	74
TECNICHE DI TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DI ECOSISTEMI FLUVIALI	74
MATERIALI E METODI: acquisizione e processamento delle immagini satellitari	74
RISULTATI	77
Validazione dei prodotti satellitari.....	77
Prodotti di qualità delle acque: SPM e Chl-a.....	78
Lunghezza d'onda dominante	81
CONSIDERAZIONI FINALI	82
ATTIVITÀ 5	83
DNA METABARCODING	83
MATERIALI E METODI	83
ANALISI DEI DATI	87
RISULTATI	87
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	90
CONSIDERAZIONI RELATIVE AL PROGETTO DI ABBASSAMENTO DEL PENNELLO DI NAVIGAZIONE PRESSO ISOLA MARIA LUIGIA	92
SOTTO-ATTIVITÀ 1A: MONITORAGGIO DELLA SPECIE <i>LYCAENA DISPAR</i> /LEPIDOTTERI	93
SOTTO-ATTIVITÀ 1B: MONITORAGGIO DEGLI ODNATI	93
SOTTO-ATTIVITÀ 1C: MONITORAGGIO DEGLI OSTRACODI.....	94
SOTTO-ATTIVITÀ 1D: MONITORAGGIO DEGLI HABITAT AI SENSI DELLA DH	94
SOTTO-ATTIVITÀ 1E: MONITORAGGIO DELLA COMUNITÀ ORNITICA.....	95
SOTTO-ATTIVITÀ 1F: MONITORAGGIO DELLA COMUNITÀ ITTICA	95
ATTIVITÀ 2 & 3: QUALITÀ CHIMICO-FISICA DI ACQUE E SEDIMENTI E PROCESSI FUNZIONALI	96
ATTIVITÀ 4: TECNICHE DI TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DI ECOSISTEMI FLUVIALI	97
ATTIVITÀ 5: DNA METABARCODING.....	98
VERSO UN PIANO SCIENTIFICO UTILE ALLA PIANIFICAZIONE DI BACINO AI SENSI DELLA DIRETTIVA QUADRO SULLE ACQUE	99
BIBLIOGRAFIA	102

ALLEGATO 1	105
ALLEGATO 2	108
ALLEGATO 3	109

INTRODUZIONE

Il presente documento illustra il **Report finale** dell'Accordo di Collaborazione (di seguito Accordo) "Analisi degli effetti ecologici sulla Lanca di retro-pennello di Gussola a seguito dell'intervento di abbassamento dei pennelli di navigazione del fiume Po in località Isola Maria Luigia". L'Accordo è stato stipulato tra l'Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po (ADBPO) e l'Università di Parma (Dipartimento SCVSA) il 05/08/2021 e prevedeva – come definito dal Programma Generale Triennale delle Attività (PGTA) – la redazione di un *Report finale* sullo stato di attuazione del programma di monitoraggio al termine del terzo anno di studio (agosto 2023 – luglio 2024).

Inquadramento dell'area di studio, descrizione dell'intervento realizzato e finalità della ricerca

L'area di studio ha incluso il tratto di fiume Po in prossimità della località Isola Maria Luigia (sita nel comune di Gussola, CR). Ci troviamo circa 35 km a valle di Cremona dove il fiume Po ha una morfologia a canale singolo, sinuoso a barre alternate. La larghezza dell'alveo attivo (che include alveo bagnato e barre di sedimenti) varia tra i 250 e i 400 metri. L'intervento ha previsto l'abbassamento del pennello di navigazione situato presso la ZPS IT20A0503 Isola Maria Luigia. L'intento era quello di aumentare la frequenza di inondazione dal canale principale del Po verso il canale secondario (Lanca di retro-pennello o ramo fluviale secondario) e diminuire di conseguenza la portata nel canale principale durante gli eventi di piena maggiori. Prima della realizzazione degli interventi di abbassamento, la Lanca si ritrovava in connessione idraulica con il fiume Po solo per portate superiori ai $4000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Il risezionamento del pennello, con il suo conseguente abbassamento, lo ha reso "sormontabile" da piene dell'ordine dei $1500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Tale intervento ha già innescato ripetuti eventi di riconnessione idrologica tra Lanca e Po a seguito delle intense precipitazioni che hanno caratterizzato il periodo autunno 2023 – primavera 2024, a partire da maggio 2023.

Le attività di monitoraggio del presente Accordo sono state, pertanto, orientate all'acquisizione di informazioni relative: 1) alle componenti biologiche di interesse per la Zona di Protezione Speciale (ZPS) in cui l'area di studio si viene a trovare (IT20A0503), focalizzando l'attenzione sul corpo idrico della Lanca di retro-pennello e sugli habitat ad essa strettamente associati; 2) allo stato di qualità chimico-fisica di acque e sedimenti della Lanca e del fiume Po; e 3) ai principali processi funzionali (biogeochimici) che si realizzano all'interno della Lanca e – anche in questo caso – degli habitat ad essa strettamente associati. L'Accordo ha permesso, quindi, di ottenere informazioni utili a delineare lo scenario di base relativo alla biodiversità ospitata dal sistema in studio e alle sue capacità funzionali e metaboliche (e le loro dinamiche nel tempo) rispetto alle fasi di realizzazione dell'opera: periodi **pre-** e **post-intervento**. Ad integrazione dei temi di indagine sopraelencati, l'Accordo ha previsto l'implementazione al caso studio di approcci innovativi nel campo del monitoraggio degli ecosistemi acquatici, vale a dire: 4) di tecniche di telerilevamento e 5) di DNA *metabarcoding*. Infine, sono state elaborate una serie di indicazioni propedeutiche all'elaborazione del piano scientifico utile alla pianificazione di bacino ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque (DQA; 6). I risultati ottenuti sono

Organizzazione e finalità del Report

Questo terzo documento ha la finalità di integrare le evidenze raccolte in tutto il triennio di monitoraggio e di raffinare, di conseguenza, le conoscenze delle matrici biologiche e chimico-fisiche dell'ecosistema Lanca nella cosiddetta fase **pre-intervento** e **post-intervento** (oltre a definire i metodi applicati a tale scopo). In effetti, a partire da **maggio 2023** – in chiusura del secondo anno di monitoraggio, a seguito di un evento di piena (con portate superiori ai 3000 m³/s) – si è verificato il sopralzo del pennello ribassato decretando il passaggio funzionale tra fase **pre-intervento** a quella **post-intervento** a seguito dell'attivazione dell'opera rimodulata.

Il documento riporta, quindi, i Materiali e Metodi e, per ognuna delle Attività previste dall'Accordo, i risultati associati ad un **commento valutativo relativo al progetto nel suo complesso**. **Le attività sono state, infatti, ripartite in due diverse fasi di lavoro:** il periodo pre-intervento (maggio 2021-marzo 2023) e il periodo post-intervento (aprile 2023-luglio 2024), secondo un approccio classico BACI (*Before/After-Control/Impact*) integrato (*Paired Series*) con repliche di misure in più date prima ed in più date dopo l'intervento in modo da risolvere alcune delle criticità potenzialmente associate ad un BACI classico (problemi di confusione spaziale e temporale). Alcune delle componenti ambientali target sono state monitorate in continuo (anche nel corso della realizzazione degli interventi), in particolare la qualità chimico-fisica delle acque e sedimenti, gli habitat e gli ostracodi.

Considerazioni sullo stato di attuazione delle Attività

Come da programma, sono state esplorate tutte le componenti ambientali previste dal piano e lo stato di avanzamento del programma di monitoraggio è del tutto coerente con il Gantt condiviso a settembre 2021 con ADBPO, come evidenziato in **Tabella 2**. L'unica componente che non è stato possibile caratterizzare nel corso del terzo anno di studio – come previsto dal PTGA – è quella degli ostracodi. Ciò è stato determinato dall'andamento idrologico del fiume Po. Sono stati svolti puntualmente i sopralluoghi previsti dal piano di monitoraggio, ma le condizioni idrologiche non hanno mai permesso la raccolta di campioni utili alla caratterizzazione della componente. Gli ostracodi saranno in ogni modo caratterizzati nel proseguo delle attività di monitoraggio (previste dall'Accordo integrativo fino a fine 2026), sarà quindi possibile rilevare gli effetti dell'abbassamento del pennello anche su questa componente ambientale.

Si segnala, inoltre, che sono state svolte attività integrative (non indicate nel GANTT) relative alle Azioni 1, 2 e 3, finalizzate alla caratterizzazione degli ostracodi, della fauna ittica, della qualità chimico-fisica di acque e sedimenti e dei processi funzionali mediati dalla lanca (date di campionamento addizionali) nel corso dei primi due anni di studio. Al contempo è stato possibile svolgere approfondimenti sulla qualità chimico-fisica e il funzionamento di una **Lanca di controllo (Lanca degli Internati)**, presso l'Isola degli Internati, Gualtieri, RE) a settembre 2022 e marzo 2023 (con attività inerenti alle Azioni 2 e 3).

Infine, ad ottobre 2022, ottobre 2023 e febbraio 2024 è stato possibile raccogliere i campioni pre-intervento e post-intervento per la determinazione dell'eDNA. Non sono ancora disponibili i risultati dei sequenziamenti – lo saranno a breve – appena disponibili si provvederà a redigere una versione aggiornata del Report finale. A **marzo 2023 sono state**, infine, avviate le prime **caratterizzazioni integrative** (relative alle componenti habitat, avifauna ed erpetofauna) coerentemente con il piano dei monitoraggi elaborato nell'ambito del percorso autorizzativo della VInCA/AIPO del progetto di abbassamento del pennello. Gli esiti di queste attività saranno dettagliati in apposite relazioni a partire dall'inizio del 2025.

Tabella 2 – stato di avanzamento della Attività incluse nell'Accordo (in grigio si evidenziano le due attività che a causa dell'andamento meteo-climatico tra autunno 2023 e primavera 2024 non è stato possibile portare a compimento – analisi della componente ad ostracodi – o i cui risultati definitivi sono ancora in fase di elaborazione e che saranno rendicontati il prima possibile – analisi eDNA).

		ANNO III													
Attività	mese	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
1	Caratterizzazione delle componenti biologiche														
	<i>Lycaena dispar</i> / farfalle diurne *														
	Odonati*														
	Ostracodi														
	Habitat ai sensi della DH														
	Comunità ornitica														
	Comunità ittica														
2	Qualità chimico-fisica di acqua e sedimenti														
3	Processi funzionali mediati dalla lanca														
4	Telerilevamento														
5	DNA metabarcoding														
6	Elaborazione del piano scientifico														

ATTIVITÀ 1

Sotto-attività 1a: monitoraggio della specie *Lycaena dispar*/lepidotteri

Sotto-attività 1b: monitoraggio degli odonati

Per la componente invertebrata – con una particolare riferimento a farfalle diurne e odonati, e, specificatamente, alla numerosità delle specie *Lycaena dispar* (farfalla), *Stylurus flavipes* (libellula) e *Ophiogomphus cecilia* (libellula)¹ – sono state svolte tutte le indagini previste dal PTGA. Per permettere una valutazione complessiva di queste due componenti sono state, in ogni caso, registrate tutte le specie di libellule e farfalle diurne rilevate nel sito.

MATERIALI E METODI: *Lycaena dispar*/lepidotteri

Parametri analitici:

- Numerosità (N): n° di individui di *Lycaena dispar*.
- Ricchezza specifica lepidotterofauna diurna (n° totale di specie; Rsl).

Per *L. dispar*, si è programmato di distribuire le indagini durante l'anno (stagione vegetativa) in modo da intercettare le 3 generazioni di volo della specie. Sono state realizzate 9 giornate di indagine, raggruppate in tre gruppi di 3 (3 uscite nel periodo aprile-maggio, in luglio, e settembre). In queste occasioni – come premesso – sono state registrate tutte le farfalle diurne (Papilionoidea e Hesperioidea) presenti nell'area di indagine. Di seguito sono indicate le date in cui sono stati svolti i monitoraggi nel 2023.

data	06 V 2023	21 V 2023	27 V 2023	8 VII 2023	18 VII 2023	23 VII 2023	26 VIII 2023	06 IX 2023	24 IX 2023
N sessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Il monitoraggio degli esemplari adulti di *L. dispar* (specie inclusa nell'Allegato II e IV della Direttiva Habitat, e anche in Appendice II – specie strettamente protetta – della Convenzione di Berna) è stato condotto tramite transetto standard percorso da un operatore. Il metodo è stato standardizzato per tempo (30 minuti). Sono stati individuati nel 2021 due transetti (poi utilizzati in tutti i tre anni di monitoraggio) che sono stati percorsi secondo la metodica su descritta, questi sono stati scelti con il duplice fine di indagare le più importanti tipologie di habitat che potrebbero ospitare la specie *target* e contemporaneamente essere più prossimi possibili all'area di intervento del progetto. In **Tabella 3** sono riportate le coordinate dei transetti di indagine *Lycaena dispar*/lepidotteri, rappresentate cartograficamente in **Figura 2**.

Tabella 3 – coordinate dei transetti utilizzati per il monitoraggio di *Lycaena dispar*/lepidotteri.

coordinate UTM	Zona	EST	NORD
punto A transetto farfalle Gussola	32T	606118	4981110
punto B transetto farfalle Gussola	32T	606480	4981343
punto A transetto farfalleBis Gussola	32T	607248	4981508
punto B transetto farfalleBis Gussola	32T	607363	4981430

¹tutte specie di Allegato II e IV della Direttiva Habitat.



Figura 2 – transetti utilizzati per il monitoraggio di *Lycaena dispar*/lepidotteri.

MATERIALI E METODI: odonati

Parametri analitici:

- Numerosità (N): n° di individui (*Stylurus flavipes*, *Ophiogomphus cecilia*);
- Ricchezza specifica odonatofauna (n° totale di specie; Rso).

Per quanto riguarda le libellule, al fine di intercettare tutte le specie presenti nel sito sono state effettuate 5 uscite distribuite lungo tutta la stagione di volo, tra il mese di maggio e settembre. Durante ogni uscita sono state applicate due metodiche di indagine: osservazione di esemplari adulti + ricerca di esuvie (esuvie dell'ultimo stadio larvale, documentano autoctonia/avvenuta riproduzione della specie nel sito indagato), questa seconda metodica è infatti indispensabile per accertare la presenza delle due specie di Gomphidae protette sopra citate, specie molto elusive allo stadio adulto e per questo spesso sottostimate (Hardersen & Toni 2019). Nella seguente tabella sono indicate le date in cui sono stati svolti i monitoraggi nel 2023.

data	06 V 2023	06 V 2023	21 V 2023	21 V 2023	8 VII 2023	8 VII 2023	23 VII 2023	23 VII 2023	26 VIII 2023	26 VIII 2023
N sessione	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
TRANSETTO	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI

Il monitoraggio degli esemplari adulti e la ricerca delle esuvie sono stati condotti tramite transetto standard percorso da un operatore che ha effettuato ricerca a vista nel medesimo sito (coordinate UTM_{32T}: 606251, 4981063). Il metodo è stato standardizzato per tempo (30 minuti). Nella mappa seguente è riportata la

posizione del punto medio del transetto di indagine, che coincide con la porzione occidentale della Lanca (Figura 3).



Figura 3 – transetto utilizzato per il monitoraggio delle esuvie di odonati nella Lanca.

RISULTATI: *Lycaena dispar*/lepidotteri + odonati

Lycaena dispar*-lepidotteri:** durante il 2023 sono state svolte tra il mese di maggio ed il mese di settembre le 9 uscite programmate, radunate a gruppi di tre per intercettare il periodo di volo della specie target *L. dispar*. In **Tabella 4** sono riportati i dati raccolti (specie e N° di esemplari osservati) nei due transetti/giorno, questi sono i medesimi siti già indagati nel 2021. Nel complesso: **sono state osservate 31 specie di lepidotteri Ropaloceri, non è stata osservata *L. dispar. Al di fuori dei transetti di indagine non sono state osservate ulteriori specie rispetto a quanto osservato lungo i transetti di indagine nell'area di studio. La tassonomia segue Wiemers et al. (2018).

Tabella 4 – risultati delle osservazioni per il 2023 dei lepidotteri diurni.

data	06 V 2023	21 V 2023	27 V 2023	8 VII 2023	18 VII 2023	23 VII 2023	26 VIII 2023	06 IX 2023	24 IX 2023	2023
N sessione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
specie										
PIERIDAE										
<i>Colias crocea</i> (Geoffroy, 1785)				1	1				2	x
<i>Pontia edusa</i> (Fabricius, 1777)	1	2	1	1	2		1	1	4	x
<i>Pieris brassicae</i> (Linnaeus, 1758)					6				11	x
<i>Pieris rapae</i> (Linnaeus, 1758)	5	1	4	26	25	17	3	13	12	x
<i>Pieris napi</i> (Linnaeus, 1758)	1	19	43	12	18	2		1	9	x
<i>Anthocharis cardamines</i> (Linnaeus, 1758)	1									x
LYCAENIDAE										
<i>Lycaena phlaeas</i> (Linnaeus, 1760)	4		3	1	1	1	1	1	2	x
<i>Lycaena tityrus</i> (Poda, 1761)	5					1				x
<i>Callophrys rubi</i> (Linnaeus, 1758)	3	2								x
<i>Satyrus w-album</i> (Knoch, 1782)		1								x
<i>Leptotes pirithous</i> (Linnaeus, 1767)							1	3	9	x
<i>Celastrina argiolus</i> (Linnaeus, 1758)									1	x
<i>Cupido argiades</i> (Pallas, 1771)			1					13		x
<i>Plebejus argyrognomon</i> (Bergsträsser, 1779)							1			x
<i>Aricia agestis</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)			1							x
<i>Polyommatus icarus</i> (Rottemburg, 1775)	2		2			2	5	13	10	x
NYMPHALIDAE										
<i>Issoria lathonia</i> (Linnaeus, 1758)			1						1	x
<i>Apatura ilia</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)			1	2	6	4	3	4	1	x
<i>Vanessa cardui</i> (Linnaeus, 1758)			2					3	1	x
<i>Vanessa atalanta</i> (Linnaeus, 1758)	2	9	1	2	1		3	1	1	x
<i>Aglais io</i> (Linnaeus, 1758)		1					1	1		x
<i>Polygonia c-album</i> (Linnaeus, 1758)			2	2			1	1	1	x
<i>Melitaea phoebe</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)									1	x
<i>Melitaea celadussa</i> (Fruhstorfer, 1910)							1	1		x
<i>Coenonympha pamphilus</i> (Linnaeus, 1758)	5	7	5	4	5	1	3	8	5	x
<i>Pararge aegeria</i> (Linnaeus, 1758)						1				x
<i>Lasiommata megera</i> (Linnaeus, 1767)									5	x
HESPERIIDAE										
<i>Ochlodes sylvanus</i> (Esper, 1777)		5	2		1		10	2		x
<i>Carcharodus alceae</i> (Esper, 1780)						2	1	1	1	x
<i>Pyrgus malvoides</i> (Elwes & Edwards, 1897)							1		1	x
<i>Pyrgus armoricanus</i> (Oberthür, 1910)									2	x
TOTALE SPECIE	10	9	14	9	10	9	15	16	20	31

Odonati: Durante il 2023 sono state svolte tra il mese di maggio ed il mese di agosto le 5 uscite programmate, il sito è il medesimo indagato nel 2021. Nella tabella seguente sono riportati i dati raccolti (specie e N° di esemplari osservati): sono state raccolte 4 esuvie relative alla specie target *S. flavipes*. Sono stati osservati esemplari adulti relativi a 13 specie di odonati. La tassonomia segue La Porta et al. (2021) (Tabella 5).

Tabella 5 – risultati delle osservazioni per il 2023 degli odonati.

data	06 V 2023	06 V 2023	21 V 2023	21 V 2023	8 VII 2023	8 VII 2023	23 VII 2023	23 VII 2023	26 VIII 2023	26 VIII 2023	2023
N sessione	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	
TRANSETTO	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	TRANSETTO ESUVIE	TRANSETTO ADULTI	
specie											
Calopterygidae											
<i>Calopteryx splendens</i> (Harris, 1782)		1				1					x
Lestidae											
<i>Sympecma fusca</i> (Vander linden, 1820)		4									x
Coenagrionidae											
<i>Ischnura elegans</i> (Vander Linden, 1820)		100		50		10		7		30	x
<i>Erythromma viridulum</i> (Charpentier, 1840)						1		1			x
<i>Erythromma lindenii</i> (Selys, 1840)		30		2							x
Platycnemididae											
<i>Platycnemis pennipes</i> (Pallas, 1771)		2									x
Aeshnidae											
<i>Anax parthenope</i> (Selys, 1839)					1						x
<i>Anax ephippiger</i> (Burmeister, 1839)		10		2							x
Gomphidae											
<i>Stylurus flavipes</i> (Charpentier, 1825)					1		2	1	1		x
Libellulidae											
<i>Orthetrum albistylum</i> (Selys, 1848)		10		6		4		15		60	x
<i>Orthetrum cancellatum</i> (Linnaeus, 1758)		1		1				4			x
<i>Crocothemis erythraea</i> (Brullé, 1832)		5		8				1		300	x
<i>Selysiothemis nigra</i> (Vander Linden, 1825)						1					x
TOTALE SPECIE	0	9	0	6	2	5	1	6	1	3	13

CONSIDERAZIONI: CONFRONTO 2021 - 2023

***Lycaena dispar* e farfalle**

La specie target dell'indagine, *L. dispar*, non è stata osservata. Due possibili cause per questa assenza sono: rarità di piante ospite e scarsità di fioriture. Infatti, i bruchi di *L. dispar* si nutrono su diverse specie igrofile del genere *Rumex* (*Rumex hydrolapathum*, *R. crispus*, *R. obtusifolius*) (Bonato et al., 2014, Gatti, 2021). Queste piante risultano molto rare nel sito indagato. Invece, la specie *R. cristatus*, alloctona naturalizzata in Lombardia, è abbondante in golena ma non viene utilizzata da questa farfalla. Allo stesso modo *R. acetosa* e *R. acetosella* non vengono utilizzate dai bruchi di *L. dispar*. Oltre alla pianta ospite per lo sviluppo delle larve, *L. dispar* dipende da fioriture durante la fase adulta. Invece, l'offerta floricola nell'area indagata risulta povera. Sulla base di esperienza personale di indagine mirata alla ricerca di *L. dispar* nella pianura lombarda durante il 2023 la specie è stata rilevata in poche stazioni e in pochissimi esemplari. Verosimilmente la siccità dell'anno 2022 ha influito negativamente sulle popolazioni della specie.

Il numero totale di ropaloceri osservati è 34, un numero che si può ritenere alto se confrontato con altri siti planiziali padani grazie alla presenza di diverse tipologie di habitat nell'area di indagine ed immediate vicinanze (bosco a legno tenero, aree di ecotono, ambienti aperti incolti erbacei asciutti ed umidi, prati lungo gli argini golenali). Per quanto riguarda le altre specie di farfalle diurne indagate, si può affermare che quasi tutte le specie osservate risultano comuni nella Pianura Padana e presentano ampia diffusione nel territorio italiano. Meritano una breve menzione le seguenti specie

- *Apatura ilia*, presente con la forma *clytie* in Pianura Padana, è una specie nemorale legata a boschi ripari ed igrofili in cui siano presenti alberi del genere *Salix* e *Populus*, di cui si nutrono gli stadi larvali, la specie risulta quindi diffusa in ambienti golenali.

- *Satyrrium w-album* è una specie subnemorale, legata ad ambienti boschivi aperti, i bruchi si nutrono a spese di diverse specie arboree, principalmente appartenenti al genere *Ulmus*. La specie è stata osservata con un solo esemplare, sia nel 2021 sia nel 2023. *S. w-album* risulta localizzata nella pianura veneta così come nel Parco del Ticino (Bonato et al., 2014; Gatti, 2021) ma è anche nota dall'area del Po cremonese (Hardersen 2017, Leandri non pubbl.) e nella Riserva di Bosco della Fontana (Marmiolo, MN) (Hardersen, 2023). Una causa per la paucità delle segnalazioni potrebbe essere l'elusività e la scarsa contattabilità.
- *Melitaea didyma*, *M. phoebe* e *M. celadussa* sono tre specie di Nymphalidae legate agli ambienti prativi, agli incolti erbaceo arbustivi ed alle aree agricole non intensive. Pochi esemplari appartenenti a queste tre specie sono stati sporadicamente osservati nel 2021 e 2023, *Melitaea celadussa* è la specie contattata con maggiore frequenza.
- *Pyrgus armoricanus*: specie di ambienti prativi, localizzata in Pianura Padana ma probabilmente sottostimata.
- *Plebejus argyrognomon*: specie di ambienti prativi, localizzata in Pianura Padana, ma probabilmente sottostimata.

In generale sono stati osservati pochi esemplari di ropaloceri nell'area di indagine. Questo risultato è verosimilmente legato alla pochezza di piante nettariifere attrattive per questi insetti ed alla predominanza di piante erbacee esotiche che attualmente caratterizza la flora golenale, tra queste spiccano le specie ad impollinazione anemofila e poco attrattive per gli insetti pronubi. Queste piante alloctone sono anche raramente utilizzate quali piante nutrici degli stadi larvali delle farfalle. Fanno eccezione e si rivelano piuttosto attrattive per gli stadi immaginali di lepidotteri le seguenti specie: *Amorpha fruticosa*, arbusto invasivo diffusissimo nelle golene fluviali, la cui abbondante fioritura di fine maggio, attrae numerosi insetti, tra cui esemplari di *Aglais io*; *Solidago gigantea*, specie erbacea esotica invasiva sulle cui fioriture sono state osservati numerosi esemplari appartenenti ad alcune specie di Pieridae ad ampia diffusione; *Symphytotrichum lanceolatum*, altra pianta esotica invasiva a fioritura settembrina, che si insedia nelle aree solatie incolte, molto attrattiva nei confronti di numerose specie di lepidotteri, quest'ultima è parsa più abbondante nel 2023 rispetto al 2021. Le farfalle più abbondanti nel 2023 sono risultate le specie cavolaia minore (*Pieris rapae*) e navoncella (*Pieris napi*).

Odonati

Nel 2023 sono state raccolte 4 esuvie della specie target *S. flavipes*, nessuna esuvia né avvistamenti di *Ophiogomphus cecilia*. Sono stati osservati esemplari adulti appartenenti a 13 specie, un numero maggiore rispetto al 2021. In totale sono state osservate Libellule appartenenti a 15 specie durante i rilievi del 2021 e 2023.

Durante il 2023 sono stati osservati eventi di piena del fiume Po (maggio e settembre) durante i quali si è riempito il braccio di fiume che separa la golena dall'Isola Maria Luigia. L'allagamento della lanca è strettamente legato – con ogni probabilità – al ritrovamento di 4 esuvie di *Stylurus flavipes*: la specie, infatti, è diffusa e localmente abbondante lungo l'asta del fiume Po e gli esemplari sono verosimilmente stati spostati durante la piena dall'alveo principale, habitat d'elezione, alla lanca, sito in cui è avvenuta la metamorfosi e sono state ritrovate le esuvie. La presenza di acqua nella lanca a fine primavera e fine estate

ha anche favorito la frequentazione del sito da parte di un maggior numero di specie, che qui si sono fermate trovando condizioni potenzialmente adatte alla riproduzione. Durante la prima uscita di maggio 2023, con livelli idrici alti, è stato osservato il maggior numero di specie in una sola giornata di indagine (9), tra queste anche alcuni esemplari di *Anax ephippiger* una specie migratrice ad ampia distribuzione, diffusa in Africa, Asia ed Europa. Si riproduce in habitat temporanei, tra i quali anche le lanche fluviali inondabili. È una specie le cui tendenze demografiche risultano in espansione in Europa (Boudot & Kalkman, 2015). Durante l'uscita di luglio è stato osservato un esemplare di *Selysiotthemis nigra*, un piccolo Libellulidae a distribuzione principalmente asiatica, presente anche nel Mediterraneo. Anche questa specie ha tendenze migratorie ed è giudicata in espansione in Europa (Kalkman V. J. & Bogdanovic T., 2015), da pochi anni è stato segnalato anche in Lombardia (Chiari, 2020). Queste due specie si aggiungono ad altre già osservate nel 2021 (es.: *Crocothemis erythraea*, *Sympetrum fonscolombii*, *S. meridionale*) e note per la capacità di dispersione e/o migrazione su medie e lunghe distanze. L'odonatofauna rilevata risulta tipica di un ambiente acquatico poco strutturato, come evidenziato dalla abbondanza di *Ischnura elegans* e *Crocothemis erythraea*, le specie più abbondanti nel sito.

Sotto-attività 1c: monitoraggio degli ostracodi

MATERIALI E METODI

A integrazione delle 4 uscite di campionamento realizzate tra 2021 e 2022 (9 novembre 2021, 25 marzo 2022, 9 maggio 2022 e 9 giugno 2022), sono state aggiunte 3 ulteriori momenti di caratterizzazione tra 2022 e 2023 (10 ottobre 2022, 18 febbraio 2023, e 19 aprile 2023). Nel periodo successivo è stato effettuato un campionamento il 4 agosto 2023. **Ulteriori sopralluoghi nell'area di studio sono stati effettuati il 2 dicembre 2023 e il 13 maggio 2024, durante i quali si è verificata l'impossibilità di raccogliere campioni per il perdurare di condizioni idrologiche non favorevoli alle attività di prelievo.**

Ad ogni sopralluogo – quando le condizioni idrologiche lo hanno consentito – sono stati raccolti campioni dalle stazioni G1 Lanca e G3 Laghetto e, limitatamente alla prima e all'ultima data, anche da G2 Pozza (completamente asciutta nelle altre occasioni) (**Figura 4**).



Figura 4 – Immagini relative al campionamento di novembre 2021; nell'immagine di sx e dx (in basso) si nota il sito G2 POZZA.

I campioni di ostracodi sono stati prelevati mediante un retino immanicato con rete ad apertura di maglia di 200 µm. Il *sorting* è stato effettuato in laboratorio utilizzando un microscopio binoculare. Gli ostracodi sono stati fissati in alcool 70%. L'identificazione tassonomica è stata condotta su esemplari adulti, quando necessario previa dissezione. Per ogni individuo, dopo l'apertura del carapace, le valve sono state conservate a secco in vetrini da micropaleontologia, mentre le parti molli sono state montate in glicerina su un vetrino portaoggetti sul quale è stato apposto un copri oggetto sigillato con smalto trasparente per rendere permanente il preparato. La determinazione è stata fatta a livello di specie o genere utilizzando Meisch (2000).

RISULTATI

Complessivamente sono stati identificati **11 taxa di ostracodi (+5** nella seconda fase di monitoraggio = *Eucypris virens*, *Ilyocypris gibba*, *I. salebrosa*, *Lymnocythere inopinata*), vale a dire:

Cypria ophtalmica (Jurine, 1820) Brady & Norman 1889
Cypridopsis vidua (O.F. Müller, 1776) Brady 1867
Eucypris virens (Jurine, 1820)
Fabaeformiscandona fabaeformis (Fischer, 1851) Danielopol 1973
Hemicypris sp.
Heterocypris incongruens (Ramdohr, 1808)
Ilyocypris decipiens Masi, 1905
Ilyocypris gibba (Ramdohr, 1808)
Ilyocypris monstifica (Norman, 1862) McKenzie 1970
Ilyocypris salebrosa (Stepanaitys, 1959)
Lymnocythere inopinata (Baird, 1843)

Le specie sono ripartite nei tre siti di campionamento (e nelle sette campagne di rilievo tra novembre 2021 e aprile 2023) come riportato in **Tabella 6**. In **Figura 5** si riportano due visioni al microscopio a scansione di una femmina adulta di *Hemicypris* sp. (campionata nel sito Laghetto il 9 novembre 2021) e un maschio adulto di *Ilyocypris monstifica* (sempre campionato nel sito Laghetto il 9 novembre 2021).

Tabella 6 – Elenco dei taxa di ostracodi identificati nei campioni raccolti da novembre 2021 a giugno 2022 = evidenziati in grigio (*: 1 solo esemplare, probabilmente già morto al momento del prelievo; **: solo carapaci vuoti e valve disarticolate) + [campioni raccolti da ottobre 2022 ad aprile 2023](#).

data	G1 Lanca	G2 Pozza	G3 Laghetto
09/11/2021	<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i>	<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i>	<i>C. ophtalmica</i> <i>Hemicypris</i> sp. <i>I. monstifica</i>
25/03/2022	<i>C. ophtalmica</i> *		<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i> <i>F. fabaeformis</i> <i>I. monstifica</i>
09/05/2022	<i>C. ophtalmica</i>		<i>C. ophtalmica</i>

data	G1 Lanca	G2 Pozza	G3 Laghetto
	<i>I. decipiens</i> <i>I. monstifica</i>		<i>I. monstifica</i>
09/06/2022	<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i> <i>I. monstifica</i>		<i>C. vidua</i> <i>I. monstifica**</i>
10/10/2022	<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i> <i>I. monstifica</i>		<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i> <i>I. monstifica</i> <i>I. salebrosa</i>
18/02/2023	<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i>		<i>C. vidua</i> <i>I. monstifica</i> <i>I. salebrosa</i>
19/04/2023	<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i> <i>I. gibba</i>	<i>E. virens</i> <i>H. incongruens</i>	<i>C. ophtalmica</i> <i>C. vidua</i> <i>I. monstifica</i> <i>L. inopinata</i>

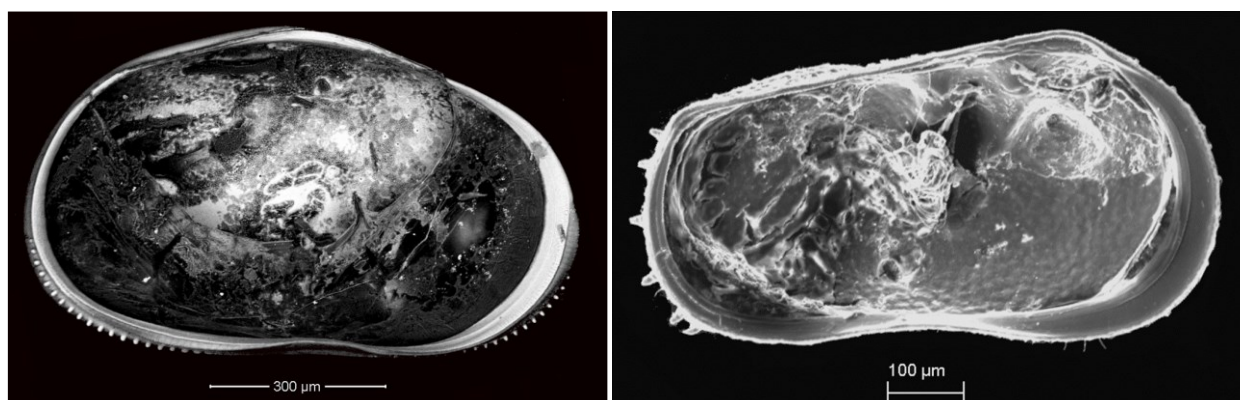


Figura 5 – a sx *Hemycypris* sp., femmina adulta (GR0830), vista interna valva sinistra; a dx *Ilyocypris monstifica*, maschio adulto (GR0831), vista interna valva sinistra (campionati nel sito Laghetto, 9 novembre 2021).

In sintesi, Le comunità a ostracodi dell'area di studio sono poco diversificate e per lo più rappresentate da specie ad ampia distribuzione ed elevata tolleranza, comuni in ecosistemi lentici dell'Italia settentrionale. Da sottolineare la presenza nel Laghetto di Gussola di un singolo esemplare di femmina adulta di *Hemycypris* sp., specie esotica, forse introdotta in Italia attraverso la coltivazione del riso (Rossi et al., 2003), appartenente ad un genere altamente diversificato, con circa 50 specie descritte (Meisch et al., 2019) e distribuite prevalentemente nelle regioni neotropicale, nearctica, afro-tropicale e paleartica. In Italia è stata precedentemente segnalata *H. dentatomarginata* (Rossetti, 2021). La specie di Gussola presenta alcune differenze morfologiche rispetto a *H. dentatomarginata*. Nonostante sia stata condotta un'analisi della morfologia delle valve al microscopio elettronico a scansione (**Figura 4**), ancora non è stato possibile giungere alla determinazione a livello specifico dell'unico individuo raccolto.

CONSIDERAZIONI: CONFRONTO 2021 - 2023

Ad oggi non è possibile elaborare un confronto tra fasi pre-intervento e post, data l'impossibilità della raccolta di campioni rappresentativi relativi alla fase post-sovrizzo del pennello ribassato. Sarà possibile farlo nel proseguo delle attività previste dall'Accordo integrativo.

Sotto-attività 1d: monitoraggio degli habitat ai sensi della DH

MATERIALI E METODI

Data la specifica fenologia delle comunità vegetali di interesse (tipiche del tratto mediano del fiume Po), le attività di rilievo sono state condotte nel periodo tardo estivo delle annualità 2021, 2022 e 2023 applicando il metodo fitosociologico, in modo da descrivere le associazioni presenti nell'intorno spaziale del corpo idrico del ramo secondario di Po – compresa l'area soggetta al ri-sezionamento del pennello (con particolare riferimento agli habitat **3270** e **91E0**). I riferimenti adottati per la raccolta dei dati sono quelli riportati nelle schede del Manuale di riferimento nazionale edito da ISPRA nel 2016 (*Manuali e linee guida 142/2016*, consultabile al link: <https://www.isprambiente.gov.it/it/manuali-e-linee-guida/HABITAT>), integrate con quelle elaborate nel contesto del progetto LIFE GESTIRE2020². Il presente *Report* riporta le integrazioni conoscitive condotte nel corso della stagione vegetativa 2022, il calcolo degli indicatori e le valutazioni sullo stato di conservazione pre-intervento.

RISULTATI

I dati acquisiti nei tre anni di attività, tra giugno e ottobre [per complessivi **36 rilievi fitosociologici** (+ 6 rilievi acquisiti nel corso del 2023)], sono rappresentati, rispettivamente, da 17 rilievi per le comunità riconducibili all'associazione *Polygono-Xanthietum italici*, 12 per il *Salicetum albae* e 7 rilievi per la vegetazione acquatica. La loro successiva analisi ha permesso di identificare **4 tipologie di habitat** (come già identificato nel corso della stagione vegetativa 2021), permettendo di identificare anche la presenza di **popolamenti a macrofite** all'interno dei corpi idrici principali dell'area di studio [il ramo secondario di Po (= Lanca) e il bacino di retropennello = laghetto ai sensi dell'analisi degli ostracodi, periodicamente isolato dal ramo secondario, **Figura 6**]. Anche nel corso del primo anno di indagine (2021) era stato possibile identificare la presenza locale di singoli individui di macrofite all'interno dei corpi idrici dell'area monitorata, senza però raccogliere evidenze vere e proprie di popolamenti, come osservato a settembre-ottobre 2022 e nel corso del 2023. Quando le cenosi acquatiche si sono ridotte in termini di rappresentatività spaziale (si sono in ogni modo conservate) a seguito del sovrizzo ripetuto del pennello (a partire da maggio 2023). A settembre 2023 è stato possibile svolgere un rilievo di tutta l'area di interesse mediante l'uso di un drone – l'immagine ottenuta è stata utilizzata per redigere la cartografia degli habitat – che sarà aggiornata nel corso di settembre 2024 (nell'ambito delle attività integrative).

Lungo i settori litorali, a contatto con le vegetazioni effimere annuali, nel corso del 2022 e 2023 è stato possibile apprezzare la presenza di dense fasce a dominanza di *Ludwigia peploides* (Kunth) P.H.Raven. Queste comunità, largamente monofitiche, caratterizzate dall'ingressione di un numero estremamente limitato di specie compagne (prevalentemente liberamente flottanti, *Ceratophyllum demersum*, *Lemna* sp.pl., *Salvinia natans*) sono di difficile collocazione sintassonomica, per ora si è deciso di inquadrarle in un *fitocenon* basale a dominanza di *L. peploides*. Nel caso tali vegetazioni permanessero all'interno della lanca anche a seguito dell'aumento della connettività del ramo secondario – a seguito dell'abbassamento del pennello – si procederà ad approfondirne il valore fitosociologico (è prevista una fase di caratterizzazione tra fine agosto e inizio settembre 2024).

² https://www.naturachevale.it/Programma-di-monitoraggio-scientifico-della-rete_vegetazione_habitat.pdf



Figura 6 – 1: popolamenti a *Ceratophyllum demersum* (diffusamente colonizzati da alghe filamentose); 2: *Stuckenia pectinata*; 3: *Ludwigia peploides*.

Tra agosto e settembre 2023 sono state svolte le attività di monitoraggio relative al terzo anno di attività, mentre da maggio 2023 sono in corso i monitoraggi integrativi sulla componente habitat ai sensi della procedura di valutazione d'incidenza (VInCA/AIPO; progetto PR-E-1079). Nello specifico, in data **23 maggio 2023** è stato effettuato un primo sopralluogo per l'acquisizione di un'ortofoto da drone dell'intera area di interesse (ad alta risoluzione, 5-7 cm), attività che non è stata possibile completare – *limitata alla porzione di monte dell'area di studio* – per le condizioni idrologiche del fiume Po (attivamente in ingresso nella lanca). La situazione idrologica constatata nel corso del sopralluogo ha suggerito di posticipare a fine agosto-settembre 2023 l'acquisizione dell'ortofoto in modo da poter ottenere un supporto informativo utile a restituire cartograficamente gli habitat (cfr. **Azione 01** del Piano di Monitoraggio Ambientale del progetto definitivo PR-E-1079). Attività effettuata il giorno **5 settembre 2023**. La Cartografia ottenuta ha permesso di procedere alla definizione delle aree occupate da vegetazione alloctona (cfr. **Azione 03** del progetto PR-E-1079), nell'ambito delle attività integrative dei monitoraggi ambientali previste fino a fine 2026 (che saranno rendicontate entro l'inizio del 2025 come da programma integrativo). Di seguito si riporta una visione d'insieme dell'ortofoto acquisita

Vegetazioni e habitat

Procedendo lungo un ipotetico transetto, dai settori posti a diretto contatto con il ramo laterale di Po (ambito litoraneo fluviale) fino ai terrazzi alluvionali recenti (interessati dai fenomeni di sommersione con tempi di ritorno dell'ordine di 1-3 anni) si passa da vegetazioni annuali tipiche dei depositi di greto sabbioso-limosi ricchi in composti azotati (cenosi della classe *Bidentetia tripartiti* Tx, Lohmeyer et Preising in Tüxen 1950) a formazioni meso-xerofile ad alte erbe nitrofile perenni (cenosi della classe *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer, Preising et Tüxen in Tüxen 1950). All'interno dei corpi idrici sono stati rilevati popolamenti elementari di classe *Potametea pectinati* Klika in Klika & Novák 1941 (**Figura 5**).

Nei settori maggiormente rilevati si affermano formazioni arbustivo-arboree di greto e/o frangia a dominanza di erbe o suffrutici sub-igrofilo o mesofili perennanti (cenosi della classe *Galio-Urticetea* Passarge ex Kopecký 1969) e da saliceti ripariali a dominanza di Salice bianco (cenosi della classe *Salicetea purpureae* Moor 1958) (**Figura 7**). Di seguito si riporta il quadro sintassonomico dei tipi vegetazionali rilevati (in neretto le comunità vegetali identificate):

Potametea pectinati Klika in Klika & Novák 1941

Comunità macrofitiche di acque dolci, occasionalmente salmastre, da mesotrofiche ad eutrofiche, correnti o stagnanti

Potametalia pectinati Koch 1926

Potamion pectinati (W. Koch 1926) Libbert 1931

Fitocenon a *Stuckenia pectinata*³ (codice Natura 2000: 3150)

Utricularietalia minoris Den Hartog & Segal 1964

Ceratophyllum demersum Den Hartog & Segal ex Passarge 1996

***Ceratophylletum demersi* Corillion 1957 (codice Natura 2000: 3150)**

Bidentetia tripartiti Tx., Lohmeyer et Preising in Tüxen 1950

Vegetazioni igrofile annuali dei depositi di accumulo sabbioso-limoso ricchi in composti azotati

Bidentetalia tripartiti Br.-Bl. et Tüxen ex Klika et Hadač 1944

Chenopodium rubrum (Tx. 1960) Hilbig et Jage 1972 (syn: *Chenopodium glaucum* Hejný 1974)

***Polygono lapathifolii-Xanthietum italicum* Pirola et Rossetti 1974 (codice Natura 2000:**

3270)

Cyperetum esculenti Wisskirchen 1995

Fitocenon a *Panicum dichotomiflorum*

Fitocenon a *Panicum philadelphicum*

Fitocenon a *Amaranthus tuberculatus*

Artemisietea vulgaris Lohmeyer, Preising et Tüxen in Tüxen 1950

Popolamenti meso-xerofili di alte erbe nitrofile perennanti di contesti soggetti a disturbo (greti, argini, accumulo di materiali organici)

Artemisietalia vulgaris Lohmeyer in Tüxen 1947 em. Géhu, Géhu-Frank et Scoppola 1985 (incl. *Agropyretalia repens* Oberdorfer, Müller et Görs in Oberdorfer, Görs, Korneck, Lohmeyer, Müller, Philippi et Seibert 1967)

Convolvulo-Agropyron repens Görs

Fitocenon a *Elymus repens*

Galio-Urticetea Passarge ex Kopecký 1969

³ = *Potamogeton pectinatus*

Comunità ad alte erbe sub-nitrofile e/o mesofile perennanti nei contesti di greto e di accumulo di materiali organici

Convolvuletalia sepium Tüxen 1950 ex *Mucina* 1993 (syn: *Convolvuletalia sepium* Tüxen 1950 em. Oberdorfer 1967)

Convolvulion sepium Tüxen ex Oberdorfer 1957 (syn: *Senecionion fluviatilis* R. Tx. 1950)

Fitocenon ad *Amorpha fruticosa* e *Rubus caesius*

Salicetea purpureae Moor 1958

Boscaglie di salici dei contesti ripari e retro-ripari di fiumi e torrenti

Salicetalia purpureae Moor 1958

Salicion albae Soo 1930

***Salicetum albae* Issler 1926 (codice Natura 2000: 91E0)**

Nella presente relazione si riportano in forma tabellare i soli rilievi delle quattro associazioni/fitocenon di interesse conservazionistico rilevate (Fitocenon a *Stuckenia pectinata*, *Ceratophyllum demersum*, *Polygono-lapathifolii-Xanthietum italici* e *Salicetum albae*), integrati con i dati relativi all'associazione *Cyperetum esculenti*, di particolare interesse ecologico (vegetazione tipica dei sabbioni di Po) (Figure 5, 7, 8, 9). Le tabelle sono riportate in appendice alla relazione (Allegato 1).

Classe *Potametea pectinati*

La classe aggrega comunità macrofitiche di acque dolci, occasionalmente salmastre, da mesotrofiche ad eutrofiche, correnti o stagnanti. Si tratta di vegetazioni acquatiche perenni, nella maggior parte dei casi radicate al fondo. Tra le specie più caratteristiche possiamo ricordare: *Stuckenia pectinata* (= *Potamogeton pectinatus*; nome comune "Brasca di palude"), diverse specie del genere *Elodea*, *C. demersum*, *Myriophyllum spicatum* e i ninfeidi (per esempio Ninfea bianca, Nannufero). Secondo "infoflora.ch", «Le forme di crescita [all'interno di queste comunità] sono molto variabili, in funzione delle caratteristiche del biotopo: 1. piante sommerse o flottanti, generalmente perenni, con forte biomassa per individuo (ordine Magnopotametalia), adattate alle acque calme e ai substrati anossici; 2. piante sommerse generalmente pioniere perenni, a crescita rapida (ordine Parvopotametalia), adattate ai prosciugamenti occasionali autunnali e a un marcato riscaldamento estivo. Le comunità si presentano sotto forma di fasce: vegetazioni sommerse difficilmente rilevabili dalla superficie (con *Elodea sp.pl.*, *M. spicatum*, *Najas marina*, *S. pectinata*); tappeti di foglie flottanti ben visibili (*Nymphaea alba*, *Polygonum amphibium*, *Potamogeton natans*); praterie anfibe sulle rive poco profonde (*Callitriche platycarpa*, *Ranunculus aquatilis*). Nello stesso biotopo possono essere osservate varie forme, le une a contatto delle altre. Occorrono in acque poco profonde o profonde, fresche o che si riscaldano rapidamente, da oligotrofiche a eutrofiche, inquinate o non inquinate, chiare o torbide, acide o basiche, ricche o povere di calcare; su substrato vario, da ghiaioso ad argilloso, più o meno arricchito di materia organica».

⁴ https://www.infoflora.ch/it/ambienti/phytosuisse/l.4-potametea_pectinati.html



Figura 7 – L'immagine qui riportata illustra le due tipologie vegetazionali prevalenti e di maggior interesse identificate nell'area di studio, vale a dire gli habitat di interesse comunitario riconducibili ai codici DH **3270** (vale a dire i "Fiumi con argini melmosi con vegetazione del *Chenopodium rubri* p.p. e *Bidention* p.p.) e **91Eo** [Foreste alluvionali di *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)]. Si tratta di comunità vegetali tipiche dei sistemi ripariali dei grandi fiumi di pianura, ampiamente diffuse e rappresentate nel tratto mediano di Po.

Nell'area di studio sono stati identificati **due popolamenti elementari** a dominanza di *S. pectinata* e *C. demersum* (nome comune "Ceratofillo comune"), con poche specie compagne, in particolar modo legate alle comunità di *Stuckenia* (**Allegato 1, Tabella A**). I letti sommersi a Ceratofillo comune, invece, sono risultati quasi esclusivamente monofitici, se non per la presenza di densi ammassi algali associati agli individui sub-affioranti. Si tratta, infatti, di «comunità dense, rigide, verde molto scuro, sovente monospecifica, dominata da *C. demersum* che può sradicarsi e formare tappeti flottanti liberi. Colonizza stagni piscicoli, bracci morti, pozze, fossi; all'interno e in prossimità di zone agricole, in condizioni di ipertrofia di origine antropica; in acque stagnanti o a corrente debole, poco profonde ($p < 1.5$ m), eventualmente temporanee, eutrofiche o ipertrofiche, fortemente mineralizzate (con valori di conducibilità nel range $360-730 \mu S cm^{-1}$); su substrato argilloso profondo, ricco di nutrienti e materia organica».

In accordo con il "Manuale-habitat Lombardia", le cenosi a Brasca di palude sono riconducibili all'habitat elementare **3150-B** [*Potameti* (*Potamion*): comunità a idrofite rizofitiche con organi vegetativi in genere sommersi (*bentonici*), di rado fluttuanti sul pelo dell'acqua. Sono presenti in bacini di medio-grande dimensione (stagni, laghi), in genere a maggior profondità di quelli dell'habitat elementare A. Le acque vanno da meso- a eutrofiche], mentre i popolamenti a Ceratofillo comune all'habitat elementare **3150-D** [Comunità pleustofitiche mesotrofiche (*Lemnion trisulcae*, *Lemno-Hydrocharition*): comunità a prevalenza di idrofite

pleustofitiche, galleggianti o sommerse. Sono presenti in piccoli bacini (stagni, pozze). Le acque vanno da meso- a eutrofiche].



Figura 8 – immagini relative ad alcune delle cenosi di codice habitat **3270** (vale a dire i "Fiumi con argini melmosi con vegetazione del *Chenopodium rubri* p.p. e *Bidention* p.p."); in alto e in basso a dx popolamenti a dominanza di *Xanthium italicum*, mentre in basso a sx a dominanza di *Persicaria lapathifolia*; in alto la mappa di distribuzione spaziale dei rilievi effettuati nel 2021-22 e 2023 (1-5, 16-20, 31-32 rilievi di Saliceto bianco (cerchi bianchi con margine rosso = rilievi 2022, con margine dorato = 2023); 6-15, 21-25, 33-34 rilievi di formazioni di *Chenopodium rubri*); i rilievi 26-32 si riferiscono alle cenosi di *Potametea* (cerchi azzurro chiaro).

Classe *Bidentetea tripartiti*

Lungo i settori ripari del fiume Po, in corrispondenza di sedimenti periodicamente emergenti caratterizzati da substrati limosi o limoso-argillosi ricchi in nutrienti (N e P), si affermano comunità riconducibili alla classe

Bidentetea tripartiti (classe è distribuita diffusamente in Europa e in Asia) e all'ordine *Bidentetalia tripartiti*, a sua volta suddiviso in due alleanze: *Bidention tripartiti* e *Chenopodion rubri* (Figura 8). Nell'area di studio non è stata rilevata l'alleanza *Bidention*, mentre al *Chenopodion* sono riconducibili 5 differenti formazioni tipiche degli ambienti naturali o sinantropici eutrofici; di queste due sono inquadrare a livello di associazione (*Polygono lapathifolii-Xanthietum italici*, *Cyperetum esculenti*) (Allegato 1, Tabella B) mentre le tre restanti a livello di fitocenon basale (Fitocenon a *Panicum dichotomiflorum*, Fitocenon a *Panicum philadelphicum* e Fitocenon ad *Amaranthus tuberculatus*).

In Tabella B sono riportati i rilievi ricondotti alle associazioni *Polygono lapathifolii-Xanthietum italici* (B-1) e *Cyperetum esculenti* (B-2). La prima è una formazione di greto/alveo molto diffusa in Italia (descritta da Pirola e Rossetti nel 1974 per il fiume Reno) che include le cenosi pioniere dominate da *Xanthium italicum* e *Persicaria lapathifolia* subsp. *lapathifolia*. Nel complesso è rappresentata da fitte vegetazioni dominate da specie idro-igrofile a spiccato carattere pioniero.

Classe *Artemisietea vulgaris*

La classe *Artemisietea vulgaris* include le formazioni meso-xerofile ad alte erbe nitrofile perenni diffusamente presenti nei contesti di greto e arginali, specialmente in corrispondenza di depositi di materiale organico. All'interno dell'area di studio alla classe sopracitata sono ricondotti esclusivamente i popolamenti a *Elymus repens*, che si sviluppano su substrati ricchi e sciolti prevalentemente sabbiosi con una percentuale non trascurabile di sostanza organica. Nel corso dei sopralluoghi di campo non sono stati effettuati specifici rilievi per descrivere i popolamenti che si presentavano floristicamente impoveriti e tendenzialmente pauci- e mono-specifici.

Classe *Galio-Urticetea*

Le comunità dominate da specie erbacee perenni che si affermano lungo i margini delle formazioni boscate e dei corpi idrici sono generalmente ricondotte alla classe *Galio-Urticetea*, comprendente fitocenosi nitrofile, sub-igrofile e mesofile di margini e radure di boschi e arbusteti (ordine *Lamio albi-Chenopodietales boni-henrici*) e quelle igro-nitrofile di ambienti ripariali (ordine *Convolvuletalia sepium*). All'interno dell'area di studio le formazioni dominate da *A. fruticosa* sono state ricondotte al secondo ordine. Tali comunità sono ampiamente diffuse e costituiscono le dense formazioni arbustive poste ai margini dei bacini; sono dominate da *Amorpha fruticosa*, neofita alto arbustiva, cui si associano prevalentemente nello strato arbustivo inferiore *Rubus caesius* (una costante in tutto il tratto mediano di fiume Po). Frequentemente nei due strati arbustivi svolge un ruolo di copertura non trascurabile la specie lianosa *Humulus lupulus*, la cui diffusione individua una variante alla forma tipica della comunità. Lo strato erbaceo è caratterizzato dalla predominanza delle specie caratteristiche di ordine superiore (*Senecionion fluviatilis*, *Convolvuletalia sepium* e *Galio-Urticetea*), le più frequenti risultano essere *Urtica dioica* e *Galium aparine*. In accordo con Tomaselli et al. (2003) si propone l'inquadramento di queste formazioni all'interno di un Fitocenon a *Rubus caesius* e *Amorpha fruticosa*.

Classe *Salicetea purpureae*

I boschi ripari della classe *Salicetea purpureae* raggruppano i nuclei arbustivi e arborei a predominanza di salici. La presenza di significative fluttuazioni della falda e di periodici eventi di sommersione del suolo,

alternati a fasi di relativo prosciugamento estivo, rappresentano i presupposti ecologici essenziali all'insediamento di queste fitocenosi. La diffusione dei salici e, in particolare, la loro potenzialità colonizzatrice nei contesti perifluviali è resa possibile dagli adattamenti morfologici e strutturali evoluti per limitare l'impatto degli eventi di piena e favorire una rapida rigenerazione delle strutture vegetative eventualmente danneggiate. Le formazioni a salici sono ricondotte in termini fitosociologici alla classe *Salicetea purpureae* a distribuzione euro-siberiana, costituita da un solo ordine (*Salicetalia purpureae*).



Figura 9A – immagini relative a cenosi di codice habitat 91E0 [(vale a dire i Foreste alluvionali di *Alnus glutinosa* e *Fraxinus excelsior* (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae)]; rilievi 1-5, 16-20.

L'ordine è suddiviso in due alleanze: il *Salicion eleagno-daphnoidis*, che comprende i saliceti arbustivi ripariali pionieri sui suoli alluvionali dei corsi d'acqua montani e collinari e il *Salicion albae*, cui sono compresi saliceti arborei e arbustivi chiusi, distribuiti lungo i corsi d'acqua delle pianure e del primo orizzonte collinare. Nell'ambito del tratto potamale del fiume Po è rappresentata solo quest'ultima alleanza, con un'unica associazione: il *Salicetum albae* (**Figura 9A**).

La comunità è dominata da individui di Salice bianco (*S. alba*) di altezza compresa tra i 25 e 30 m e presenta una copertura percentuale dello strato arboreo variabile tra il 35 e il 90%. Al di sotto della volta prolifera uno strato arbustivo (distinto tra alto e basso arbustivo), generalmente ben sviluppato, connotato dalla massiccia presenza di neofite, ad indicare un elevato grado di disturbo (ad esempio, *A. fruticosa*, *Sicyos angulatus*). Lo strato erbaceo, comprendente anche le forme arbustive inferiori ai 50 cm, è caratterizzato dalla dominanza di specie legnose estremamente nitrofile, quali *R. caesius* e *A. fruticosa*, in grado di

raggiungere elevati valori di copertura/abbondanza. L'analisi composizionale dei rilievi rivela la presenza di due tipologie all'interno dell'area di studio: le subassociazioni *typicum sensu* Šilc (2003) (**Allegato 1, Tabella C-1**), e la variante ruderale ad *A. fruticosa* (**Tabella C-2**). La subassociazione *typicum* presenta un sottobosco prevalentemente dominata da specie idro-igrofile e nitrofile tra le quali *P. arundinacea* rappresenta la specie guida (è considerata, infatti, specie differenziale di subassociazione congiuntamente a *Urtica dioica*).

I rimanenti rilievi non presentano significative similitudini con i tipi codificati in letteratura fitosociologica, e sono stati perciò ricondotti a una variante impoverita del *Salicetum albae*. Nello specifico, presenta una forma ruderale del saliceto bianco in cui mancano del tutto, infatti, gli elementi igrofilo e prevalgono le specie nitrofile, in particolare le lianose alloctone (*Humulus japonicus* e *S. angulatus*); la peculiarità di questi popolamenti è di presentare uno spesso strato arbustivo dominato da *A. fruticosa*, specie peraltro considerata di ordine (cfr. Oberdorfer, 2001).

INDICATORI E VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DEGLI HABITAT

A partire dalla composizione e struttura delle comunità rilevate, basandosi sulle indicazioni contenute nel documento "**Manuale Habitat-Lombardia⁵**", è stato possibile categorizzare le specie identificate in *taxa tipici dominanti* (per i soli saliceti bianchi) e/o **indicatori, significativi, esotici e nitrofilo**. In base alla loro dominanza in termini di copertura-abbondanza (%) o frequenza è stato poi possibile ottenere indicazioni sullo stato di conservazione degli habitat, come riportato in **Tabella 7**.

Per le comunità macrofitiche (di codice **3150**) gli indicatori determinati e utilizzati per caratterizzarne lo stato di qualità sono i seguenti: **Cop-tot** (copertura totale, idrofite [%]); **Dom-tip** (dominanza specie tipiche indicatrici [%]); **For-bio** (forme biologiche, idrofite [n.]); **Fre-tip** (frequenza specie tipiche indicatrici [%]); **Spe-sig** (specie significative (Allegati 92/43/CE, specie protette regionali, Liste Rosse, endemiche) [n.]); **Ind-deg** (indicatore di degrado, piante esotiche [%]); e **Ind-deg-dre** (indicatore di degrado, drenaggio [%]).

Per l'**habitat 3270** gli indicatori calcolati sono: **Dom-tip** (dominanza specie tipiche indicatrici [%]); **Cop-ter** (copertura totale, terofite [%]); **Fre-tip** (frequenza specie tipiche indicatrici [%]); **Spe-sig** (specie significative (Allegati 92/43/CE, specie protette regionali, Liste Rosse, endemiche)); **Ind-evo** (indicatore di evoluzione, alberi, arbusti e specie sciafile [%]); ed **Ind-deg** (indicatore di degrado, piante esotiche [%]).

Infine, per i saliceti bianchi (**91E0**) gli indicatori prescelti sono: **Cop-dom** (copertura specie tipiche dominanti, strato arboreo [%]); **Cop-ind** (copertura specie tipiche indicatrici, strato erbaceo [%]); **Fre-tip** (frequenza specie tipiche indicatrici nello strato erbaceo [%]); **Spe-sig** (specie significative (Allegati 92/43/CE, specie protette regionali, Liste Rosse ecc.) [n.]); **Ind-evo** (indicatore di evoluzione, rinnovazione specie arboree tipiche dominanti [n.]); **Ind-deg** (indicatori di degrado, piante esotiche [%]); e **Ind-eut** (Indicatori di eutrofizzazione, nitrofile nello strato erbaceo [%]).

⁵Accordo per l'attuazione del protocollo d'intesa tra Regione Lombardia e Fondazione Lombardia per l'Ambiente per supporto tecnico-scientifico alle attività dell'Osservatorio Regionale per la Biodiversità della Lombardia - Deliberazione n° X/5739 seduta del 24/10/2016

Tabella 7 – valutazioni sullo stato di conservazione degli habitat di interesse comunitario, relative alla struttura, funzioni e prospettive.

Indicatori	Struttura			Funzioni		Prospettive		
Habitat 3150	<i>Cop-tot</i>	<i>Dom-tip</i>	<i>For-bio</i>	<i>Fre-tip</i>	<i>Spe-sig</i>	<i>Ind-deg</i>	<i>Ind-deg-dre</i>	
3150-B	discreto	mediocre	discreto	discreto	mediocre	mediocre	ottimale	
3150-D	ottimale	discreto	discreto	discreto	discreto	ottimale	ottimale	
Habitat 3270	<i>Dom-tip</i>	<i>Cop-ter</i>		<i>Fre-tip</i>	<i>Spe-sig</i>	<i>Ind-evo</i>	<i>Ind-deg</i>	
	discreto	ottimale		discreto	mediocre	discreto	mediocre	
Habitat 91E0	<i>Cop-dom</i>	<i>Cop-ind</i>		<i>Fre-tip</i>	<i>Spe-sig</i>	<i>Ind-evo</i>	<i>Ind-deg</i>	<i>Ind-eut</i>
forma tipica	discreto	discreto		discreto	mediocre	discreto	mediocre	discreto
variante ruderale	mediocre	discreto		mediocre	mediocre	mediocre	mediocre	mediocre

In sintesi, per le comunità acquatiche, ricondotte ai tipi **3150-B** (le cenosi a *S. pectinata*, ascritte ai potameti) e **3150-D** (le cenosi a *C. demersum*, ascritte alle comunità pleustofitiche mesotrofiche), i risultati indicano, rispettivamente, una prevalenza di status non buono per la prima categoria (3150-B; 3 giudizi mediocre + 3 discreto e un solo giudizio ottimale) e discreto per la seconda (3150-D; 4 giudizi discreto, 3 ottimale). In particolar modo, le cenosi a Brasca di palude risultano in stato mediocre in termini di “dominanza specie tipiche indicatrici”, per l’assenza di specie di particolare interesse conservazionistico e per la presenza di specie esotiche. Le comunità a Ceratofillo comune, invece, mostrano un giudizio ottimale per i descrittori: “copertura totale, idrofite” e per i due indicatori di “Prospettive”.

Le formazioni annuali di greto di codice **3270** mostrano uno stato complessivo di conservazione prevalentemente “**discreto**” (3 giudizi discreti su 6), un giudizio che media valutazioni singole molto discordanti tra loro (nel *range* mediocre-ottimale). La valutazione ottimale è motivata, molto probabilmente, dalla natura instabile ed effimera dei mesohabitat colonizzati, condizione che determina all’interno delle vegetazioni rilevate la presenza quasi esclusiva (e attesa) di piante annuali. Ne consegue un giudizio molto positivo per quanto riguarda la copertura complessiva delle terofite (*Cop-ter*) e una valutazione “discreta” per il secondo indicatore di struttura *Dom-tip* (dominanza specie indicatrici). Risultano discreti anche gli indicatori di “frequenza delle specie tipiche indicatrici” (*Fre-tip*) e di evoluzione (*Ind-evo*). Sono stati, invece, valutati come mediocri gli indicatori: “*Spe-sig*”, nessuna specie significativa è presente nelle comunità rilevate, e “*Ind-deg*”, vale a dire che le comunità sono dominate da specie indicatrici di degrado, vale a dire **specie esotiche**.

I saliceti bianchi (codice habitat **91E0**) mostrano, invece, una valutazione nel complesso di qualità inferiore. Le forme tipiche risultano essere complessivamente in uno stato discreto (5 giudizi discreti su 7), con due giudizi mediocri in relazione agli indicatori “*Spe-sig*” (nessuna specie significativa è presente nelle comunità rilevate) e “*Ind-deg*” (vale a dire che le comunità sono dominate da specie indicatrici di degrado, vale a dire le **specie esotiche**). La variante ruderale a dominanza di *A. fruticosa*, che è la forma più diffusa, ha una predominanza di indicatori in stato “mediocre” (6 giudizi mediocre su 7). **Nel suo insieme, lo stato di conservazione degli habitat non è ideale – si allontana significativamente dai valori attesi.**

CARTA DEGLI HABITAT

Le analisi composizionali e strutturali della vegetazione sono state integrate attraverso la redazione di una cartografia di dettaglio degli habitat (**Figura 9B**; un inquadramento generale + tre stralci della carta degli habitat) che identifica le unità di habitat fondamentali dell'area di studio. Analoga caratterizzazione sarà replicata nel corso del 2026 per poter misurare le dinamiche in atto localmente a seguito dell'abbassamento del pennello di navigazione.

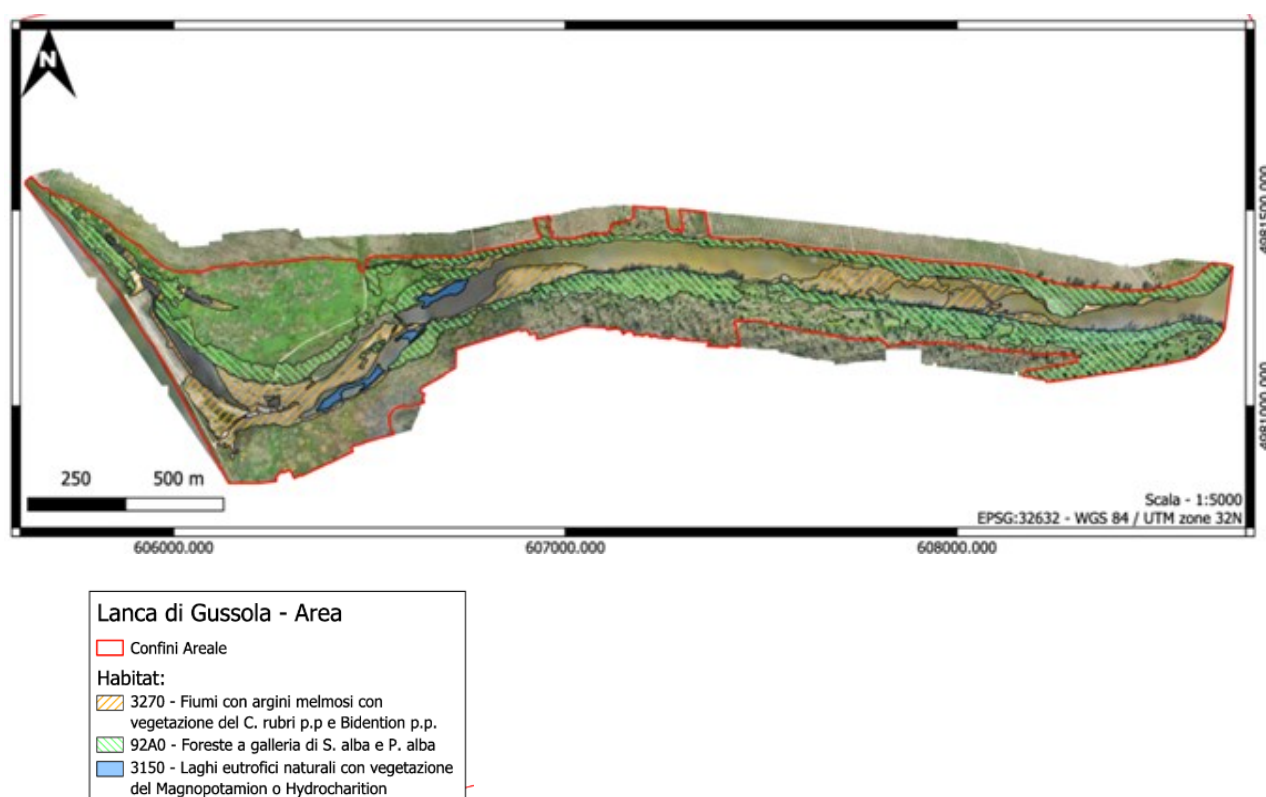


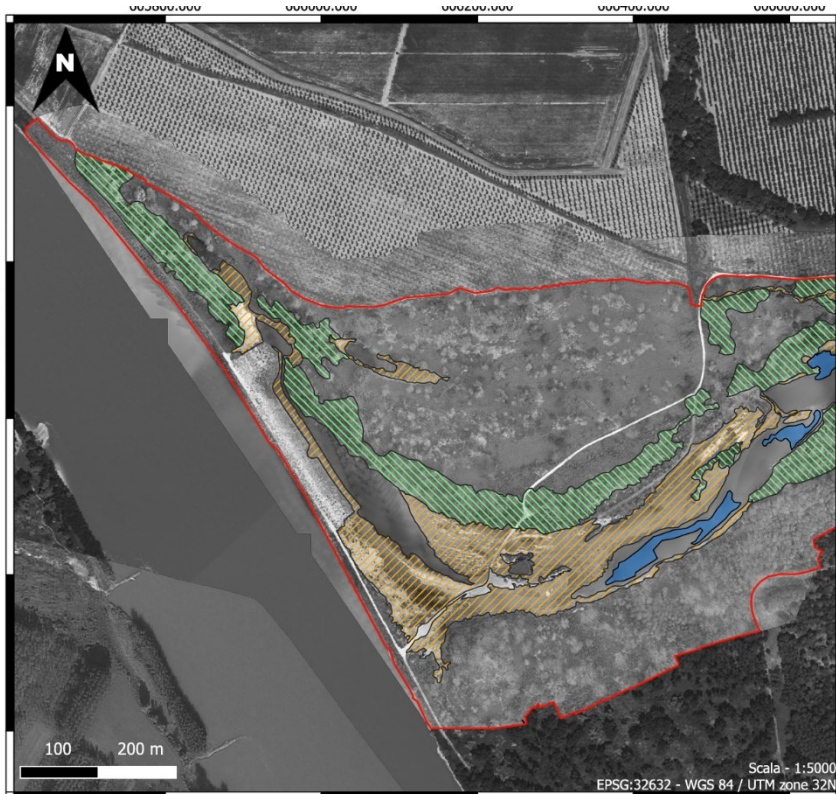
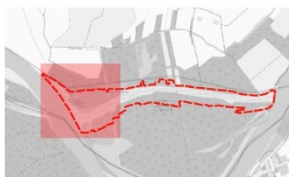
Figura 9B – Inquadramento generale della cartografia della lanca – seguita da tre stralci della stessa – con focus sugli habitat di interesse conservazionistico (3150, 3270, e 92A0).

Lanca di Gussola - Area 1

Confini Areele

Habitat:

- 3270 - Fiumi con argini melmosi con vegetazione del C. rubri p.p e Bidenton p.p.
- 92A0 - Foreste a galleria di S. alba e P. alba
- 3150 - Laghi eutrofici naturali con vegetazione del Magnopotamion o Hydrocharition

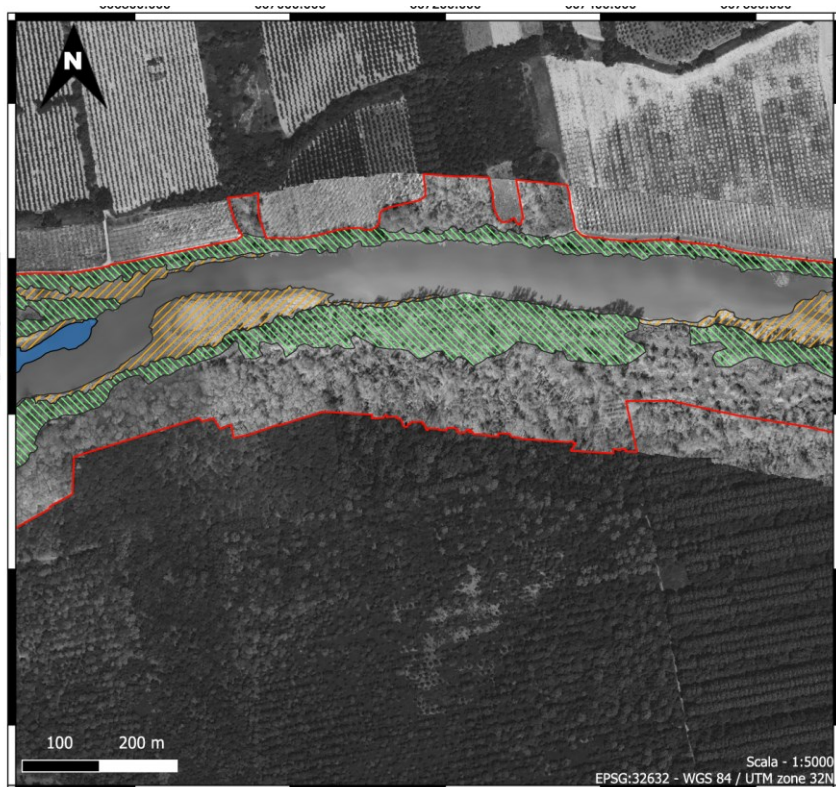
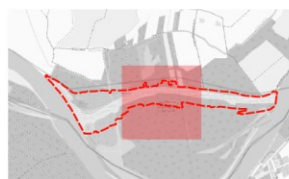


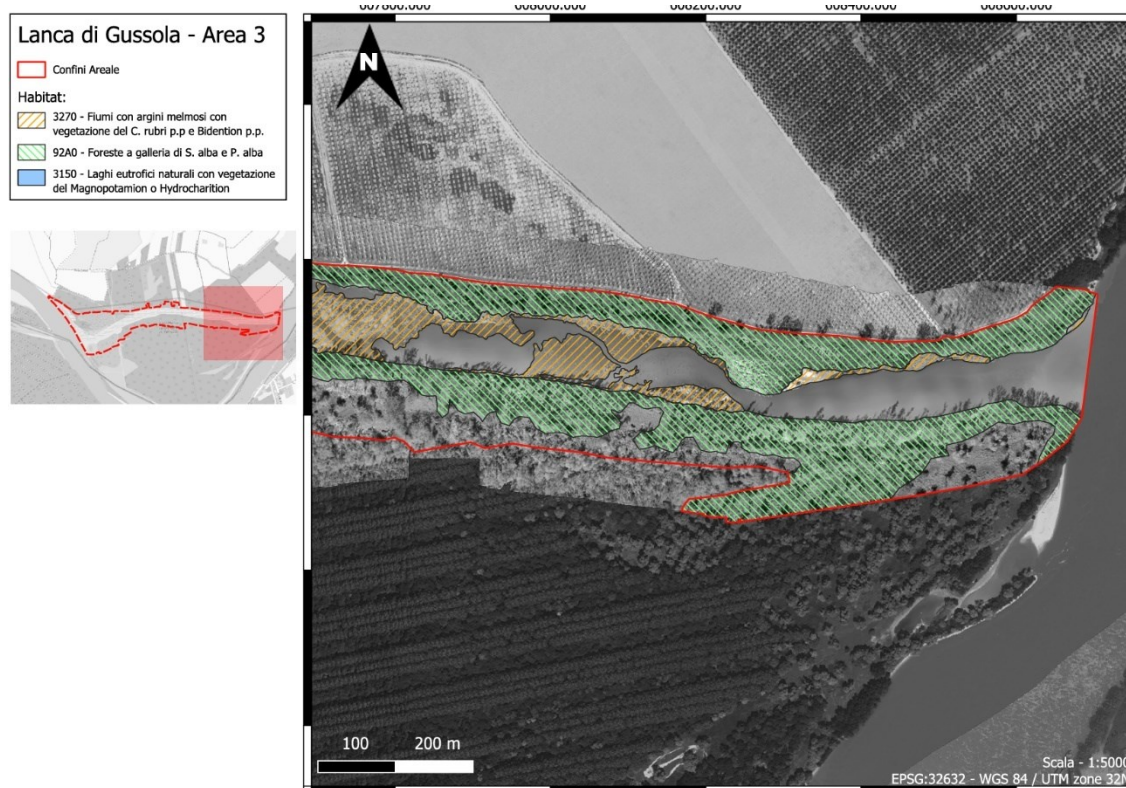
Lanca di Gussola - Area 2

Confini Areele

Habitat:

- 3270 - Fiumi con argini melmosi con vegetazione del C. rubri p.p e Bidenton p.p.
- 92A0 - Foreste a galleria di S. alba e P. alba
- 3150 - Laghi eutrofici naturali con vegetazione del Magnopotamion o Hydrocharition





Sotto-attività 1e: monitoraggio della comunità ornitica

SPECIE OGGETTO DEL MONITORAGGIO

L'attività di monitoraggio della componente ornitica è stata calibrata al fine di identificare gli effetti degli interventi sulle specie che in modo diretto o indiretto risultano legate al sistema della lanca e quindi alla presenza dell'acqua come elemento fondamentale per le principali fasi del ciclo biologico (alimentazione, nidificazione, riposo, ecc.), di seguito indicate come "**specie di interesse**". Nel corso dei censimenti, tuttavia, oltre alle specie di interesse sono state monitorate anche tutte le altre specie contattate, sia visivamente che al canto.

PERIODI E FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO

L'attività di censimento è stata svolta nella fase ante-opera (AO) (settembre 2021 – giugno 2022) e in quella post-intervento (PI) (settembre 2023 – giugno 2024) con le medesime modalità: per ciascuna fase sono state condotte tre campagne di monitoraggio, per un numero complessivo di 14 uscite per ogni campagna: 3 sono state condotte tra dicembre e gennaio allo scopo di monitorare le specie svernanti; 5 uscite sono state condotte tra aprile e giugno per la caratterizzazione delle specie nidificanti, mentre 10 uscite distribuite nei mesi di marzo, aprile, maggio, settembre e ottobre sono state dedicate alle specie migratrici (**Tabella 8**).

Le uscite, la cui durata è risultata compresa tra circa 2 e 4 ore, a seconda dei periodi dell'anno, sono state condotte sempre con condizioni meteorologiche favorevoli e quindi solo in presenza di buona visibilità, assenza di precipitazioni e di vento forte e in orari della giornata variabili, ma generalmente concentrati nelle prime ore del mattino e nelle ultime del pomeriggio. Le condizioni meteo di ciascuna uscita sono state in ogni caso annotate, così come l'intensità e le tipologie di disturbo antropico presenti al momento del censimento (ad es. presenza di imbarcazioni, fuoristrada, cacciatori). Per ogni uscita sono state annotate anche il livello idrometrico dell'acqua nella lanca e l'abbondanza di superfici esposte, potenzialmente di interesse per l'avifauna acquatica.

METODOLOGIA DI RIFERIMENTO

I censimenti sono stati eseguiti percorrendo a piedi in un senso e successivamente nel senso opposto (mantenendo lo stesso ordine per tutte le uscite) l'intera sponda della lanca posta sulla sinistra idrografica. Il transetto percorso, della lunghezza complessiva (andata + ritorno) di circa 6000 m, ha consentito di intercettare la totalità degli habitat presenti nei dintorni della lanca: la porzione acquatica vera e propria e le eventuali formazioni sabbioso-limose esposte presenti, la fascia ripariale e gli habitat limitrofi tra cui pioppeti coltivati di varia età, incolti, porzioni di bosco naturale e le aree con vegetazione erbacea e arbustiva, mista ad alberi sparsi, presenti nella porzione più occidentale dell'area (**Figura 10**).

Tabella 8 – Schema dell'attività di monitoraggio nelle fasi ante-opera e post-intervento, con indicati gli orari dei censimenti, le categorie di specie target e le condizioni meteo al momento del censimento.

fase	data	censimento		specie target			condizioni meteo		
		ora inizio	ora fine	nidifianti	svernanti	migratori	condizioni cielo	vento	visibilità
Ante-opera	05/09/2021	07:30	11:00			x	sereno	assente	ottima
	28/09/2021	07:20	11:00			x	poco nuvoloso	assente	ottima
	12/10/2021	07:50	11:45			x	poco nuvoloso	assente	ottima
	30/10/2021	11:30	14:15			x	parzialente nuvoloso	assente-moderato	buona
	21/12/2021	14:00	17:00		x		nuvoloso	assente	buona
	12/01/2022	14:00	17:00		x		sereno	assente	ottima
	04/02/2022	14:45	17:30		x		nuvoloso	assente	ottima
	13/03/2022	11:30	15:00			x	sereno	debole	ottima
	01/04/2022	13:50	17:00	x		x	nuvoloso	debole	buona
	10/04/2022	09:15	12:15	x		x	sereno	debole	ottima
	24/04/2022	15:30	18:30	x		x	parzialente nuvoloso	assente-moderato	ottima
	10/05/2022	10:30	13:00	x		x	sereno	assente-moderato	ottima
	25/05/2022	08:00	12:00	x		x	sereno	assente-moderato	ottima
	15/06/2022	17:15	19:30	x			sereno	assente-moderato	ottima
Post-intervento	11/09/2023	15:15	18:35			x	sereno	assente	ottima
	20/09/2023	10:00	12:45			x	parzialente nuvoloso	assente	ottima
	10/10/2023	09:00	12:30			x	parzialente nuvoloso	assente	ottima
	23/10/2023	15:00	18:20			x	sereno	moderato	ottima
	20/12/2023	09:50	12:00		x		coperto	assente	buona
	17/01/2024	14:30	17:00		x		coperto	assente	buona
	07/02/2024	14:00	17:00		x		nuvoloso	assente	ottima
	07/03/2024	09:30	12:00			x	poco nuvoloso	assente	ottima
	29/03/2024	10:00	13:30	x		x	nuvoloso	assente	ottima
	17/04/2024	08:30	11:50	x		x	nuvoloso	assente	buona
	29/04/2024	09:30	12:45	x		x	poco nuvoloso	assente	ottima
	12/05/2024	15:30	18:15	x		x	sereno	assente	ottima
	30/05/2024	09:15	12:20	x		x	poco nuvoloso	assente	ottima
	10/06/2024	14:20	18:10	x			variabile	moderato	ottima

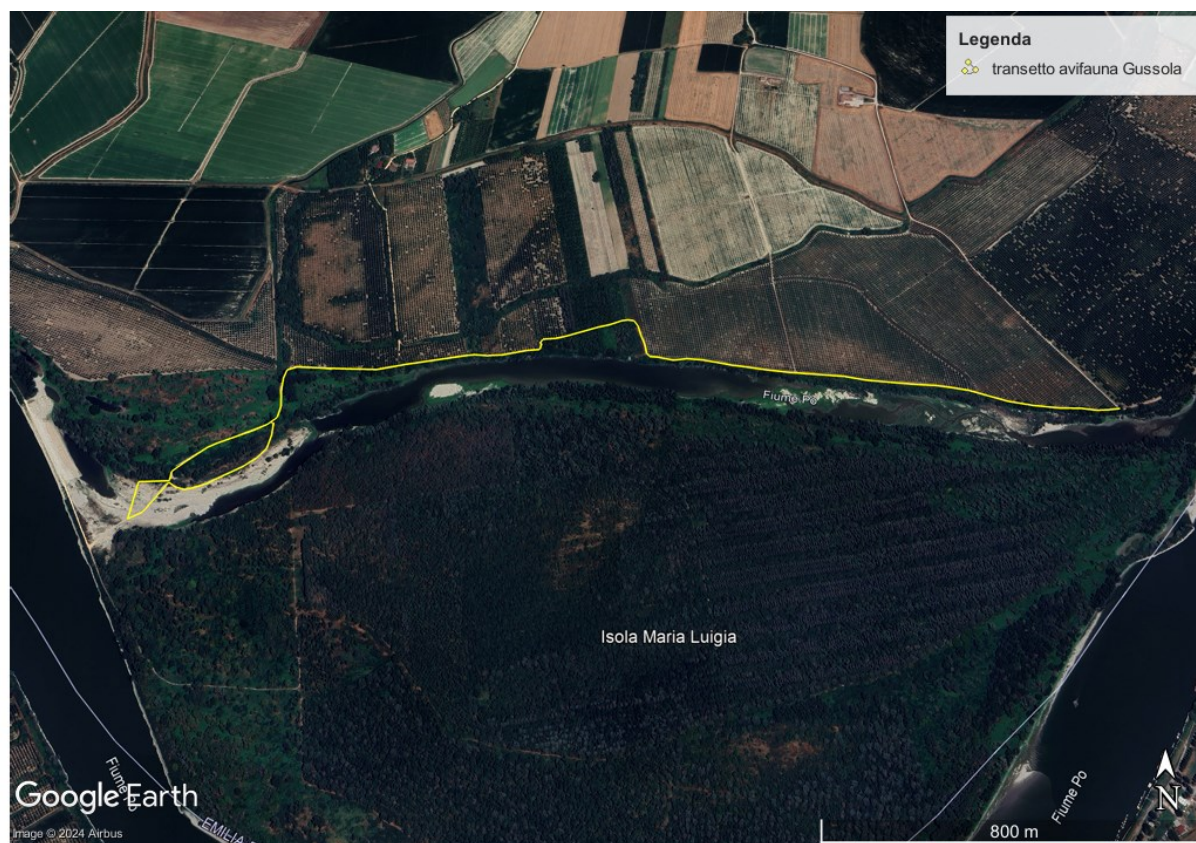


Figura 10 – Area di studio con indicato (in giallo) il transetto percorso nel corso di ogni uscita per il monitoraggio della componente omica.

Il transetto è stato percorso ad una velocità media compresa tra 25 e 50 m al minuto, con soste frequenti, di durata variabile, nei punti che consentivano di avere una buona visuale sul corpo d'acqua. Lo sforzo di campionamento dedicato alla fase AO è risultato confrontabile con quello della fase PI, ammontando complessivamente a 44:00 ore e a 42:50 ore, rispettivamente. Per ognuna delle specie di interesse, contattate visivamente o al canto, sono stati annotati il numero di individui osservati (per le altre specie è stata invece rilevata soltanto la presenza) e l'attività, distinguendo tra alimentazione, riposo e volo di spostamento. Questo allo scopo di distinguere le specie che mostrano un alto livello di interazione con gli habitat presenti nell'area, da quelle che, invece, pur essendo state contattate nell'area di studio, presentano scarsa o nulla interazione con gli habitat dell'area stessa. Ad esempio, l'osservazione di un individuo in alimentazione o riposo, è stato considerato indice di alta interazione con gli habitat dell'area, mentre nel caso di soggetti osservati in volo, il livello di interazione con l'habitat è stato considerato scarso o nullo, in funzione delle condizioni di osservazione. Ad esempio, per un soggetto osservato in volo di spostamento a notevole quota da terra il livello di interazione è stato considerato nullo; scarso, invece, nel caso di un soggetto in volo di spostamento a più bassa quota. Va sottolineato, tuttavia, che queste distinzioni sono state fatte tenendo conto delle caratteristiche comportamentali di ogni singola specie, con particolare attenzione per quelle che, ad esempio, esercitano la propria attività alimentare in volo. Per la sistematica e

la nomenclatura è stato fatto riferimento alla Lista CISO-COI 2020 degli uccelli italiani (Baccetti N., Fracasso N. & C.O.I., 2021).

RISULTATI

L'avifauna dell'area di studio

Nel corso dell'intera campagna di monitoraggio sono state contattate complessivamente **104 specie**, di cui **38** sono quelle considerate di interesse (**Tabella 9**). L'analisi della frequenza di osservazione della totalità delle specie censite, indica che circa un terzo delle specie è stato osservato in più del 30% dei censimenti eseguiti, mentre quasi il 40% delle specie contattate è stato osservato con una frequenza inferiore al 10% (**Tabella 10**). Il numero minimo di specie censite nel corso delle uscite è risultato di 22 e il massimo di 41, con una media pari a quasi 31 specie per ogni uscita.

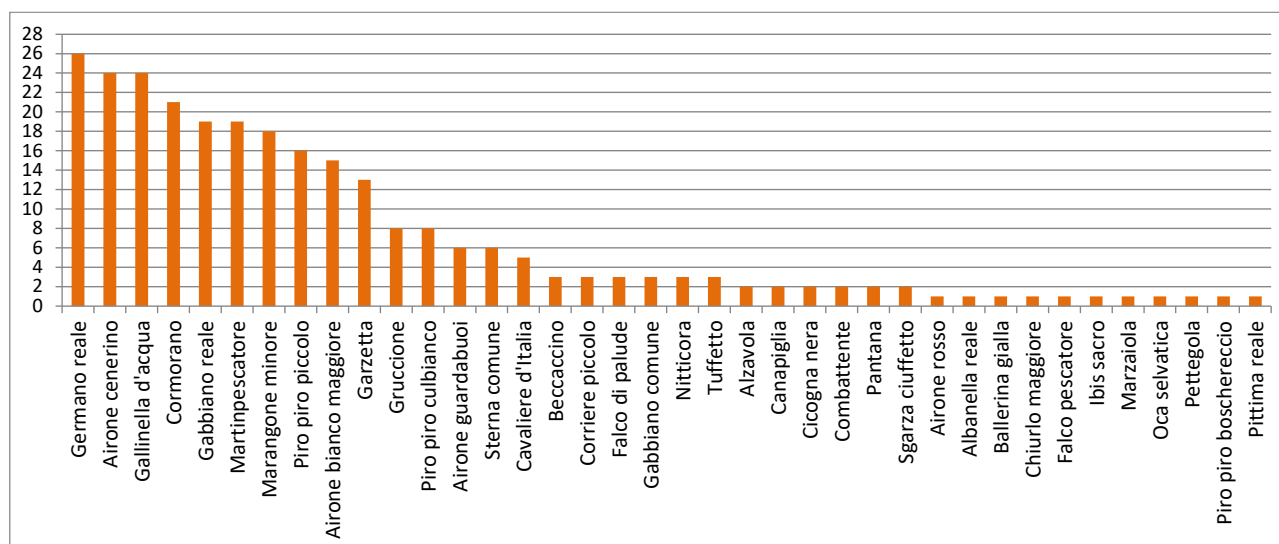
Anche il numero di specie di interesse contattate nel corso dei censimenti è risultato relativamente variabile e compreso tra un minimo di 5 e un massimo di 15 specie, con una media per uscita di quasi 10 specie. Tra le specie di interesse, soltanto 10 sono state contattate con una frequenza superiore al 30%, mentre quasi la metà (17) sono state osservate meno di 3 volte nel corso dell'intero periodo di monitoraggio (**Figura 11**). Tra queste, Chiurlo maggiore e Oca selvatica, sono state inoltre osservate unicamente in volo di spostamento al disopra della lanca, quindi non in interazione con gli habitat presenti nell'area di studio. Mentre tutte le altre specie di interesse sono state osservate anche in attività di alimentazione o di riposo, indicando quindi un'alta interazione con gli habitat dell'area di studio.

Tabella 9 – Elenco in ordine sistematico dell'insieme delle specie censite nel corso dell'intero periodo di monitoraggio, con indicate le specie che sono state considerate di interesse.

nome comune	nome scientifico	specie di interesse	nome comune	nome scientifico	specie di interesse	nome comune	nome scientifico	specie di interesse
Fagiano comune	<i>Phasianus colchicus</i>		Piro piro boscareccio	<i>Tringa glareola</i>	x	Rondine	<i>Hirundo rustica</i>	
Oca selvatica	<i>Anser anser</i>	x	Gabbiano comune	<i>Larus ridibundus</i>	x	Lul grosso	<i>Phylloscopus trochilus</i>	
Marzaiola	<i>Spatula querquedula</i>	x	Gabbiano reale	<i>Larus michahellis</i>	x	Lul piccolo	<i>Phylloscopus collybita</i>	
Canapiglia	<i>Mareca strepera</i>	x	Sterna comune	<i>Sterna hirundo</i>	x	Codibugnolo	<i>Aegithalos caudatus</i>	
Germano reale	<i>Anas platyrhynchos</i>	x	Civetta	<i>Athene noctua</i>		Capinera	<i>Sylvia atricapilla</i>	
Alzavola	<i>Anas crecca</i>	x	Allocco	<i>Strix aluco</i>		Beccafico	<i>Sylvia borin</i>	
Tuffetto	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	x	Falco pescatore	<i>Pandion haliaetus</i>	x	Sterpazzola	<i>Sylvia communis</i>	
Colombaccio	<i>Columba palumbus</i>		Falco pecchiaiolo	<i>Pernis apivorus</i>		Rampichino comune	<i>Certhia brachydactyla</i>	
Tortora selvatica	<i>Streptopelia turtur</i>		Falco di palude	<i>Circus aeruginosus</i>	x	Scricciolo	<i>Tragolodytes tragolodytes</i>	
Tortora dal collare	<i>Streptopelia decaocto</i>		Albanella reale	<i>Circus cyaneus</i>	x	Sturno	<i>Sturnus vulgaris</i>	
Rondone comune	<i>Apus apus</i>		Albanella minore	<i>Circus pygargus</i>		Tordo bottaccio	<i>Turdus philomelos</i>	
Cuculo	<i>Cuculus canorus</i>		Sparviere	<i>Accipiter nisus</i>		Merlo	<i>Turdus merula</i>	
Gallinella d'acqua	<i>Gallinula chloropus</i>	x	Nibbio reale	<i>Milvus milvus</i>		Cesena	<i>Turdus pilaris</i>	
Gru	<i>Grus grus</i>		Nibbio bruno	<i>Milvus migrans</i>		Pigliamosche	<i>Muscicapa striata</i>	
Cicogna nera	<i>Ciconia nigra</i>	x	Poiana	<i>Buteo buteo</i>		Pettiroso	<i>Erithacus rubecula</i>	
Ibis sacro	<i>Threskiornis aethiopicus</i>	x	Gruccione	<i>Merops apiaster</i>	x	Usgnolo	<i>Luscinia megarhynchos</i>	
Nitticora	<i>Nycticorax nycticorax</i>	x	Martin pescatore	<i>Alcedo atthis</i>	x	Balia nera	<i>Ficedula hypoleuca</i>	
Sgarza ciuffetto	<i>Ardeola rallioides</i>	x	Picchio verde	<i>Picus viridis</i>		Codirosso spazzacamino	<i>Phoenicurus ochruros</i>	
Airone guardabuoi	<i>Butor ibis</i>	x	Picchio rosso minore	<i>Dryobates minor</i>		Saltimpalo	<i>Saxicola torquatus</i>	
Airone cenerino	<i>Ardea cinerea</i>	x	Picchio rosso maggiore	<i>Dendrocopos major</i>		Regolo	<i>Regulus regulus</i>	
Airone rosso	<i>Ardea purpurea</i>	x	Gheppio	<i>Falco tinnunculus</i>		Fiorrancino	<i>Regulus ignicapilla</i>	
Airone bianco maggiore	<i>Ardea alba</i>	x	Lodolaio	<i>Falco subbuteo</i>		Passera scopaiaola	<i>Prunella modularis</i>	
Garzetta	<i>Egretta garzetta</i>	x	Rigoglio	<i>Oriolus oriolus</i>		Passera mattugia	<i>Passer montanus</i>	
Marangone minore	<i>Microcarbo pygmaeus</i>	x	Averla piccola	<i>Lanius collurio</i>		Prispolone	<i>Anthus trivialis</i>	
Cormorano	<i>Phalacrocorax carbo</i>	x	Ghiandaia	<i>Garrulus glandarius</i>		Pispola	<i>Anthus pratensis</i>	
Cavaliere d'Italia	<i>Himantopus himantopus</i>	x	Gazza	<i>Pica pica</i>		Cutrettola	<i>Motacilla flava</i>	
Corriere piccolo	<i>Charadrius dubius</i>	x	Taccola	<i>Corvus monedula</i>		Ballerina gialla	<i>Motacilla cinerea</i>	x
Chiurlo maggiore	<i>Numenius arquata</i>	x	Cornacchia grigia	<i>Corvus corone cornix</i>		Ballerina bianca	<i>Motacilla alba</i>	
Pittima reale	<i>Limosa limosa</i>	x	Cinciarella	<i>Cyanistes caeruleus</i>		Fringuello	<i>Fringilla coelebs</i>	
Combattente	<i>Calidris pugnax</i>	x	Cinciallegria	<i>Parus major</i>		Frosone	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	
Beccaccino	<i>Gallinago gallinago</i>	x	Tottavilla	<i>Lullula arborea</i>		Verdone	<i>Chloris chloris</i>	
Piro piro piccolo	<i>Actitis hypoleucos</i>	x	Allodola	<i>Alauda arvensis</i>		Cardellino	<i>Carduelis carduelis</i>	
Piro piro culbianco	<i>Tringa ochropus</i>	x	Canapino comune	<i>Hippolais polyglotta</i>		Lucherino	<i>Spinus spinus</i>	
Pantana	<i>Tringa nebularia</i>	x	Cannaiaola verdognola	<i>Acrocephalus palustris</i>		Migliarino di palude	<i>Emberiza schoeniclus</i>	
Pettegola	<i>Tringa totanus</i>	x	Balestruccio	<i>Delichon urbicum</i>				

Tabella 10 – Frequenza di osservazione (rispetto a 28 uscite complessive) delle specie censite nel corso dell'attività di monitoraggio.

nome comune	nome scientifico	frequenza di osservazione	nome comune	nome scientifico	frequenza di osservazione	nome comune	nome scientifico	frequenza di osservazione
Cinciallegria	<i>Parus major</i>	28	Cutrettola	<i>Motacilla flava</i>	8	Combattente	<i>Calidris pugnax</i>	2
Cornacchia grigia	<i>Corvus corone cornix</i>	28	Gruccione	<i>Merops apiaster</i>	8	Gazza	<i>Pica pica</i>	2
Merlo	<i>Turdus merula</i>	27	Piro piro culbianco	<i>Tringa ochropus</i>	8	Migliarino di palude	<i>Emberiza schoeniclus</i>	2
Picchio rosso maggiore	<i>Dendrocopos major</i>	27	Tortora selvatica	<i>Streptopelia turtur</i>	8	Pantana	<i>Tringa nebularia</i>	2
Fringuello	<i>Fringilla coelebs</i>	26	Lucherino	<i>Spinus spinus</i>	7	Passera mattugia	<i>Passer montanus</i>	2
Germano reale	<i>Anas platyrhynchos</i>	26	Nibbio bruno	<i>Milvus migrans</i>	7	Sgarza ciuffetto	<i>Ardeola rallioides</i>	2
Picchio verde	<i>Picus viridis</i>	25	Rondine	<i>Hirundo rustica</i>	7	Verdone	<i>Chloris chloris</i>	2
Poiana	<i>Buteo buteo</i>	25	Airone guardabuoi	<i>Bubulcus ibis</i>	6	Airone rosso	<i>Ardea purpurea</i>	1
Airone cenerino	<i>Ardea cinerea</i>	24	Lodolaio	<i>Falco subbuteo</i>	6	Albanella minore	<i>Circus pygargus</i>	1
Colombaccio	<i>Columba palumbus</i>	24	Rigogolo	<i>Oriolus oriolus</i>	6	Allocco	<i>Strix aluco</i>	1
Gallinella d'acqua	<i>Gallinula chloropus</i>	24	Sterna comune	<i>Sterna hirundo</i>	6	Averla piccola	<i>Lanius collurio</i>	1
Sturno	<i>Sturnus vulgaris</i>	23	Cavaliere d'Italia	<i>Himantopus himantopus</i>	5	Balestruccio	<i>Delichon urbicum</i>	1
Cinciarella	<i>Cyanistes caeruleus</i>	22	Rampichino comune	<i>Certhia brachydactyla</i>	5	Balia nera	<i>Ficedula hypoleuca</i>	1
Codibugnolo	<i>Aegithalos caudatus</i>	22	Regolo	<i>Regulus regulus</i>	5	Ballerina bianca	<i>Motacilla alba</i>	1
Cormorano	<i>Phalacrocorax carbo</i>	21	Allodola	<i>Alauda arvensis</i>	4	Canapino comune	<i>Hippolais polyglotta</i>	1
Fagiano comune	<i>Phasianus colchicus</i>	21	Pigliamosche	<i>Muscicapa striata</i>	4	Chiurlo maggiore	<i>Numenius arquata</i>	1
Ghiandaia	<i>Garrulus glandarius</i>	21	Albanella reale	<i>Circus cyaneus</i>	3	Civetta	<i>Athene noctua</i>	1
Capinera	<i>Sylvia atricapilla</i>	20	Beccaccino	<i>Gallinago gallinago</i>	3	Codirosso spazzacamino	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	1
Gabbiano reale	<i>Larus michahellis</i>	19	Cesena	<i>Turdus pilaris</i>	3	Falco pecchiaiolo	<i>Pernis ptilorhynchus</i>	1
Martinpescatore	<i>Alcedo atthis</i>	19	Corriere piccolo	<i>Charadrius dubius</i>	3	Falco pescatore	<i>Pandion haliaetus</i>	1
Marangone minore	<i>Microcarbo pygmaeus</i>	18	Falco di palude	<i>Circus aeruginosus</i>	3	Frosone	<i>Coccyzus erythrophthalmus</i>	1
Piro piro piccolo	<i>Actitis hypoleucos</i>	16	Fierrancino	<i>Regulus ignicapilla</i>	3	Gru	<i>Grus grus</i>	1
Scricciolo	<i>Troglodytes troglodytes</i>	16	Gabbiano comune	<i>Larus ridibundus</i>	3	Ibis sacro	<i>Threskiornis aethiopicus</i>	1
Airone bianco maggiore	<i>Ardea alba</i>	15	Lui grosso	<i>Phylloscopus trochilus</i>	3	Marzaiola	<i>Spatula querquedula</i>	1
Lui piccolo	<i>Phylloscopus collybita</i>	15	Nitticora	<i>Nycticorax nycticorax</i>	3	Nibbio reale	<i>Milvus milvus</i>	1
Gheppio	<i>Falco tinnunculus</i>	14	Rondone comune	<i>Apus apus</i>	3	Oca selvatica	<i>Anser anser</i>	1
Pettiroso	<i>Erithacus rubecula</i>	14	Taccola	<i>Corvus monedula</i>	3	Pettegola	<i>Tringa tatanus</i>	1
Picchio rosso minore	<i>Dryobates minor</i>	14	Tordo bottaccio	<i>Turdus philomelos</i>	3	Piro piro boschereccio	<i>Tringa glareola</i>	1
Garzetta	<i>Egretta garzetta</i>	13	Tuffetto	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	3	Pispola	<i>Anthus pratensis</i>	1
Cardellino	<i>Carduelis carduelis</i>	12	Alzavola	<i>Anas crecca</i>	2	Pittima reale	<i>Limosa limosa</i>	1
Usignolo	<i>Luscinia megarhynchos</i>	11	Ballerina gialla	<i>Motacilla cinerea</i>	2	Prispolone	<i>Anthus trivialis</i>	1
Cuculo	<i>Cuculus canorus</i>	10	Beccafico	<i>Sylvia borin</i>	2	Saltimpalo	<i>Saxicola torquatus</i>	1
Spaviere	<i>Accipiter nisus</i>	10	Canapiglia	<i>Mareca strepera</i>	2	Tortora dal collare	<i>Streptopelia decaocto</i>	1
Passera scopaiola	<i>Prunella modularis</i>	9	Cannaia verdognola	<i>Acrocephalus palustris</i>	2	Tottavilla	<i>Lullula arborea</i>	1
Sterpazzola	<i>Sylvia communis</i>	9	Cicogna nera	<i>Ciconia nigra</i>	2			


Figura 11 – Frequenza di osservazione (su 28 uscite complessive) delle specie ornitiche di interesse contattate nel corso dell'intero periodo di monitoraggio.

Tra le specie osservate, 22 sono quelle elencate nell'Allegato I della Direttiva Uccelli e tra queste, 15 sono quelle considerate tra le specie di interesse per il presente studio (**Tabella 11**).

Tabella 11 – elenco in ordine sistematico delle specie osservate elencate nell'Allegato I della Direttiva Uccelli (2009/147/CE), con indicate quelle considerate di interesse per il presente studio.

nome comune	nome scientifico	specie di interesse
Gru	<i>Grus grus</i>	
Cicogna nera	<i>Ciconia nigra</i>	x
Nitticora	<i>Nycticorax nycticorax</i>	x
Sgarza ciuffetto	<i>Ardeola ralloides</i>	x
Airone rosso	<i>Ardea purpurea</i>	x
Airone bianco maggiore	<i>Ardea alba</i>	x
Garzetta	<i>Egretta garzetta</i>	x
Marangone minore	<i>Microcarbo pygmaeus</i>	x
Cavaliere d'Italia	<i>Himantopus himantopus</i>	x
Combattente	<i>Calidris pugnax</i>	x
Piro piro boschereccio	<i>Tringa glareola</i>	x
Sterna comune	<i>Sterna hirundo</i>	x
Falco pescatore	<i>Pandion haliaetus</i>	x
Falco pecchiaiolo	<i>Pernis apivorus</i>	
Falco di palude	<i>Circus aeruginosus</i>	x
Albanella reale	<i>Circus cyaneus</i>	x
Albanella minore	<i>Circus pygargus</i>	
Nibbio reale	<i>Milvus milvus</i>	
Nibbio bruno	<i>Milvus migrans</i>	
Martin pescatore	<i>Alcedo atthis</i>	x
Averla piccola	<i>Lanius collurio</i>	
Tottavilla	<i>Lullula arborea</i>	

Fase ante-opera e post-intervento

In **Tabella 12** viene riportato l'elenco e la frequenza di osservazione (su 14 uscite complessive per ogni fase) delle specie contattate nel corso dei monitoraggi AO e PI. Nella fase AO sono state contattate complessivamente 91 specie, di cui 33 di interesse; mentre nella fase PI sono state contattate 76 specie, di cui 24 di interesse. La frequenza di osservazione per le sole specie di interesse è riportata nei grafici di **Figura 12**; le specie che sono state contattate con una frequenza superiore al 25% (almeno 4 uscite su 14) sono risultate 13 nella fase AO e 12 in quella PI, con 11 di queste specie in comune alle due fasi di monitoraggio (in ordine alfabetico: Airone bianco maggiore, Airone cenerino, Cormorano, Gabbiano reale, Gallinella d'acqua, Garzetta, Germano reale, Gruccione, Marangone minore, Martin pescatore e Piro piro piccolo). Considerando invece il numero di individui, nella fase AO la sola specie Germano reale contribuisce per oltre il 22% alla somma dei soggetti osservati e sole 5 specie (Germano reale, Cormorano, Gallinella d'acqua, Airone cenerino e Airone bianco maggiore) costituiscono quasi il 60% dei soggetti contattati. Nella fase PI, 3 specie (Cormorano, Germano reale, Marangone minore) contribuiscono per quasi il 50% al totale dei soggetti osservati e altre 4 specie (Gabbiano reale, Gallinella d'acqua, Airone cenerino, Airone guardabuoi) per un ulteriore 28% (**Figura 13**).

Tabella 12 – elenco e frequenza di osservazione (su 14 uscite complessive) delle specie contattate nella fase ante-opera (AO) e post-intervento (PI).

nome comune	nome scientifico	AO	PI	nome comune	nome scientifico	AO	PI	nome comune	nome scientifico	AO	PI
Fagiano comune	<i>Phasianus colchicus</i>	12	9	Piro piro boscareccio	<i>Tringa glareola</i>	1		Rondine	<i>Hirundo rustica</i>	4	3
Oca selvatica	<i>Anser anser</i>		1	Gabbiano comune	<i>Larus ridibundus</i>	2	1	Lui grosso	<i>Phylloscopus trochilus</i>	2	1
Marzaiola	<i>Spatula querquedula</i>	1		Gabbiano reale	<i>Larus michahellis</i>	8	11	Lui piccolo	<i>Phylloscopus collybita</i>	8	7
Canapiglia	<i>Mareca strepera</i>	2		Sterna comune	<i>Sterna hirundo</i>	3	3	Codibugnolo	<i>Aegithalos caudatus</i>	12	1
Germano reale	<i>Anas platyrhynchos</i>	13	13	Civetta	<i>Athene noctua</i>	1		Capinera	<i>Sylvia atricapilla</i>	1	1
Alzavola	<i>Anas crecca</i>	2		Allocco	<i>Strix aluco</i>	1		Beccafico	<i>Sylvia borin</i>	1	1
Tuffetto	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	1	2	Falco pescatore	<i>Pandion haliaetus</i>	1		Sterpazzola	<i>Sylvia communis</i>	4	5
Colombaccio	<i>Columba palumbus</i>	12	12	Falco pecchiaiolo	<i>Pernis apivorus</i>		1	Rampichino comune	<i>Certhia brachydactyla</i>		5
Tortora selvatica	<i>Streptopelia turtur</i>	4	4	Falco di palude	<i>Circus aeruginosus</i>	1	2	Scricciolo	<i>Troglodytes troglodytes</i>	9	7
Tortora dal collare	<i>Streptopelia decaocto</i>		1	Albanella reale	<i>Circus cyaneus</i>	2	1	Storno	<i>Sturnus vulgaris</i>	12	11
Rondone comune	<i>Apus apus</i>	2	1	Albanella minore	<i>Circus pygargus</i>	1		Tordo bottaccio	<i>Turdus philomelos</i>	2	1
Cuculo	<i>Cuculus canorus</i>	5	5	Sparviere	<i>Accipiter nisus</i>	7	3	Merlo	<i>Turdus merula</i>	13	14
Gallinella d'acqua	<i>Gallinula chloropus</i>	13	11	Nibbio reale	<i>Milvus milvus</i>		1	Cesena	<i>Turdus pilaris</i>	1	2
Gru	<i>Grus grus</i>	1		Nibbio bruno	<i>Milvus migrans</i>	3	3	Pigliamosche	<i>Muscapa striata</i>	2	2
Cicogna nera	<i>Ciconia nigra</i>	1	1	Poiana	<i>Buteo buteo</i>	13	12	Pettiroso	<i>Erithacus rubecula</i>	7	7
Ibis sacro	<i>Threskiornis aethiopicus</i>		1	Gruccione	<i>Merops apiaster</i>	4	4	Usignolo	<i>Luscinia megarhynchos</i>	6	5
Nitticora	<i>Nycticorax nycticorax</i>	1	2	Martinpescatore	<i>Alcedo atthis</i>	11	8	Balia nera	<i>Ficedula hypoleuca</i>	1	
Sgarza ciuffetto	<i>Ardeola ralloides</i>		2	Picchio verde	<i>Picus viridis</i>	12	13	Codirosso spazzacamino	<i>Phoenicurus ochruros</i>		1
Airone guardabuoi	<i>Bubulcus ibis</i>		6	Picchio rosso minore	<i>Dryobates minor</i>	6	8	Saltimpalo	<i>Saxicola torquatus</i>	1	
Airone cenerino	<i>Ardea cinerea</i>	13	11	Picchio rosso maggiore	<i>Dendrocopos major</i>	13	13	Regolo	<i>Regulus regulus</i>	2	3
Airone rosso	<i>Ardea purpurea</i>	1		Gheppio	<i>Falco tinnunculus</i>	6	8	Fiorrancino	<i>Regulus ignicapilla</i>	1	2
Airone bianco maggiore	<i>Ardea alba</i>	7	8	Lodolaio	<i>Falco subbuteo</i>	1	5	Passera scopaioia	<i>Prunella modularis</i>	4	5
Garzetta	<i>Egretta garzetta</i>	5	8	Rigogolo	<i>Oriolus oriolus</i>	3	3	Passera mattugia	<i>Passer montanus</i>		2
Marangone minore	<i>Microcarbo pygmaeus</i>	6	12	Averla piccola	<i>Lanius collurio</i>	1		Prispolone	<i>Anthus trivialis</i>	1	
Cormorano	<i>Phalacrocorax carbo</i>	9	12	Ghiandaia	<i>Garrulus glandarius</i>	9	12	Pispola	<i>Anthus pratensis</i>	1	
Cavaliere d'Italia	<i>Himantopus himantopus</i>	5		Gazza	<i>Pica pica</i>	2		Cutrettola	<i>Motacilla flava</i>	6	2
Corriere piccolo	<i>Charadrius dubius</i>	2	1	Taccola	<i>Corvus monedula</i>	2	1	Ballerina gialla	<i>Motacilla cinerea</i>	1	1
Chiurlo maggiore	<i>Numenius arquata</i>	1		Cornacchia grigia	<i>Corvus corone cornix</i>	14	14	Ballerina bianca	<i>Motacilla alba</i>	1	
Pittima reale	<i>Limosa limosa</i>	1		Cinciarella	<i>Cyanistes caeruleus</i>	12	1	Fringuello	<i>Fringilla coelebs</i>	14	12
Combattente	<i>Calidris pugnax</i>	2		Cinciallegra	<i>Parus major</i>	14	14	Frosone	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>		1
Beccaccino	<i>Gallinago gallinago</i>	3		Tottavilla	<i>Lullula arborea</i>	1		Verdone	<i>Chloris chloris</i>	2	
Piro piro piccolo	<i>Actitis hypoleucos</i>	7	9	Allodola	<i>Alauda arvensis</i>	2	2	Cardellino	<i>Carduelis carduelis</i>	7	5
Piro piro culbianco	<i>Tringa ochropus</i>	6	2	Canapino comune	<i>Hippolais polyglotta</i>	1		Lucherino	<i>Spinus spinus</i>	3	4
Pantana	<i>Tringa nebularia</i>	2		Cannaia verdognola	<i>Acrocephalus palustris</i>		2	Migliarino di palude	<i>Emberiza schoeniclus</i>		2
Pettegola	<i>Tringa totanus</i>	1		Balestruccio	<i>Delichon urbicum</i>	1					

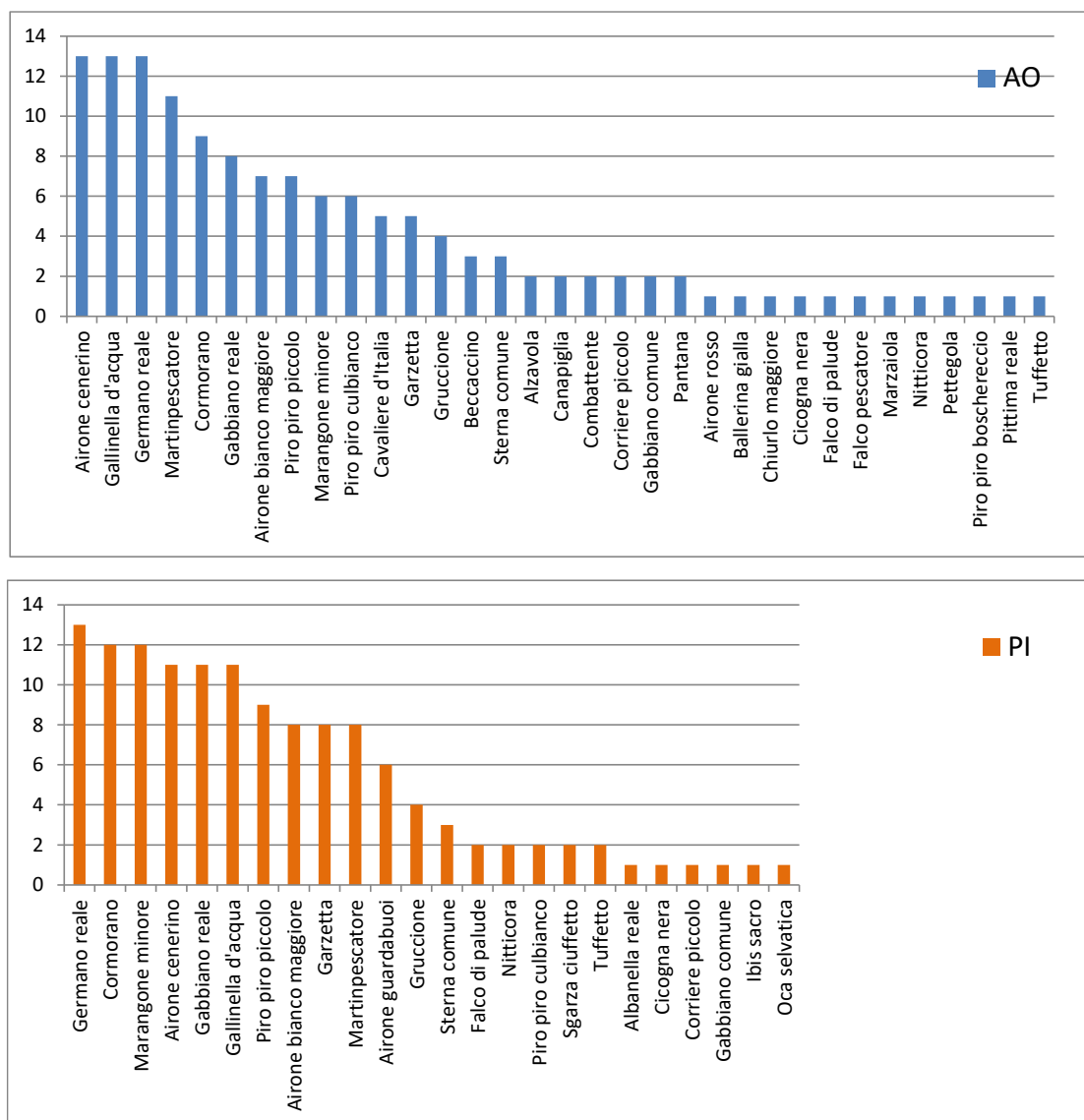


Figura 12 – Frequenza di osservazione (su 14 uscite complessive) delle specie ornitiche di interesse contattate nel corso della fase ante-opera (AO) e post-intervento (PI).

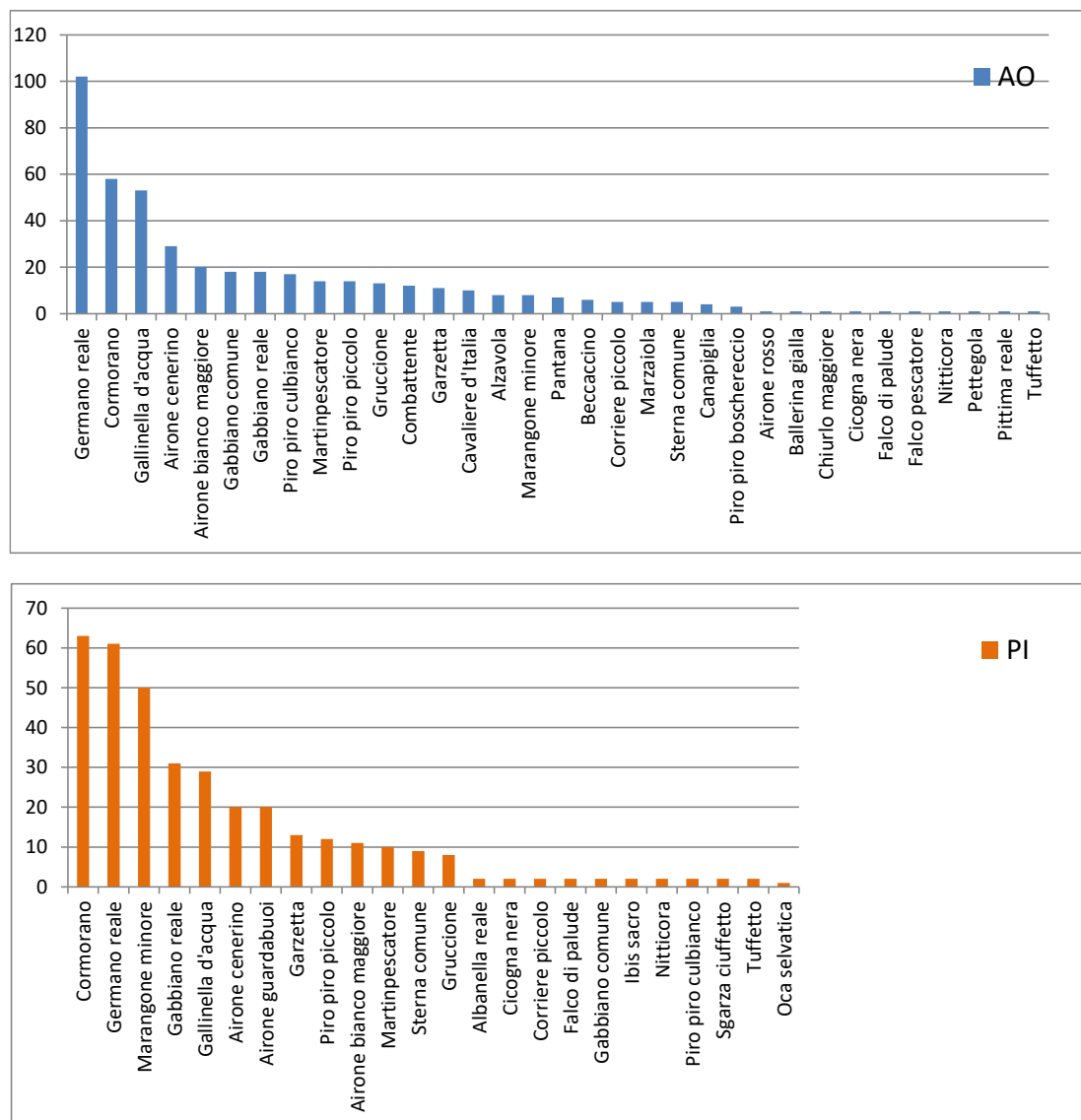


Figura 13 – Numero di individui delle specie ornitiche di interesse contattate nel corso della fase ante-opera (AO) e post-intervento (PI).

CONSIDERAZIONI DI SINTESI

Condizioni di censimento ed elementi di disturbo

L'attività di monitoraggio dell'avifauna è stata eseguita regolarmente, seguendo le modalità e le tempistiche previste: la sponda sinistra della lanca è facilmente percorribile da monte a valle, con svariati punti che garantiscono una buona visuale sull'ambiente acquatico, in condizioni tali da consentire al rilevatore di effettuare osservazioni senza arrecare eccessivo disturbo alla fauna. Il transetto seguito, inoltre, intercetta tutti gli habitat presenti e ne consente un monitoraggio efficace. Nel complesso i risultati ottenuti possono essere considerati attendibili, in particolare per le specie più comuni e rappresentative dell'area. Mentre va sottolineato che lo sforzo di monitoraggio, che ammonta a oltre 86 ore di osservazione, non è probabilmente sufficiente per una descrizione completa ed esaustiva della comunità ornitica della lanca, specialmente per quanto riguarda le specie migratrici.

Va inoltre considerato che soltanto nella minor parte dei casi è stato possibile condurre i censimenti in totale assenza di disturbo antropico. Mentre più frequentemente durante i censimenti sono stati rilevati diversi elementi di disturbo che, pur non avendo pregiudicato la qualità del monitoraggio, devono essere tenuti in considerazione nell'interpretazione dei risultati ottenuti. Tra gli elementi di disturbo di maggior rilievo val la pena elencare:

- la presenza di capanni fissi per la caccia da appostamento e di conseguenza l'abituale frequentazione dell'area da parte dei proprietari per lo svolgimento dell'attività venatoria e per la manutenzione delle strutture (anche al di fuori del periodo di prelievo);
- l'attività venatoria vagante nel periodo di prelievo;
- la frequente presenza di imbarcazioni all'interno della lanca, impiegate per la pesca sportiva o per altre attività turistiche;
- l'abituale presenza di mezzi a motore come fuoristrada e moto da cross, rilevata spesso al di fuori dei sentieri e a ridosso dell'acqua.

Infine, è importante tenere in considerazione il fatto che il sistema analizzato può essere estremamente dinamico dal punto di vista idrologico, determinando di conseguenza l'alternanza di condizioni spesso opposte in termini di disponibilità di siti di alimentazione o di riposo per molte specie di uccelli legate all'ambiente acquatico per queste fasi del ciclo biologico. Proprio in riferimento a questo aspetto le condizioni rilevate nella fase di monitoraggio AO si differenziano rispetto a quelle della fase PI. Il periodo coinciso con la fase AO è stato infatti caratterizzato da scarse precipitazioni e livelli del fiume Po relativamente bassi; condizioni che all'interno della lanca hanno determinato una elevata disponibilità di superfici sabbioso-limose esposte, attrattive per molte specie di uccelli acquatici. Al contrario, nel periodo che ha coinciso con la fase di monitoraggio PI i livelli del fiume sono risultati mediamente alti, favoriti dalle intense e prolungate precipitazioni che hanno interessato il nord Italia soprattutto tra aprile e giugno 2024. In queste condizioni la disponibilità di superfici esposte all'interno della lanca è risultata spesso scarsa o nulla.

La comunità ornitica della lanca ed effetti degli interventi

Nel corso delle uscite condotte tra settembre 2021 e giugno 2024 sono state contattate all'interno del sito indagato 104 specie di uccelli, di cui solo 35 osservate con una frequenza relativamente alta (almeno

un'uscita su tre). Nel complesso il numero di specie rilevate e l'abbondanza in termini di individui censiti, sono risultati modesti, in particolare se rapportati alle caratteristiche del sito; l'area monitorata presenta infatti una discreta variabilità di habitat e si trova inserita nel contesto del fiume Po, riferimento per molte specie di uccelli nel corso del periodo migratorio. A tal riguardo va tuttavia sottolineato che lo sforzo di campionamento adottato (28 uscite per circa 86 ore di osservazione) è probabilmente ancora insufficiente per una descrizione completa della comunità ornitica di quest'area. D'altro lato, nel corso dei censimenti eseguiti sono stati rilevati diversi fattori di disturbo del sito che si ritiene possano avere effetti in alcuni casi non trascurabili sulla presenza di determinate specie ornitiche. Tra questi, l'attività venatoria nel periodo di prelievo e la presenza di imbarcazioni e di altri mezzi a motore nel corso dell'intero anno, hanno sicuramente il peso maggiore.

Tra le specie contattate, 38 sono quelle che sono state considerate come di interesse per la valutazione degli effetti degli interventi perché legate al sistema della lanca e in generale alla presenza dell'acqua per le principali fasi del ciclo biologico. Di queste, 36 sono state osservate in alimentazione o riposo, indicando una elevata interazione con gli habitat del sito. Tuttavia, soltanto 12 di queste 36 specie sono state contattate con una frequenza di almeno un'uscita su 4 e, tra queste, 11 sono comuni ad entrambe le fasi di monitoraggio (AO e PI). Queste specie (in ordine alfabetico: Airone bianco maggiore, Airone cenerino, Cormorano, Gabbiano reale, Gallinella d'acqua, Garzetta, Germano reale, Gruccione, Marangone minore, Martin pescatore e Piro piro piccolo) risultano in generale anche quelle più abbondanti dal punto di vista numerico. La presenza e l'abbondanza di queste 11 specie sembrano perciò indipendenti dalle condizioni idrologiche del sito, che sono risultate significativamente diverse tra i due periodi di monitoraggio.

Nella fase AO il numero complessivo di specie censite, così come il numero di specie di interesse, sono risultati superiori rispetto a quanto rilevato nella fase PI. Per quanto riguarda le sole specie di interesse, nella fase AO sono state contattate 33 specie, il 27% in più di quelle censite nel periodo PI. Tali differenze non sono tuttavia di immediata interpretazione e direttamente imputabili ad un effetto negativo degli interventi. Come accennato in precedenza, i monitoraggi della fase AO sono stati eseguiti in concomitanza a livelli dell'acqua particolarmente bassi e quindi in presenza di molte superfici sabbioso-limose esposte all'interno della lanca, mentre nella fase PI il livello dell'acqua nella lanca è risultato frequentemente alto al punto da limitare significativamente la disponibilità di aree di alimentazione o riposo all'interno del sito per le specie acquatiche. Queste differenze impediscono un confronto diretto tra i risultati ottenuti nelle due fasi di monitoraggio e sottolineano l'importanza di determinati habitat per quelle specie che sono state contattate, seppur con bassa frequenza, unicamente nella fase AO. Per tali specie, che includono principalmente anatidi e limicoli, il livello idrometrico dell'acqua nella lanca e di conseguenza la disponibilità di superfici sabbioso-limose esposte, sembrano essere un fattore determinante.

Conclusioni

I dati ottenuti dai monitoraggi AO e PI consentono una rappresentazione preliminare, ma non esaustiva, della comunità ornitica del sistema indagato, ma tuttavia sottolineano una relativa povertà di specie, in parte imputabile ai fattori di disturbo che interessano l'area. Tra le specie considerate di riferimento per la valutazione degli effetti degli interventi, una parte sembrano essere scarsamente influenzate dalle condizioni idrologiche della lanca, mentre per altre la disponibilità di siti di alimentazione e riposo (alta

interazione con gli habitat) all'interno della lanca sembra essere un fattore determinante per garantire la frequentazione del sito. Le differenze nelle condizioni idrologiche della lanca che hanno caratterizzato le fasi ante-opera e post-intervento, rendono al momento difficile un confronto diretto tra i risultati ottenuti nelle due fasi e quindi una valutazione degli effetti degli interventi.

Sotto-attività 1f: monitoraggio della comunità ittica

MATERIALI E METODI & RISULTATI

Il campionamento della comunità ittica è stato svolto a ottobre 2021 mediante l'ausilio di un elettrostorditore barellabile (viste le dimensioni del corpo idrico indagato) installato su di un natante. A novembre 2022 è stata effettuata una seconda campagna di caratterizzazione mediante l'utilizzo di un elettrostorditore spallabile sempre da barca (in accordo alle indicazioni del protocollo APAT, 2007), mentre a inizio novembre 2023 è stata effettuata la terza caratterizzazione. Le condizioni idrologiche della prima e della terza giornata di sopralluogo (07/10/2021; 05/11/2023) si sono rilevate poco idonee alla caratterizzazione della componente ittica a causa della concomitanza di una significativa morbida di fiume Po che ha determinato un incremento significativo dei livelli del corpo idrico, più di 4 metri in meno di 48 ore (5-7 ottobre 2021), analogamente tra il 31 ottobre e il 6 novembre il fiume ha raggiunto un livello idrometrico all'idrometro di Casalmaggiore nel range +1.9-3.0 sullo zero idrometrico.

Complessivamente, ad ottobre 2022 sono stati catturati una cinquantina di esemplari e la comunità è risultata essere dominata in termini di numerosità da parte dell'Alburno (*Alburnus alburnus*) – una specie alloctona segnalata in Italia settentrionale da pochi anni (a partire dal 2017 nel ferrarese) – mentre in termini di biomassa da parte del Cefalo (*Mugil cephalus*). La **Figura 14** si riferisce alle attività di campionamento.

I dati raccolti a novembre 2022 e 2023 confermano quanto osservato l'anno precedente. In queste due occasioni è stato possibile indagare non solo l'ecosistema Lanca, ma anche il laghetto di retro-pennello. Quest'ultimo sistema si presentava estremamente semplificato con la presenza solo di Abramidi (*Abramis brama*; un solo adulto), Carassi (*Carassius carassius*; un solo adulto nel 2022, 5 individui nel 2023), e di Persico sole (*Lepomis gibbosus*; due individui giovani nel 2022, sei individui giovani nel 2023). All'interno della Lanca si conferma la presenza di una popolazione abbondante e strutturata di Alburno, di numerosi individui adulti (5 nel 2022, 4 nel 2023) di Carpa regina (*Cyprinus carpio*) con variante a specchio, di Abramide e Carassio, di un solo individuo di Persico sole e di un Cefalo, oltre all'avvistamento di due individui di Siluro di ragguardevole dimensione (*Silurus glanis*).

CONSIDERAZIONI DI SINTESI

La comunità ittica della Lanca si presenta quindi quasi esclusivamente costituita da specie aliene, caratterizzate da ampio spettro trofico ed elevata adattabilità. La maggior parte di esse denotano infatti marcati tratti di invasività. I risultati sono peraltro in linea con quanto già riportato e descritto nella carta ittica del fiume Po per il "tratto di bassa pianura" (disponibile su www.adbpo.it/download/CartaItticaPo2009/sommario.htm).



Figura 14 – Alcuni degli esemplari catturati nel corso del campionamento ittico del 3 novembre 2023; in alto a sx, Alburno, in centro a sx, Carassio, in basso a sx, Carpa regina a specchio.

ATTIVITÀ 2 & 3

Attività 2: Monitoraggio di routine “Qualità chimico-fisica di acque e sedimenti”

MATERIALI E METODI

Raccolta e trattamento dei campioni di acqua

I prelievi di acqua sono stati effettuati tra il 31/05/21 e il 29/04/2024 nella lanca di Gussola e nel tratto del fiume Po antistante la lanca (**Tabella 13, Figura 15**). In aggiunta sono stati effettuati due campionamenti nella lanca Isola degli Internati considerata come sito di riferimento (**Tabella 13, Figura 16**).

Tabella 13 – Date di prelievo dei campioni di acqua nella lanca di Gussola, nel fiume Po e nella lanca Isola degli Internati.

Data	Lanca di Gussola	Po	Isola degli Internati
31/05/21	X	X	
22/06/21	X	X	
09/07/21	X	X	
21/09/21	X	X	
23/11/21	X	X	
25/01/22	X	X	
22/03/22	X	X	
03/05/22	X	X	
16/05/22	X	X	
23/05/22	X	X	
22/06/22	X	X	
30/08/22	X	X	
06/09/22	X	X	
13/09/22			X
23/11/22	X	X	
21/12/22	X	X	
28/02/23	X	X	
18/03/23	X	X	X
27/04/23	X	X	
15/05/23	X	X	
23/05/23	X	X	
31/05/23	X	X	
22/06/23	X	X	
24/07/23	X	X	
04/08/23	X	X	
30/08/23	X	X	
04/09/23	X	X	
19/09/23	X	X	
19/10/23			X
04/11/23	X	X	
15/11/23	X	X	
28/11/24	X	X	

19/12/24	X	X
06/02/24	X	X
22/03/24	X	X
29/04/24	X	X

A partire dal 21/09/21 i prelievi all'interno della lanca sono stati effettuati, quando le condizioni idrologiche lo permettevano, in sei stazioni posizionate lungo il profilo longitudinale (**Figura 16**) in modo da includere anche l'eventuale variazione spaziale delle caratteristiche fisiche e chimiche. Inoltre, in corrispondenza del punto di massima profondità (stazione 3), campioni di acqua sono stati raccolti sia in superficie che a 50 cm dal fondo. Nella stazione situata sul fiume Po i prelievi sono stati effettuati in località Sacca (PR). Per quanto riguarda il sito di riferimento i prelievi sono stati effettuati in due stazioni situate nell'Isola degli Internati il 13/09/2022 e il 18/03/2023. In ogni sito, ad ogni campionamento, sono state prelevate tre repliche.

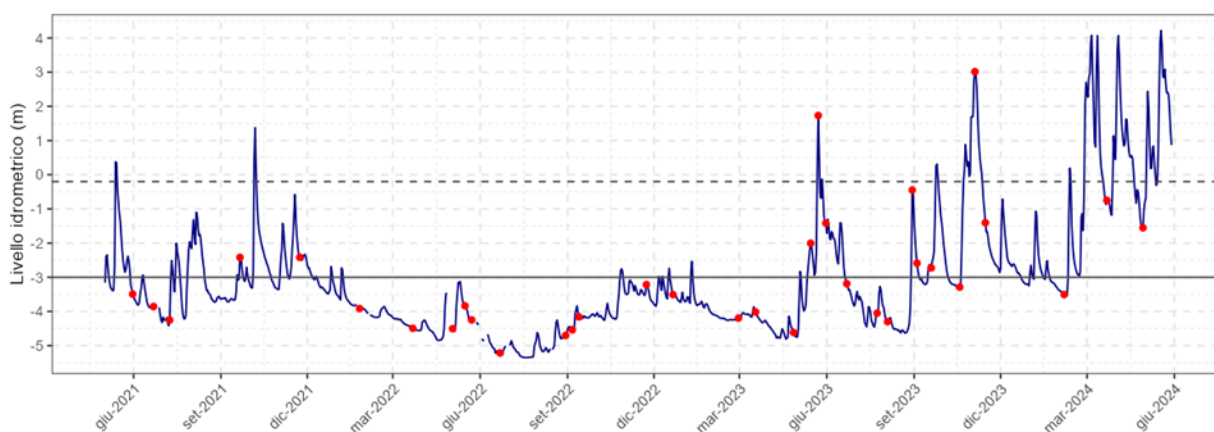


Figura 15 – Date di campionamento (puntini rossi) effettuate all'interno della lanca di Gussola in relazione al livello idrometrico (m) del fiume Po misurato a Casalmaggiore (linea blu). La linea continua grigia posta in corrispondenza del livello idrometrico -3 m rappresenta il livello oltre al quale il fiume Po comincia a entrare di rigurgito nella lanca di Gussola. La linea tratteggiata in corrispondenza del livello idrometrico -0.2 m rappresenta la soglia oltre la quale il fiume Po sormonta l'argine e s'immette nella lanca.

Per la raccolta dei campioni sono state utilizzate bottiglie da 2 L in polietilene calate nell'acqua tramite una prolunga, mentre per il campionamento delle acque in profondità nella stazione 3 è stata usata una bottiglia Ruttner il cui contenuto è stato poi trasferito in bottiglie da 2 L in polietilene. In corrispondenza di ogni prelievo sono state misurate *in situ* la temperatura (T , °C), la conducibilità elettrica specifica (EC , $\mu S\ cm^{-1}$ a 25 °C), l'ossigeno disciolto (OD) e la percentuale di saturazione ($sat.O_2$) tramite una sonda multi-parametro (YSI ProSolo).

Immediatamente dopo il prelievo, un'aliquota del campione è stata filtrata manualmente con filtri in fibra di vetro (GF/F Whatman) e trasferita in provette di vetro per la determinazione del fosforo reattivo solubile (SRP), del fosforo totale disciolto (TDP) dell'azoto totale disciolto (TDN) o in vials di policarbonato per la

determinazione dell'azoto nitrico + l'azoto nitroso (di seguito definito come N-NO_3^-), dell'azoto ammoniacale (N-NH_4^+) e della silice reattiva disciolta (DRSi). Una quota di acqua non filtrata è stata trasferita in provette in vetro per la determinazione dell'azoto totale (TN) e del fosforo totale (TP). L'azoto inorganico disciolto (DIN) è stato stimato come somma tra N-NH_4^+ e N-NO_3^- . In laboratorio un'aliquota d'acqua, di volume noto, è stata filtrata su filtri in fibra di vetro preventivamente pesati per l'analisi dei solidi sospesi totali (SST), delle frazioni particellate dell'azoto (PN) e del fosforo (PP), della Clorofilla-a fitoplanctonica (Chl-a) e dei Feopigmenti (Pheo). Prima di procedere con l'analisi delle frazioni particellate, i filtri sono stati messi in stufa a 70 °C per 24h e pesati per la quantificazione dei solidi sospesi totali (SST). Tutti i prelievi e le analisi sono stati effettuati secondo metodiche standard (APAT-IRSA CNR, 2004; A.P.H.A., 2017). Al fine di garantire e verificare la qualità del dato analitico, ad ogni campionamento sono state condotte analisi su cinque bianchi di laboratorio e su campioni con concentrazioni standard del composto di interesse.



Figura 16 - Stazioni di raccolta dei campioni d'acqua della lanca di Gussola e nel fiume Po (sopra) e nella lanca Isola degli Internati (sotto).

Evoluzione giornaliera della temperatura e della concentrazione dell'ossigeno disciolto

Per valutare il regime termico delle acque superficiali della lanca e le variazioni del contenuto di OD è stato posizionato un datalogger per la misura in continuo di temperatura e OD (HOBO U26-001). Il datalogger è stato posizionato a circa 1 metro di profondità nel tratto centrale della lanca in corrispondenza della stazione 3 (Figura 16) dove è stata fissata una boa nei periodi riportati in Tabella 14.

Tabella 14 – Periodi in cui è stato posizionato il datalogger per la misura della temperatura e di O₂.

2022		2023		2024	
25/01/2022	01/02/2022	14/04/2023	27/04/2023	01/01/2024	06/02/2024
22/06/2022	08/07/2022	15/05/2023	24/05/2023		
30/08/2022	07/09/2022	31/05/2023	22/06/2023		
23/11/2022	21/12/2022	24/07/2023	04/08/2023		
		30/08/2023	19/09/2023		
		15/11/2023	28/11/2023		
		19/12/2023	31/12/2023		

Raccolta e trattamento dei campioni di sedimento

Campioni di sedimento sono stati raccolti tra il 2021 ed il 2024 considerando l'andamento stagionale. In Tabella 15 sono riportate le date di campionamento e le rispettive stazioni. Per il prelievo dei sedimenti sono stati utilizzati tubi di plexiglass (25 cm di altezza e 4 cm di diametro) direttamente dall'operatore dove le condizioni di profondità lo permettevano o utilizzando un carotatore manuale con braccio estendibile per la zona profonda della stazione 3. In ogni stazione sono state prelevate 6 carote di sedimento in due differenti habitat: 3 carote sono state prelevate nella zona litorale (L), soggetta a periodiche esposizioni all'aria in funzione del livello idrometrico e 3 in una zona sempre sommersa (S). In totale sono state prelevate 12 carote di sedimento per ogni campionamento. Immediatamente dopo la raccolta le carote sono state posizionate all'interno di contenitori in plastica e trasportate in laboratorio dove lo strato più superficiale (dalla superficie a 1 cm di profondità), lo strato più reattivo e direttamente a contatto con l'acqua, è stato tagliato utilizzando una sottile lamina di plexiglass.

Le caratteristiche chimico-fisiche del sedimento superficiale sono state determinate omogeneizzando la sezione di sedimento e prelevando sotto campioni per la determinazione di porosità, densità, % di sostanza organica (OM), pigmenti fotosintetici (Chl-a e Pheo). Per fare questo da ogni sezione di carota un sotto campione di 3 ml di sedimento fresco è stato pesato e successivamente messo in stufa a 70 °C per 24 ore e pesato nuovamente per la determinazione della sostanza secca e della porosità, infine macinato e reso omogeneo. Una ulteriore aliquota di sedimento fresco (1 ml) è stata prelevata per la quantificazione della concentrazione di Chl-a e Pheo tramite estrazione in acetone al 90% per 24 ore e successiva determinazione spettrofotometrica secondo il metodo proposto da Lorenzen (1967). Per la determinazione del contenuto

di OM, una parte di sedimento secco (0.5 g) è stata pesata all'interno di crogioli in ceramica e incenerita in muffola a 450 °C per un tempo di 4 ore.

Tabella 15 – Date e stazioni in cui è stato campionato il sedimento. I campionamenti sono raggruppati per stagione e fase di intervento (*ante* o *post operam*) ed è specificata la zona di campionamento: Litorale (L) o Sommersa (S). Per ogni periodo è riportata la tipologia di analisi effettuata: Sedimento (Pigmenti fotosintetici, OM, densità, porosità) e Metabolismo bentico

Periodo	Data	Stazione 2		Stazione 3		Analisi			Fase intervento
		L	S	L	S	Sedimento	Metabolismo bentico		
							Acqua Stazione	Acqua Po	
Estate 2021	22/06/2021			X	X	X			PRELIMINARE
	05/07/2021			X					
	09/07/2021				X	X	X		
Inverno 2022	01/02/2022	X	X	X	X	X	X		ANTE
Primavera 2022	16/05/2022			X	X	X	X	X	ANTE
	23/05/2022	X	X						
Estate 2022	06/09/2022	X	X	X	X	X	X	X	ANTE
Autunno 2022	23/11/2022	X	X	X	X	X	X		ANTE
Estate 2023	24/07/2023	X	X	X	X	X	X		POST
Autunno 2023	28/11/2023	X	X	X	X	X	X		POST
Primavera 2024	29/04/2024	X	X	X	X	X	X		POST

(specificando se con l'acqua del sito per la misura alle condizioni reali o con l'acqua del Po, per simulare l'effetto della riconnessione, come descritto nel paragrafo "raccolta e trattamento dei campioni d'acqua"). I campionamenti effettuati in estate 2021 (in grigio) sono da considerarsi preliminari per la messa a punto delle tecniche; pertanto, non vengono presentati nel confronto *post operam* a *ante*.

RISULTATI

Caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua della lanca e del fiume Po

Una selezione dei principali risultati è riportata in **Tabella 16**, dove i valori si riferiscono alle acque superficiali di tutte le stazioni campionate, *ante* e *post operam*.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche, i valori di temperatura all'interno della lanca di Gussola non evidenziano particolari differenze all'interno della lanca tra la due fasi (*ante*: mediana = 14.2 °C, min = 6.3

°C, max = 28.6 °C; *post*: mediana = 19.3 °C, min = 9.4 °C, max = 28.1 °C). Valori simili sono stati riscontrati anche nel fiume Po (*ante*: mediana = 20.9 °C, min = 7.3 °C, max = 31 °C; *post*: mediana = 17.7 °C, min = 9 °C, max = 28.3 °C) (Figura 17). L'O₂ all'interno della lanca nel periodo *post operam* presenta una maggiore sovrasaturazione (*ante*: mediana = 95.4%, min = 8.5%, max = 127.8%, *post*: mediana = 95.7%, min = 48.2%, max = 169%) e una maggiore variabilità rispetto al fiume Po (Figura 17).

Il valore mediano della conducibilità è maggiore nella lanca (*ante*: mediana = 663 $\mu\text{S cm}^{-1}$; *post*: mediana = 463 $\mu\text{S cm}^{-1}$) rispetto al fiume Po (*ante*: mediana = 480 $\mu\text{S cm}^{-1}$; *post*: mediana = 365 $\mu\text{S cm}^{-1}$). La concentrazione di Chl-a è un indicatore della biomassa del fitoplancton sospeso in colonna d'acqua. La concentrazione mediana della Chl-a è risultata, sia prima che a seguito dell'intervento, maggiore nella lanca di Gussola (*ante*: mediana = 14.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 1.1 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 66.3 $\mu\text{g L}^{-1}$; *post*: mediana = 21.5 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 1 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 78.4 $\mu\text{g L}^{-1}$) rispetto a quella del fiume Po (*ante*: mediana = 4.4 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 0.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 41 $\mu\text{g L}^{-1}$; *post*: mediana = 7.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 2.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 20.1 $\mu\text{g L}^{-1}$). La lanca di controllo mostra concentrazioni intermedie tra le concentrazioni di Chl-a della lanca di Gussola e del fiume Po (mediana = 7.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 2.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 20.1 $\mu\text{g L}^{-1}$). Le concentrazioni di Chl-a della lanca di Gussola successivamente ai lavori risultano maggiori in corrispondenza delle temperature più elevate (Figura 18).

La concentrazione mediana di TP è risultata più elevata nella fase *post operam* (mediana = 80.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 35.5 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 398.3 $\mu\text{g L}^{-1}$) rispetto che a quella *ante operam* (mediana = 56.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 10.6 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 519.6 $\mu\text{g L}^{-1}$). Le concentrazioni del fiume Po (*ante*: mediana = 94.2 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 69.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 136.5 $\mu\text{g L}^{-1}$; *post*: mediana = 102.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 64.6 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 1084.2 $\mu\text{g L}^{-1}$) sono sempre risultate superiori a quelle della lanca con i valori maggiori registrati in condizioni di elevate portate (Figura 19). La lanca di controllo mostra valori intermedi tra i due siti (mediana = 70.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 37.1 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 127.6 $\mu\text{g L}^{-1}$). La frazione disciolta del fosforo prima dell'intervento rappresentava circa il 20% del totale, mentre nella fase successiva circa il 30%. Nel Po la frazione disciolta rappresenta in media il 60% del totale. La frazione restante è costituita da fosforo legato alle particelle.

Il TDP misurato nella fase *post* (mediana = 24.1 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 2.5 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 121.1 $\mu\text{g L}^{-1}$) è risultato doppio rispetto alla fase *ante operam* (mediana = 12.5 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 2.5 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 121.1 $\mu\text{g L}^{-1}$), avvicinandosi maggiormente alla concentrazione osservata nel fiume Po in entrambi i periodi (*ante*: mediana = 66.0 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 21.7 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 90.6 $\mu\text{g L}^{-1}$; *post*: mediana = 54.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 31.8 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 102.0 $\mu\text{g L}^{-1}$). La lanca di controllo mostra valori intermedi tra i due siti (mediana = 40.0 $\mu\text{g L}^{-1}$, min = 10.9 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 68 $\mu\text{g L}^{-1}$). In particolare, per quanto riguarda l'SRP sono stati riscontrati valori maggiori all'interno della lanca a seguito dell'intervento, con una mediana *ante* pari a 3.6 $\mu\text{g L}^{-1}$ (min = 1.0 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 73.6 $\mu\text{g L}^{-1}$) e *post operam* pari a 9.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ (min = 2.1 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 76.8 $\mu\text{g L}^{-1}$) (Figura 20). I valori di concentrazione del fiume Po sono sempre risultati più elevati rispetto alla lanca (mediana_{ante} = 59.3 $\mu\text{g L}^{-1}$; mediana_{post} = 43.8 $\mu\text{g L}^{-1}$). La componente organica disciolta (DOP), non ha invece subito variazioni significative a seguito dell'intervento e i valori all'interno della lanca sono simili a quelli misurati nel fiume Po, come anche la componente particellata (PP) (Figura 20).

Per quanto riguarda l'azoto, il TN misurato prima dell'intervento presenta valori inferiori rispetto a quello misurato in seguito: raddoppiando da 726 $\mu\text{g L}^{-1}$ (min = 297 $\mu\text{g L}^{-1}$, max = 2176 $\mu\text{g L}^{-1}$), a 1278 $\mu\text{g L}^{-1}$ (min = 425

$\mu\text{g L}^{-1}$, $\text{max} = 2683 \mu\text{g L}^{-1}$), e più vicina ai valori quantificati all'interno del fiume Po ($\text{mediana}_{\text{ante}} = 2001 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{mediana}_{\text{post}} = 2062 \mu\text{g L}^{-1}$) e alla lanca di controllo ($\text{mediana} = 17771 \mu\text{g L}^{-1}$) (**Figura 21**). Le concentrazioni sembrano essere correlate al livello idrometrico del fiume Po, con un aumento proporzionale all'aumento della portata.

Il TN è composto prevalentemente dalla frazione disciolta che contribuisce al 50% del pool totale nella lanca nella fase *ante*, e al 70% in quella *post*, mentre nel Po supera il 90%.

Analogamente il TDN misurato nella fase *post* presenta valori doppi ($\text{mediana} = 895 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{min} = 150 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{max} = 2564 \mu\text{g L}^{-1}$) rispetto alla fase *ante operam* ($\text{mediana} = 364 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{min} = 107 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{max} = 2080 \mu\text{g L}^{-1}$) e complessivamente più simili a quelli registrati nel fiume Po ($\text{mediana}_{\text{ante}} = 1926 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{mediana}_{\text{post}} = 1912 \mu\text{g L}^{-1}$). Nella lanca di controllo la concentrazione mediana è risultata simile a quella riscontrata nel fiume Po ($\text{mediana} = 1705 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{min} = 1119 \mu\text{g L}^{-1}$, $\text{max} = 1809 \mu\text{g L}^{-1}$).

Tabella 16 – Statistiche descrittive, suddivise per ambiente e periodo, dei valori di temperatura (T ; $^{\circ}\text{C}$), conducibilità specifica (EC ; $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C), percentuale di saturazione dell'ossigeno ($\text{O}_2\%$), concentrazione di ossigeno disciolto (O_2 , $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), solidi sospesi (SS ; mg L^{-1}), fosforo reattivo solubile (SRP ; $\mu\text{g L}^{-1}$), fosforo organico disciolto (DOP ; $\mu\text{g L}^{-1}$), fosforo totale disciolto (TDP ; $\mu\text{g L}^{-1}$), fosforo particellato (PP ; $\mu\text{g L}^{-1}$), fosforo totale (TP ; $\mu\text{g L}^{-1}$), azoto ammoniacale (N-NH_4^+ ; $\mu\text{g L}^{-1}$), azoto nitrico (N-NO_3^- ; $\mu\text{g L}^{-1}$), azoto inorganico disciolto (DIN ; $\mu\text{g L}^{-1}$), azoto totale disciolto (TDN ; $\mu\text{g L}^{-1}$), azoto totale (TN ; $\mu\text{g L}^{-1}$), azoto particellato (PN ; $\mu\text{g L}^{-1}$), silice reattiva disciolta (DRSi ; $\mu\text{g L}^{-1}$), silice biogenica (BSi ; $\mu\text{g L}^{-1}$) e clorofilla-*a* fitoplanctonica (Chl-a ; $\mu\text{g L}^{-1}$). Per ogni parametro misurato è riportata la mediana = *e*, in parentesi, il valore minimo (*min*) ed il valore massimo (*max*). NA = non disponibile. I dati riportati fanno riferimento a tutto il periodo di indagine.

Parametro	Lanca di Gussola		Fiume Po		Lanca di controllo
	Ante	Post	Ante	Post	
T ($^{\circ}\text{C}$)	14.2 (6.3-28.6)	19.3 (9.4-28.1)	20.875 (7.3-31.04)	17.7 (9-28.3)	11.4
EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C)	663 (6-899)	463 (180-745)	480 (334-566)	365 (225-527)	509
Sat.DO (%)	95.4 (8.5-127.8)	95.7 (48.2-169)	99.5 (93.7-117.9)	92.3 (80-104)	107
DO (mg L^{-1})	9.1 (4.48-119.9)	8.5 (4.53-15)	8.9 (6.6-21.1)	8.7 (7-25.8)	11.7
pH	8.2 (7-8.9)	8.1 (6.9-8.7)	8.5 (7.9-8.8)	8.0 (7.2-8.3)	NA
SS (mg L^{-1})	17.8 (3.8-227.8)	13.6 (3.9-558.3)	14.34375 (4.7-40.7)	28.4 (9.9-1101.3)	11.8 (9.6-77)
SRP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	3.6 (1.0-73.6)	9.1 (2.1-76.8)	59.3 (17.4-75.1)	43.8 (16.4-89.7)	31.8 (4.2-57.9)
DOP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	8.0 (0.0-47.5)	9.1 (0.4-31.4)	8.9 (2.9-18.5)	8.8 (0-24.6)	

TDP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	12.5 (2.5-121.1)	24.1 (8.8-90.8)	66.0 (21.7-90.6)	54.3 (31.8-102)	40 (10.9-68)
PP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	40.5 (6.9-398.5)	48.7 (15.8-346)	29.7 (16.1-88.0)	48 (18.8-1031.6)	13.3 (2.9 - 116.6)
TP ($\mu\text{g L}^{-1}$)	56.3 (10.6-519.6)	80.9 (35.5- 398.3)	94.2 (69.9 - 136.5)	102.3 (64.6 - 1084.2)	70.3 (37.1 - 127.6)
N-NH₄⁺ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	66 (7-265)	33 (7-347)	57 (15-187)	48 (12-249)	19.2 (0-26)
N-NO₃⁻ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	146 (20-1830)	488 (20-2064)	1608 (903-2546)	1639 (1159 - 2129)	1381 (725 - 1732)
DIN ($\mu\text{g L}^{-1}$)	270 (32-1878)	690 (27-2022)	1666 (967-2663)	1669 (1209 - 2180)	1394 (744 - 1751)
TDN ($\mu\text{g L}^{-1}$)	364 (107-2080)	895 (150-2564)	1926 (1209-2977)	1912 (1393-2611)	1705.(1120 - 1809)
DON ($\mu\text{g L}^{-1}$)	109 (0-1260)	194 (44-1539)	165 (0-1057)	184 (0-468)	
TN ($\mu\text{g L}^{-1}$)	726 (297-2176)	1278 (425-2683)	2001 (1402-2786)	2062 (1614-5279)	1771 (1614-1916)
DRSi ($\mu\text{g L}^{-1}$)	4267 (862-7488)	3364 (710-8618)	3265 (612-4900)	2701 (528-6277)	3076 (2301-3819)
Chl-a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	14.9 (1.1-66.3)	21.5 (1-78.4)	2.9 (1.0-61.9)	4.4 (0.9-41)	7.3 (2.9-20.1)

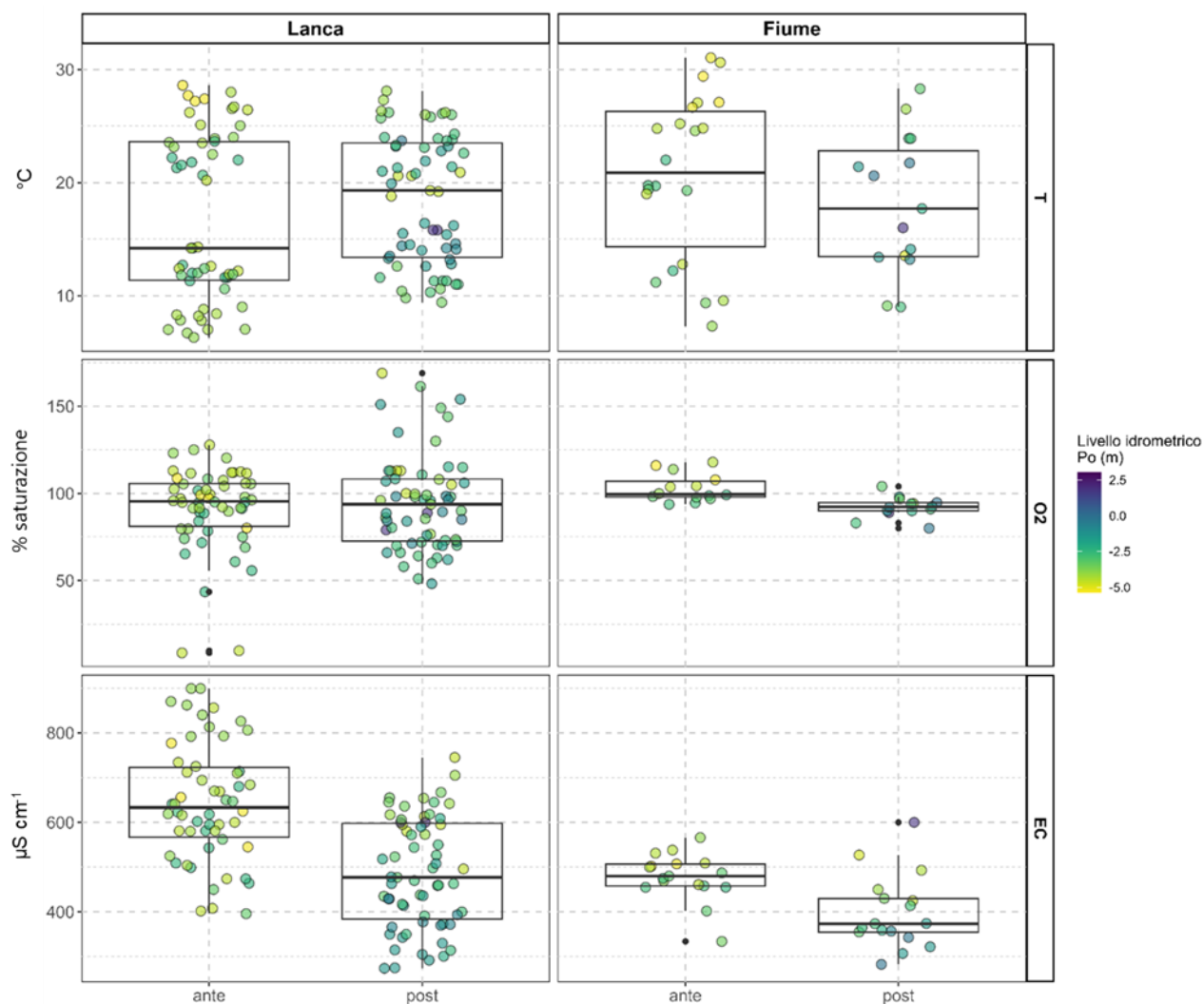


Figura 17 –Valori di temperatura (T, °C), ossigeno (O₂, mg L⁻¹) e conducibilità (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C) delle acque superficiali (0 – 0.5 m) della lanca di Gussola e del fiume Po. Ante = fase *ante operam*, Post = fase *post operam*.

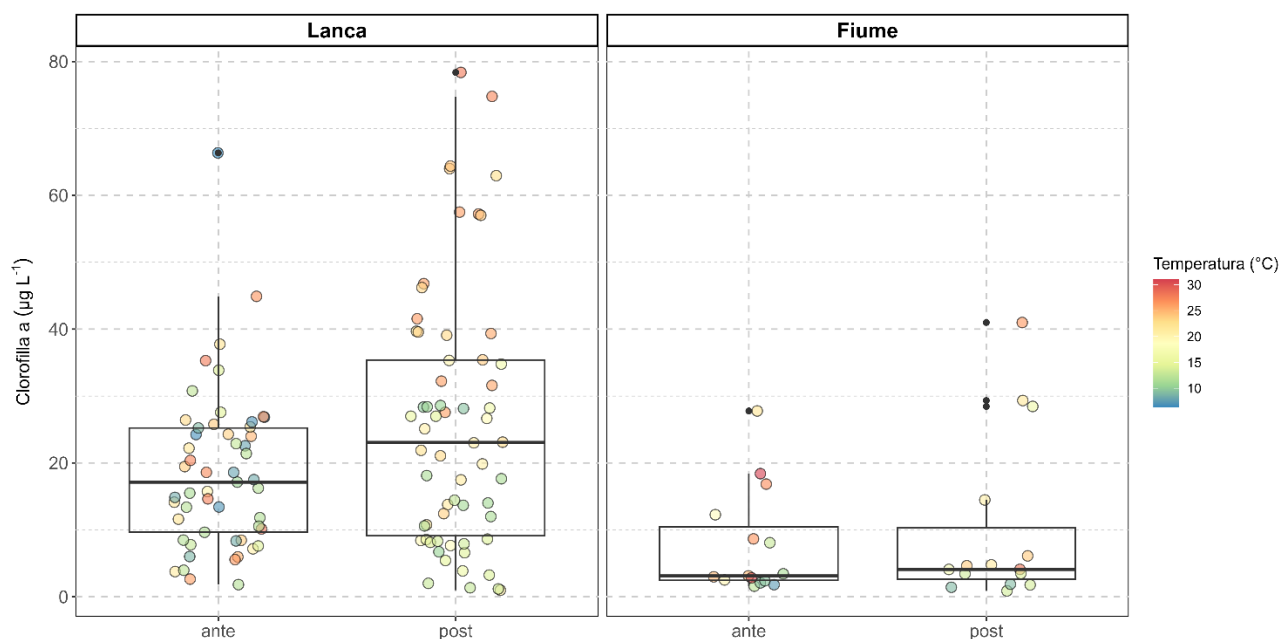


Figura 18 – Distribuzione delle concentrazioni di Chl-a nelle acque superficiali (0 – 0.5 m) misurate nella lanca di Gussola e nel fiume Po. Ante = fase ante operam, Post = fase post operam.

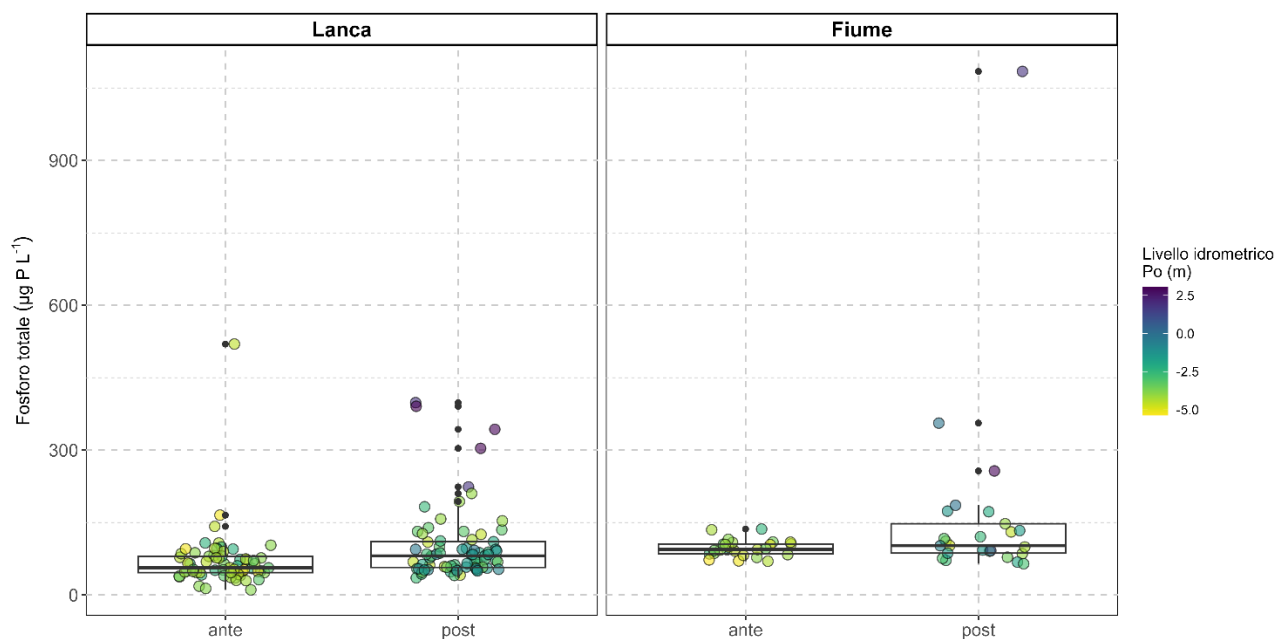


Figura 19 – Concentrazioni di TP nelle acque superficiali (0 – 0.5 m) della lanca di Gussola e del fiume Po. Ante = fase ante operam, Post = fase post operam.

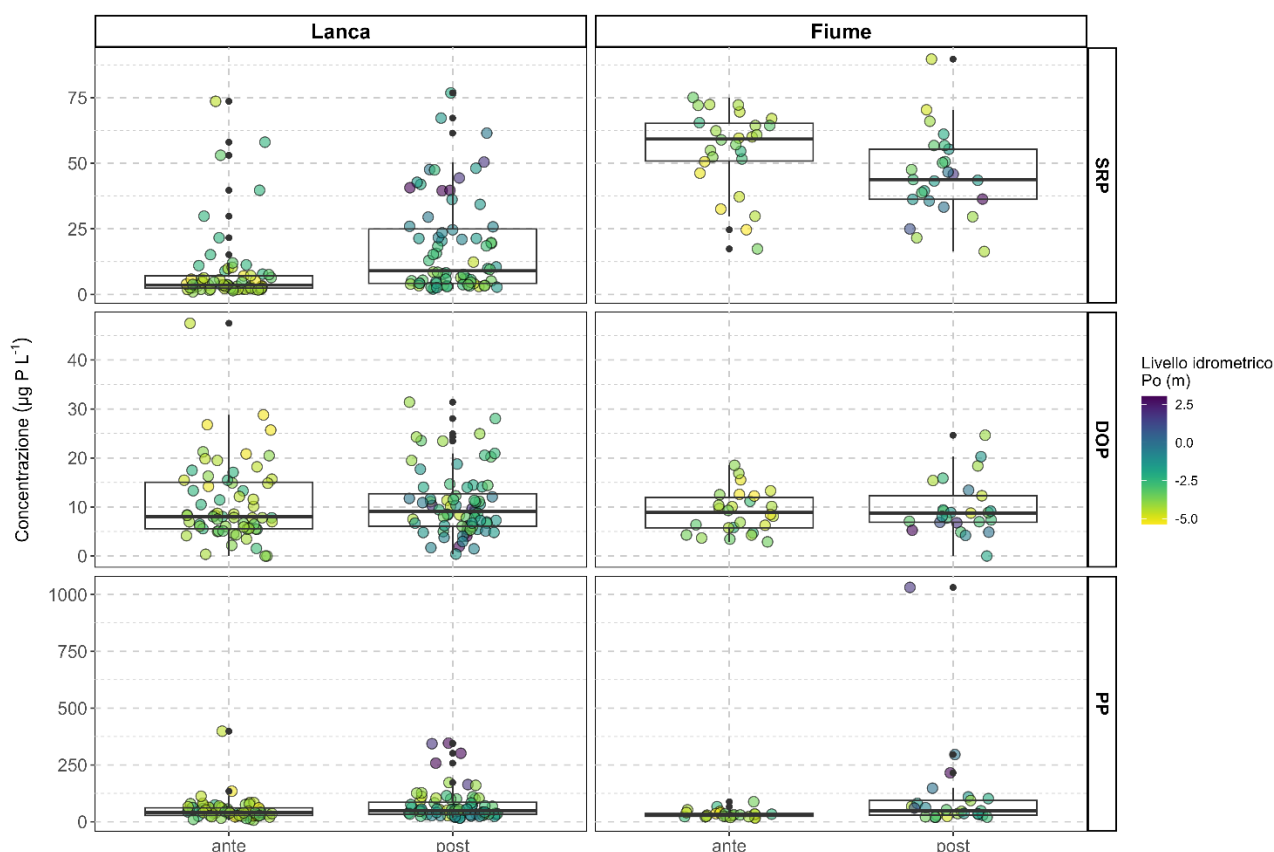


Figura 20 – Concentrazioni di SRP, DOP e PP nelle acque superficiali della lanca di Gussola e del fiume Po. Ante = fase *ante operam*, Post = fase *post operam*.

Le concentrazioni di N-NH_4^+ nella lanca di Gussola sono risultate inferiori a seguito dell'intervento, con mediana *post* pari a $33 \mu\text{g L}^{-1}$ (min = $7 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $347 \mu\text{g L}^{-1}$) e *ante operam* pari a $66 \mu\text{g L}^{-1}$ (min = $7 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $265 \mu\text{g L}^{-1}$), ma complessivamente simili ai valori del fiume Po (*ante*: mediana = $57 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $15 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $187 \mu\text{g L}^{-1}$; *post*: mediana = $48 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $12 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $249 \mu\text{g L}^{-1}$) (Figura 22). Nella lanca di controllo la concentrazione è risultata inferiore rispetto a quella della lanca di Gussola e del fiume Po (mediana = $19 \mu\text{g L}^{-1}$, min < $15 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $26 \mu\text{g L}^{-1}$). Le concentrazioni di N-NH_4^+ mostrano una maggiore variabilità all'interno della lanca di Gussola rispetto che al fiume Po; questo può essere spiegato dai processi di trasformazione o di consumo che influenzano la disponibilità di azoto negli ambienti acquatici poco profondi.

Le concentrazioni medie *ante operam* di N-NO_3^- (Figura 22) sono risultate maggiori nel fiume Po (mediana = $1608 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $903 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $2546 \mu\text{g L}^{-1}$) rispetto a quelle della lanca di Gussola (mediana = $146 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $20 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $1830 \mu\text{g L}^{-1}$); a seguito dell'intervento di riqualificazione la concentrazione mediana

di N-NO_3^- all'interno della lanca è risultata superiore di circa il 300% (mediana = $488 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $20 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $2064 \mu\text{g L}^{-1}$), mentre quelle del Po sono risultate pressoché invariate (mediana = $1639 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $1159 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $2129 \mu\text{g L}^{-1}$). La lanca di controllo presenta concentrazioni simili a quelle del fiume Po (mediana = $1380 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $724 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $1732 \mu\text{g L}^{-1}$). Le concentrazioni maggiori all'interno della lanca sono state registrate in presenza di un elevato livello idrometrico del fiume Po.

Anche per quanto riguarda l'azoto organico disciolto (DON), nel periodo *post* sono stati registrati valori superiori rispetto a quello *ante operam* (*ante*: mediana = $109 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $0 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $1260 \mu\text{g L}^{-1}$; *post*: mediana = $194 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $44 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $1539 \mu\text{g L}^{-1}$), con valori simili a quelli riscontrati nel fiume Po (*ante*: mediana = $165 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $0 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $1057 \mu\text{g L}^{-1}$; *post*: mediana = $184 \mu\text{g L}^{-1}$, min = $0 \mu\text{g L}^{-1}$, max = $468 \mu\text{g L}^{-1}$) (Figura 22).

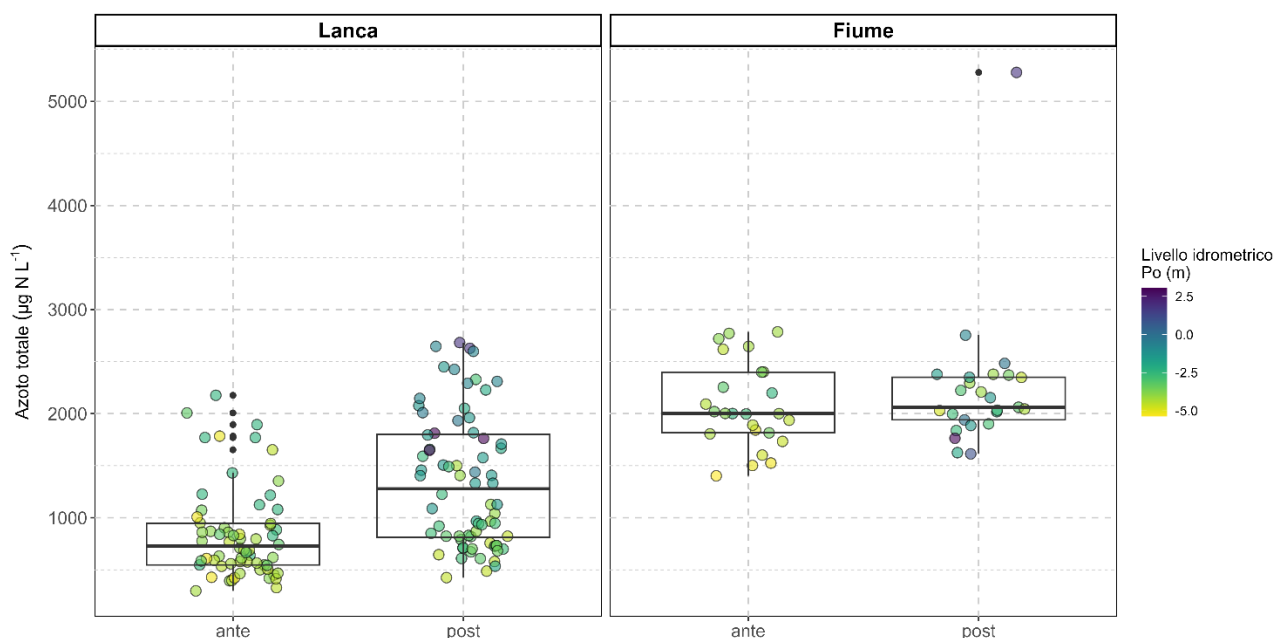


Figura 21 – Concentrazioni del TN nelle acque superficiali (0 – 0.5 m) della lanca di Gussola e del fiume Po. Ante = fase *ante operam*, Post = fase *post operam*.

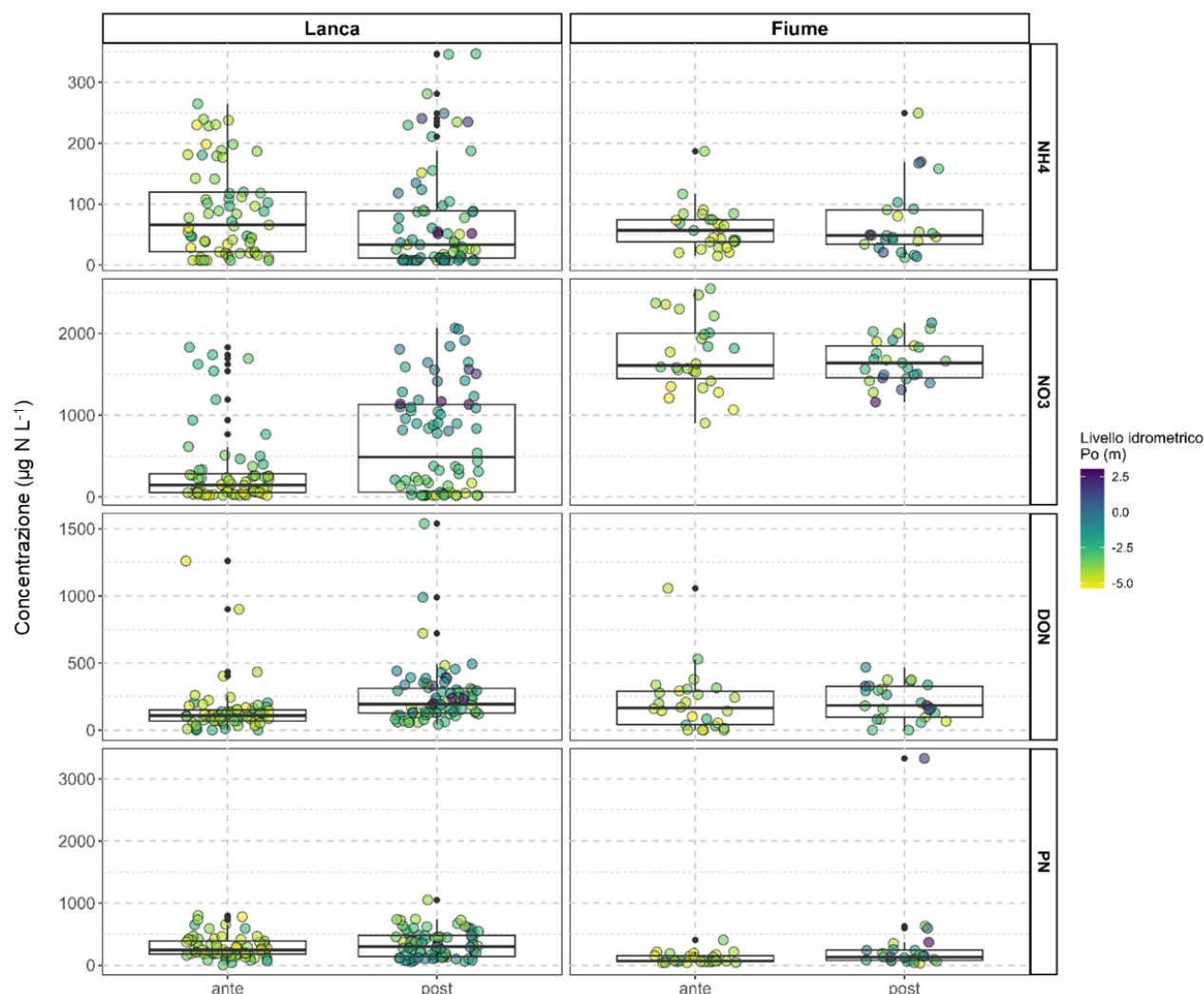


Figura 22 – Concentrazioni di N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, DON e PN nelle acque superficiali (0 – 0.5 m) della lanca di Gussola e del fiume Po. Ante = fase ante operam, Post = fase post operam.

Il valore mediano di DRSi è risultato simile tra il periodo *ante*, con mediana pari a 4267 µg L⁻¹ (min = 862 µg L⁻¹, max = 7488 µg L⁻¹) e quello *post operam*, con mediana pari a 3364 µg L⁻¹ (min = 710 µg L⁻¹, max = 8618 µg L⁻¹) in entrambi i periodi le concentrazioni della lanca mostrano una variabilità più elevata rispetto a quelle del fiume Po (*ante*: mediana = 3265 µg L⁻¹, min = 612 µg L⁻¹, max = 4900 µg L⁻¹; *post*: mediana = 2701 µg L⁻¹, min = 528 µg L⁻¹, max = 6277 µg L⁻¹) (Figura 23). La lanca di controllo mostra concentrazioni medie simili a quelle del fiume Po (mediana = 3075 µg L⁻¹, min = 2301 µg L⁻¹, max = 3189 µg L⁻¹).

Gli andamenti delle concentrazioni di nutrienti disciolti evidenziano come l'aumento della connessione idraulica a seguito dell'intervento di riqualificazione della lanca di Gussola abbia generalmente determinato

una maggiore variabilità delle concentrazioni di nutrienti all'interno della Lanca. Nello specifico le concentrazioni tendono ad aumentare raggiungendo valori più vicini a quelli del fiume Po rispetto alla fase *ante operam*.

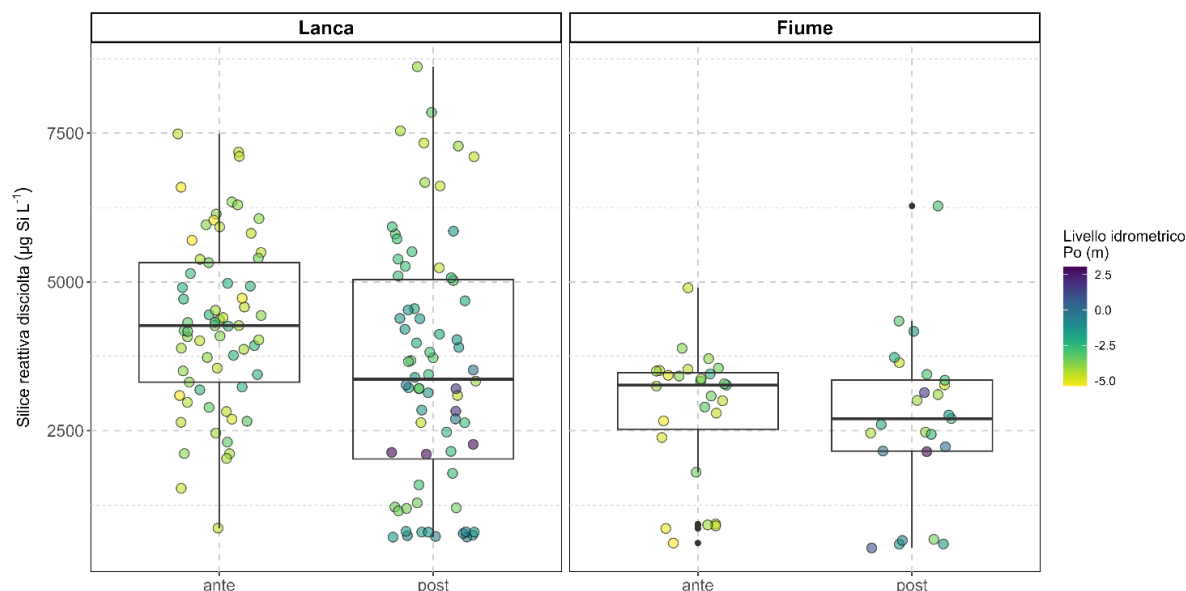


Figura 23 – Distribuzione delle concentrazioni del DRSi nelle acque superficiali (0 – 0.5 m) della lanca di Gussola e del fiume Po. Ante = fase *ante operam*, Post = fase *post operam*.

Caratterizzazione del sedimento della lanca di Gussola

Il contenuto di OM nel sedimento superficiale presenta un valore mediano pari a 2.5 %, compreso tra 0.3% (min) e 6.6% (max). Nella fase *post operam* sono state misurate (media $\pm$ errore standard) percentuali leggermente più elevate (3.1 ± 0.2 %) rispetto alla fase *ante* (2.3 ± 0.2 %). Confrontando i campionamenti *ante* e *post operam*, l'incremento maggiore è stato registrato nella zona sommersa della lanca dove OM è passata da 2.3 ± 0.2 % a 3.6 ± 0.4 %, rispetto alla zona litorale dove l'incremento è stato più contenuto (da 2.3 ± 0.3 % a 2.6 ± 0.3 %) (Figura 24). La maggiore frequenza di riconnessione con il fiume Po non ha solamente determinato un aumento generale della percentuale di OM ma ha aumentato la differenza rispetto ai gradienti stagionali e di profondità. Infatti, in estate OM passa da 2.5 ± 0.4 % a 3.8 ± 0.5 % nella fase post; inoltre, sempre in estate ed in autunno nella fase post la percentuale di OM è sempre maggiore nella zona sommersa ($\Delta \sim 1\%$).

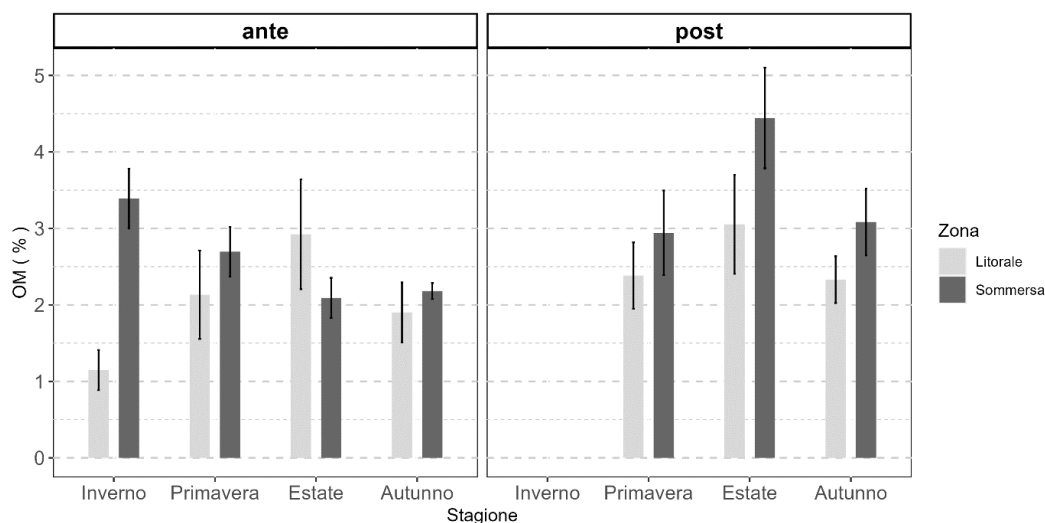


Figura 24 - Contenuto percentuale (media ± errore standard) di sostanza organica (OM) nel sedimento della lanca di Gussola nella fase *ante* (sinistra) e *post* (destra) *operam*. I dati sono presentati secondo lo schema di campionamento stagionale e separando la zona litorale da quella sommersa.

La concentrazione di Chl-a nel sedimento superficiale è risultata compresa tra 0 e $33.8 \mu\text{g mL}^{-1}$ (mediana = $5.3 \mu\text{g mL}^{-1}$) (**Figura 25**). I valori *ante* (media ± errore standard) ($7.7 \pm 1.0 \mu\text{g mL}^{-1}$) sono risultati più alti rispetto alla fase *post* ($5.6 \pm 0.5 \mu\text{g mL}^{-1}$). La differenza tra le due fasi è fortemente legata alla stagionalità e complessivamente non si registra una marcata differenza tra la zona litorale rispetto a quelle sommersa. Se nella fase *ante* la Chl-a sul sedimento diminuisce lungo il gradiente stagionale passando da $5.9 \pm 1.1 \mu\text{g mL}^{-1}$ in primavera a $1.2 \pm 0.2 \mu\text{g mL}^{-1}$ in autunno, nella fase *post* la tendenza è opposta passando da $3.4 \pm 0.4 \mu\text{g mL}^{-1}$ in primavera a 6.7 ± 0.7 in autunno.

La concentrazione di Pheo nel sedimento, che riflette la deposizione delle comunità fitoplanctoniche dalla colonna d'acqua e la loro parziale decomposizione, è risultata pari a $8.0 \mu\text{g mL}^{-1}$ (mediana) e compresa tra 0 $\mu\text{g mL}^{-1}$ e $24.8 \mu\text{g mL}^{-1}$ (**Figura 25**). Similmente alla Chl-a, i Pheo nella fase *post operam* sono risultati inferiori ($7.3 \pm 0.9 \mu\text{g mL}^{-1}$) rispetto alla fase *ante* ($9.2 \pm 0.8 \mu\text{g mL}^{-1}$), anche se la differenza tra le due fasi è fortemente legata alla stagionalità. Infatti, rispetto alla Chl-a, i Pheo mostrano un andamento stagionale diverso oltre ad una maggiore differenza tra la zona litorale e quella sommersa. Nella fase *post* l'andamento a campana con il picco estivo ($12.7 \pm 1.3 \mu\text{g mL}^{-1}$) risulta molto più pronunciato rispetto alla fase *ante* ($10.1 \pm 0.8 \mu\text{g mL}^{-1}$). Inoltre, nella fase *post* si registra una sostanziale differenza tra le media della zona sommersa e litorale ($\Delta_{\text{estate}} = \sim 6.0 \mu\text{g mL}^{-1}$, $\Delta_{\text{autunno}} = \sim 5.2 \mu\text{g mL}^{-1}$).

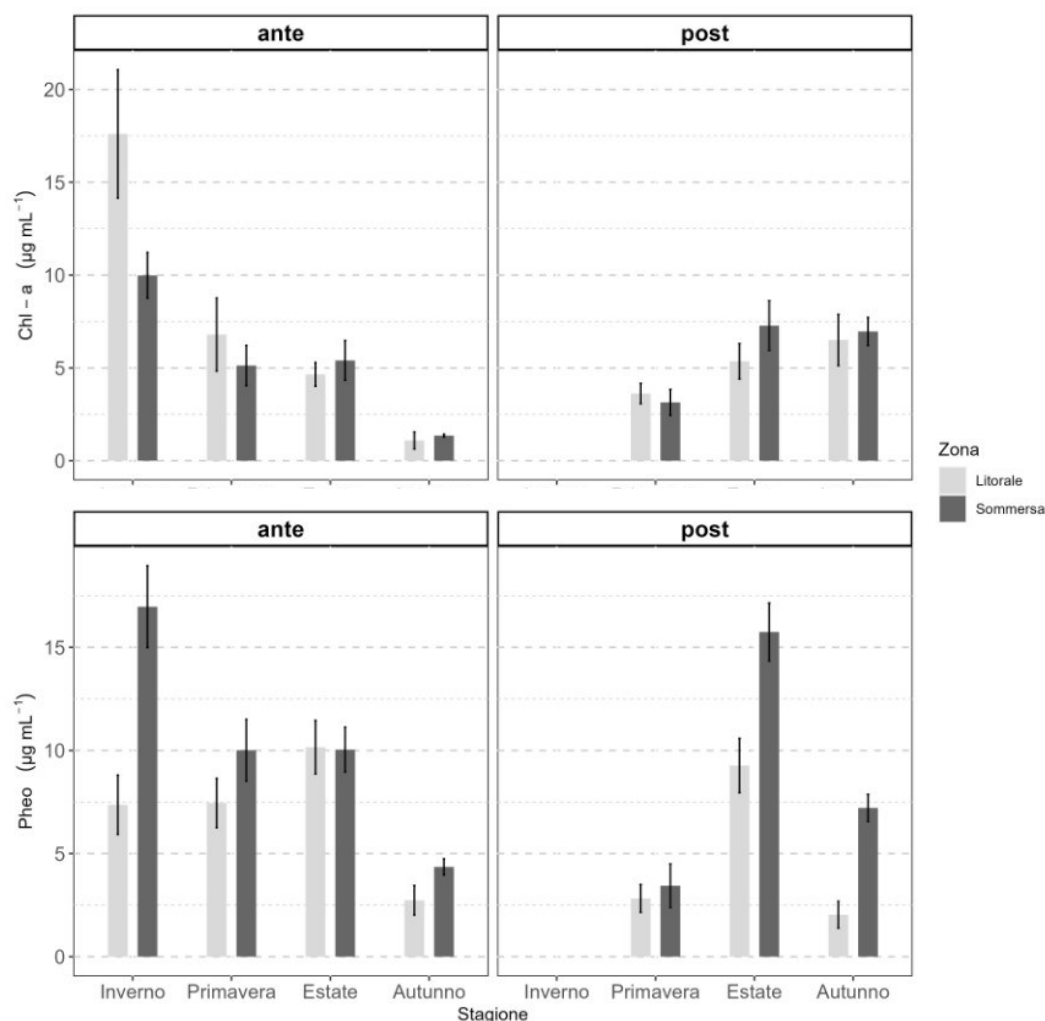


Figura 25 - Media $\pm$ errore standard della concentrazione ($\mu\text{g mL}^{-1}$) della: (sopra) clorofilla-a fitoplanctonica (Chl-a) e (sotto) dei Feopigmenti (Pheo) nel sedimento della lanca di Gussola nella fase *ante* (sinistra) e *post* (destra) *operam*. I dati sono presentati secondo lo schema di campionamento stagionale e separando la zona litorale da quella sommersa.

I risultati combinati di Chl-a e Pheo indicano come la maggiore frequenza di riconnessione abbia alterato il ciclo stagionale dei produttori primari fitoplanctonici. La lunga disconnessione della lanca nella fase *ante operam* ha impedito l'ingresso di acqua con una maggiore concentrazione di nutrienti nel periodo tardo-estivo, sfavorendo lo sviluppo dei produttori primari; inoltre, l'arretramento diffuso del livello idrologico potrebbe aver determinato la creazione di una condizione di omogeneità dello strato superficiale del sedimento. Al contrario la riconnessione con il fiume anche nel periodo estivo ha consentito l'ingresso di acqua ricca di nutrienti che ha sostenuto la produzione algale nel momento di massima disponibilità di luce. Parallelamente un livello idrologico maggiore ha favorito la differenziazione tra zona litorale e sommersa, dove nella seconda diventa centrale la deposizione di materiale sospeso.

La coerenza tra i risultati stagionali e tra zone di OM e Pheo nella fase *post operam* suggerisce come l'aumento di sostanza organica nel sedimento sia effettivamente legato alla maggiore biomassa di produttori primari.

Attività 3: Quantificazione di indicatori di funzionamento dell'ecosistema acquatico

MATERIALI E METODI

Il metabolismo della lanca è stato quantificato su due differenti comparti utilizzando tecniche differenti: metabolismo complessivo dell'ecosistema e metabolismo del comparto bentico.

Misura del metabolismo complessivo del sistema acquatico

Il metabolismo complessivo della lanca e lo stato di autotrofia/eterotrofia netta sono stati quantificati nei periodi in cui sono stati posizionati i datalogger modellizzando le variazioni giornaliere della concentrazione di O_2 misurate *in situ* alla profondità di 1 metro descritte nel paragrafo precedente. Il metodo utilizzato assume che il metabolismo dell'ecosistema possa essere stimato dalle variazioni nella concentrazione di O_2 e dallo scambio diffusivo di O_2 con l'atmosfera (Cole et al., 2000; Winslow et al., 2022).

Per questo è stata utilizzata la concentrazione di O_2 misurata ad intervalli di 5 minuti in un periodo di 24 ore (dalla mezzanotte alla mezzanotte successiva). La variazione di O_2 in ogni intervallo è dovuta a due processi: produzione netta (NEP) e scambio diffusivo con l'atmosfera (D). Valori positivi indicano aggiunta di O_2 al sistema e negativi una sua rimozione:

$$\Delta O_2 = NEP + D$$

La diffusione può essere positiva o negativa ed è calcolata come:

$$D = k(O_2 - O_2 \text{ saturazione})$$

dove O_2 è la concentrazione di O_2 misurata nell'acqua, $O_2 \text{ saturazione}$ è la concentrazione che l'acqua avrebbe se fosse in equilibrio con l'atmosfera e k è il coefficiente di scambio di gas per O_2 a una determinata temperatura. k è stato ricavato come una funzione della velocità del vento (MacIntyre et al., 1995). Ponendo il numero di osservazioni in ogni giorno pari a n (se ad esempio $\Delta t = 5$ minuti allora $n = 288$), il tasso giornaliero di produzione netta ($mg\ O_2\ L^{-1}\ d^{-1}$) è stato calcolato come valore medio di NEP calcolato tra tutti i valori di Δt e moltiplicato per n .

La produzione netta è equivalente alla differenza tra produzione primaria lorda (GPP) e respirazione totale del sistema (ER):

$$NEP = GPP - |ER|$$

La respirazione del sistema è stata stimata utilizzando solo le variazioni di O_2 misurate nelle ore di buio quando la produzione primaria è assente e assumendo che la respirazione sia uguale tra ore di luce e ore di buio:

$$\Delta O_2 \text{ buio} = ER + D$$

Il tasso di respirazione giornaliera del sistema ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$) è stato calcolato come il prodotto tra il valore medio della respirazione notturna e n.

Ottenuti NEP e ER il valore giornaliero di GPP è stato ottenuto come:

$$GPP = NEP + ER$$

Tutti i calcoli sono stati effettuati utilizzando il pacchetto R "LakeMetabolizer" (Winslow et al., 2016) e la funzione *metab.bookkeep*.

Misura del metabolismo bentico, dei flussi di fosforo e azoto inorganici e dei tassi di denitrificazione

Il funzionamento del comparto bentico è stato analizzato allo scopo di quantificare il metabolismo bentico e valutare se il sedimento si comporta da trappola o sorgente di nutrienti inorganici ed è stato determinato tramite la tecnica della incubazione di carote intatte di sedimento in condizioni controllate di laboratorio. Campionamenti preliminari per la messa a punto delle tecniche sono stati effettuati il 5 luglio 2021 nella stazione 3. I successivi campionamenti e le attività svolte nella Lanca di Gussola sono riportati nella **Tabella 15** in cui è indicata la stagione la fase di intervento. In ogni stazione è stato effettuato un campionamento stratificato prelevando un totale di 10 campioni di sedimento in due differenti habitat: 5 campioni sono stati prelevati nella zona litorale, soggetta a periodiche esposizioni all'aria in funzione del livello idrometrico e 5 nella zona centrale che rimane sempre sommersa. Il prelievo del sedimento è stato effettuato utilizzando la tecnica precedentemente descritta.

Per valutare l'effetto della riconnessione con il fiume Po e gli eventuali cambiamenti nel funzionamento del comparto bentico, con particolare riferimento alle trasformazioni del carico di azoto durante il periodo primaverile e tardo estivo, sono state effettuate incubazioni aggiuntive utilizzando acqua del Po. Per questo motivo il 16 maggio 22 e il 6 settembre 22 è stato raccolto un numero doppio di carote di cui metà sono state incubate con l'acqua presente nel sito di campionamento e metà con acqua prelevata dal fiume Po. 10 carote di sedimento sono state raccolte anche nell'Isola degli Internati il 13/09/2022.

Le incubazioni per la misura del metabolismo bentico e dei flussi di nutrienti sono state effettuate dopo aver lasciato stabilizzare le carote per 12 ore con l'estremità superiore aperta e completamente sommerse in acqua raccolta *in situ*. Prima di iniziare le incubazioni l'acqua delle carote è stata omogeneizzata con quella della vasca tramite una piccola pompa d'acquario. Successivamente, il livello dell'acqua della vasca è stato abbassato al di sotto del bordo delle carote ed è stato prelevato da ogni carota un campione di acqua per la determinazione delle caratteristiche chimiche al tempo iniziale. L'apertura superiore delle carote è stata poi chiusa con un tappo galleggiante in plexiglas per iniziare le incubazioni. Le carote sono state incubate inizialmente al buio e, in seguito, sono state incubate alla luce. Le condizioni di illuminazione sono state ottenute mediante l'ausilio di lampade LED regolabili; l'intensità luminosa delle lampade (circa $200\text{-}400 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) è stata impostata in base alla radiazione media giornaliera del periodo di campionamento registrata con un quantofotoradiometro PAR (Delta OHM, mod. HD 9021). Per evitare la stratificazione dell'acqua

durante le incubazioni, barrette magnetiche, sospese nelle carote, sono state fatte ruotare ad una velocità di 40 rpm da un sistema di magneti guidati da un motore esterno. Ad ogni prelievo un'aliquota di campione è stata immediatamente trasferita in provette in vetro (Exetainer) per la determinazione della concentrazione di O_2 . La restante acqua è stata filtrata e trasferita in *vials* di polietilene per la successiva determinazione di azoto ammoniacale e nitrico, e in provette in vetro per la determinazione dell'SRP.

I flussi di O_2 e dei nutrienti sono stati quantificati come variazione nel tempo della concentrazione del composto considerato secondo la formula:

$$F = \frac{(C_f - C_0) * V}{A * \Delta t}$$

dove:

- F è il flusso del composto in esame ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$);
- C_f e C_0 sono rispettivamente la concentrazione finale e iniziale del composto di interesse ($\mu\text{g L}^{-1}$);
- V è il volume dell'acqua all'interno della carota (L);
- A è l'area della superficie del sedimento nella carota (m^2);
- Δt è il tempo d'incubazione (h).

I flussi giornalieri di O_2 , SRP, N-NH_4^+ , N-NO_3^- e DIN (azoto inorganico disciolto = $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$), sono stati ottenuti moltiplicando i flussi orari calcolati alla luce e al buio rispettivamente per le ore medie di luce e buio del periodo di campionamento e poi sommati.

Successivamente alla misura dei flussi le carote sono state incubate una seconda volta al buio per quantificare i tassi di denitrificazione. Tra le due incubazioni, le carote sono state aperte e nuovamente sommerse nell'acqua del sito di campionamento per circa due ore.

I tassi di denitrificazione sono stati determinati mediante la tecnica di accoppiamento isotopico (Nielsen, 1992), che prevede l'aggiunta di nitrato marcato ($^{15}\text{NO}_3^-$) alla colonna d'acqua. Il metodo permette di quantificare il tasso di denitrificazione totale (D_T) e di distinguere la sorgente di nitrato utilizzata: nitrato proveniente dalla colonna d'acqua (D_W) o nitrato prodotto dalla nitrificazione nei sedimenti (D_N). Questo metodo si basa sull'assunzione che il nitrato che diffonde dalla colonna d'acqua ($^{15}\text{NO}_3^- + ^{14}\text{NO}_3^-$) e quello che si origina nel sedimento per nitrificazione ($^{14}\text{NO}_3^-$) si distribuiscano omogeneamente nell'orizzonte di sedimento sede di denitrificazione. Nell'interfaccia ossico/anossico del sedimento, i batteri denitrificanti riducono, quindi, la miscela isotopica di NO_3^- a $^{28}\text{N}_2 + ^{29}\text{N}_2 + ^{30}\text{N}_2$.

Per iniziare l'incubazione da ogni carota è stato prelevato un campione d'acqua e successivamente è stata aggiunta una soluzione di nitrato marcato ($^{15}\text{NO}_3^-$). Successivamente, dopo circa 10 minuti dall'aggiunta del $^{15}\text{NO}_3^-$, è stato prelevato un ulteriore campione d'acqua. La differenza nella concentrazione di nitrato tra il primo e il secondo campione ha permesso di quantificare esattamente la concentrazione finale di nitrato marcato. Le quantità di azoto marcato da aggiungere sono state calcolate per raggiungere un arricchimento finale compreso tra il 40 e il 70%. Dopo circa 30 minuti dall'aggiunta del nitrato marcato, tempo necessario per consentire al tracciante di diffondere nella zona di riduzione di NO_3^- del sedimento, le carote sono state

chiuse utilizzando coperchi galleggianti in plexiglass. I tempi di incubazione sono stati gli stessi utilizzati nelle incubazioni precedenti e impostati per garantire che il consumo di O_2 fosse inferiore al 20% della concentrazione iniziale di O_2 .

Al termine delle incubazioni, dopo circa 4 ore al buio, ad ogni carota sono stati aggiunti 2 ml di $ZnCl_2$ 7M alla fase acquosa per interrompere l'attività microbica, quindi, il sedimento e l'acqua sono stati mescolati. Il campione per l'analisi dell'azoto molecolare prodotto per denitrificazione è stato, quindi, prelevato da questa miscela e immediatamente trasferito in provette Exetainer a tenuta (Labco) a cui sono stati aggiunti 100 μ l di $ZnCl_2$ 7M. I campioni sono stati analizzati presso il laboratorio dell'Università di Ferrara con uno spettrometro di massa con iniezione a membrana (Membrane Inlet Mass Spectrometry) per la determinazione del contenuto di $^{28}N_2$, $^{29}N_2$ e $^{30}N_2$. Le concentrazioni di nitrato prima e dopo l'aggiunta di nitrato marcato sono state determinate con metodo spettrofotometrico. I tassi di denitrificazione totale sono stati calcolati dai tassi di produzione di $^{29}N_2$ e $^{30}N_2$ misurati durante le incubazioni seguendo le equazioni proposte da Nielsen (1992). I tassi giornalieri di denitrificazione sono stati ottenuti moltiplicando i flussi orari per 24 ore.

RISULTATI

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i risultati relativi alla quantificazione del metabolismo complessivo del sistema acquatico e del metabolismo bentico. In particolare, le misure relative ai tassi di produzione e consumo dell'ossigeno possono essere utilizzati per classificare lo stato di autotrofia o eterotrofia del corpo idrico, in quanto sono misure di sintesi che integrano diverse proprietà del sistema. Le misure relative alla fase *ante operam* sono state effettuate in un periodo caratterizzato da una forte siccità durante il quale la lanca è risultata costantemente disconnessa dal fiume Po (**Figura 15** e **Tabella 15**). In queste condizioni il metabolismo giornaliero dell'ossigeno, misurato sia a livello del sistema complessivo che a livello del sedimento superficiale, e i flussi di SRP e DIN misurati attraverso l'interfaccia acqua sedimento, sono risultati estremamente variabili.

Misura del metabolismo complessivo del sistema acquatico

La concentrazione dell'ossigeno disciolto evidenzia ampie variazioni su scala stagionale e giornaliera (**Figura 26**), con valori prossimi alla saturazione nei mesi invernali e ampiamente al di sopra o al di sotto della saturazione nei mesi estivi. Durante il periodo *ante operam* nei mesi di giugno e luglio, in particolare, valori relativamente bassi di ossigeno sono stati misurati anche in superficie quando la percentuale di saturazione ha raggiunto nelle ore notturne il 25%. Nel periodo estivo *post operam* la variazione della concentrazione dell'ossigeno è risultata più accentuata (CV = 42% rispetto al 25% del periodo *ante operam*) in particolare come conseguenza di un aumento delle concentrazioni massime dell'ossigeno che raggiungono valori superiori al 300% di saturazione.

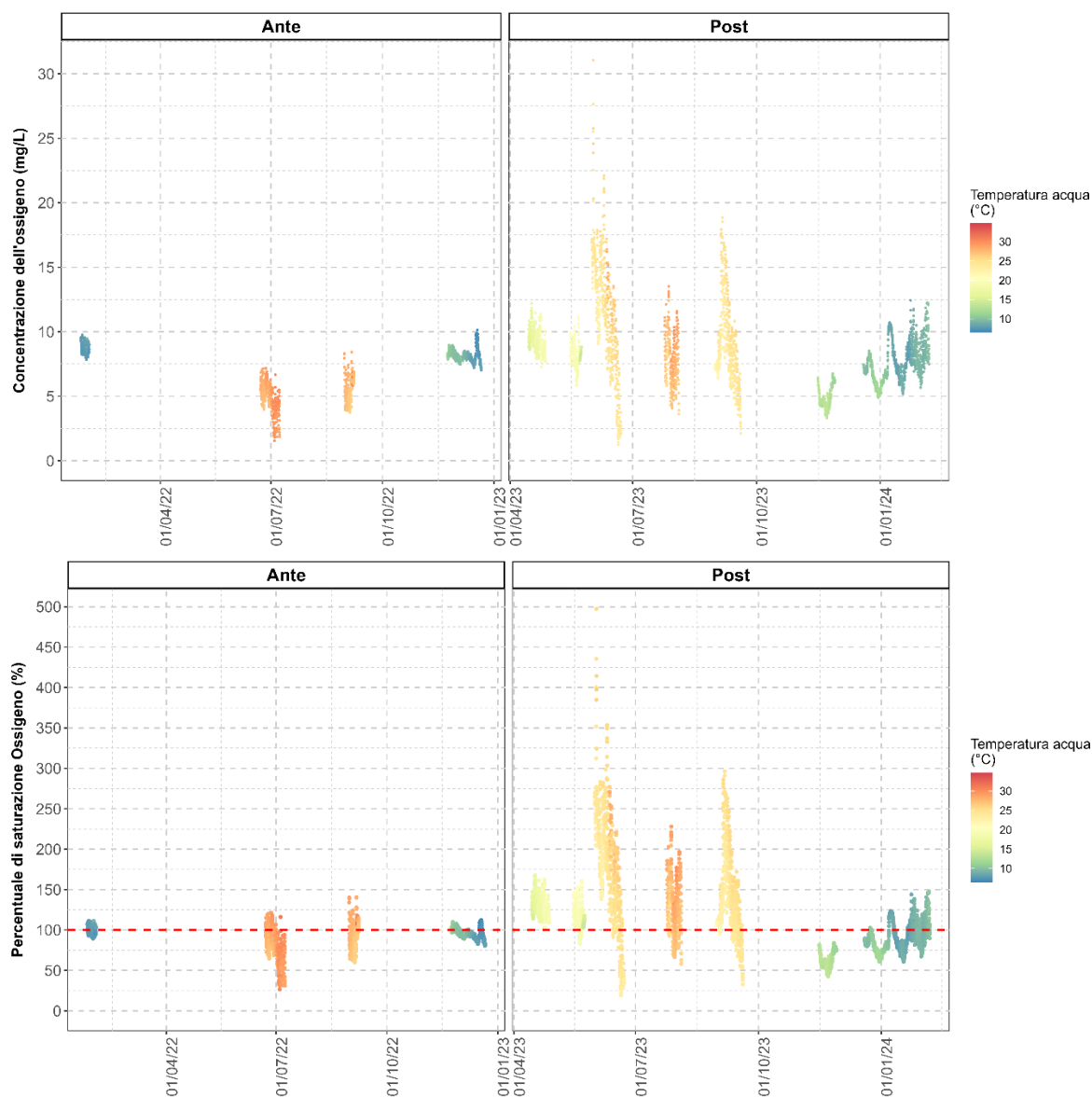


Figura 26 - Variazioni giornaliere della concentrazione dell'ossigeno (grafico in alto) misurate nella porzione superficiale di acqua della lanca nella stazione 3 e relativa percentuale di saturazione (grafico in basso). Ante = fase *ante operam*, Post = fase *post operam*.

Il metabolismo complessivo della lanca stimato con il metodo delle variazioni giornaliere dell'ossigeno è riportato in **Figura 27**. La respirazione è risultata compresa tra -22 e $-0.006 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ mentre la produzione lorda è risultata compresa tra 0.005 e $27 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Sia la respirazione che la produzione lorda seguono un andamento stagionale con valori maggiori durante la stagione estiva. A scala stagionale la

variabilità associata alle misure è risultata comunque elevata con variazioni consistenti tra le differenti giornate.

La produzione lorda più elevata è stata misurata in luglio e settembre, come probabile conseguenza delle temperature più alte e della maggiore biomassa dei produttori primari, mentre quelli più bassi nei mesi invernali. Il consumo respiratorio di ossigeno ha avuto un andamento speculare. I tassi di respirazione maggiori sono stati misurati in luglio e quelli inferiori in novembre. Complessivamente questi risultati evidenziano che nel periodo considerato la lanca era un sistema nettamente eterotrofo (**Figura 28**) con mediana = GPP inferiore ad ER e un rapporto mediano GPP/ER pari a 0.9 (min = 0.11 e max = 4.72).

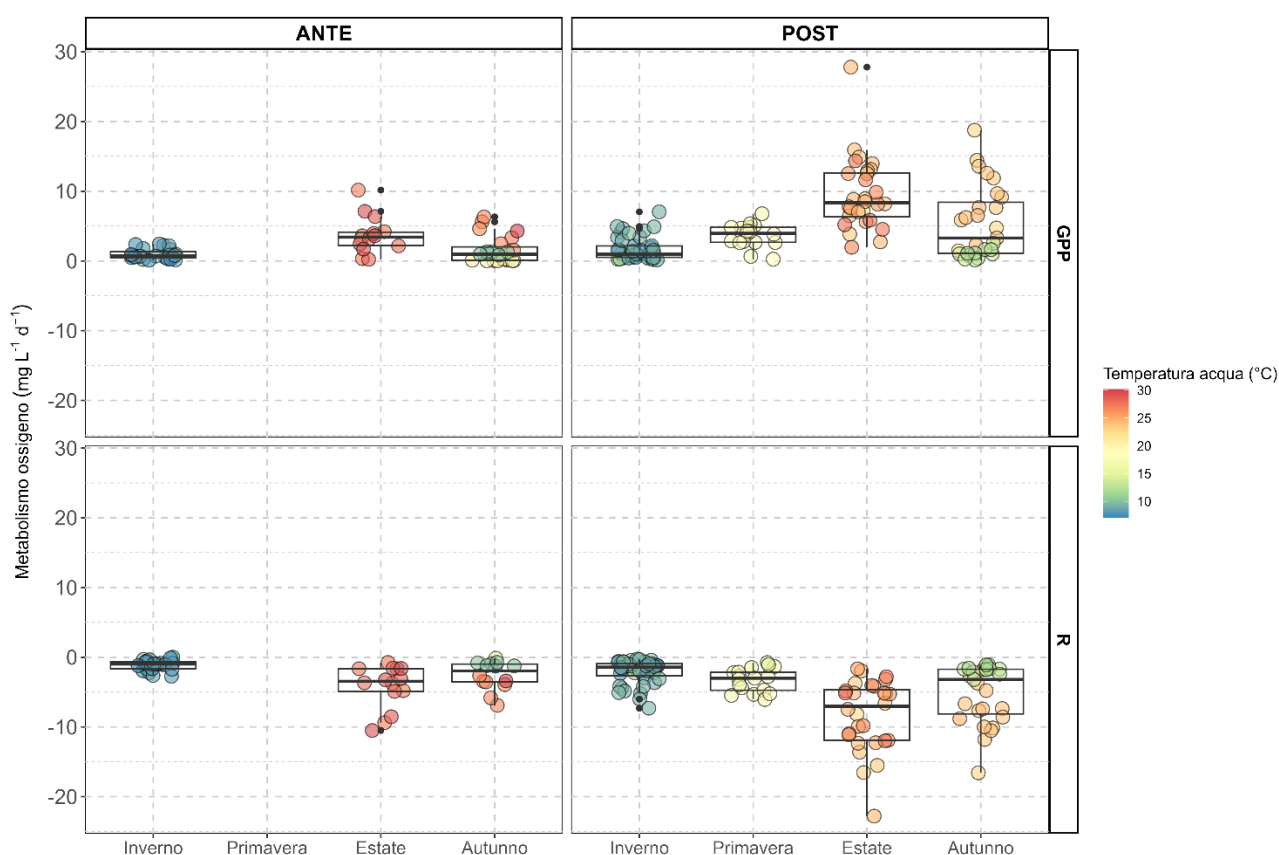


Figura 27 - Produzione primaria lorda della lanca (GPP) e respirazione (ER) misurate nella stazione 3 con il metodo delle variazioni di concentrazione dell'ossigeno disciolto. Ante = fase *ante operam*, Post = fase *post operam*.

L'elevata variabilità associata alle misure non permette di individuare differenze significative tra il periodo *ante* e *post operam* ma i risultati ottenuti suggeriscono un cambiamento nel metabolismo del sistema. In particolare, se si considera il periodo estivo, che è quello metabolicamente più attivo, è possibile identificare

alcune differenze. Sia la GPP che la ER hanno evidenziato un intervallo maggiore di valori nel periodo *post operam* con tassi massimi circa 2 volte superiori a quelli misurati nel periodo *ante operam*. Di conseguenza, durante il periodo estivo e autunnale il metabolismo tende verso condizioni di maggiore autotrofia netta con un rapporto mediano GPP/ER pari a 1.07 rispetto ad un rapporto pari a 0.84 misurato nello stesso intervallo temporale prima dell'intervento (**Figura 28**). Questi risultati suggeriscono che l'aumento della frequenza di riconnessione stimola principalmente la produzione della OM rispetto alla mineralizzazione causando una maggiore capacità dell'ambiente di accumulare o esportare carbonio in forma organica. Si tratta tuttavia di risultati riferiti ad un unico anno di monitoraggio che devono essere confermati nei prossimi anni e su un numero maggiore di siti.

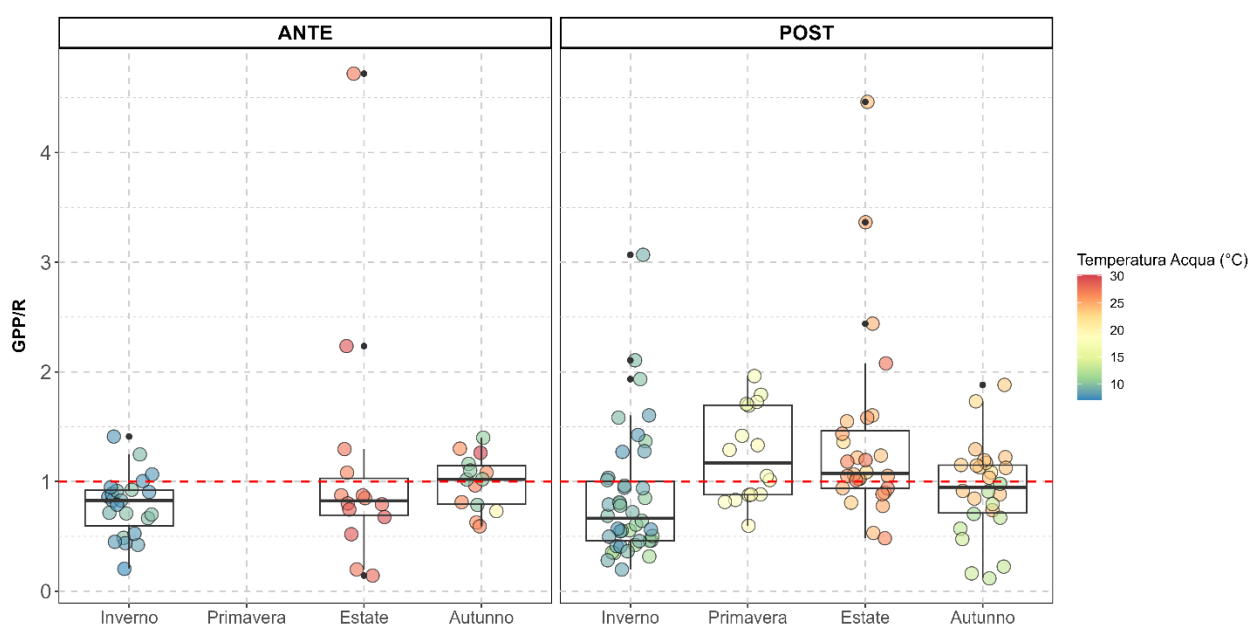


Figura 28 – Rapporti tra produzione primaria lorda (GPP) e respirazione (ER) misurati nella stazione 3. Ante = fase *ante operam*; Post = fase *post operam*.

Metabolismo benthico e flussi di fosforo, azoto e silice inorganici

Il metabolismo benthico è risultato compreso tra -3295 e $3168 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, con un valore mediano pari a $-160 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (**Figura 29**). Nella fase *post operam* è stato osservato un flusso giornaliero di O_2 inferiore e meno variabile (mediana = $-45 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, min= $1692 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max= $1678 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) rispetto alla fase *ante operam* (mediana = $-272 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, min= $3295 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max= $3168 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Più specificatamente la differenza tra le due fasi è fortemente legata alla stagionalità, con una inversione dello stato trofico tra primavera ed estate tra la fase *ante* e *post operam* (**Figura 29**). Durante la stagione primaverile il metabolismo passa da uno stato di netta eterotrofia (cat. 1) ad uno di totale autotrofia (cat. 3) con un tasso di ER (media $\pm$ errore standard) nella fase *post operam*, che diminuisce da $-954 \pm 75 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

$^2 \text{ d}^{-1}$ a $-301 \pm 14 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($\Delta = 653 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e la NEP che aumenta da $-605 \pm 226 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $872 \pm 129 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($\Delta = 1477 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Il metabolismo della stagione estiva registra invece un andamento opposto con il passaggio per entrambe le zone dall'autotrofia (cat. 2 e 3) all'eterotrofia (cat. 0 - 1). Particolarmente evidente è la variazione della zona sommersa che passa dalla categoria 3 alla 0. Infine, l'autunno con tassi confrontabili nelle due fasi di ER ($-268 \pm 22 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e NEP ($420 \pm \text{mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) resta complessivamente autotrofo.

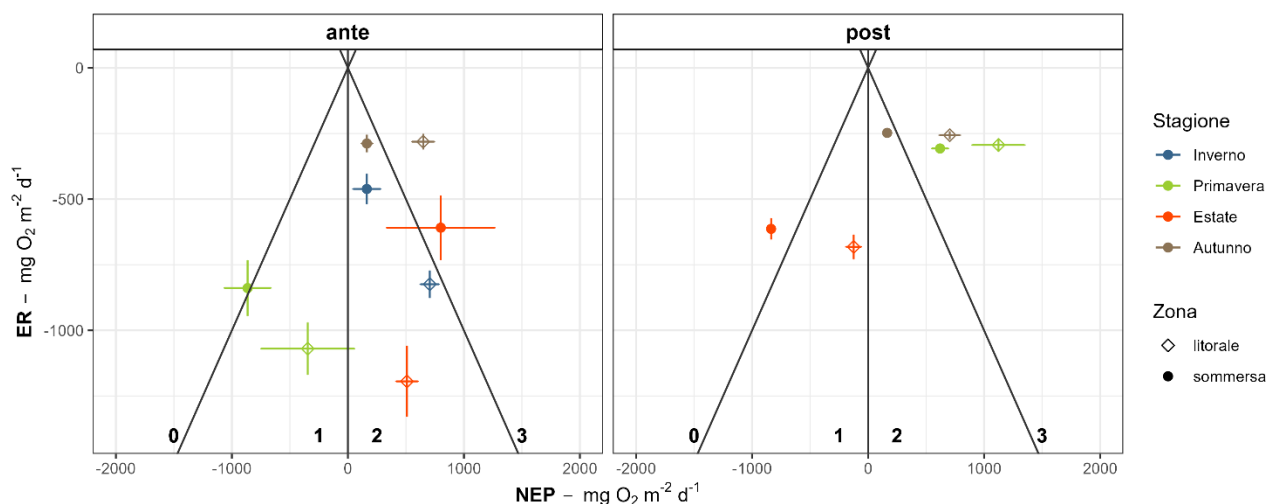


Figura 29 – Metabolismo benthico giornaliero dell'ossigeno (media $\pm$ errore standard) misurato nella lanca di Gussola confrontando i risultati nella fase *ante* (sinistra) e *post* (destra) *operam*. L'asse x rappresenta la produzione netta (NEP), mentre l'asse y la respirazione (ER) espresse in $\text{mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Il diagramma è costruito secondo lo schema del TOSI (Trophic Oxygen Status Index) proposto da Viaroli & Christian (2004), dove i settori evidenziati dai numeri in grassetto indicano le categorie dello stato trofico: **0** = totalmente eterotrofo; **1** = eterotrofo netto; **2** = autotrofo netto; **3** = totalmente autotrofo. I dati sono presentati secondo lo schema di campionamento stagionale e separando la zona litorale ($\diamond$) da quella sommersa ($\bullet$).

Rispetto alle singole zone si osserva la formazione di un gradiente di profondità univoco nella fase *post operam*: a fronte di un tasso di ER confrontabile tra la zona litorale e sommersa, si registrano tassi di NEP inferiori per la zona sommersa in tutte e tre le stagioni. Questo aspetto rende la zona sommersa più eterotrofa rispetto a quella litorale.

La condizione di eterotrofia netta dei sedimenti può essere spiegata dal contenuto di OM labile che sostiene elevati tassi di mineralizzazione batterica e dalla torbidità dell'acqua che riduce la penetrazione della luce. Questo appare piuttosto coerente nella fase *post operam* dove si registra uno stato più eterotrofo in concomitanza di maggiori valori di OM (e.g. si veda l'estate rispetto a primavera e autunno) e per tutti gli strati più profondi (Figura 24; Figura 18). OM e Pheo con valori inferiori in primavera ed autunno, sono coerenti con gli inferiori di mineralizzazione, questo permette alla produzione primaria (di cui Chl-a è un indicatore) di acquistare un ruolo maggiore e spostando lo stato trofico verso l'autotrofia.

Per quanto la zona (litorale vs sommersa) contribuisca a modificare la categoria dello stato trofico, tuttavia non altera la condizione generale, che resta comunque autotrofa o eterotrofa a seconda della stagione. Questo aspetto suggerisce come, per i campioni analizzati in questo periodo, la variabile stagione abbia un peso maggiore rispetto al gradiente di profondità e consente di presentare i risultati dei flussi di SRP, N-NO_3^- , N-NH_4^+ e i tassi di denitrificazione in maniera aggregata.

Il flusso netto di SRP passa da un valore mediano pari a $0.5 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (min = $-3.1 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $5.2 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a 0.04 (min = $-11. \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $6.1 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) *post operam*. Mentre il flusso di N-NH_4^+ passa da un valor mediano pari a $-1 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (min = $-99 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $117 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a $-4 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (min = $-101 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $286 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

I flussi di SRP e N-NH_4^+ risultano accoppiati con lo stato trofico: in condizioni di eterotrofia il sedimento si comporta da sorgente di SRP e N-NH_4^+ , indicando una dominanza dei processi di riciclo e rilascio dei nutrienti in colonna d'acqua; mentre la condizione di autotrofia risulta più incerta ed è associata a flussi nulli o negativi di SRP e N-NH_4^+ , suggerendo una crescente importanza dell'uptake di nutrienti probabilmente legata ai produttori primari che bilanciano il rilascio del sedimento anossico. Ne deriva che il passaggio di stato trofico, considerando la fase *ante* e *post operam*, coincide con il cambio del flusso di SRP e N-NH_4^+ in primavera (SRP passa da $1.2 \pm 0.3 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $-0.1 \pm 0.2 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, N-NH_4^+ passa da $36 \pm 7 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $-1 \pm 4 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), ed estate (SRP passa da $1.5 \pm 0.3 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $1.4 \pm 0.4 \text{ mg P m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, N-NH_4^+ passa da $1 \pm 10 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a $56 \pm 17 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Per entrambi i nutrienti in autunno il comparto bentico si comporta come una trappola, con flussi maggiori nella fase *post operam*.

Anche i flussi di N-NO_3^- e i tassi di denitrificazione seguono un andamento stagionale, tuttavia rispetto ai flussi di SRP e N-NH_4^+ , non sembrano seguire le variazioni legate al cambiamento dello stato trofico. Il flusso di N-NO_3^- resta sostanzialmente invariato con un valore mediano nella fase *ante* $-7 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (min = $-99 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $27 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), e $-11 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (min = $-49 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $24 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) nella fase *post operam*. Analogamente i tassi di denitrificazione sembrano essere inferiori nella fase *post operam* con una mediana che diminuisce da $7 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (min = $0 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $54 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a $3 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (min = $0 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, max = $17 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

La denitrificazione è un processo che avviene nel sedimento superficiale in assenza di ossigeno, quando sono presenti N-NO_3^- e OM. In un ambiente acquatico la regolazione dei tassi di denitrificazione è quindi complessa in quanto influenzata da diversi fattori che modificano la disponibilità relativa dei substrati del processo (N-NO_3^- e OM) e di O_2 . Quello che si osserva confrontando i risultati stagionali è un maggior accoppiamento dei flussi di N-NO_3^- con i tassi di denitrificazione nella fase *post operam* rispetto alla fase *ante*. Il comparto bentico passa da trappola in primavera ($-23 \pm 3 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a sorgente in autunno ($3 \pm 2 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) di N-NO_3^- , e parallelamente il tasso di denitrificazione diminuisce da $8 \pm 1 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (in primavera) a 0.3 ± 0.2 in autunno. Se nella fase *ante operam* il parziale disaccoppiamento tra il flusso di N-NO_3^- e la denitrificazione (specialmente in autunno) può suggerire la concomitanza di diversi processi del ciclo biogeochimico di N, nella fase *post* la disponibilità di N-NO_3^- in colonna d'acqua sembra più regolata dalla denitrificazione.

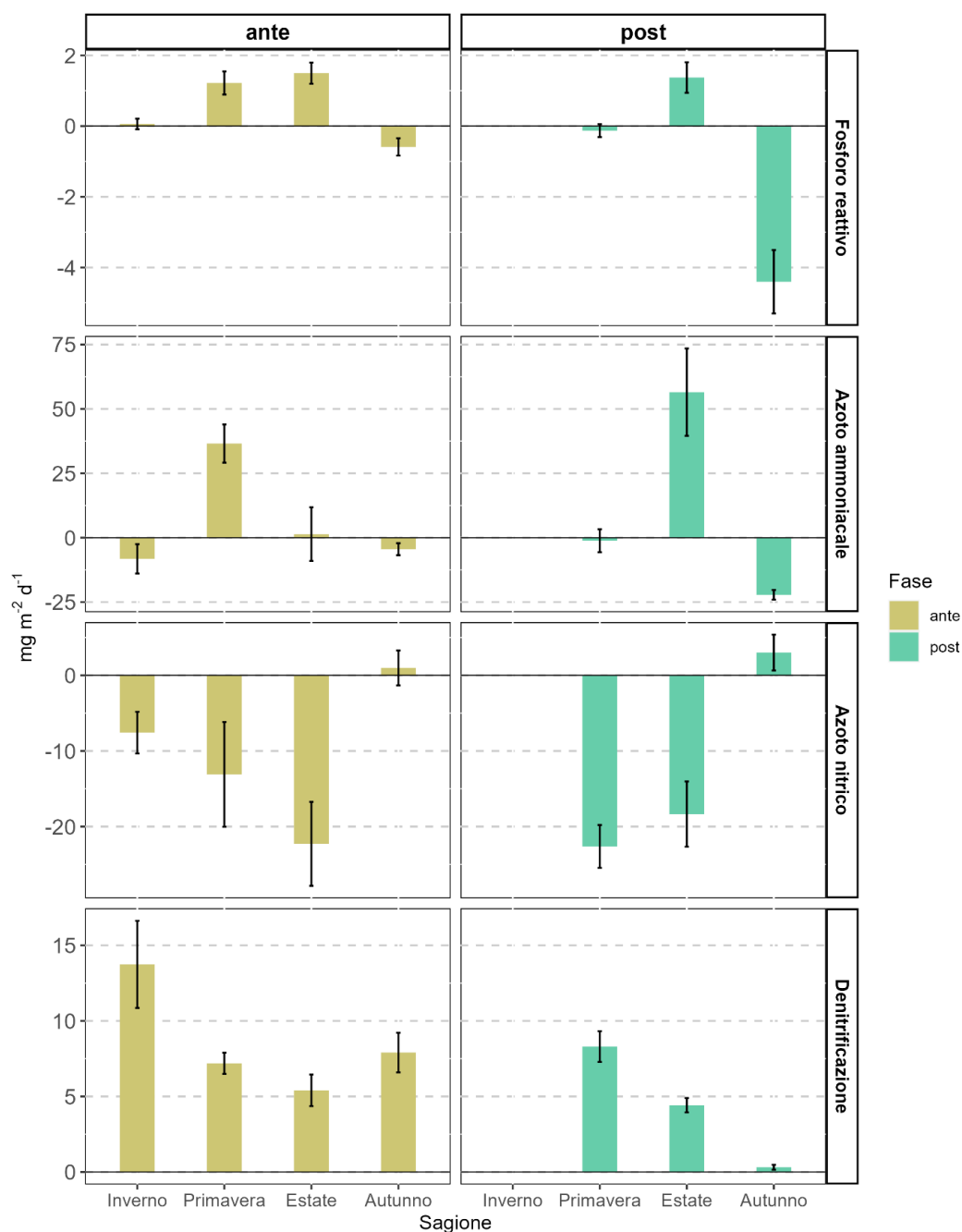


Figura 30 – Flussi giornalieri di SRP, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ e tassi di Denitrificazione, misurati nel sedimento della lanca di Gussola nella fase ante (sinistra) e post (destra) operam. I dati sono presentati secondo lo schema di campionamento stagionale.

CONSIDERAZIONI DI SINTESI del primo triennio

All'interno dell'attività di monitoraggio ante e post operam della Lanca di Gussola, è stata effettuata:

- 1) la caratterizzazione chimico-fisiche dell'acqua della lanca e del fiume Po;
- 2) la caratterizzazione del sedimento della lanca di Gussola;
- 3) la misura del metabolismo complessivo del sistema acquatico;
- 4) la misura del metabolismo bentico, dei flussi di fosforo e azoto e i tassi di denitrificazione

In linea generale la concentrazione di nutrienti (azoto e fosforo inorganici) in colonna d'acqua è risultata minore nella Lanca rispetto al fiume Po. Le concentrazioni di nutrienti della lanca sono risultate maggiori nella fase *post operam* rispetto al periodo precedente, suggerendo come la riconnessione con il fiume Po aumenti la frequenza di rinnovo del pool di nutrienti. Il metabolismo complessivo, le caratteristiche del sedimento ed il metabolismo bentico mostrano una marcata stagionalità e le principali differenze tra la fase *ante* e *post operam* sono state osservate su base stagionale.

Durante il periodo estivo e autunnale il metabolismo complessivo della lanca passa dalla condizione di eterotrofia nella fase *ante* a quella di autotrofia nella fase *post operam*. L'aumento della frequenza di riconnessione aumenta l'apporto di elementi nutritivi che stimolano la produzione della OM rispetto alla mineralizzazione causando una maggiore capacità dell'ambiente di accumulare o esportare carbonio in forma organica. Questo aspetto risulta particolarmente evidente in estate, periodo in cui è stata misurata una percentuale maggiore di OM e una maggiore concentrazione di Pheo nel sedimento.

La maggiore riconnessione modifica anche il grado di autotrofia del comparto bentico. Se da una parte i fenomeni di piena favoriscono l'ingresso di nutrienti (sia disciolti che particolati), dall'altra aumentano il grado di erosione esportando la materia organica generata dalla lanca. Questo sembra particolarmente evidente in primavera quando, analogamente all'autunno, la maggiore disponibilità di nutrienti disciolti e la minore quantità di OM spinge il comparto bentico verso l'autotrofia rispetto alla condizione *ante operam*. Nel complesso la fase estiva, a causa dalla magra stagionale del Po, mantiene comunque un certo grado di disconnessione in entrambe le fasi, favorendo processi di accumulo e sedimentazione della sostanza organica, che sostengono la mineralizzazione bentica. Nella fase *ante operam*, la prolungata disconnessione e l'elevata evotraspirazione, contribuivano ad una complessiva scarsa profondità della lanca, permettendo la crescita dei produttori primari anche nella zona sommersa. Questo aspetto garantiva elevati tassi di NEP anche a fronte di una elevata ER. Al contrario, nella fase *post operam*, il livello idrometrico maggiore spinge la lanca verso una differenziazione secondo il gradiente di profondità. La penetrazione della luce negli strati più profondi è molto limitata ed il consumo di ossigeno non è bilanciato dalla produzione fototrofica spingendo la zona sommersa verso una condizione di totale eterotrofia. Contemporaneamente il riscaldamento degli strati più superficiali che inducono stratificazione termica e isolano completamente le zone più profonde, determina il progressivo esaurimento della riserva di ossigeno. In queste condizioni anche in superficie durante le ore notturne del periodo estivo la concentrazione dell'ossigeno devia sensibilmente rispetto all'equilibrio denotando una situazione di sofferenza del sistema. Le zone più profonde della lanca sono risultate a rischio di anossia e quindi inadatte alla sopravvivenza della fauna acquatica e, più in generale, della componente eterotrofa acquatica durante la fase estiva.

ATTIVITÀ 4

Tecniche di Telerilevamento per il monitoraggio di ecosistemi fluviali

MATERIALI E METODI: acquisizione e processamento delle immagini satellitari

La missione Sentinel-2 comprende due satelliti gemelli (S2A e S2B) polari, multispettrali, ad alta risoluzione spaziale e collocati sulla stessa orbita, ma sfasati di 180° l'uno dall'altro. Questa caratteristica permette di ottenere un tempo di rivisitazione di circa 5 giorni. A bordo di questi satelliti è presente il sensore ottico MSI (*MultiSpectral Instrument*) dotato di 13 bande caratterizzate da una risoluzione spaziale variabile (10, 20 e 60 m). Nello specifico, il fascio di luce in entrata viene diviso e focalizzato su due gruppi di piani focali separati: uno per le bande del VIS-NIR (Visibile-Vicino Infrarosso, 11 bande: 442-1376 nm) e l'altro per le bande dello SWIR (Infrarosso ad onde corte, 2 bande: 1610-2202 nm).

Le immagini satellitari Sentinel-2 (S2) prive di nuvole e altri disturbi ottici (ad esempio, *sun glint*) sono state scaricate dai portali "<https://scihub.copernicus.eu/>" e "<https://catalogue.onda-dias.eu/catalogue/>" come Livello 1 (non corrette atmosfericamente) e ri-campionate alla medesima risoluzione spaziale (10 m). Nel dettaglio, tra maggio 2021 e marzo 2022 sono state acquisite 6 immagini S2 sincrone (± 1 giorno) ai campionamenti effettuati *in situ* per la caratterizzazione della qualità chimico-fisica delle acque) 31/0/2021, 22/06/2021, 10/07/2021 (+1), 20/09/2021 (-1), 24/11/2021 (+1), 22/03/2022; **Figura 31**). Questo primo set di immagini è stato integrato con altre 6 immagini acquisite tra luglio 2022 e febbraio 2023 (**Figura 32**) e altre 6 immagini tra gennaio e maggio 2024 (11/01/2024, 02/02/2024, 16/02/2024, 23/03/2024, 12/04/2024, 10/05/2024; **Figura 33**). Per la seconda e terza fase di attività non è stato necessario allineare in modo puntuale, come per la prima fase di indagine, le immagini alle giornate di caratterizzazione di campo della Lanca e Po [10 luglio 2022 (+2), 11 agosto 2022 (+7), 15 settembre 2022 (-4), 8 ottobre 2022, 28 gennaio 2023 (+12), e 15 febbraio 2023; **Figura 32**], infatti grazie al *database* informativo costruito nella prima fase di attività è stato possibile derivare i prodotti telerilevati del tutto rappresentativi.

Il processamento delle immagini S2 è stato effettuato tramite la rete neurale ACOLITE (Vanhellemont & Ruddick 2016; **Figura 34**) che è in grado di effettuare la correzione atmosferica, mascherare automaticamente i pixel d'acqua e fornire come prodotto le *Remote Sensing Reflectance* (Rrs), ovvero le riflettanze al suolo corrette atmosfericamente, dalle quali è stato possibile generare mappe tematiche relative ai diversi parametri di qualità delle acque: solidi sospesi (*Suspended Particulate Matter*, SPM) e clorofilla-a (Chl-a). Nello specifico, gli algoritmi utilizzati per ottenere i valori di SPM e Chl-a sono rispettivamente "SPM_Nechad_2016" (Nechad et al., 2010) e "Chl_re_Mishra" (Mishra & Mishra 2012). Il primo algoritmo ha permesso di ottenere delle mappe relative alla concentrazione di SPM espressa in $g\ m^{-3}$, mentre i valori generati dal secondo algoritmo sono stati utilizzati per generare delle mappe di concentrazione di Chl-a. **Si tratta di un'attività esplorativa per valutare la potenzialità delle tecniche di telerilevamento ai fini di generare informazioni di tipo valutativo/gestionale per la classificazione dei fiumi di grandi dimensioni (*very large rivers*), vale a dire caratterizzati da bacini idrografici $>10.000\ km^2$.** Per questi corpi idrici la DQA annovera il fitoplancton tra gli elementi di qualità biologica, sebbene l'Italia abbia fornito una giustificazione per la sua esclusione nei percorsi di valutazione dei fiumi molto grandi a scala nazionale (Gap 4; si vedano gli allegati X e XI; Mischke et al., 2018). **Ciò nonostante, la sempre più**

significativa "lenticizzazione" del fiume Po nelle fasi di magra suggerisce l'utilità di acquisire spazialmente anche questo tipo di informazione. Nel caso presente, abbiamo utilizzato come riferimento per la classificazione delle immagini il metodo italiano di valutazione del fitoplancton (IPAM), così come previsto dai nuovi metodi di classificazione indicati nella Decisione 2018/229/UE per i laghi. Nel proseguo delle attività, approfondiremo i metodi europei indagati da Mischke e colleghi (2018) per offrire materiali coerenti con le metodiche adottate a scala europea per monitorare questo descrittore nei fiumi molto grandi.



Figura 31 - Immagini satellitari Sentinel-2 (True color) relative alla lanca di Gussola e al tratto di fiume Po investigato (per la prima fase di indagine = maggio 2021 – marzo 2022).



Figura 32 - Immagini satellitari Sentinel-2 (True color) relative alla lanca di Gussola e al tratto di fiume Po investigato (per la seconda fase di indagine = luglio 2022 – febbraio 2023).



Figura 33 - Immagini satellitari Sentinel-2 (True color) relative alla lanca di Gussola e al tratto di fiume Po investigato (per la terza fase di indagine = gennaio 2024 – maggio 2024).

Nello specifico, abbiamo adottato le soglie imposte per i **corpi idrici di tipo L4** (poco profondi, polimittici e senza stratificazione stabile): *elevato* ($< 4.4 \mu\text{g L}^{-1}$), *buono* ($4.4 - 8 \mu\text{g L}^{-1}$), *sufficiente* ($8 - 14.6 \mu\text{g L}^{-1}$), *scarso* ($14.6 - 26.7 \mu\text{g L}^{-1}$) e *cattivo* ($> 26.7 \mu\text{g L}^{-1}$) [Tab. 4.2.1/c Limiti di classe RQE per la concentrazione media annua di Chl-a; aggiornamento Dec.260/2010; dal foglio di calcolo "BV_indici_fitoplancton_2016" (www.ise.cnr.it/wfd)]. Si tratta, come anticipato nel testo, di un tentativo di classificazione che sarà raffinato nel proseguo delle attività, anche grazie al contributo critico di ADBPO.

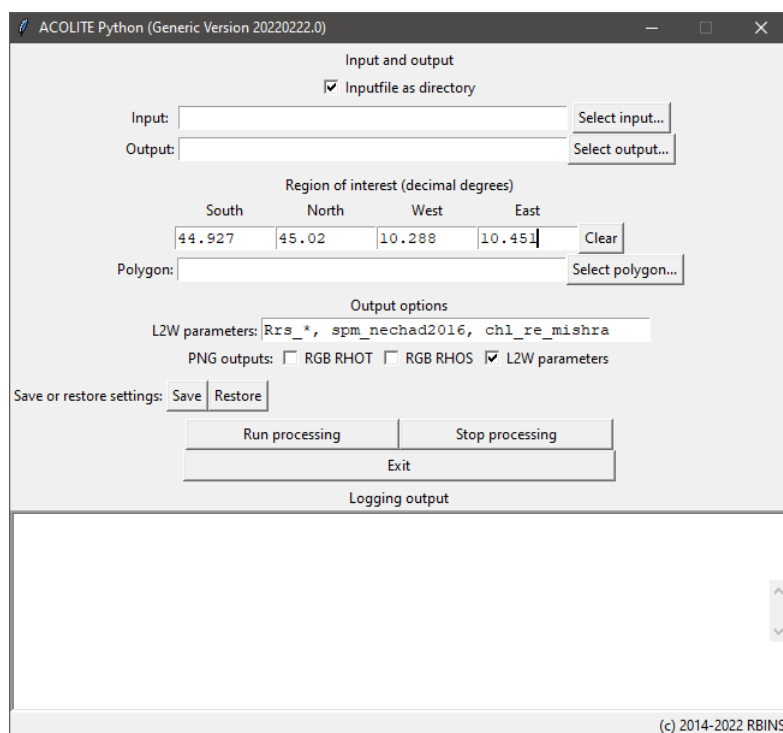


Figura 34 - Interfaccia del software ACOLITE (v.2022). Nella sezione “Region of interest” vanno indicate le coordinate dell’area di studio, mentre nella sezione “Output options” vanno inseriti i nomi degli algoritmi.

Infine, a partire dai prodotti di riflettanza *Rrs*, è stato possibile calcolare per ciascuna immagine *S2* la lunghezza d’onda dominante relativa alla Lanca di Gussola e al tratto di Po situato nei pressi di quest’ultima. L’osservazione di tale valore risulta essere un metodo efficiente ed intuitivo per valutare lo stato di qualità delle acque ed è stato calcolato utilizzando il metodo descritto da Van der Woerd & Wernand (2018), tramite diagrammi cromatici.

RISULTATI

Validazione dei prodotti satellitari

Per validare i prodotti ACOLITE derivati dalle immagini *S2*, è stato effettuato un confronto tra i valori di SPM e Chl-a raccolti durante le campagne di misurazione *in situ* e quelli ottenuti a partire dalle immagini satellitari. Come già anticipato, sono stati presi in considerazione i prodotti ottenuti tramite i due algoritmi “SPM_Nechad_2016” e “Chl_re_Mishra”. Erano a disposizione 26 punti di campionamento *in situ* raccolti in differenti date; di questo *dataset* è stato possibile effettuare il confronto rispetto ai valori delle mappe prodotte dalle immagini *S2* solamente per quei match-up sincroni tra il dato *in situ* e il dato satellitare. I punti non sincroni sono stati eliminati come degli *outlier* e alla fine sono stati mantenuti 23 confronti per i solidi

sospesi e 20 per la Chl-a. I risultati di tali comparazioni sono stati utilizzati per validare anche i prodotti acquisiti ed elaborati nella seconda e terza fase di studio, seguendo approcci consolidati in letteratura.

Il confronto tra il dato *in situ* e le mappe è stato effettuato creando delle Regioni di Interesse (9 *pixel* partendo da quello centrale corrispondente alle coordinate del dato *in situ*) da cui si sono estratti i valori medi di SPM e Chl-a dalle mappe prodotte. Da questa validazione è emerso come vi è un ottimo accordo per quanto riguarda i solidi sospesi ($R^2 = 0.82$) e un buon accordo per la clorofilla ($R^2 = 0.62$; **Figura 35**). Inoltre, per entrambi i prodotti di qualità delle acque, sono stati calcolati il "Mean Absolute Error" (MAE) e il "Root Mean Square Error" (RMSE) (**Figura 35**).

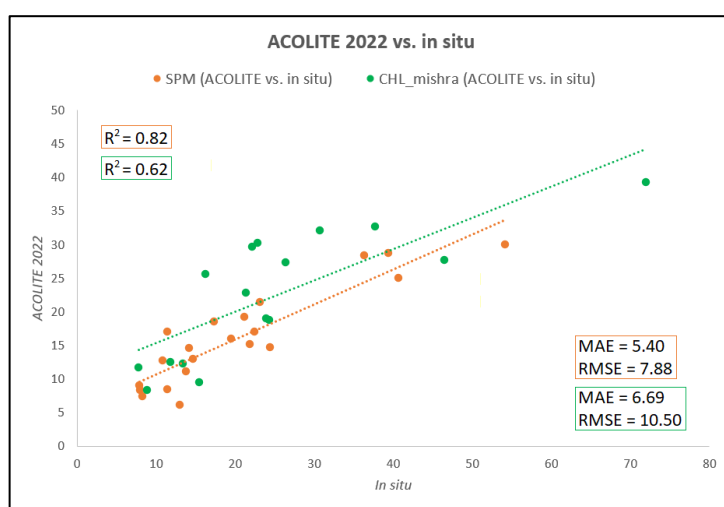


Figura 35 – Confronto tra le misurazioni *in situ* e i prodotti ottenuti tramite ACOLITE a partire dalle immagini satellitari S2. In arancione i valori di SPM, mentre in verde i valori di Chl-a.

Prodotti di qualità delle acque: SPM e Chl-a

A partire dalle immagini S2, tramite ACOLITE, è stato possibile generare delle mappe relative alla concentrazione di SPM (**Figura 36**) e mappe riferite alle classi di clorofilla dell'indice IPAM, che indicano lo stato di qualità delle acque (**Figura 37**). Per la **Figura 36** è stata presa in considerazione un'area più estesa in modo tale da comprendere anche alcuni corpi idrici (ad es., laghi di cava) situati nei pressi della lanca.

Confrontando la concentrazione media dei solidi sospesi (SPM) della Lanca con quella del tratto del fiume Po emerge come la Lanca sia sempre più torbida del fiume, ad eccezione del 24/11/2021 (**Tabella 17**), con picchi di torbidità nei mesi di maggio, luglio e agosto. Osservando invece i valori di clorofilla [Chl-a], si può notare come la Lanca rientri costantemente nei limiti delle classi peggiori dell'indice IPAM ("scarso" e "cattivo"; **Allegato 3**), con un netto peggioramento della qualità nel periodo agosto 2022 – gennaio 2023. Dal canto suo, il fiume Po, invece, nel periodo settembre 2021 – gennaio 2023 oscilla tra lo stato "buono" e "sufficiente" (*status* che rappresenta la tendenza prevalente nell'ultima fase di studio), con la sola eccezione del mese di luglio 2022 in cui risulta "scarso".

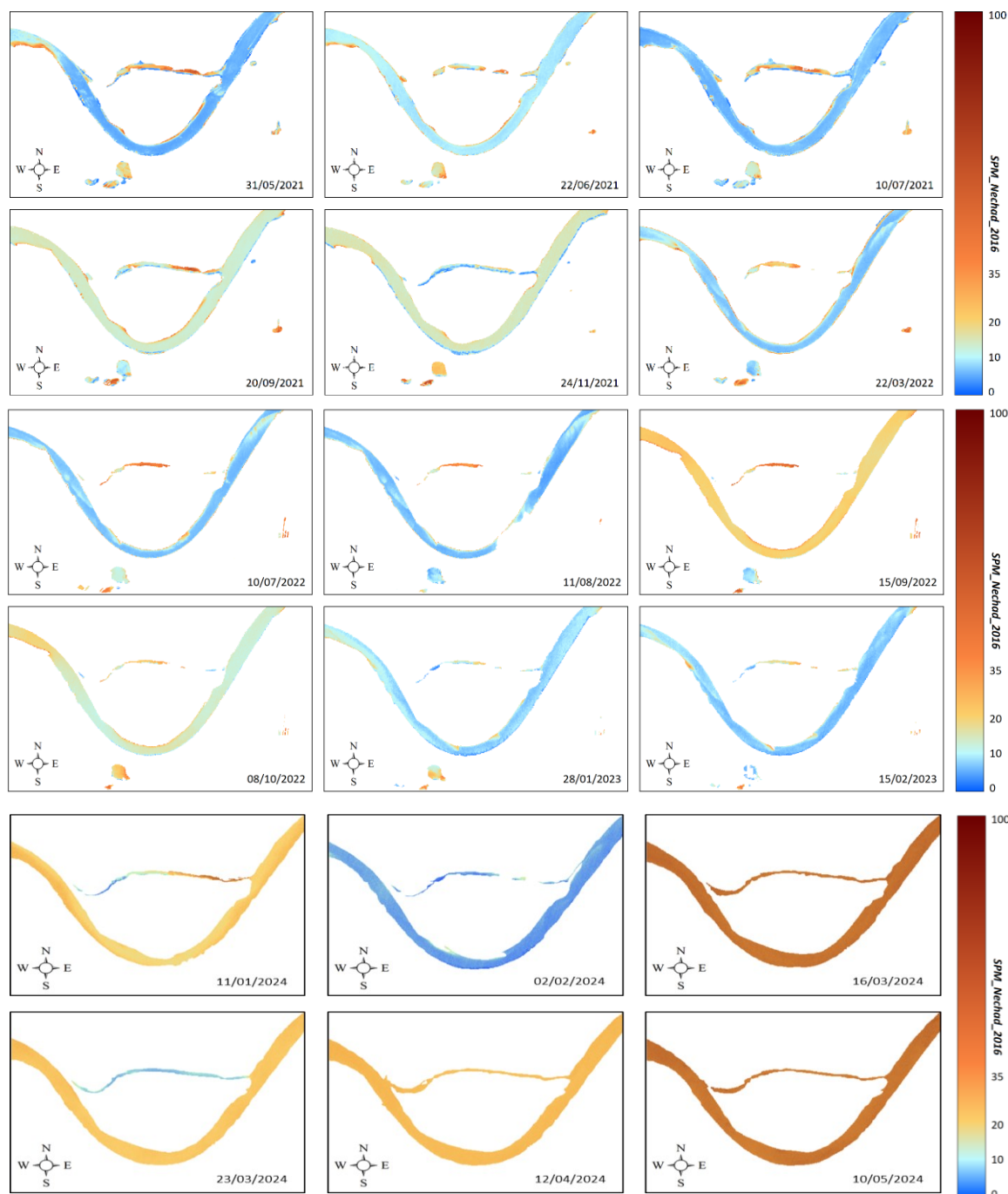


Figura 36 – Mappe relative alla concentrazione di solidi sospesi (SPM [g m^{-3}]) ottenute tramite ACOLITE.

Inoltre, è stato possibile notare come per il descrittore SPM, il fiume Po risulti piuttosto omogeneo (ad eccezione dei valori misurati a settembre 2022), mentre la Lanca presenta una variabilità elevata che si rispecchia anche nella variabilità dei valori misurati in termini di deviazione standard (*dev.std.*). In termini di qualità espressa dall'indicatore IPAM, è il fiume Po a mostrare una maggiore diversità (modificando il proprio giudizio di qualità nel *range* "cattivo – buono"), mentre la Lanca ricade nelle sole classi peggiori di qualità (cattivo, scarso). Con particolare riferimento al 2024, il primo semestre è stato un periodo molto più piovoso, di conseguenza sono state riscontrate delle concentrazioni di SPM mediamente maggiori, senza differenze significative tra il tratto di fiume Po e la lanca di Gussola, ad eccezione del 23/03/2024. Osservando invece i valori di clorofilla, si può notare come la lanca oscilli costantemente tra limiti "sufficiente" e "scarso" dell'indice IPAM, mentre il fiume Po rientra nelle classi "buono" e "sufficiente" dell'indice.

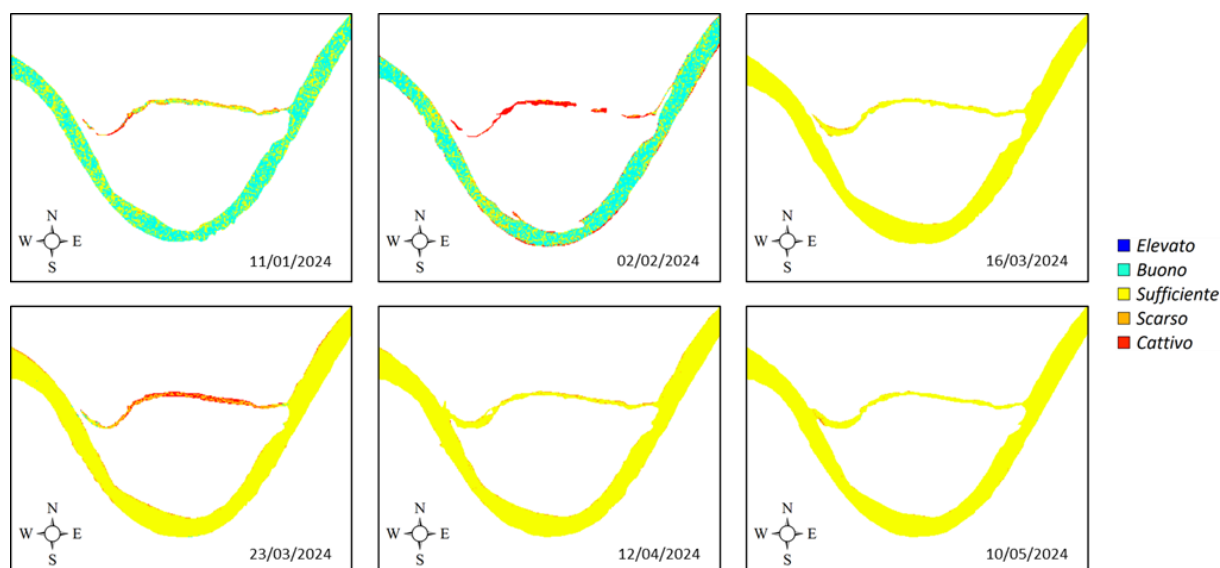


Figura 37 – classi di clorofilla dell'indice IPAM per il 2024.

Tabella 17 – Concentrazioni medie di SPM [g m^{-3}] relative alla lanca di Gussola e al tratto del fiume Po investigato, e classificazione dello stato di qualità delle acque della lanca di Gussola e del tratto del fiume Po investigato secondo il metodo italiano di valutazione del fitoplancton (IPAM).

data	Lanca		Po		Indice IPAM	
	media	dev.std.	media	dev.std.	Lanca	Po
31/05/2021	28.7	12.1	6.4	1.4	Scarso	Cattivo
22/06/2021	18.8	7.5	9.5	0.7	Scarso	Scarso
10/07/2021	24.6	11.3	6.4	0.8	Cattivo	Cattivo
20/09/2021	23.0	15.0	13.5	0.8	Scarso	Buono
24/11/2021	10.6	5.1	14.5	0.8	Scarso	Buono
22/03/2021	19.2	5.7	7.9	1.6	Cattivo	Buono
10/07/2022	30.6	11.9	7.8	2.8	Scarso	Scarso

data	Lanca		Po		Lanca	Po
	SPM [g m ⁻³]		SPM [g m ⁻³]		Indice IPAM	
	media	dev.std.	media	dev.std.		
11/08/2022	25.2	11.0	7.2	2.4	Cattivo	Sufficiente
15/09/2022	32.4	14.8	20.0	1.5	Cattivo	Buono
08/10/2022	18.4	7.7	14.3	2.1	Cattivo	Sufficiente
28/01/2023	11.1	5.3	9.1	1.8	Cattivo	Sufficiente
15/02/2023	15.6	6.4	7.9	2.3	Scarso	Sufficiente
11/01/2024	27.8	18.1	28.0	2.9	Scarso	Buono
02/02/2024	7.2	3.4	6.6	1.4	Cattivo	Buono
16/03/2024	56.6	8.3	58.5	1.7	Sufficiente	Sufficiente
23/03/2024	10.2	2.2	29.9	1.2	Cattivo	Sufficiente
12/04/2024	32.1	1.1	33.5	1.0	Sufficiente	Sufficiente

Lunghezza d'onda dominante

Dall'analisi della lunghezza d'onda dominante non sono stati riscontrati evidenti variazioni temporali né per la Lanca di Gussola né per il tratto di fiume Po. Inoltre, la differenza tra questi due ecosistemi è assai contenuta, con la Lanca che presenta valori leggermente superiori (nel range +1.1 – +7.0 nm) ad eccezione del 24/11/2021, quando il Po presenta un valore di +0.4 nm (**Tabella 18**). La lunghezza d'onda dominante (ricade nel range 568-575 nm) ricade nella gamma dei colori giallo-verde. Il fatto che la Lanca abbia valori più elevati sottolinea come questo ecosistema sia caratterizzato da una maggiore torbidità e da una maggiore trofia rispetto alle acque del Po. Anche i dati del 2024 non si discostano da quanto osservato negli anni precedenti.

Tabella 18 – Lunghezza d'onda dominante media (nm) riferita alla lanca di Gussola e al tratto di fiume Po.

data	Lunghezza d'onda dominante [nm]	
	Lanca	Po
31/05/2021	573.0	569.5
22/06/2021	573.7	571.1
10/07/2021	573.7	571.4
20/09/2021	574.7	573.5
24/11/2021	571.1	571.5
22/03/2021	573.1	568.5
10/07/2022	572.0	571.0
11/08/2022	574.0	570.0
15/09/2022	575.0	568.0
08/10/2022	575.0	569.0
28/01/2023	574.0	569.0
15/02/2023	572.0	570.0
11/01/2024	572.0	570.0
02/02/2024	573.0	569.0
16/03/2024	574.0	568.0
23/03/2024	572.5	570.0
12/04/2024	574.0	570.0

data	Lunghezza d'onda dominante [nm]	
	Lanca	Po
11/01/2024	572.0	570.0
<i>media</i>	<i>573.3</i>	<i>570.0</i>

CONSIDERAZIONI FINALI

Le immagini satellitari Sentinel-2 utilizzate per le analisi si sono rivelate idonee in termini di risoluzione spaziale e spettrale. Anche per il primo semestre del 2024, le analisi condotte attraverso la rete neurale ACOLITE si sono dimostrate efficaci per la determinazione dei solidi sospesi totali e della clorofilla-a (*proxy* dell'abbondanza del fitoplancton) nella zona eufotica delle acque investigate. **Ancora una volta, lo stato qualitativo della lanca di Gussola è risultato essere peggiore rispetto a quello del tratto di fiume Po, ad eccezione dei tre eventi di piena (16/03, 12/04 e 10/05/2024) durante i quali le acque del fiume si sono riversate completamente nel ramo laterale.**

Queste analisi sembrano confermare come le tecniche di *Remote Sensing* risultino adatte per lo studio di questi ambienti. Il telerilevamento, infatti, grazie ad una visione sinottica consente di riprendere a distanza vasti territori senza un contatto diretto ed invasivo su di essi. Inoltre, è caratterizzato da una visione multispettrale e multitemporale che permette di osservare una stessa superficie al variare della lunghezza d'onda e ad intervalli di tempo differenti e regolari. Questi vantaggi, associati alle misurazioni in situ utili alla validazione dei dati satellitari e complementari ad esse, permettono lo studio e il monitoraggio a basso costo della lanca di Gussola e degli ambienti limitrofi. Purtroppo, come svantaggio, nei mesi primaverili le condizioni meteorologiche caratterizzate da un'elevata copertura nuvolosa hanno limitato il numero d'immagini analizzabili.

ATTIVITÀ 5

DNA metabarcoding

MATERIALI E METODI

L'Attività 5 ha previsto il ricorso a tecniche di DNA *metabarcoding* al fine di ottenere liste di specie a partire da campioni a composizione specifica ignota (**Figura 38**). Rispetto a quanto proposto nel PGTA – che riportava l'indicazione di considerare la componente ostracologica come gruppo modello per esplorare l'utilità delle metodiche genetiche per il monitoraggio dell'ecosistema di Gussola – i primi risultati ottenuti su tale comunità (livello di diversità assai contenuto) hanno suggerito di ri-orientare l'interesse su altre componenti biologiche. I dati estremamente interessanti ottenuti sul fronte del funzionamento del corpo idrico del ramo laterale, in particolare in termini di disponibilità di ossigeno lungo il gradiente di profondità, hanno fornito lo spunto per attenzionare la **comunità batterica** (a supporto dei dati chimico-fisici e metabolici). Per di più, è consolidata la consapevolezza che la microflora (la componente batterica) rappresenti la componente biotica più abbondante del suolo e dei sedimenti e che, quindi, disporre di informazioni su tale componente può ampliare significativamente la nostra capacità di comprendere eventuali *shift* metabolici – attesi all'aumentare delle frequenze di ricollegamento Lanca-fiume.

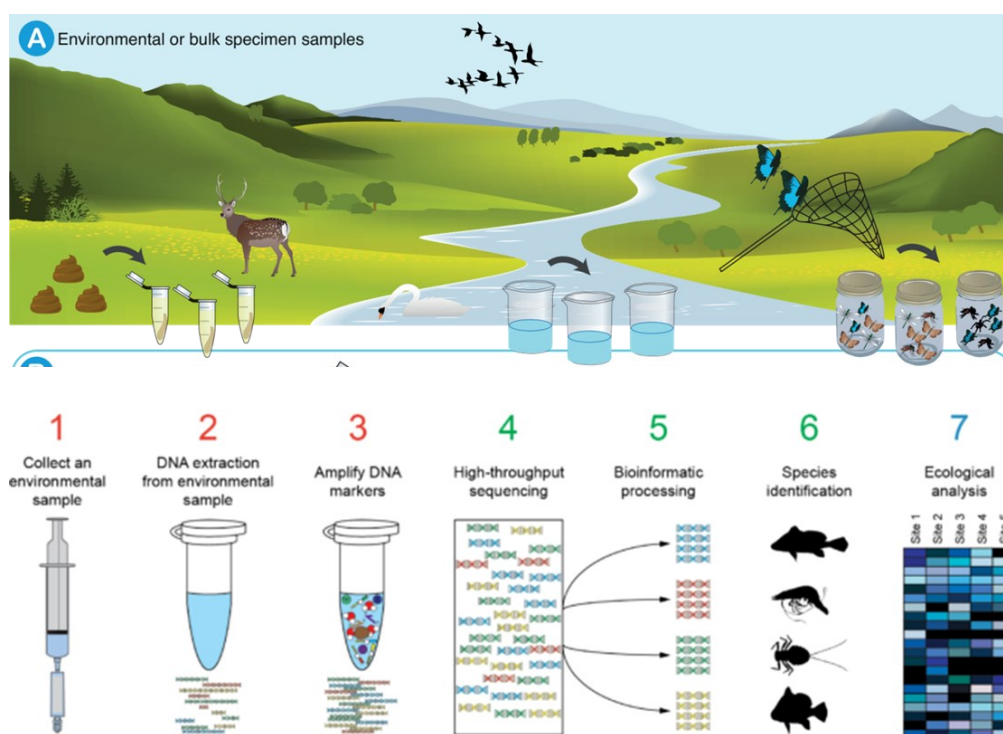


Figura 38 – Schema logico della procedura di analisi del eDNA – mediante tecniche di *metabarcoding* (da Bohmann et al., 2022 – modificato; <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13512>).

In effetti, le condizioni ambientali (microedafiche) influenzano fortemente la composizione, le risposte e l'attività dei batteri. *«I microrganismi manifestano forme di vita molto diverse da quelle autotrofe, litotrofe ed eterotrofe, con le forme eterotrofe responsabili del turnover della maggiore quantità di carbonio [e degli altri composti fondamentali per la vita] nel suolo [e nei sedimenti]. I microrganismi rappresentano il cibo di molti altri organismi, la predazione dei microrganismi, in particolare da parte di protozoi e nematodi, riveste un ruolo importante nel controllo della biomassa microbica e del mantenimento della diversità, evitando che determinati gruppi dominino. [...] Inoltre, essi sono responsabili della degradazione e mineralizzazione di materiali organici complessi, rilasciando minerali utili ad altri organismi. I microrganismi possono anche degradare una varietà di composti organici di origine antropica, anche dannosi per l'ambiente e per l'uomo stesso. Di conseguenza l'azione eterotrofa dei microrganismi è alla base del funzionamento dell'ecosistema suolo [e sedimento] e può essere utilizzata per la determinazione della qualità del suolo⁶».*

Data la centralità della microflora nel contesto della Lanca, si è deciso di orientare gli sforzi analitici dell'Attività 5 su tale componente, primariamente a livello sedimentario. A tale scopo, nel corso della fase pre-intervento si è assodata la metodologica di campionamento ed analisi di campioni di sedimento.

Metodologia:

Carote intatte di sedimento sono state raccolte mediante tubi in *plexiglass* di 5 cm di diametro – tutto il materiale di campionamento è stato preventivamente lavato e sterilizzato mediante lavaggi in soluzione di candeggina al 10-20%, risciacquato in acqua distillata e asciugato successivamente in stufa (45 °C per 15 minuti). I primi 5 cm di sedimento superficiale saranno poi trasferiti mediante l'uso di palette sterili monouso (di materiale plastico) in provette Falcon™ da 50 ml per le successive analisi. Ai *link* sotto è possibile visionare due immediati contributi video che illustrano le metodiche per il campionamento.

Collecting water and sediment samples for eDNA analysis

<https://youtu.be/LEXISbUnjok>

Filtering water for eDNA analysis

<https://youtu.be/1iISY7Gg2Do>

«I metodi impiegati per la determinazione della diversità genetica delle comunità microbiche includono molte tecniche molecolari. Solitamente lo studio della diversità genetica delle comunità di microrganismi si basa sulla diversità dei geni del DNA batterico che codificano per l'RNA ribosomiale. I geni 16S e 23S rDNA vengono impiegati per studi filogenetici su Eubacteria ed Archea⁷».

Il DNA presente nei campioni è stato estratto seguendo metodologie standard ed è in fase di sequenziamento con tecniche di *Next Generation Sequencing* (NGS), che consentono di processare molti campioni contemporaneamente (Ruppert et al., 2019). Le sequenze ottenute verranno poi confrontate con

⁶De Luca Picione F., 2009. Diversità genetica ed attività della microflora di suoli a diverso impatto antropico. Tesi di Dottorato Ricerca in Biologia Applicata XXII ciclo, Curriculum in Ecologia, Università degli Studi di Napoli Federico II.

⁷De Luca Picione F., 2009 [op.cit.].

quelle presenti nelle banche dati di riferimento al fine di ottenere l'identificazione specifica e attribuite al campione a cui appartengono attraverso tecniche bioinformatiche. La metodica applicata sarà poi messa in comparazione con analoghe esperienze in atto a scala nazionale e internazionale sul tema – per esempio con le linee guida e i materiali prodotti nell'ambito del progetto *Interreg Alpine Space "Eco-AlpsWater"* (<https://www.alpine-space.org/projects/eco-alpswater/en/home>).

Il DNA è stato estratto da un sotto-campione di sedimento di circa 250 mg utilizzando il kit *DNeasy® PowerSoil® Pro* (Qiagen, Hilden, Germania) seguendo le indicazioni del produttore. La qualità degli estratti è stata valutata utilizzando uno spettrofotometro per le misurazioni in microvolume di acidi nucleici (Nanodrop). Questo strumento fornisce la quantità di acidi nucleici presenti in ng/μL e i due rapporti, 260/280 e 260/230, che permettono di individuare l'eventuale presenza di contaminazioni (ad esempio da parte di carboidrati e proteine). Un frammento del gene 16S rDNA (codificante RNA ribosomiale) è stato amplificato utilizzando i primer 515fB (5'-GTGYCAGCMGCCGCGGTAA-3'; Kozich et al., 2013) e 806rB (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT-3'; Claesson et al., 2010; Caporaso et al., 2011; Haas et al., 2011) dotati di *overhang* per il sequenziamento attraverso la tecnologia Illumina. Le reazioni di PCR sono state eseguite utilizzando 0.4U di Phusion High Fidelity DNA polymerase (Thermo Fisher Scientific, Courtaboeuf, France), 19 Phusion HF buffer, 0.5 μM di ognuno dei due primer, 0.2 mM di ogni dNTP e 1 μL di DNA genomico (20 ng), in un volume di 25 μL. Per la PCR, sono state utilizzate le seguenti condizioni: uno step iniziale a 94°C per 3 min, 30 cicli a 94°C per 45 s, 57°C per 45 s, 72°C per 60 s e uno step finale a 72°C per 10 min. I campioni sono stati amplificati sotto cappa biologica, accuratamente sterilizzata attraverso una lampada a UV. La corretta amplificazione del frammento desiderato è stata confermata attraverso un gel di elettroforesi all'1% di agarosio. Ogni campione è stato amplificato in triplice copia. Le tre copie di ogni campione sono state successivamente unite e purificate utilizzando il *Wizard SV Gel and PCR Clean-up System* (Promega Corporation, Fitchburg, USA). Prima del sequenziamento, il DNA a doppia elica presente in ogni campione purificato è stato quantificato attraverso il *Qubit dsDNA HS* (Invitrogen, Waltham, USA). **I campioni sono stati spediti per il sequenziamento con AVITI 300 PE all'IGA Technology Services srl (Udine).**

Schema sperimentale:

Sulla base delle evidenze raccolte nell'ambito delle Azioni 2 & 3 si è previsto di caratterizzare la componente batterica almeno presso 3 diversi siti. La numerosità delle repliche è stata definita in campo in virtù della variabilità granulometrica del sedimento. **A integrazione di questo schema – preliminarmente dettagliato nel primo Report di progetto – nel corso del campionamento effettuato ad ottobre 2022 (prima dell'avvio delle attività di realizzazione dell'abbassamento del pennello) e a settembre 2023 (a seguito del sovrizzo del pennello ribassa) sono stati raccolti anche campioni dalla colonna d'acqua superficiale.**

La prima fase di raccolta dei campioni è stata svolta a ottobre 2022 (12), mentre le fasi successive di indagine sono state svolte a settembre 2023 (5) e febbraio 2024 (24), per un numero complessivo di **32 campioni genetici (Tabella 19)** di sedimento superficiale. Contemporaneamente sono stati raccolti campioni di acqua immediatamente filtrati *in situ*. Si tratta di complessivi **15 campioni genetici** acquisiti a ottobre 2022 (9; 3 per i siti PO = Po, LA = Lanca e LP = laghetto di retropennello) e a settembre 2023 (6; 3 per i siti PO e LA). La numerosità complessiva delle repliche effettuate ammonta a 3 repliche per il comparto sedimentario e 5 repliche per la colonna d'acqua per ogni data di campionamento.

Tabella 19 – schema di campionamento per la caratterizzazione dell'eDNA dei sedimenti della Lanca (sito LA), del laghetto di retro-pennello (LP) e del fiume Po (sito Po).

<i>plot</i>	<i>Sito</i>	<i>Data</i>
Po(1)	Po	12/10/2022
Po(2)	Po	12/10/2022
Ai(1)	LA	12/10/2022
Ai(2)	LA	12/10/2022
Ae(1)	LA	12/10/2022
Ae(2)	LA	12/10/2022
B(1)	LP	12/10/2022
B(2)	LP	12/10/2022
Po(1)	Po	05/09/2023
Po(2)	Po	05/09/2023
Po(3)	Po	05/09/2023
Po(4)	Po	05/09/2023
LA(1)	LA	05/09/2023
LA(2)	LA	05/09/2023
LA(3)	LA	05/09/2023
LA(4)	LA	05/09/2023
LP(1)	LP	05/09/2023
LP(2)	LP	05/09/2023
LP(3)	LP	05/09/2023
LP(4)	LP	05/09/2023
Po(1)	Po	08/02/2024
Po(2)	Po	08/02/2024
Po(3)	Po	08/02/2024
LA(1)	LA	08/02/2024
LA(2)	LA	08/02/2024
LA(3)	LA	08/02/2024
LP(1)	LP	08/02/2024
LP(2)	LP	08/02/2024
LP(3)	LP	08/02/2024
LA(1)	LA	08/02/2024
LA(2)	LA	08/02/2024
LA(3)	LA	08/02/2024
LP(1)	LP	08/02/2024
LP(2)	LP	08/02/2024
LP(3)	LP	08/02/2024



Figura 39 – localizzazione delle stazioni per la caratterizzazione dell'eDNA – batterico; LA = lanca, LP = laghetto di retropennello, PO = fiume PO.

ANALISI DEI DATI

La pipeline bioinformatica per l'analisi dei risultati del sequenziamento è stata effettuata attraverso la microbiome bioinformatics platform QIIME2 (Quantitative Insights Into Microbial Ecology 2, v. 2019.7) (Bolyen et al., 2019). Denoising, selezione in base alla qualità e rimozione delle sequenze chimeriche sono state effettuate utilizzando la funzione qiime dada2 denoise-paired del plugin DADA2 (Callahan et al., 2017). Per la rimozione delle sequenze chimeriche è stato utilizzato il metodo consensus. Le sequenze così ottenute sono state raggruppate in unità tassonomiche operazionali (OTU) al 97% di similarità attraverso il plugin cluster-features-de-novo per qiime2. Il numero di sequenze per ogni campione è stato riportato a 24481, il numero di letture del campione con meno letture. Questo passaggio è importante per comparare i campioni tra di loro ed evitare che i pattern rinvenuti possano essere imputati ad un diverso sforzo di campionamento piuttosto che alle variabili ambientali analizzate. L'assegnazione tassonomica è stata effettuata utilizzando il database SILVA 138 (Bokulich et al., 2018; Li et al., 2021). Gli alberi filogenetici sono stati generati con la funzione qiime phylogeny align-to-tree-mafft-fasttree. Ad ogni sequenza ottenuta è stato assegnato un profilo funzionale utilizzando faprotax, un database contenente informazioni sulle funzioni metaboliche ed ecologiche delle comunità batteriche (Louca et al., 2016). I dati così ottenuti sono stati analizzati principalmente utilizzando la tecnica di analisi statistica multivariata *non Metric Multidimensional Scaling* (nMDS), in grado di evidenziare i *pattern* principali presenti in matrici tassonomiche e funzionali.

RISULTATI

In seguito alla rarefazione, il numero di letture ottenuto a seguito dell'analisi è stato di 1077164. I dati ottenuti sono rappresentativi dei campioni di partenza come si può evincere dalle curve di rarefazione che mostrano la ricchezza attesa in funzione del numero di letture (**Figura 40**). Il plateau raggiunto dalle curve significa appunto che il numero di OTU ottenute è rappresentativo di quelle presenti nel campione di partenza.

Il numero di OTU non presenta dei *pattern* chiari in funzione della data, del sito e della matrice (**Figura 41**). Per contro, la struttura della comunità batterica evidenziata dall'analisi nMDS (numero di assi = 2, stress = 0.11) presenta una netta separazione tra campioni acquosi e di sedimento (**Figura 42**). L'ordinamento

ottenuto attraverso la nMDS mette in evidenza la preponderanza di OTU batteriche rispetto a quelle degli Archaea e come queste ultime siano maggiormente frequenti nei campioni di sedimento rispetto a quelli acquosi.

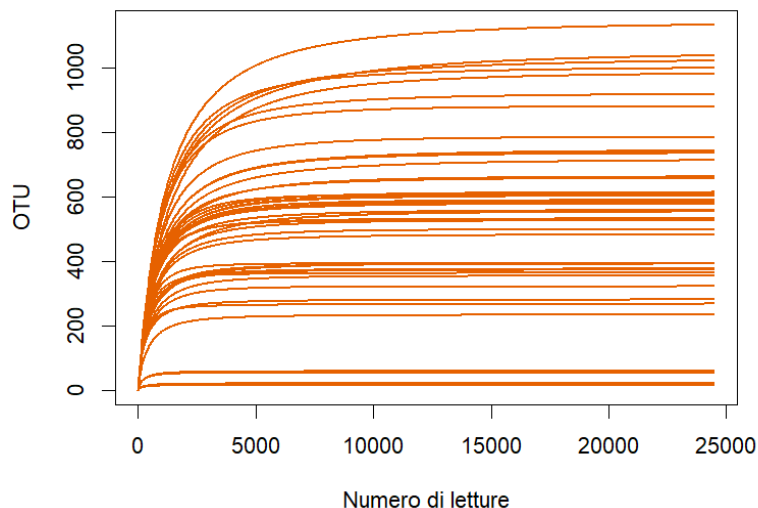


Figura 40 – Curve di rarefazione che indicano come i risultati siano rappresentativi delle comunità di partenza.

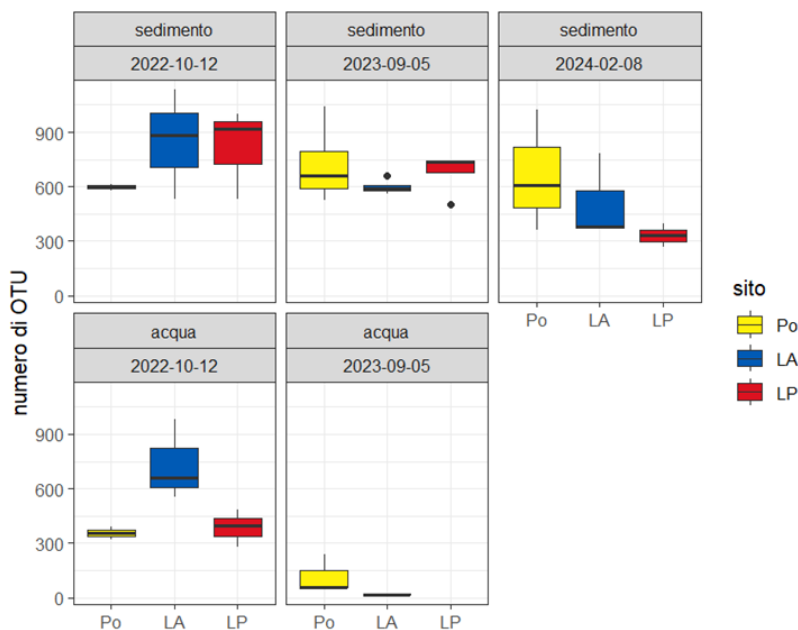


Figura 41 – Numero di Unità Tassonomiche Operazionali (OTU) in funzione della matrice (acqua e sedimento), sito (LA = lanca; LP = laghetto di retro-pennello; PO = fiume Po) e data (2022-10-12 condizioni di pre-connezione; 2023-09-05 e 2024-02-08 condizioni di post-connezione).

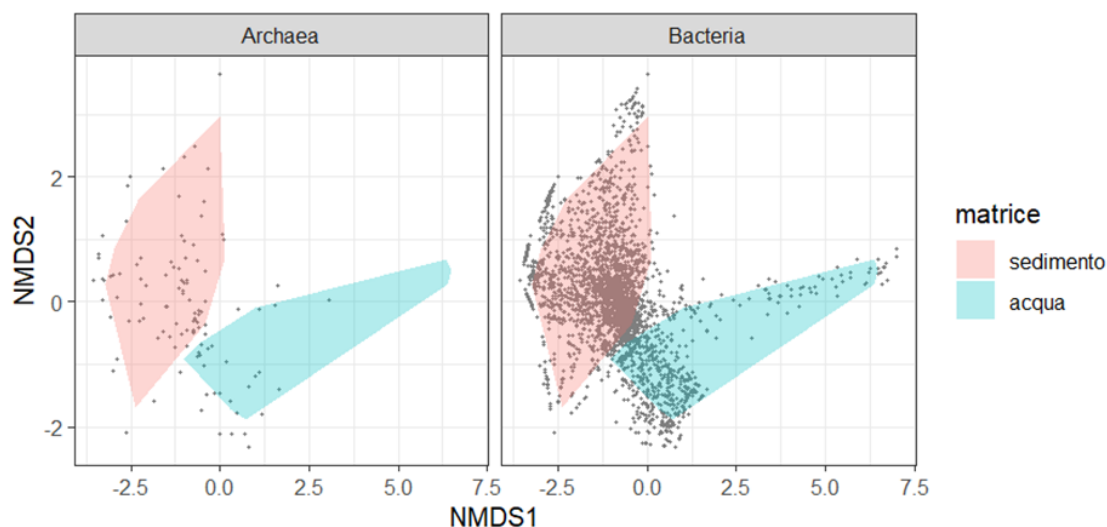


Figura 42 – Risultati dell'analisi multivariata *non Metric Multidimensional Scaling* condotta sui campioni acquosi e di sedimento. È possibile osservare una netta separazione tra le due tipologie di matrice, evidenziate dai due poligoni colorati. I punti sottostanti i poligoni rappresentano le OTU di Archaea (pannello a sinistra) e di batteri (a destra).

La struttura di comunità dei campioni di sedimento mostra un chiaro andamento temporale come evidenziato dall'analisi nMDS (numero di assi = 2, stress = 0.16) (**Figura 43**). Nella condizione di pre-conneSSIONe (2022-10-12) le comunità batteriche presenti nella lanca erano simili tra loro ma diverse da quelle del Po. Nella prima data di campionamento post-conneSSIONe le comunità dei tre siti presentano una struttura di comunità omogenea così come nell'ultima data di campionamento.

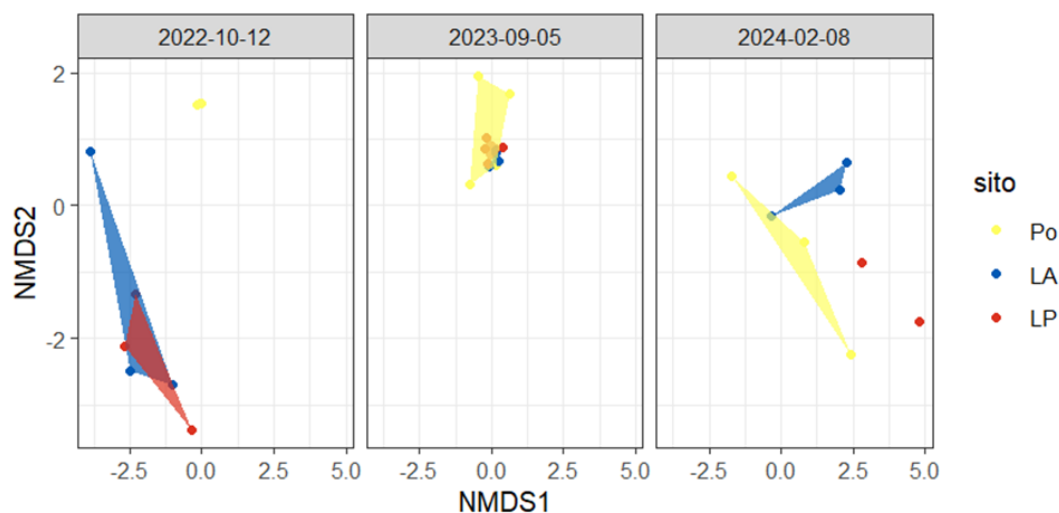


Figura 43 – Risultati dell'analisi multivariata *non Metric Multidimensional Scaling* condotta sui campioni di sedimento, separati per data di campionamento (2022-10-12 condizioni di pre-conneSSIONe; 2023-09-05 e 2024-02-08 condizioni di post-conneSSIONe). I poligoni raggruppano tutti i punti appartenenti allo stesso sito (LA = lanca; LP = laghetto di retropennello; PO = fiume Po) e sono stati inseriti per facilitare la visualizzazione. Non è stato possibile disegnare il poligono del sito LP in data 2024-02-08 perché erano presenti solamente due campioni.

La struttura di comunità nei campioni di acqua, invece, non presenta pattern chiari legati al sito ma solo alla data di campionamento (**Figura 44**). Questo andamento è probabilmente indice dell'evoluzione stagionale delle comunità batteriche in colonna d'acqua.

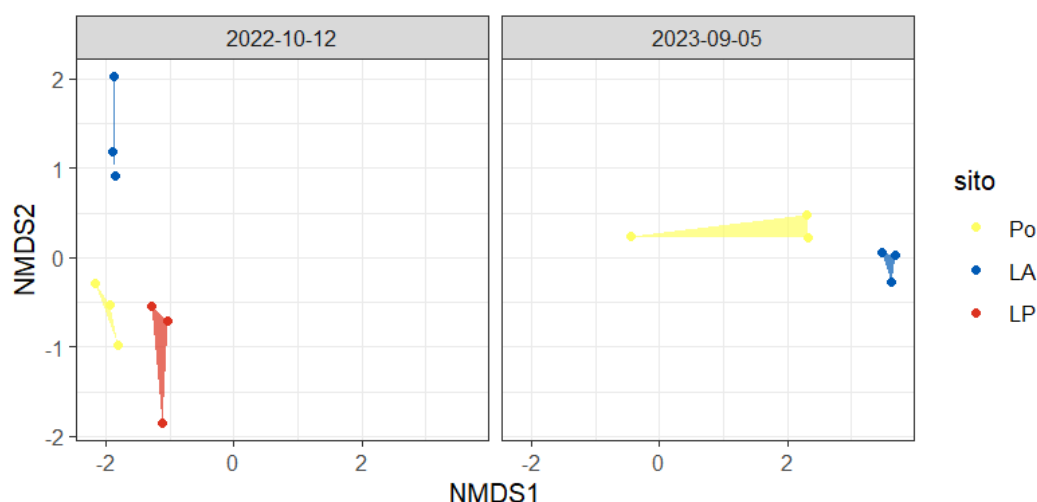


Figura 44 – Risultati dell'analisi multivariata *non Metric Multidimensional Scaling* condotta sui campioni acquosi, separati per data di campionamento (2022-10-12 condizioni di pre-connessione; 2023-09-05 condizioni di post-connessione). I poligoni raggruppano tutti i punti appartenenti allo stesso sito (LA = lanca; LP = laghetto di retropennello; PO = fiume Po) e sono stati inseriti per facilitare la visualizzazione.

Per quanto riguarda le funzioni, i pattern relativi alla comunità batterica dei sedimenti rispecchiano quelli ottenuti con l'analisi tassonomica (**Figura 45**). In particolare, le funzioni della lanca nel periodo di pre-connessione sembrano essere legate a processi ossido-riduttivi spinti come metanogenesi e solfato-riduzione (**Figura 46**).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati ottenuti, seppur ancora preliminari, suggeriscono che la riconnessione della lanca sia in grado di influenzare la comunità batterica del sedimento e dell'acqua con effetti a cascata sulle funzioni espresse da tali comunità. In particolare, la riconnessione potrebbe portare ad una omogeneizzazione delle comunità di sedimento e colonna d'acqua del fiume Po e quelle delle lanche. Una connessione più frequente tra la lanca e il fiume Po potrebbe portare ad una stimolazione dei processi batterici per l'introduzione di nutrienti e favorire l'ossigenazione dei sedimenti.

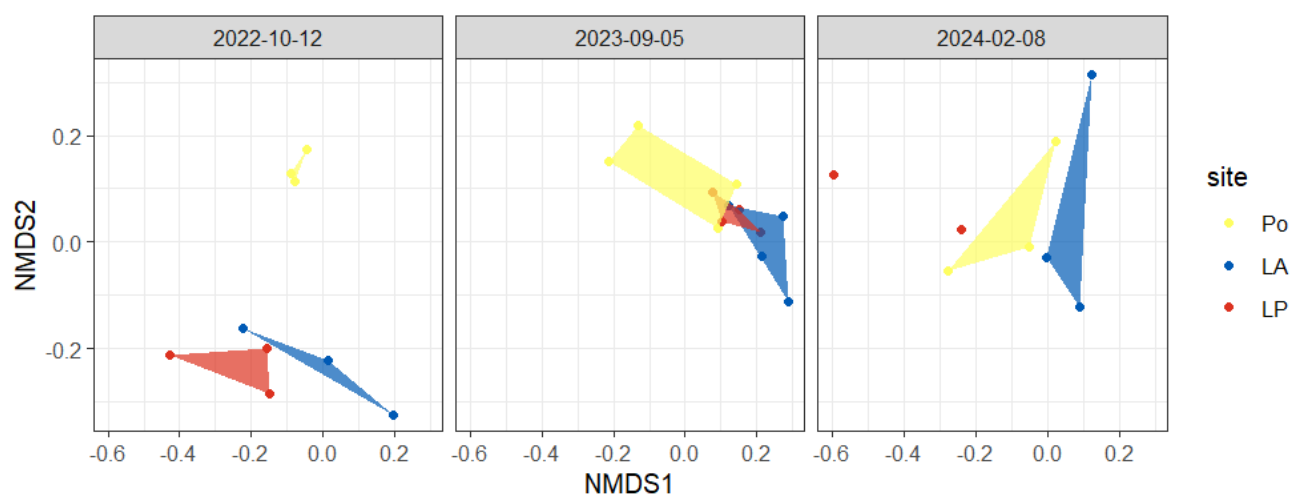


Figura 45 – Risultati dell’analisi multivariata non Metric Multidimensional Scaling condotta sulle funzioni dei campioni di sedimento, separati per data di campionamento (2022-10-12 condizioni di pre-connesione; 2023-09-05 condizioni di post-connesione). I poligoni raggruppano tutti i punti appartenenti allo stesso sito (LA = lanca; LP = laghetto di retro-pennello; PO = fiume Po) e sono stati inseriti per facilitare la visualizzazione.

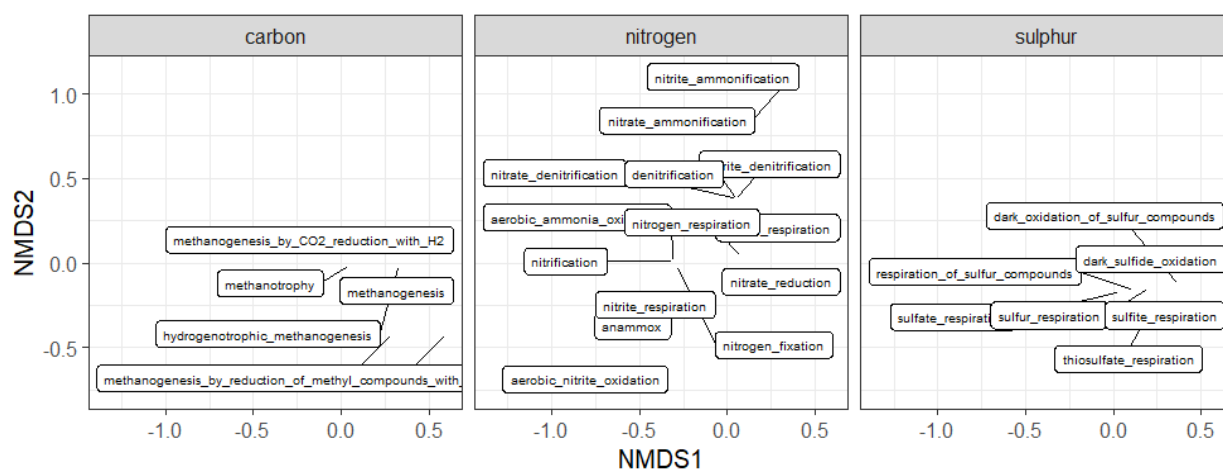


Figura 46 – Risultati dell’analisi multivariata non Metric Multidimensional Scaling condotta sulle funzioni dei campioni di sedimento, in cui vengono riportate le funzioni di tre nutrienti influenzati dalle condizioni di ossido-riduzione dei sedimenti.

CONSIDERAZIONI relative al progetto di abbassamento del pennello di navigazione presso Isola Maria Luigia

I dati acquisiti nel **corso del progetto permettono una prima valutazione (di breve termine, circa un anno) degli effetti della riconnessione idrologica tra la lanca di retropennello/ramo laterale del fiume Po e il fiume** – a seguito del sopralzo del pennello ribassato.

Gli esiti della prima fase di valutazione – quella pre-intervento (fino a maggio 2023) – hanno permesso di delineare la *baseline* ecologica e funzionale dell'area di studio che permetterà nei prossimi anni di valutare in modo robusto l'efficacia dell'intervento di rimodulazione del pennello presente presso l'area di studio. In più, le evidenze raccolte sono state utili per elaborare considerazioni relative alla potenzialità e alla scala temporale di recupero di componenti e processi indagati, oltre che ad una quantificazione dell'utilità dei singoli indicatori monitorati nell'ambito del progetto in analisi (intervento di riqualificazione; **Figura 47**). La procedura di valutazione adottata, che qui riportiamo, si basa sull'uso di una scala a faccine (con 5 diversi gradi di valore) analoga a quella elaborata da Wong-Baker per l'autovalutazione dell'intensità del dolore per bambini. Una faccina verde scuro indicata il valore massimo della scala (stato pienamente positivo, elevato), una faccina rosso intenso il valore minimo (stato cattivo), la faccina gialla il valore medio (stato sufficiente), ne consegue che lo stato buono e lo stato scarso sono indicati da faccine verde chiaro e arancione, rispettivamente. I dati che saranno raccolti nella seconda fase di studio – quella di tipo integrativo che avrà termine nel 2026 permetteranno, appunto, di valutare queste considerazioni basate principalmente sul giudizio esperto di quanti sono stati coinvolti nel progetto.

Attività	stato	recupero		indicatore
		potenzialità	scala temporale	
1 Caratterizzazione delle componenti biologiche				
<i>Lycaena dispar</i> / farfalle diurne				
Odonati				
Ostracodi				
Habitat ai sensi della DH				
Comunità ornitica				
Comunità ittica				
2 Qualità chimico-fisica di acqua e sedimenti				
3 Processi funzionali mediati dalla lanca				
4 Telerilevamento				
5 DNA metabarcoding				

Figura 47 – Valutazione qualitativa dello stato di conservazione delle componenti biologiche monitorate e dei processi associati al ramo laterale di Po di Gussola, oltre alla quantificazione della potenzialità di recupero delle medesime componenti e processi (in termini di potenzialità e di scala temporale) e dell'efficacia di questi in qualità di indicatori dell'intervento di riqualificazione.

Lo stato di conservazione degli indicatori *target* non ha mai raggiunto la classe “sufficiente”. Ostracodi, habitat e comunità ornitica hanno manifestato uno stato “scarso” (come valutazione media, non ideale), mentre le componenti *L. dispar*/lepidotteri, odonati e pesci, così come i descrittori chimico-fisici (qualità e funzionamento), sono stati considerati in stato cattivo. La potenzialità di recupero (al netto dello stato complessivo di conservazione di componenti e descrittori chimico-fisici alla scala di bacino idrografico a seguito dell’abbassamento del pennello di navigazione) è stata valutata come scarsa per la componente ittica, sufficiente per lepidotteri, odonati, uccelli e qualità chimico-fisica, mentre un recupero buono è ipotizzabile per ostracodi, habitat e processi funzionali. Valutazioni di poco superiori sono state espresse sulla scala temporale del recupero. In relazione, invece, all’utilità dei singoli indicatori per monitorare i cambiamenti attesi a seguito dell’abbassamento del pennello, odonati, ostracodi, habitat e qualità chimico-fisica e funzionamento sono emersi come i descrittori più promettenti. Entrambe le tecniche innovative proposte (telerilevamento ed eDNA) sono ampiamente accreditate come strumenti efficaci nel contesto di studio.

L’andamento macroclimatico che ha caratterizzato il triennio di studio si è rivelato estremamente peculiare: ad **1**) un’iniziale, eccezionale fase di calore (che ha interessato tutta Europa, e i settori centro-meridionali in particolare, *condizione che è perdurata dal 2021 fino alla tarda primavera del 2023, con eccessi significativi nei periodi estivi*, è seguita **2**) una fase umida significativa (*dall’autunno 2023 fino alla tarda primavera 2024*). La successione rapida di condizioni estremamente diversificate ha reso difficile trarre delle considerazioni generali sulle dinamiche delle componenti ecosistemiche analizzate, e sulle loro risposte alla realizzazione dell’abbassamento del pennello (con la conseguente riattivazione del ramo laterale di Po). Nel caso specifico del ramo laterale di Gussola, l’iniziale siccità ha ridotto significativamente la geometria del corpo idrico, con effetti riscaldandone significativamente la massa d’acqua, mentre la fase umida ha ampiamente ricollegato la lanca al fine uniformandone sostanzialmente le caratteristiche chimico-fisiche di base (per esempio, temperatura e torbidità). Di seguito nel testo si riporta un primo tentativo di analisi di quanto osservato tra maggio 2021 e luglio 2024.

Sotto-attività 1a: monitoraggio della specie *Lycaena dispar*/lepidotteri

Per quanto riguarda la componente a lepidotteri diurni non sono state evidenziate variazioni significative tra 2021 e 2023, data l’estrema semplificazione del mosaico ambientale complessivo dell’area di studio. Si ha una scarsa disponibilità di specie a fiore – capaci di produrre nettare – e la sostanziale mancanza per quanto riguarda *Lycaena dispar* delle specie nutrici (*Rumex*). Per poter apprezzare modifiche sostanziali alla comunità a lepidotteri sarà necessario attendere ed osservare le risposte degli habitat alle nuove dinamiche idrologiche innescate dall’abbassamento del pennello.

Sotto-attività 1b: monitoraggio degli odonati

I dati raccolti nel 2023 sembrano essere influenzati dalla riattivazione della lanca, in particolar modo per quanto riguarda la presenza della specie *Stylurus flavipes*. Gli esemplari sono verosimilmente stati spostati durante la piena dall’alveo principale del Po, habitat d’elezione della specie, alla lanca, sito in cui è avvenuta la metamorfosi e sono state ritrovate le esuvie. Si tratta di una prima indicazione ma, per quanto riguarda la

componente a odonati, il ricollegamento ha permesso a una specie di interesse conservazionistico di svilupparsi e concludere il proprio ciclo vitale nel ramo secondario.

Sotto-attività 1c: monitoraggio degli ostracodi

I dati raccolti tra ottobre 2022 e aprile 2023 hanno confermato i dati acquisiti nell'annualità precedente (2021), mentre non è stato possibile caratterizzare la componente nel 2024 a causa dei peculiari andamenti idrologici del Po e della lanca. In generale, si può dire che le comunità a ostracodi degli ambienti campionati sono poco diversificate e per lo più rappresentate da specie ad ampia distribuzione ed elevata tolleranza. *Hemicypris* sp. è una specie esotica; l'identificazione a livello specifico sarà condotta mediante l'analisi della morfologia delle valve con microscopia ottica a scansione. Si tratta della prima segnalazione del genere *Hemicypris* per il territorio italiano (Rossetti, 2021). La possibilità di continuare lo studio della componente nei due prossimi anni permetterà di valutare la sua risposta alla riattivazione significativa della connettività Po-Lanca.

Sotto-attività 1d: monitoraggio degli habitat ai sensi della DH

Nel corso del 2023 – come già nel 2022 – è stato possibile identificare la presenza di popolamenti elementari di macrofite – e quindi di segnalare per l'area di studio la presenza di un habitat di interesse comunitario precedentemente non identificato (cfr. popolamenti idrofittici). Si tratta del codice **habitat 3150** che include "Laghi eutrofici naturali con vegetazione del *Magnopotamion* o *Hydrocharition*". Questi risultati suggeriscono una elevata dinamicità dei popolamenti vegetali acquatici e delle specie vegetali dominanti all'interno degli ambienti acquatici laterali inclusi nell'area di studio. Nel caso presente, le cenosi acquatiche sono risultate dominate da Ceratofillo comune e Brasca di palude, due idrofite estremamente tolleranti, ben adattate ad ambienti ad elevata trofia e torbidità delle acque. Ciò può spiegare la rapida diffusione di queste specie, identificate ma presenti con sparuti individui nel corso del periodo di monitoraggio precedente (agosto 2021 – maggio 2022), che in pochi mesi sono riuscite a dare origine a dense ed estese formazioni sommerse. Nello stesso periodo i settori litoranei della lanca hanno visto espandersi in modo significativo la specie aliena invasiva *L. peploides*, anch'essa presente sporadicamente nella fase di monitoraggio precedente. Durante il 2023 si è osservata una riduzione delle aree colonizzate da macrofite (a seguito dei ripetuti eventi di sovrizzo del pennello), si conferma in ogni caso la presenza dell'habitat 3150. Per comprenderne le dinamiche sarà necessario attendere i dati che saranno raccolti nel prossimo triennio (2024-2026).

Per quanto riguarda l'esplosione delle macrofite osservata nel corso del 2022, indagando gli andamenti macroclimatici i fenomeni espansivi osservati a carico delle piante acquatiche potrebbero essere associati al perdurare di condizioni climatiche stazionarie, associate alla prolungata fase di siccità che ha interessato il nord Italia tra l'estate del 2021 e il 2022. Di fatto, in Italia l'inverno 2021-2022 si è contraddistinto per le temperature miti e per la carenza di precipitazioni – condizioni che possono aver facilitato lo sviluppo delle macrofite a scapito, per esempio, del fitoplancton. Nel mese di novembre 2021, infatti, la lanca presentava valori estremamente contenuti per l'indicatore SPM (solidi sospesi, circa 10 g m³), inferiori a quelli misurati in Po, e tale situazione può aver innescato i processi di colonizzazione delle macrofite. Nel corso del 2023-2024, invece, gli elevati tassi di deposizione atmosferica hanno determinato una sostanziale omogeneità di

condizioni tra fiume Po e lanca – con elevati valori di torbidità. Sarà interessante valutare le risposte delle cenosi acquatiche sulla base dei monitoraggi programmati per la tarda estate 2024.

In termini di stato di conservazione, l'indicizzazione dei descrittori di Struttura, Funzioni e Prospettive ha evidenziato valutazioni del tutto coerenti con il giudizio esperto espresso nel primo *Report* – vale a dire un **complessivo stato di conservazione inadeguato**. Le formazioni vegetazionali che mostrano le condizioni più critiche, come atteso, sono quelle forestali (a dominanza di Salice bianco, codice **91Eo**). Le due varianti identificate, la tipica e quella a sub-dominanza di *A. fruticosa* (variante ruderale), presentano uno stato di conservazione mediamente “discreto” e “mediocre”, rispettivamente. È da sottolineare che entrambi i tipi vegetazionali evidenziano un livello di degrado – quale indicatore di Prospettive – massimo (“mediocre”). Lo stesso risultato (rispetto al descrittore del livello di degrado) è stato ottenuto anche per le formazioni di codice **3270** (Fiumi con argini melmosi con vegetazione del *Chenopodium rubri* p.p e *Bidention* p.p.). Quanto alle cenosi acquatiche (neo identificate, di codice **3150**), sorprendentemente mostrano indicatori di Prospettive “ottimali” (almeno per l'habitat elementare **3150-D**), e mediamente giudizi “discreti” per gli altri indicatori. Tali risultati andranno approfonditi nel corso dell'ultimo anno di monitoraggio.

Sotto-attività 1e: monitoraggio della comunità ornitica

I dati ottenuti dai monitoraggi AO e PI consentono una rappresentazione preliminare, ma non esaustiva, della comunità ornitica del sistema indagato, ma tuttavia sottolineano una relativa povertà di specie, in parte imputabile ai fattori di disturbo che interessano l'area. Tra le specie considerate di riferimento per la valutazione degli effetti degli interventi, una parte sembrano essere scarsamente influenzate dalle condizioni idrologiche della lanca, mentre per altre la disponibilità di siti di alimentazione e riposo (alta interazione con gli habitat) all'interno della lanca sembra essere un fattore determinante per garantire la frequentazione del sito. Le differenze nelle condizioni idrologiche della lanca che hanno caratterizzato le fasi ante-opera e post-intervento, rendono al momento difficile un confronto diretto tra i risultati ottenuti nelle due fasi e quindi una valutazione degli effetti degli interventi. Saranno utili, pertanto, gli esiti dei monitoraggi integrativi da qui a fine 2026 per offrire una valutazione dell'efficacia degli interventi maggiormente robusta.

Sotto-attività 1f: monitoraggio della comunità ittica

La comunità ittica si è mostrata assai semplificata e destrutturata, dominata numericamente e strutturalmente da una specie aliena (*A. alburnus*) e, nel corso del 2022 e 2023 in termini di biomassa da una specie migratrice (Cefalo), che risulta essere l'unica specie non aliena invasiva presente. I campionamenti permettono di delineare con maggiore chiarezza lo *status* di conservazione delle comunità ittiche negli ambienti marginali dell'area di studio, da considerarsi del tutto inadeguato. La riconnessione della lanca per ora non sembra aver determinato un effetto significativo sulla comunità ittica – come già espresso per la comunità ornitica saranno importanti i campionamenti integrativi per poter meglio valutare l'effetto della riconnessione idrologica sulla comunità dei pesci della lanca.

Attività 2 & 3: qualità chimico-fisica di acque e sedimenti e processi funzionali

I risultati delle attività di monitoraggio confermano quanto già descritto nella precedente relazione possono essere così sintetizzati:

- Nonostante la bassa profondità della colonna d'acqua le **zone più profonde della lanca sono risultate a rischio di anossia** e quindi inadatte alla sopravvivenza della fauna acquatica e, più in generale, della componente eterotrofa acquatica. Nella fase *ante operam* il bilancio dell'ossigeno è influenzato dal prevalente stato di eterotrofia del sistema che si manifesta sia a livello complessivo che a livello del solo sedimento. Gli elevati tassi di mineralizzazione che consumano ossigeno non sono bilanciati dalla produzione fototrofica, mentre il riscaldamento degli strati più superficiali che inducono stratificazione termica e isolamento delle zone più profonde, determinano il progressivo esaurimento della riserva di ossigeno. In queste condizioni anche in superficie durante le ore notturne del periodo estivo la concentrazione dell'ossigeno devia sensibilmente rispetto all'equilibrio denotando una **situazione di sofferenza del sistema**. Il metabolismo complessivo, le caratteristiche del sedimento ed il metabolismo bentico mostrano una marcata stagionalità e le principali differenze tra la fase *ante e post operam* sono state osservate su base stagionale. Durante il periodo estivo e autunnale il metabolismo complessivo della lanca passa dalla condizione di eterotrofia nella fase *ante* a quella di autotrofia nella fase *post operam*.
- In linea generale la concentrazione di nutrienti (azoto e fosforo inorganici) in colonna d'acqua **è risultata minore nella Lanca rispetto al fiume Po**. Le concentrazioni di nutrienti della lanca sono risultate maggiori nella fase *post operam* rispetto al periodo precedente, suggerendo come **la riconnessione con il fiume Po aumenti la frequenza di rinnovo del pool di nutrienti. La fase di aumento della concentrazione di nutrienti risulta comunque transitoria e si esaurisce rapidamente** dopo la disconnessione. Questo fenomeno è probabilmente dovuto all'accoppiamento tra assimilazione da parte dei produttori primari e successiva deposizione delle forme particellate. In condizioni lentiche, il fitoplancton assimila i nutrienti inorganici disciolti convertendoli nella frazione particellata, che tende poi a sedimentare e ad andare incontro ad accumulo nel sedimento o mineralizzazione.
- I primi dati relativi alla risposta della Lanca all'ingresso di acqua del Po suggeriscono, quindi, la presenza di una **capacità elevata di metabolizzare il carico esterno di nutrienti e una rapida risposta del sistema**. Questi meccanismi, se confermati, suggeriscono il ruolo chiave della lanca nel favorire processi di accumulo o dissipazione del fosforo e dell'azoto non solo come conseguenza diretta della sedimentazione delle frazioni che vi arrivano già in forma particellata, ma anche delle frazioni disciolte attraverso la mediazione dei produttori primari e della comunità microbica. Per contro questi processi rappresentano anche un accumulo nel sistema di potenziale riducente – materia organica nel sedimento che sostiene la mineralizzazione batterica e il riciclo di nutrienti inorganici e aumenta il rischio di anossia. Tuttavia, se da una parte i fenomeni di piena favoriscono l'ingresso di nutrienti (sia disciolti che particolati), dall'altra aumentano il grado di erosione esportando la materia organica generata dalla lanca. Questo sembra particolarmente evidente in primavera

quando, analogamente all'autunno, la maggiore disponibilità di nutrienti disciolti e la minore quantità di OM spinge il comparto bentico verso l'autotrofia rispetto alla condizione *ante operam*.

- Nel complesso la fase estiva, a causa dalla magra stagionale del Po, mantiene comunque un certo grado di disconnessione in entrambe le fasi, favorendo processi di accumulo e sedimentazione della sostanza organica, che sostengono la mineralizzazione bentica. Nella fase *ante operam*, la prolungata disconnessione e l'elevata evapotraspirazione, hanno contribuito ad una complessiva scarsa profondità della lanca, permettendo la crescita dei produttori primari anche nella zona sommersa. Questo aspetto ha garantito elevati tassi di produzione netta anche a fronte di una elevata respirazione. Al contrario, nella fase *post operam*, il livello idrometrico maggiore spinge la lanca verso una differenziazione secondo il gradiente di profondità. La penetrazione della luce negli strati più profondi è molto limitata ed il consumo di ossigeno non è bilanciato dalla produzione fototrofica spingendo la zona sommersa verso una condizione di totale eterotrofia.

Attività 4: tecniche di Telerilevamento per il monitoraggio di ecosistemi fluviali

Le immagini satellitari Sentinel-2 utilizzate per le analisi in diverse stagioni (primavera, estate e autunno) dello stato di qualità delle acque del ramo laterale di Po e del tratto di fiume limitrofi all'Isola Maria Luigia si sono rivelate idonee in termini di risoluzione spaziale e spettrale. Le analisi condotte sulle immagini S2 attraverso la rete neurale ACOLITE hanno mostrato che gli algoritmi per la determinazione dei solidi sospesi e della clorofilla (*proxy* dell'abbondanza del fitoplancton) sono robusti e hanno un buon accordo con le misure *in situ* di questi parametri ottenute mediante tecniche limnologiche (Attività 2). Anche la classificazione del colore delle acque, pur essendo un indicatore qualitativo, è robusto e ha il vantaggio di essere di immediata lettura e comprensione. **Attualmente lo stato qualitativo del ramo secondario di Gussola risulta scarso/cattivo sulla base dei tenori di clorofilla osservati nelle 12 date investigate. Il tratto di fiume Po limitrofo, presenta valori più elevati (e classi peggiori: "scarso/cattivo") in primavera-estate e valori più contenuti (stato di qualità "buono") nel periodo tardo estivo-autunnale e tardo-invernale. Anche i solidi sospesi misurati nella lanca sono tendenzialmente maggiori rispetto a quelli osservati nel tratto di fiume Po. Il colore delle acque (giallo-verde) è tipico di ambienti poco trasparenti, ricchi di particolato e caratterizzati da ripetuti eventi di fioritura algale.**

I risultati relativi al progetto confermano l'estrema utilità delle tecniche di Telerilevamento per lo studio di ambienti fluviali. Il Telerilevamento, infatti, grazie ad una visione sinottica consente di riprendere a distanza vasti territori senza un contatto diretto ed invasivo su di essi. Inoltre, è caratterizzato da una visione multispettrale e multitemporale che permette di osservare un'area di interesse al variare della lunghezza d'onda e a intervalli di tempo differenti e regolari. Questi vantaggi, associati alle misurazioni *in situ* utili alla validazione dei dati satellitari e complementari ad esse, permettono lo studio e il monitoraggio a basso costo del ramo secondario di Isola Maria Luigia e degli ambienti limitrofi. Nel corso del terzo anno di monitoraggio sarà implementata la serie di immagini S2 relative all'area di studio (si proseguirà nel monitoraggio dei parametri chimico-fisici chiave delle acque) alle quali saranno associati prodotti derivati da immagini iperspettrali (con circa 240 bande contro le 13 del S2) acquisite nell'ambito della missione italiana PRISMA (*prodotti che non è stato possibile implementare per il secondo anno di monitoraggio rispetto a quanto atteso*).

Questo tipo di comparazione non è stata possibile nel corso del primo triennio di monitoraggio si intenderà, pertanto, condurre un confronto tra le firme spettrali derivate dai due satelliti e tra i prodotti di qualità delle acque ottenuti tramite ACOLITE nelle annualità 2024-2026.

Attività 5: DNA metabarcoding

Le attività finora svolte confermano l'efficacia del protocollo messo in opera per l'estrazione e l'amplificazione del frammento di rDNA 16s batterico (codificante RNA ribosomiale) oggetto di attenzione per la caratterizzazione della diversità batterica della Lanca, del Po e del laghetto di retropennello. I risultati, come già delineato nel paragrafo dedicato alla metodica, suggeriscono che la riconnessione del ramo secondario sia in grado di influenzare la comunità batterica del sedimento e dell'acqua con effetti a cascata sulle funzioni espresse da tali comunità. Dati evidenze necessitano di essere ulteriormente consolidate ampliando l'orizzonte temporale delle indagini, come previsto dall'Accordo attuativo che prevede raccolta di campioni di sedimento e la loro successiva analisi fino a fine 2026.

VERSO UN PIANO SCIENTIFICO utile alla PIANIFICAZIONE DI BACINO ai sensi della DIRETTIVA QUADRO SULLE ACQUE

Sulla base delle esperienze condotte e dei risultati acquisiti nell'ambito delle attività del presente Accordo è stato possibile derivare una serie di **considerazioni** utili all'aggiornamento della pianificazione di bacino ai sensi della DQA.

In generale, il **PdGPO** persegue tale obiettivo secondo linee d'azione così schematizzabili:

- (1) *favorire percorsi di adattamento ai cambiamenti climatici,*
- (2) *tutelare la biodiversità,*
- (3) *migliorare la qualità delle acque,*
- (4) *gestire in modo efficiente e sostenibile la risorsa idrica.*

In riferimento a ciò, gli esiti del progetto alla scala di singola componente *target* – in termini di risposte osservate a seguito della riconnessione del ramo secondario di Po – possono essere facilmente intersecati con le linee d'azione per farne emergere **sinergie** e **interconnessioni** (Tabella 20).

Tabella 20 – Sinergie/interconnessioni tra le componenti e i processi indagati con le 4 linee d'azione strategiche del **PdGPO**. Con **Non RILEVANTE** si intende che l'attività/componente non ha specificatamente investigato e/o evidenziato una particolare sinergia e non implica che la sinergia sia assente. Una sinergia/interconnessione **POSITIVA** indica una risposta dell'attività/componente all'abbassamento del pennello di navigazione – il cui valore (migliorativo o peggiorativo) potrà essere quantificato al termine del secondo triennio di monitoraggio (2024-2026). **IC** = incremento della connettività.

Linea Azione	Adattamento CC	Tutela biodiversità	qualità H ₂ O	gestione H ₂ O
Attività				
Componenti Bio				
<i>Lycaena/lepidotteri</i>	NEUTRO . Nessuna evidenza nel breve periodo (2021-2023).	NEUTRO . L'IC per ora non ha determinato effetti sostanziali in termini di diversità/consistenza delle popolazioni target.	Non RILEVANTE .	Non RILEVANTE .
Odonati	POSITIVO . L'Incremento della connettività (IC) è associato alla comparsa di una delle specie <i>target</i> (<i>Stylurus flavipes</i>), che ha completato il suo ciclo riproduttivo.	POSITIVO . L'IC è associato alla comparsa di una delle specie <i>target</i> (<i>Stylurus flavipes</i>).	Non RILEVANTE .	Non RILEVANTE .
Ostracodi	NEUTRO . Nessuna evidenza nel breve periodo (2021-2023).	NEUTRO . L'IC per ora non ha determinato effetti sostanziali in termini di diversità/consistenza delle popolazioni target.	Non RILEVANTE .	Non RILEVANTE .
Habitat	POSITIVO . L'IC è strettamente associato al riarrangiamento spaziale delle cenosi acquatiche e	NEUTRO . Il dinamismo associato all'IC per ora non ha determinato effetti sostanziali in	NEUTRO . Il dinamismo associato all'IC per ora non ha determinato effetti sostanziali in	Non RILEVANTE .

Linea Azione	Adattamento CC	Tutela biodiversità	qualità H ₂ O	gestione H ₂ O
Attività				
	ripariali annue. La vegetazione ha riacquisito un suo dinamismo associato all'idrologia del fiume.	termini di diversità degli habitat target.	termini di qualità di acque e sedimenti al variare del dinamismo degli habitat target.	
Comunità ornitica	NEUTRO . Nessuna evidenza nel breve periodo (2021-2023). <i>L'ambito territoriale di studio è limitato rispetto alle dinamiche spaziali della comunità.</i>	NEUTRO . L'IC per ora non ha determinato effetti sostanziali in termini di diversità/consistenza delle popolazioni target. <i>L'ambito territoriale di studio è limitato rispetto alle dinamiche spaziali della comunità.</i>	Non RILEVANTE .	Non RILEVANTE .
Comunità ittica	NEUTRO . Nessuna evidenza nel breve periodo (2021-2023). <i>L'ambito territoriale di studio è limitato rispetto alle dinamiche spaziali della comunità.</i>	NEUTRO . L'IC per ora non ha determinato effetti sostanziali in termini di diversità/consistenza delle popolazioni target. <i>L'ambito territoriale di studio è limitato rispetto alle dinamiche spaziali della comunità.</i>	Non RILEVANTE .	Non RILEVANTE .
Qualità H ₂ O/sed	Non RILEVANTE .	Non RILEVANTE .	POSITIVO . L'IC è associato ad un aumento della variabilità nelle concentrazioni di elementi nutritivi e ad un aumento della concentrazione di biomassa fitoplanctonica nel periodo estivo.	Non RILEVANTE .
Funzionamento	POSITIVO . L'Incremento della connettività (IC) è associato ad un cambio metabolico del ramo laterale (da etero ad autotrofico in estate e autunno).	Non RILEVANTE .	POSITIVO . L'Incremento della connettività (IC) è associato ad un aumento del potenziale di dissipazione del carico di azoto nitrico.	Non RILEVANTE .

Ne possiamo dedurre alcune indicazioni di valenza generale per i processi di pianificazione a scala di distretto:

A. I dati raccolti suggeriscono l'utilità di monitorare alcune delle comunità biologiche tipiche dei sistemi ripari e dei corpi idrici laterali per acquisire indicazioni sul successo di interventi di rinaturazione e per valutare gli effetti locali del cambiamento globale. **Libellule** (in generale invertebrati con fasi di vita acquatica) e **habitat** (acquatici e annuali) sono le componenti più reattive, capaci di offrire indicazioni nel breve periodo sul successo (nel caso specifico) dell'abbassamento di un pennello di navigazione e dell'incremento della connettività laterale tra canale principale e rami secondari. Queste componenti

possono essere monitorate sia attraverso **metodiche classiche** (rilievo delle comunità vegetali e studi di dinamiche di vegetazione) che “innovative” quali **e-DNA metabarcoding** (per la componente animale acquatica) e **telerilevamento** (per le dinamiche del mosaico ecosistemico ripario). L'obiettivo è di **comprendere appieno le mutuali interazioni tra specie, habitat e condizioni abiotiche** – alla luce delle rapide e sostanziali modifiche che gli ecosistemi stanno manifestando adattandosi alle nuove condizioni richiamate nel testo.

B. Tradizionalmente, per caratterizzare la qualità ecologica degli ecosistemi acquatici sono utilizzati prevalentemente indici che utilizzano metriche legate alla struttura delle comunità biotiche e delle componenti abiotiche. Al contrario, lo sviluppo e la standardizzazione di metodologie per la misurazione del funzionamento ecosistemico rimangono limitati e di conseguenza, questi aspetti sono ancora poco considerati nella valutazione dello stato ecologico dei corsi d'acqua. Qualità chimico-fisica delle acque e funzionamento dell'ecosistema emergono tuttavia come indicatori chiave delle dinamiche innescate dalla riconnessione idraulica di un corpo idrico secondario, che vanno adeguatamente analizzate in quanto direttamente e indirettamente connesse alla valutazione dello stato di qualità ecologica e alla capacità del sistema acquatico di sostenere la componente biotica e di fornire servizi ecosistemici. Ad esempio, la capacità dei fiumi, o di una loro componente come le zone umide perifluviali, di riciclare, trattenere o dissipare nutrienti eutrofizzanti come il fosforo o l'azoto contribuisce alla purificazione dell'acqua. Inoltre, il funzionamento dell'ecosistema deve essere considerato come parte integrante dello stato ecologico o della qualità dell'ecosistema. La direttiva quadro UE sulle acque definisce infatti lo stato ecologico come **"un'espressione della qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici associati alle acque superficiali"**. Vi è pertanto la necessità di comprendere come i nuovi (o futuri) regimi idro-morfologici potranno influenzare la qualità chimico-fisica dei corpi idrici, la genesi dei carichi e la loro successiva metabolizzazione a scala di distretto. A tale scopo, è fondamentale effettuare l'analisi dell'ecosistema acquatico a scale spaziali e temporali che permettano di intercettare la variazione delle caratteristiche chimiche e applicare anche indicatori che riflettono il funzionamento dell'ecosistema ricorrendo a metodiche innovative quali: **la misura dello stato metabolico** o la **dissipazione del nitrato** e il **telerilevamento** (per la generazione di mappe di qualità dei corpi idrici).

In prospettiva, diviene importante implementare gli attuali schemi di monitoraggio ai sensi della DQA con:

- (i) indicatori e indici relativi a **comunità animali** di particolare reattività (odonati) e stato critico di conservazione (anfibi) – monitorabili in termini integrati anche attraverso il ricorso a tecniche emergenti (eDNA metabarcoding);
- (ii) includere **comunità di piante anfibe e riparie** nei monitoraggi della componente vegetale – monitorabili attraverso tecniche emergenti (telerilevamento), non solo in termini di composizione e struttura quindi ma anche di dinamiche evolutive e stati funzionali (per es., contenuto di pigmenti, stato di salute);
- (iii) sviluppare **protocolli per l'analisi della qualità chimico-fisica** a supporto della definizione dello stato ecologico che includano anche indicatori di biomassa fitoplanctonica e misure in continuo dell'ossigeno disciolto;
- (iv) includere **indicatori e indici metabolici** quali il metabolismo complessivo del sistema o la dissipazione del nitrato.

BIBLIOGRAFIA

- APAT, 2007. Protocollo di campionamento e analisi della fauna ittica dei sistemi lotici. In: "Metodi Biologici per le Acque. Parte I". Manuali e Linee Guida APAT, Roma, pp.31.
- APAT-IRSA CNR. 2004. Metodi analitici per le acque. Manuali e Linee Guida N. 29/2003, Roma, ed. APAT-IRSA CNR.
- A.P.H.A., A.W.W.A., W.P.C.F. 2017. Standard methods for examination of water and wastewater. 23th edition, A.P.H.A., Washington, 1114 pp.
- Baccetti N., Fracasso N. & C.O.I., 2021. CISO-COI. Check-list of Italian birds - 2020. Avocetta 45: 21-85. https://doi.org/10.30456/AVO.2021_checklist_en
- Balletto E. & Kudrna O., 1985. Some aspects of the conservation of butterflies in Italy, with recommendations for a further strategy (Lepidoptera Hesperidae & Papilionidae). Bollettino della Società entomologica Italiana, 117 (1-3): 39-59.
- Bokulich, N. A., Kaehler, B. D., Rideout, J. R., Dillon, M., Bolyen, E., Knight, R., Huttley, G. A., & Gregory Caporaso, J. (2018). Optimizing taxonomic classification of marker-gene amplicon sequences with QIIME 2's q2-feature-classifier plugin. Microbiome, 6(1), 90. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0470-z>
- Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R., Bokulich, N. A., Abnet, C. C., Al-Ghalith, G. A., Alexander, H., Alm, E. J., Arumugam, M., Asnicar, F., Bai, Y., Bisanz, J. E., Bittinger, K., Brejnrod, A., Brislawn, C. J., Brown, C. T., Callahan, B. J., Caraballo-Rodríguez, A. M., Chase, J., ... Caporaso, J. G. (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. Nature Biotechnology, 37(8), 852-857. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9>
- Bonato L., Uliana M., Beretta S., 2014. Farfalle del Veneto: atlante distributivo [Butterflies of Veneto: distributional atlas], Regione Veneto, Fondazione Musei Civici di Venezia, Marsilio Editori, Venezia.
- Callahan, B. J., McMurdie, P. J., & Holmes, S. P. (2017). Exact sequence variants should replace operational taxonomic units in marker-gene data analysis. The ISME Journal, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.119>
- Caporaso J.G., Lauber C.L., Walters W.A., Berg-Lyons D., Lozupone C.A., Turnbaugh P.J., Fierer N., Knight R. (2011). Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. PNAS 108:4516-4522. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000080107>
- Chiari, 2020. Prima segnalazione di Selysiotthemis nigra (Van der Linden, 1825) (Anisoptera: libellulidae) per la provincia di Brescia (Pianura Padana, Lombardia). «NATURA BRESCIANA» Ann. Mus. Civ. Sc. Nat., Brescia, 2020, 43: 141-143.
- Claesson M.J., Wang Q., O'Sullivan O., Greene-Diniz R., Cole J.R., Ross R.P., O'Toole P.W. (2010). Comparison of two next-generation sequencing technologies for resolving highly complex microbiota composition using tandem variable 16S rRNA gene regions. Nucleic acids Res 38:e200-e200. <https://doi.org/10.1093/nar/gkq873>
- Cole J.J., Pace M.L., Carpenter S.R., Kitchell J.F. 2000. Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations. Limnology and Oceanography 45, 1718-1730.
- Dijkstra KDB and Lewington R (2006) Field guide to the dragonflies of Britain and Europa. British Wildlife Publishing, Gillingham, Dorset, UK, 320 pp.
- Gatti F., 2021. Atlante delle Farfalle del Parco Lombardo della Valle del Ticino. Parco Lombardo della Valle del Ticino e Fondazione Lombardia per l'Ambiente.
- Haas B.J., Gevers D., Earl A.M., Feldgarden M., Ward D.V. et al. (2011). Chimeric 16S rRNA sequence formation and detection in Sanger and 454-pyrosequenced PCR amplicons. Genome Res 21:494-504. <http://www.genome.org/cgi/doi/10.1101/gr.112730.110>
- Hardersen S. 2017. Lepidotteri diurni ed Odonati dell'Oltrepo Cremonese - Isola Ballottino. Rapporto interno, 21 pp.
- Hardersen S., 2023. The butterflies and burnets (Lepidoptera: Hesperidae, Lycaenidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae, Zygaenidae) of the Nature Reserve Bosco della Fontana (Lombardy, Italy). Natural History Sciences. Atti Soc. it. Sci. nat. Museo civ. Stor. nat. Milano, 10 (2): 35-44.
- Hardersen S. & Toni I. 2019. Proposal for a time-based standard sampling method for the monitoring of Gomphus flavipes (Charpentier, 1825) and Ophiogomphus cecilia (Fourcroy, 1785) (Odonata: Gomphidae). Fragmenta entomologica, 51 (1): 55-62.

- Kalkman V. J. & Bogdanovic T., 2015. *Selysiotthemis nigra*. In: Boudot J. -P. & Kalkman (eds), Atlas of the European dragonflies and damselflies. KNNV publishing, the Netherlands.
- Kozich J.J., Westcott S.L., Baxter N.T., Highlander S.K., Schloss P.D. (2013). Development of a dual-index sequencing strategy and curation pipeline for analyzing amplicon sequence data on the MiSeq Illumina sequencing platform. *Appl Environ Microbiol* 79:5112–5120. <https://doi.org/10.1128/AEM.01043-13>
- La Porta G., Assandri G., Landi F., Leandri F., 2021. Insecta Odonata. In: Bologna M.A., Zapparoli M., Oliverio M., Minelli A., Bonato L., Cianferoni F., Stoch F. (eds.), Checklist of the Italian Fauna. Version 1.0. Last update: 2021-05-31. Available at: <https://www.lifewatchitaly.eu/en/initiatives/checklist-fauna-italia-en/checklist/>
- Li, M. S. R., O' Rourke, D. R., Kaehler, B. D., Ziemski, M., Dillon, M. R., Foster, J. T., & Bokulich, N. A. (2021). RESCRIPT: Reproducible sequence taxonomy reference database management. *PLOS Computational Biology*, 17(11), e1009581. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009581>
- Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: Spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 12, 343–346.
- Louca, S., Parfrey, L. W., & Doebeli, M. (2016). Decoupling function and taxonomy in the global ocean microbiome. *Science*, 353(6305), 1272–1277. <https://doi.org/10.1126/science.aaf4507>
- Macintyre S.R. Wanninkhof, Chanton J.P. 1995. Trace gas exchange across the air-water interface in freshwaters and coastal marine environments, p. 52–97. In P. A. Matson and R. C. Harris [eds.], Biogenic trace gases: Measuring emissions from soil and water. Blackwell.
- Meisch C., 2000. Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH. pp. 552.
- Mischke, U., Belkinova, D., Birk, S., Borics, G., Garbea, R., Hlubikoba, D., Jekabsone, J., Opatrilova, L., Panek, P., Picinska-FaÅ, tynowicz, J., Piirso, K., Placha, M., Rotaru, N., Stankeviciene, J., Stankovic, I., Van Wichelen, J., Varbiro, G., Virbickas, T. and Wolfram, G., Intercalibrating the national classifications of ecological status for very large rivers in Europe: Biological Quality Element: Phytoplankton, Poikane, S. editor(s), EUR 29337 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-92970-0, doi:10.2760/33734, JRC112691.
- Mishra S., Mishra D. R., 2012. Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117, 394-406. DOI: 10.1016/j.rse.2011.10.016
- Nechad B., Ruddick K., Park Y., 2010. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 114(4), 854-866. DOI: 10.1016/j.rse.2009.11.022
- Nielsen, L. P. (1992). Denitrification in sediment determined from nitrogen isotope pairing. *FEMS Microbiology Letters*, 86(4), 357-362.
- Oberdorfer E., 2001. Pflanzen-soziologische Exkursions-flora für Deutschland und angrenzende Gebiete. Ulmer, Stuttgart.
- Riservato, E., A. Festi, R. Fabbri, C. Grieco, S. Hardersen, G. La Porta, F. Landi, M.E. Siesa &, C. Utzeri. 2014. Odonata - Atlante delle libellule italiane - Preliminare. Società Italiana per lo Studio e la Conservazione delle Libellule, Edizione Belvedere, "le scienze" (17), Latina. ISBN: 978-88-89504-38-3.
- Rossetti G., 2021. Crustacea Ostracoda (freshwater). In: Bologna M.A., Zapparoli M., Oliverio M., Minelli A., Bonato L., Cianferoni F., Stoch F. (eds.), Checklist of the Italian Fauna. Version 1.0. Last update: 2021-05-31. Available at: <https://www.lifewatchitaly.eu/en/initiatives/checklist-fauna-italia-en/checklist/>
- Ruppert K.M., Kline R.J., Rahman Md.S., 2019. Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation*, 17: e00547.
- Šilc U., 2003. Vegetation of the class *Salicetea purpureae* in Dolenjska (SE Slovenia). *Fitosociologia*, 40(2): 3-27.
- Sternberg K, Buchwald R. 1999. Die Libellen Baden-Württembergs - Band 1 Allgemeiner Teil, Kleinlibellen (Zygoptera). Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Tolman T., Lewington R., 2022. Guida alle Farfalle d' Europa. Roma, Ricca Editore.
- Tomaselli M., Bolpagni R., Gualmini M., Borghi M. L., Perlini S., Spettoli O., 2003. La vegetazione dei nuclei naturalistici del Parco Regionale dell'Oglio Sud. I Quaderni del Parco, n° 2.

- Van der Woerd H. J. & Wernand, M. R., 2018. Hue-angle product for low to medium spatial resolution optical satellite sensors. *Remote Sensing*, 10(2), 180. DOI: 10.3390/rs10020180
- Vanhellemont Q. & Ruddick K., 2016. Acolite for Sentinel-2: Aquatic applications of MSI imagery. *In Proceedings of the 2016 ESA Living Planet Symposium*, Prague, Czech Republic, 9-13
- Wiemers M, Balletto E, Dincă V, Fric ZF, Lamas G, Lukhtanov V, Munguira ML, van Swaay CAM, Vila R, Vliegenthart A, Wahlberg N, Verovnik R (2018) An updated checklist of the European Butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea). *ZooKeys* 81: 9-45. <https://doi.org/10.3897/zookeys.811.28712>
- Winslow, L.A., Zwart, J.A., Batt, R.D., Dugan, H.A., Woolway, R.I., Corman, J.R., Hanson, P.C., Read, J.S. 2016. LakeMetabolizer: an R package for estimating lake metabolism from free-water oxygen using diverse statistical models. *Inland Waters* 6, 622–636.

Allegato 1

Tabella A – *Ceratophylletum demersi* (A-1); Fitocenon a *Stuckenia pectinata* (A-2).

	A-1			A-2			
N° ril.	26	27	31	28	29	30	32
Sito							
Sup. ril. (mq)	4	4	4	4	4	4	4
Cop. %	100	100	100	90	95	80	65
Ceratophylletum demersi							
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	4	5	3		1	+	+
Fitocenon a Stuckenia pectinata							
<i>Stuckenia pectinata</i> L.				2	1	3	2
Potamion pectinati							
<i>Elodea nuttallii</i> (Planch.) H.St.John				2	2	1	2
<i>Potamogeton pusillus</i> L.				+	+		
<i>Zannichellia palustris</i> L.					r	r	+
Potametalia & Potametea							
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.		+			+	+	
Compagne							
<i>Spyrogira</i> sp.pl.	3	1	+	1	2	2	+
<i>Lemna minuta</i> Kunth		r	+		+	+	1
<i>Cladophora</i> sp.	+			1	+	+	+
<i>Oscillatoria</i> sp.		+	1	r	r		r
<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H.Raven.					+	+	+
<i>Salvinia natans</i> (L.) All.	+						

Tabella B – *Polygono lapathifolii-Xanthietum italici* (B-1); *Cyperetum esculenti* (B-2).

N° ril.	6	7	8	9	10	21	22	23	24	25	33	34	11	12	13	14	15
Sito																	
Sup. ril. (mq)	40	60	100	100	60	100	40	40	40	50	60	60	16	16	25	16	20
Cop. %	95	85	90	85	90	100	85	90	65	95	90	90	70	65	85	90	75
Polygono lapathifolii-Xanthietum italici																	
<i>Xanthium italicum</i> Moretti	4	2	3	4	3	3	4	2	+	3	2	3	1	+		2	+
<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delabre subsp. <i>lapathifolia</i>	1	2		+	+	+	r			+	2	+		+			+
Cyperetum esculenti																	
<i>Cyperus esculentus</i> L.	+			r					r		+		2	2	3	4	3
Chenopodium rubri																	
<i>Chenopodium album</i> L. subsp. <i>album</i>		r	+			2	1				1	+	+	+			
<i>Bidens frondosa</i> L.		+	+		1								+		+		
Bidentetalia & Bidentetea																	
<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) P.Beauv.	+	+	1			1	+		+	+	+		r		1	1	
<i>Amaranthus tuberculatus</i> (Moq.) J.D.Sauer						2	1	1	2	+		r	+	1	+	+	+
<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.		1	1		+	1	1		r	+		r			+	+	+
<i>Portulaca oleracea</i> L.			+	r			+			1	r	+			r	1	+
<i>Panicum capillare</i> L.		r	+							+					r	+	+
<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delabre subsp. <i>pallida</i> (With.) A. Löve			+	r						+						+	+
<i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser			+												+		r
<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clematis						+	+				+						
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.							+									r	
<i>Ranunculus sceleratus</i> L.					r										r		
<i>Amaranthus hybridus</i> L.			+									+					
Compagne																	
Stellarietea mediae																	
<i>Cuscuta campestris</i> Yunck.			r	+	+			+	1		+	+	+			+	
<i>Artemisia annua</i> L.	r					+	r			1			+	r			
<i>Eragrostis pectinacea</i> (Michx.) Nees								1	+	+			+				
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.				+	+					+							
<i>Erigeron canadensis</i> L.				+					+						r		
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.										+							
Altre compagne																	
<i>Polygonum arenastrum</i> Boreau						r	r	2	+			+					
<i>Oenothera stuebelii</i> Soldano	r	r			+		r					+					
<i>Populus x canadensis</i> Moench							+	+	+								
<i>Salix alba</i> L.							+	+									
<i>Ambrosia trifida</i> L.						+					r						
<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.							+				+						
<i>Rumex crispus</i> DC.						+											



Tabella C – *Salicetum albae*; subassociazione *typicum* (C-1) e variante ruderale ad *Amorpha fruticosa* (C-2).

	C-1					C-2					
N° ril.	1	2	16	17	36	3	5	18	19	20	36
Sito	1	1				2	3				3
Sup. ril. (mq)	200	200	150	200	150	180	100	100	100	140	100
Copertura arborea (%)	75	70	75	70	80	75	70	75	70	55	65
Copertura alto arbustiva (%)	5	15	5	5	15	25	15	15	25	25	25
Copertura basso arbustiva (%)	5	5			5		5	10	5	5	5
Copertura erbacea (%)	10	3			3	30	20	15	15	15	20
Specie differenziali di <i>Salicion albae</i>											
<i>Humulus lupulus</i> L.	+		+	+							+
<i>Symphytum officinale</i> L.							+		r		+
<i>Salicion albae</i> e unità superiori											
<i>Salix alba</i> L.	4	4	3	3	4	3	3	4	2	2	3
<i>Populus x canadensis</i> Moench	1	+			1		+	1	2	1	+
<i>Salix alba</i> L. (pl.)			+	+	+		+				+
Specie differenziali della subassociazione <i>typicum</i>											
<i>Urtica dioica</i> L.		1			1		1		2	+	+
<i>Phalaris arundinacea</i> L.		1			+						+
Variante ad <i>Amorpha fruticosa</i>											
<i>Amorpha fruticosa</i> L.(b)						2	1	2	2	1	3
Compagne											
<i>Bidentetea tripartiti</i>											
<i>Chenopodium album</i> L.	+					+	+		+		+
<i>Xanthium italicum</i> Moretti	+				+		+			r	+
<i>Bidens frondosa</i> L.	+										
<i>Stellarietea mediae</i>											
<i>Amaranthus tuberculatus</i> (Moq.) J.D.Sauer	+						+		r	r	+
Altre compagne											
<i>Rubus caesius</i> L.		+			+	+	+	+	+	1	+
<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.	r				+		+		1	1	+
<i>Acer negundo</i> L.						1	1		+	1	1
<i>Ambrosia trifida</i> L.							1		r	+	
<i>Artemisia verlotiorum</i> Lamotte						2	+	r	r		+
<i>Sicyos angulatus</i> L.						1	1	2	+	2	1
<i>Elymus repens</i> (L.) Gould							1	+			
<i>Cucubalus baccifer</i> L.	r					+					
<i>Oenothera stueckii</i> Soldano	r										
<i>Solanum nigrum</i> L.											



Allegato 2

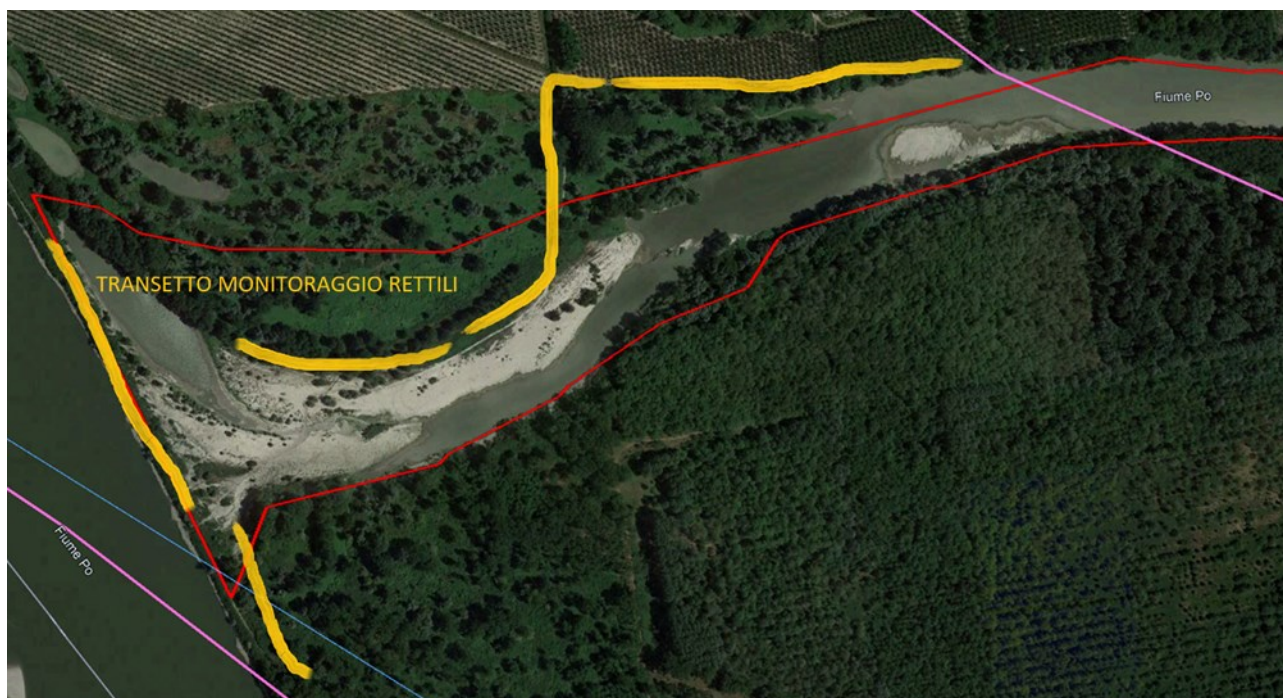


Figura A – transetto monitoraggio rettili (attività integrativa iniziata a maggio 2023).

Allegato 3

Mappe relative alle classi di clorofilla dell'indice IPAM: elevato (blu, $< 4.4 \mu\text{g L}^{-1}$), buono (azzurro, $4.4\text{-}8.0 \mu\text{g L}^{-1}$), sufficiente (giallo, $8.0\text{-}14.60 \mu\text{g L}^{-1}$), scarso (arancione, $14.6\text{-}26.7 \mu\text{g L}^{-1}$), cattivo (rosso, $> 26.7 \mu\text{g L}^{-1}$).

