

Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni dei corsi d'acqua mediante l'utilizzo di bioindicatori acquatici. Casi di studio al Sud delle Alpi

Marco Nembrini^{1*}, Salvatore Calvaruso¹, Alberto Ezio Conelli¹ & Flavio Croce¹

¹ Oikos – Consulenza e ingegneria ambientale Sagl, via Riale Righetti 20a, 6503 Bellinzona, Svizzera

* marco.nembrini@oikos.swiss

Redattore di riferimento: Francesco Danza

Riassunto: Il presente studio analizza l'efficacia ecologica degli interventi di rivitalizzazione delle acque attraverso un'indagine condotta su sei corsi d'acqua riqualificati situati nella regione biogeografica del Sud delle Alpi, in Svizzera, nei Cantoni Ticino e Grigioni. Per le valutazioni sono stati utilizzati, quali bioindicatori, i macroinvertebrati bentonici e la fauna ittica. Le indagini sono state condotte attraverso i metodi di studio standardizzati a livello nazionale del Sistema Modulare a Livelli, a cui sono stati integrati gli aspetti metodologici previsti dal controllo dell'efficacia "standard" elaborato dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). I risultati, in termini di confronto *ante e post operam*, hanno dimostrato un netto miglioramento dello stato ecologico dei sei corsi d'acqua rivitalizzati. In aggiunta, si è osservata la ricolonizzazione da parte di specie di insetti acquatici (efemerotteri, plecoteri e tricoteri) e di specie ittiche prioritarie a livello nazionale e iscritte in lista rossa. I risultati ottenuti confermano l'efficacia degli interventi di rivitalizzazione nel ripristinare la qualità ecologica dei corsi d'acqua, contribuendo al recupero della biodiversità specifica dei sistemi acquatici e di conseguenza al generale funzionamento ecologico dei sistemi fluviali.

Parole chiave: FI-CH, IBCH, ittiofauna, macroinvertebrati bentonici, Sistema Modulare a Livelli

Assessing the effectiveness of river revitalisation using aquatic bio-indicators. Case studies in the swiss biogeographic region of the Southern Alps

Abstract: This study analyzes the ecological effectiveness of watercourse revitalization interventions through an in-depth investigation conducted on six recently restored watercourses located in the biogeographic region of the Southern Alps, in Switzerland, specifically in the Cantons of Ticino and Grisons. Benthic macroinvertebrates and fish fauna were used as bioindicators for the assessments. The investigations were carried out using the nationally standardized study methods of the Modular Stepwise Procedure, supplemented by methodological aspects outlined in the «standard» Outcome Evaluation developed by the Federal Office for the Environment. The results, based on an ante- and post-operam comparisons, showed a clear improvement in the ecological status of the six revitalised watercourses. In addition, recolonization by nationally protected and/or Red List of aquatic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) and fish species was observed. The results obtained confirm the effectiveness of revitalization interventions in restoring the ecological quality of watercourses, contributing to the restoration of the specific biodiversity of aquatic systems and consequently to the general ecological functioning of river systems.

Keywords: benthic macroinvertebrates, FI-CH, fish fauna, IBCH, Modular Stepwise Procedure

INTRODUZIONE

La rivitalizzazione delle acque, secondo l'accezione giuridica in Svizzera, è il ripristino, con misure di natura edile, delle funzioni naturali di acque superficiali arginate, rettifiche, coperte o messe in galleria.

Essa rappresenta una delle possibili azioni all'interno della più ampia strategia di riqualificazione fluviale, termine con cui si fa riferimento a un insieme integrato di interventi volti a restituire ai corsi d'acqua e ai loro corridoi fluviali caratteristiche geomorfologiche, fisico-chimiche e biologiche più naturali e vicine a quelle originarie (CIRF 2006). L'obiettivo è il ripristino della funzionalità ecomorfologica degli ambienti fluviali,

nonché il miglioramento della sicurezza idraulica, della protezione contro le piene e dell'attrattività fruitivo-ricreativa (Angelone et al. 2012), attuabili non solo attraverso interventi di tipo strutturale, ma anche gestionali e pianificatori.

A livello nazionale, il tema delle rivitalizzazioni riveste un ruolo di primaria importanza: l'obiettivo è il recupero, entro il 2090, di circa un quarto dei 15'000 km di corsi d'acqua e rive lacustri con stato ecomorfologico compromesso presenti in Svizzera (Ambord & Thoms 2023; Göggel 2012).

La verifica del raggiungimento degli obiettivi ecologici prefissati nei progetti di rivitalizzazione delle acque è un aspetto importante al fine di verificare se la tipologia

e la modalità degli interventi progettati e applicati ha prodotto i risultati auspicati. Essa viene effettuata attraverso indagini specialistiche volte a verificare i miglioramenti nello stato ecologico delle comunità biologiche acquatiche. In base agli obiettivi progettuali, tali indagini si focalizzano su specifici bioindicatori, avvalendosi delle metodologie standardizzate fornite dal Sistema Modulare a Livelli (MSK-SMG), adottato a livello nazionale per la valutazione dello stato ecologico delle acque (Liechti et al. 1998). Per la loro sensibilità alle pressioni di origine antropica, i principali gruppi biologici impiegati come indicatori sono i macroinvertebrati bentonici e la fauna ittica. Per la valutazione dello stato ecologico di tali comunità, l'SMG-MSK prevede l'utilizzo dell'indice biologico svizzero IBCH, relativamente ai macroinvertebrati bentonici (UFAM 2019a) e del modulo SMG-Poissons, relativamente alla fauna ittica (UFAM 2024).

A partire dal 2020, inoltre, è stato introdotto a livello federale il “Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni” (Weber et al. 2019a), che definisce nuove modalità standardizzate per la valutazione dell'efficacia dei progetti di rivitalizzazione delle acque. Esso si articola in un controllo dell'efficacia “standard” (Weber et al. 2019b), che prevede un'analisi comparativa (prima-dopo), e un controllo dell'efficacia “approfondito” (Thomas et al. 2019), riservato a progetti già realizzati su piccoli corsi d'acqua e selezionati dai Cantoni per analisi più dettagliate.

Le indagini previste nell'ambito del controllo dell'efficacia si basano su 11 set di indicatori, selezionati in funzione delle caratteristiche e degli obiettivi specifici del progetto. Tra gli 11 set metodologici definiti, figurano i macroinvertebrati bentonici (set n. 6) e la fauna ittica (set n. 7), per i quali sono disponibili appositi protocolli di monitoraggio (UFAM 2019b,c).

A seguito della pubblicazione della Pianificazione strategica nel 2014, in Canton Ticino sono stati realizzati già diversi interventi di rivitalizzazione dei corsi d'acqua, per i quali l'effettivo raggiungimento degli obiettivi ecologici auspicati è stato verificato mediante l'attuazione delle indagini specialistiche secondo le metodologie summenzionate. Nel presente articolo vengono esposti i risultati delle indagini svolte nell'ambito di sei progetti di rivitalizzazione, realizzati negli ultimi 10 anni. Per questi sei casi di studio sono stati utilizzati, quali bioindicatori, i macroinvertebrati bentonici e la fauna ittica.

MATERIALI E METODI

Inquadramento territoriale e casi studio

I sei tratti di corsi d'acqua oggetto di analisi sono ubicati in Svizzera, nella regione biogeografica del Sud delle Alpi. Di questi, cinque sono situati in Canton Ticino, mentre uno nel Cantone dei Grigioni (Tab. 1, Fig. 1). I tratti analizzati si collocano in contesti di fondovalle, ad un'altitudine compresa tra 196 e 342 m s.l.m., e sono rappresentativi di una varietà di condizioni ecomorfologiche tipiche dei piccoli, medi e grandi corsi d'acqua della regione.

Prima degli interventi (Fig. 2), i tratti dei corsi d'acqua denominati Pesta, Ragon, Roncaglia e Trodo presentavano uno stato ecomorfologico alterato, inquadrabile nelle classi III (“altamente compromesso”) e IV (“poco naturale / artificiale”) secondo la classificazione proposta dall'Ufficio dei corsi d'acqua (2006). Tali tratti risultavano morfologicamente caratterizzati da un alveo e da sponde parzialmente o totalmente artificiali (consolidati in pietra) e da una scarsa o nulla variabilità idromorfologica. Maggiormente compromesse erano le condizioni del corso d'acqua Tognano, il cui tratto oggetto di rivitalizzazione risultava quasi interamente intubato.

Nel caso del Pascol Grand, infine, gli interventi hanno previsto il ripristino di un paleoalveo (vecchio ramo laterale) non più attivo del fiume Moesa, dapprima convertito in un pascolo e successivamente abbandonato.

Bioindicatori e metodi di valutazione

Per la valutazione dell'efficacia degli interventi di rivitalizzazione riportati come casi studio, sono stati impiegati, quali bioindicatori, i macroinvertebrati bentonici e la fauna ittica. Le indagini sono state eseguite conformemente ai protocolli metodologici del Sistema Modulare a Livelli (SMG), sviluppato dall'UFAM (Liechti et al. 1998). La scelta di utilizzare questi due gruppi faunistici ricade sulla loro particolare sensibilità alle variazioni delle condizioni ambientali degli habitat acquatici, fornendo, di conseguenza, una fedele rappresentazione dello stato ecologico del corso d'acqua in cui essi vivono. I macroinvertebrati bentonici, nello specifico, risultano degli ottimi indicatori per via della spiccata suscettibilità alle alterazioni a carico dei deflussi e dei substrati degli ambienti acquatici, come pure alle fluttuazioni della concentrazione di ossigeno

Tabella 1: Dati relativi ai sei corsi d'acqua oggetto di recenti interventi di rivitalizzazione fluviale scelti come casi studio. ID: codice identificativo del corso d'acqua. Classe: classificazione del corso d'acqua secondo lo stato ecomorfologico (UCA 2006); III = “altamente compromesso”; IV = “poco naturale/artificiale”. L: lunghezza (m) del tratto rivitalizzato. X/Y: coordinate riferite al sistema svizzero CH1903/LV95. Alt.: altitudine (m s.l.m.). Anno: anno in cui il progetto di rivitalizzazione è stato ultimato.

ID	Corso d'acqua	Comune	Classe	L	X	Y	Alt.	Anno
1	Pascol Grand	San Vittore	n/a	1'200	2'728'220	1'121'240	263	2019
2	Pesta	Locarno	IV	160	2'721'903	1'114'521	198	2021
3	Ragon	Bellinzona	IV	390	2'721'361	1'124'224	247	2020
4	Roncaglia	Novazzano	III	970	2'721'198	1'077'158	245	2015
5	Tognano	Castel San Pietro	in galleria	225	2'721'370	1'079'441	342	2018
6	Trodo	Locarno	IV	150	2'712'248	1'112'906	196	2018

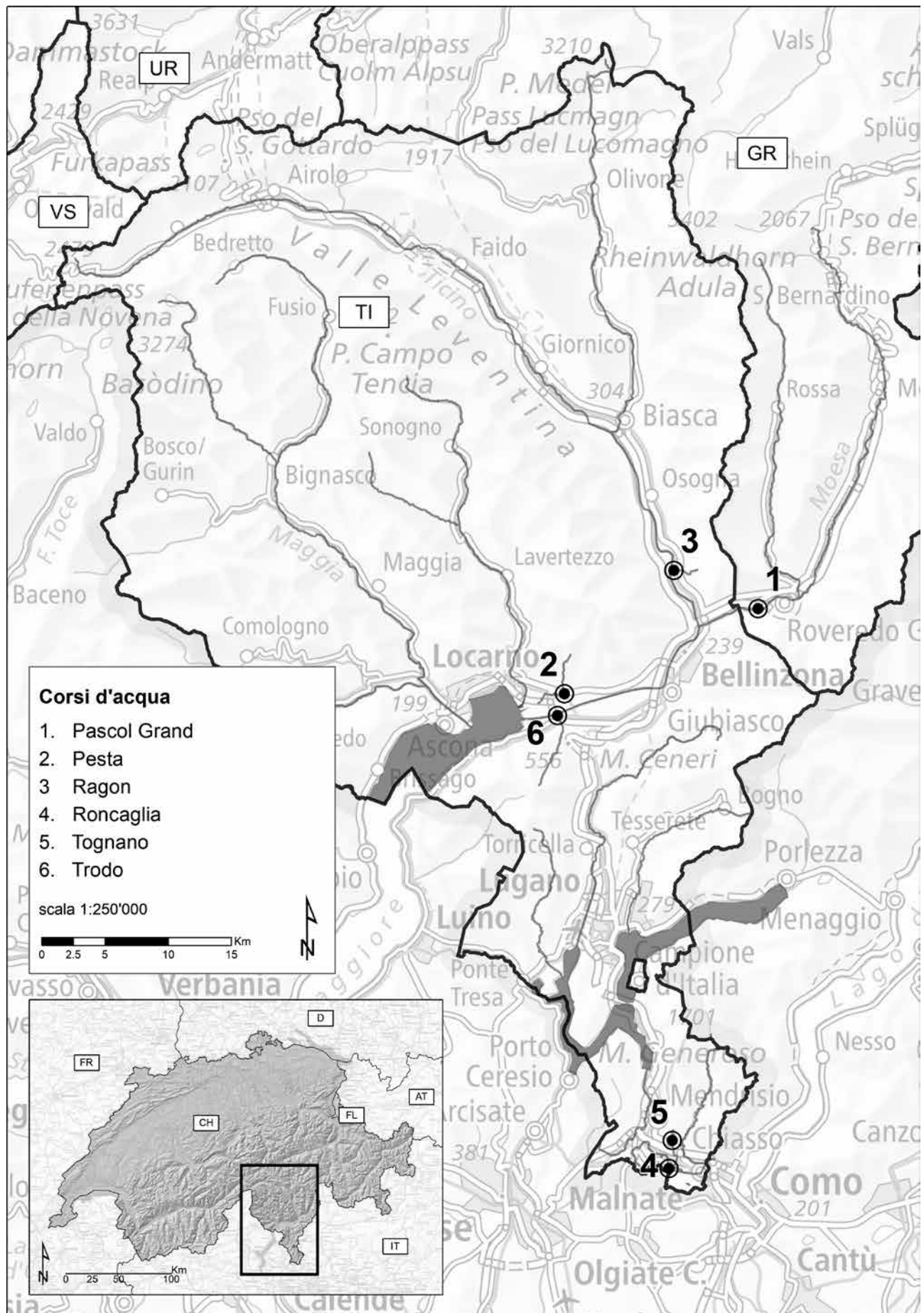


Figura 1: Ubicazione dei sei corsi d'acqua rivalitizzati scelti quali casi studio.



Figura 2: Aspetto dei sei corsi d'acqua oggetto di studio prima dell'attuazione degli interventi di rivitalizzazione. 1: Pascol Grand (corso d'acqua precedentemente inesistente). 2: Pesta. 3: Ragon. 4: Roncaglia. 5: Tognano. 6: Trodo (foto: Marco Nembrini e CO-MAL.CH (corso d'acqua Roncaglia)).

disciolto e alla presenza di inquinanti e altri composti chimici all'interno dei corsi d'acqua (UFAM 2019a). Per quanto riguarda la fauna ittica, invece, essa rappresenta un ottimo bioindicatore in quanto, oltre a riflettere l'influenza combinata di molteplici fattori ambientali, come la qualità chimica dell'acqua, le variazioni di temperatura e la struttura degli habitat, fornisce informazioni utili per quanto riguarda la connettività dei corsi d'acqua e la presenza di ostacoli alla migrazione (UFAM 2024).

Indici di stato ecologico

Le indagini sui macroinvertebrati bentonici sono state condotte mediante l'utilizzo del protocollo IBCH (UFAM 2019a). Questo prevede la determinazione di due parametri: il valore di varietà tassonomica (VT), legato al numero di *taxa* presenti nel campione, e il valore del gruppo faunistico indicatore (GI), definito per il *taxon*, tra quelli individuati, con il maggior grado di sensibilità ai fattori di stress. Il punteggio finale (valore da 0 a 1), determinato dalla combinazione dei 2 parametri, definisce l'indice IBCH, da cui dipende uno specifico giudizio di qualità ecologica per il corso d'acqua studia-

to (Tab. 2). Alle indagini sopracitate sono stati integrati gli aspetti metodologici previsti dal controllo dell'efficacia "standard", relativamente all'indicatore 6 "Macrozoobenthos" (UFAM 2019b); si è quindi proceduto con la determinazione della specie di tutti gli insetti appartenenti ai gruppi EPT (efemerotteri, plecoteri e tricotteri), a cui è seguita l'analisi della variazione, tra la fase *ante operam* e quella *post operam*, del numero e dell'abbondanza delle diverse specie, in particolare di quei gruppi tassonomici iscritti in lista rossa (Lubini et al. 2012) e/o prioritari a livello nazionale (UFAM 2019d).

La valutazione sui popolamenti ittici è stata effettuata applicando il modulo SMG-Poissons pubblicato per la prima volta nel 2004 (Schager & Peter 2004) e recentemente revisionato e aggiornato (UFAM 2024).

Il modulo valuta lo stato di salute del popolamento ittico sulla base di tre parametri quali la composizione specifica, la densità unita alla biomassa e la struttura delle popolazioni. La combinazione di questi parametri permette di attribuire al corso d'acqua in esame un valore dell'indice FI-CH, con il relativo giudizio di qualità ecologica (Tab. 2).

Tabella 2: Metriche per la determinazione dello stato ecologico di un corso d'acqua secondo il Sistema Modulare a Livelli basato su 5 classi di qualità (Liechti et al. 1998) e corrispondenti valori dell'indice biologico svizzero, IBCH per i macroinvertebrati bentonici (UFAM 2019a) e dell'indice FI-CH per la fauna ittica (UFAM 2024).

indice IBCH / FI-CH	Stato ecologico
≥ 0.8	molto buono
$0.6 - < 0.8$	buono
$0.4 - < 0.6$	medio
$0.2 - < 0.4$	mediocre
< 0.2	cattivo

Metodi di campionamento

I campionamenti dei macroinvertebrati bentonici sono stati condotti secondo le modalità del protocollo IBCH (UFAM 2019a). Il metodo viene applicato su un tratto rappresentativo del segmento fluviale in esame e prevede il campionamento mediante *kick sampling* su 8 punti (determinati da differenti combinazioni substrato – velocità di corrente), corrispondenti ai diversi habitat colonizzati dai macroinvertebrati bentonici, mediante l'impiego di un retino standard. Dopo il prelievo, il contenuto di ogni *kick* è stato fissato in alcol (vol. 85%) e trasportato in laboratorio per l'analisi finalizzata all'identificazione dei diversi gruppi tassonomici secondo il livello di dettaglio definito dal protocollo IBCH.

Per quanto riguarda il braccio laterale del fiume Moesa, ripristinato all'interno della Golena Pascol Grand, affianco alle indagini in ambiente acquatico, sono stati effettuati dei campionamenti di tricotteri adulti in ambiente terrestre mediante la posa notturna di 3 trappole luminose, ciascuna composta da una lampada tubolare a UV da 15 W, un interruttore crepuscolare, una batteria da 12 V con almeno 12 Ah di energia e una vaschetta in PE (dimensioni ca. 50 cm x 40 cm x 10 cm),

riempita di acqua. I tricotteri così catturati sono stati prelevati il mattino seguente e fissati in alcol (vol. 80%). Gli individui delle famiglie appartenenti ai gruppi EPT prelevati dai campionamenti IBCH e dalle trappole luminose sono stati successivamente inviati agli specialisti (Pascal Stucki; Aquabug, Neuchâtel) per la determinazione a livello di specie.

I campionamenti di fauna ittica sono stati invece svolti mediante l'impiego di un elettrostorditore barellabile da 5 kW a corrente continua, con due poli di cattura, su stazioni di campionamento di lunghezza pari a 12 volte la larghezza dell'alveo bagnato (larghezze medie da 3 a 7 metri), in ottemperanza allo standard metodologico. I settori selezionati sono stati delimitati a monte e a valle da apposite reti, installate in occasione dei campionamenti. Per ogni stazione sono stati effettuati tre passaggi di pesca elettrica, ottenendo così un campione rappresentativo della comunità ittica reale in termini di composizione specifica, abbondanza e struttura in classi d'età. Questa metodologia di campionamento, che si basa sul concetto di pesca quantitativa, permette di ottenere dei dati quantificabili in maniera oggettiva per ogni specie presente (numero di effettivi, densità, biomassa, ecc.), non limitandosi alla mera valutazione qualitativa della presenza/assenza di una determinata specie. Inoltre, la standardizzazione del metodo di campionamento permette il confronto dei risultati con altri campionamenti effettuati sul medesimo corso d'acqua o su corsi d'acqua differenti.

La fauna ittica è stata prelevata, portata alla stazione di misurazione, dapprima temporaneamente anestetizzata (dosaggio: 1.5 ml olio di garofano + 20 ml etanolo (vol. 85%) + 30 L di acqua) e in seguito sottoposta a valutazione biometrica. Ogni individuo è stato determinato a livello di specie, misurato (lunghezza totale in mm), pesato (peso corporeo in g) e osservato per verificare la possibile presenza di anomalie o malformazioni. Al termine della sessione di elettropesca e biometrica, tutti gli individui sono stati rilasciati vivi e attivi nei principali luoghi di cattura, badando a ridistribuirli omogeneamente lungo il settore di cattura.

Design sperimentale

Le valutazioni specialistiche sono state condotte in fase *post operam* (tra i 3 e i 5 anni dalla messa in esercizio dell'opera) su specifiche stazioni di campionamento, individuate all'interno dei tratti fluviali oggetto di rivitalizzazione (Tab. 3).

Per quanto riguarda i macroinvertebrati bentonici, affianco alle indagini svolte sui tratti rivitalizzati, sono stati effettuati dei campionamenti anche su tratti naturali o semi-naturali appartenenti al medesimo corso d'acqua o a un corso d'acqua limitrofo e analogo, denominati "tratti di riferimento", con l'obiettivo di definire lo stato ecologico il cui raggiungimento era auspicabile con l'attuazione della rivitalizzazione. Per i corsi d'acqua Pesta, Ragon e Trodo si è potuto inoltre disporre di un'indagine *ante operam* volta a definire lo stato della comunità di macroinvertebrati bentonici prima degli interventi di rivitalizzazione.

Per quanto riguarda la fauna ittica, invece, le indagini sono state svolte in fase *post operam* solo sui corsi d'ac-

qua Pascol Grand, Pesta, Ragon, Roncaglia e Trodo, in quanto caratterizzati da aspetti ecomorfologici e idrologici tali da determinarne un certo grado di vocazionalità per i popolamenti piscicoli.

Le medesime indagini non sono state condotte, invece, sul Tognano in quanto il corso d'acqua è caratterizzato da un carattere idrologico intermittente e, quindi, non sufficientemente rappresentativo per avere una comunità piscicola valutabile.

RISULTATI

La Tab. 4 riporta i risultati globali delle valutazioni condotte sui macroinvertebrati bentonici e la fauna ittica dei sei corsi d'acqua oggetto di studio. Per una descrizione dettagliata, si rimanda ai paragrafi successivi.

Macroinvertebrati bentonici

Indice IBCH

Di seguito sono indicati i valori dell'indice IBCH calcolati sui sei tratti rivitalizzati (Fig. 3). Si riporta in primo luogo i risultati delle valutazioni effettuate sul corso d'acqua Pascol Grand, dove il punteggio IBCH calcolato in fase *post operam* ha raggiunto il valore 0.96, determinando un giudizio di stato ecologico "molto buono". Questo è risultato maggiore al punteggio dell'indice IBCH calcolato per il tratto di riferimento, il quale, con un valore pari a 0.81, ha determinato anch'esso

l'attribuzione di un giudizio di stato ecologico "molto buono".

Segue il caso del corso d'acqua Pesta, nel quale, da un valore *ante operam* dell'indice IBCH pari a 0.26, corrispondente a un giudizio di stato ecologico "mediocre", si è passati, in fase *post operam*, al valore 0.85, da cui è dipeso un giudizio "molto buono". Il valore dell'indice calcolato sul tratto rivitalizzato è risultato superiore a quello ottenuto dai campionamenti sul tratto di riferimento, dove il punteggio IBCH ha raggiunto il valore 0.75, corrispondente a un giudizio di stato ecologico "buono".

Una situazione analoga si è osservata sul corso d'acqua Ragon, dove, da un indice IBCH *ante operam* pari a 0.11, corrispondente a un giudizio di stato ecologico "cattivo", si è passati, in fase *post operam*, a un valore di 0.68, da cui è dipeso un giudizio "buono". In questo caso, il valore ottenuto sul tratto rivitalizzato è risultato inferiore rispetto a quello calcolato sul tratto di riferimento, dove l'indice IBCH ha raggiunto il valore 0.89, con l'attribuzione di un conseguente giudizio di stato ecologico "molto buono".

Sul corso d'acqua Roncaglia, l'indice IBCH calcolato in fase *post operam* è risultato pari a 0.79, da cui è dipeso un giudizio di stato ecologico "buono". Anche in questo caso, il valore è risultato minore a quello ottenuto sul tratto di riferimento, dove l'indice IBCH ha raggiunto il valore 0.90, con un corrispondente giudizio di stato ecologico "molto buono".

Tabella 3: Sintesi delle valutazioni specialistiche condotte all'interno dei corsi d'acqua indagati. Per ogni corpo idrico è riportato il bioindicatore studiato (macroinvertebrati bentonici e fauna ittica), la fase di indagine (*ante operam* e *post operam*) e l'anno di attuazione delle indagini. Per i macroinvertebrati bentonici è inoltre riportato l'anno di attuazione dei campionamenti sul tratto di riferimento. MZB: macroinvertebrati bentonici.

Corso d'acqua	Tratto rivitalizzato				Tratto di riferimento
	Ante operam		Post operam		
	MZB	Fauna ittica	MZB	Fauna ittica	MZB
Pascol Grand	–	–	2023	2023	2020
Pesta	2021	2021	2025	2023	2015
Ragon	2016	2016	2023	2021	2023
Roncaglia	–	–	2023	2024	2023
Tognano	–	–	2022	–	2023
Trodo	2015	2018	2023	2021	2023

Tabella 4: Confronto tra i valori degli indici IBCH e FI-CH e relativo giudizio ecologico per i sei corsi d'acqua indagati. Vengono esposti e confrontati i risultati delle valutazioni *ante operam* e *post operam*. Per l'indice IBCH è inoltre riportato il resoconto delle indagini svolte sul tratto di riferimento.

Corso d'acqua	Tratto rivitalizzato						Tratto di riferimento	
	<i>Ante operam</i>		<i>Post operam</i>					
	IBCH	FI-CH	IBCH	FI-CH	IBCH	FI-CH	IBCH	
Pascol Grand	–	–	0.96	molto buono	0.70	buono	0.81	molto buono
Pesta	0.26	mediocre	0	cattivo	0.85	molto buono	0.64	buono
Ragon	0.11	cattivo	0	cattivo	0.68	buono	0.76	buono
Roncaglia	–	–	–	–	0.79	buono	0.72	buono
Tognano	–	–	–	–	0.95	molto buono	–	–
Trodo	0.16	cattivo	0	cattivo	0.69	buono	0.33	mediocre

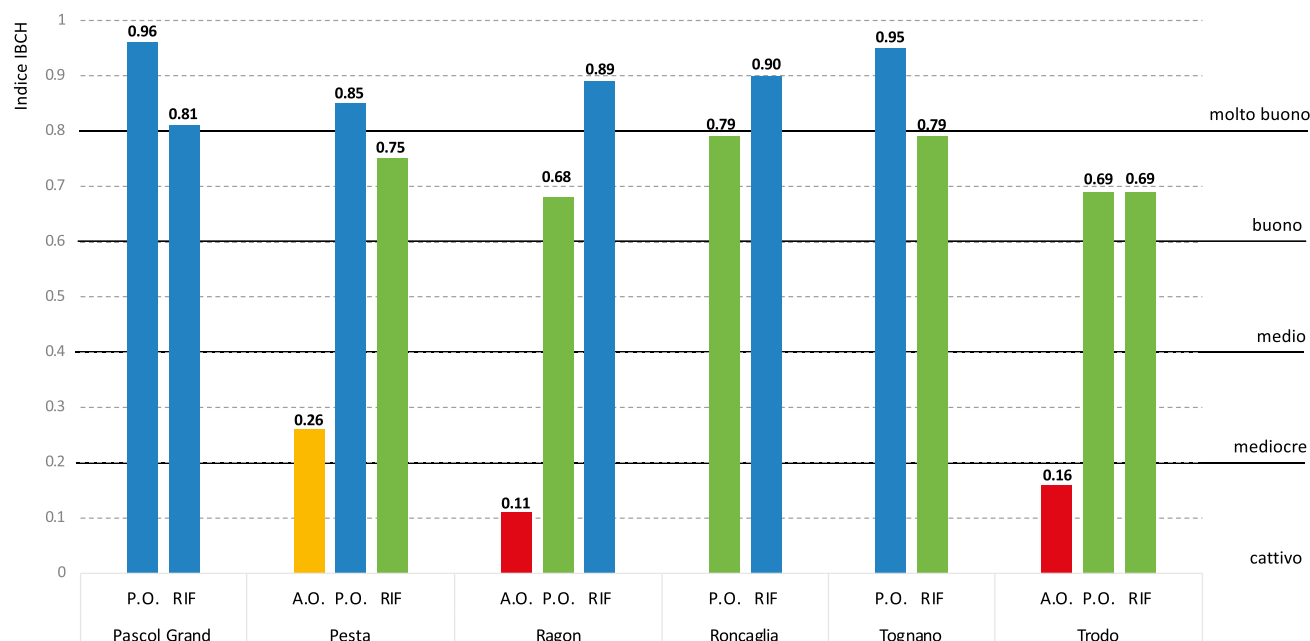


Figura 3: Grafico relativo ai punteggi dell'indice biologico svizzero IBCH ottenuti per i diversi casi studio. Vengono indicati i valori soglia per l'attribuzione alle classi di stato ecologico (da “cattivo a “molto buono”) secondo il Sistema Modulare a Livelli (Liechti et al. 1998). A.O.: *ante operam*. P.O.: *post operam*. RIF: tratto di riferimento.

Sul corso d'acqua Tognano, l'indice IBCH calcolato in fase *post operam* ha raggiunto il valore 0.95, corrispondente a un giudizio di stato ecologico “molto buono”. Sul tratto di riferimento, invece, il punteggio IBCH ha raggiunto il valore 0.79, da cui è dipeso un giudizio pari a “buono”.

In ultimo, sul corso d'acqua Trodo, da un valore dell'indice IBCH calcolato in fase *ante operam* pari a 0.16, equivalente a un giudizio di stato ecologico “cattivo”, si è passati, in fase *post operam*, a un punteggio IBCH di 0.69 e, conseguentemente, a un giudizio “buono”. Esso risulta identico a quello ottenuto sul tratto di riferimento.

Specie di insetti EPT prioritarie e/o protette

Nei corsi d'acqua oggetto di rivitalizzazione si è assistito alla ricolonizzazione da parte di diverse specie di insetti appartenenti ai gruppi EPT (efemerotteri, plecoteri e tricoteri) iscritte in lista rossa (Lubini et al. 2012) e/o

prioritarie a livello nazionale (UFAM 2019d). La tabella 5 riporta il resoconto dettagliato. Degna di nota è la presenza, all'interno del tratto rivitalizzato del Canale di Riazino e del Ragon, di *Nigrobaetis niger*, specie di efemerottero riportata in lista rossa con status di minaccia CR (pericolo di estinzione) e con un grado di priorità a livello nazionale pari a 1 (“molto elevata”). Le segnalazioni per questa specie in Canton Ticino sono limitate al reticolo idrografico dei canali del Piano di Magadino, mentre nel resto della Svizzera è limitata alla catena del Giura e all'area limitrofa al lago di Zurigo. Si evidenzia inoltre la presenza, all'interno dei corsi d'acqua Tognano e Roncaglia, di *Hydropsyche doehleri*, specie di tricottero tipica di piccoli corsi d'acqua e canali a scorrimento lento di bassa quota, riportata in lista rossa come fortemente minacciata (status EN) e con grado di priorità a livello nazionale pari a 2 (“elevata”), presente in Svizzera esclusivamente nel Sottoceneri.

Tabella 5: Specie di insetti EPT iscritte in lista rossa e/o prioritarie a livello nazionale censite nei tratti rivitalizzati. LR: status lista rossa (Lubini et al. 2012); NT = “potenzialmente minacciato”; VU = “vulnerabile”; EN = “fortemente minacciato”; CR = “in pericolo di estinzione”. PR: priorità di conservazione (UFAM 2019d); 1 = “molto elevata”; 2 = “elevata”; 3 = “media”; 4 = “esigua”.

Taxon	LR	PR	Pascol Grand	Pesta	Roncaglia	Ragon	Tognano	Trodo
Efemerotteri								
<i>Baetis buceratus</i>	VU	4			•			
<i>Baetis liebenauae</i>	VU	3			•			
<i>Habrophlebia eldae</i>	VU	4				•		
<i>Nigrobaetis niger</i>	CR	1		•		•		
Plecoteri								
<i>Perla marginata</i>	NT							•
Tricoteri								
<i>Agapetus nimbulus</i>	VU	4	•	•				•
<i>Hydropsyche doehleri</i>	EN	2			•		•	

Fauna ittica

Indice FI-CH

Le indagini hanno evidenziato come il valore dell'indice FI-CH calcolato in fase *post operam* (Fig. 4) abbia raggiunto, in tutti i tratti rivitalizzati, un punteggio sempre pari o superiore al valore 0.6, determinando un giudizio di stato ecologico “buono”. L'unica eccezione è rappresentata dal riale Trodo, per il quale il valore dell'indice FI-CH si attesta a 0.33, determinando l'attribuzione di un giudizio ecologico “mediocre”.

Specie ittiche prioritarie e/o protette

A seguito degli interventi di rivitalizzazione, all'interno di tutti i tratti in studio si è assistito alla ricolonizzazione da parte delle specie ittiche tipiche delle diverse zone piscicole in cui le aste fluviali risultano ubicate, quest'ultime definite secondo le disposizioni metodologiche del modulo SMG-Poissons (UFAM 2024). Di particolare importanza è la presenza di quattro specie inscritte in lista rossa (UFAM/CSCF 2022) e/o prioritarie a livello nazionale (UFAM 2019d), tutte presenti in Svizzera esclusivamente nella regione biogeografica del Sud delle Alpi (Tab. 6).

DISCUSSIONE

I risultati delle valutazioni specialistiche condotte sui sei corsi d'acqua hanno potuto confermare il raggiungimento degli obiettivi ecologici in termini di controllo efficacia. Infatti, gli interventi tecnici di rivitalizzazione hanno portato alla risoluzione dei deficit ambientali, ripristinando lo stato ecomorfologico ed ecologico dei corpi idrici, riportandoli ad uno stato prossimo a quello naturale, permettendo lo sviluppo di zoocenosi acquatiche ben strutturate, diversificate e caratterizzate dalla presenza di specie rare e/o protette a livello nazionale. Per quanto riguarda i macroinvertebrati bentonici, le analisi hanno evidenziato un chiaro miglioramento dello stato ecologico delle comunità indagate, con il raggiungimento di un valore dell'indice IBCH tale da determinare, in tutti i casi analizzati, l'attribuzione di un giudizio di stato ecologico “buono” o “molto buono”, in linea con quando emerso sui tratti naturali e semi-naturali utilizzati quali riferimento. L'aumento sensibile dei valori dell'indice IBCH ottenuti in fase *post operam* in tutti i casi analizzati è da attribuire alla maggiore complessità delle comunità di macroinvertebrati bentonici osservate all'interno dei tratti rivitalizzati, sia in termini di diversità di *taxa* che di abbondanza di individui. Rispetto alla situazione *ante operam*, inoltre, tali comunità risultavano costituite da gruppi tassonomici di pregio, fortemente sensibili alle

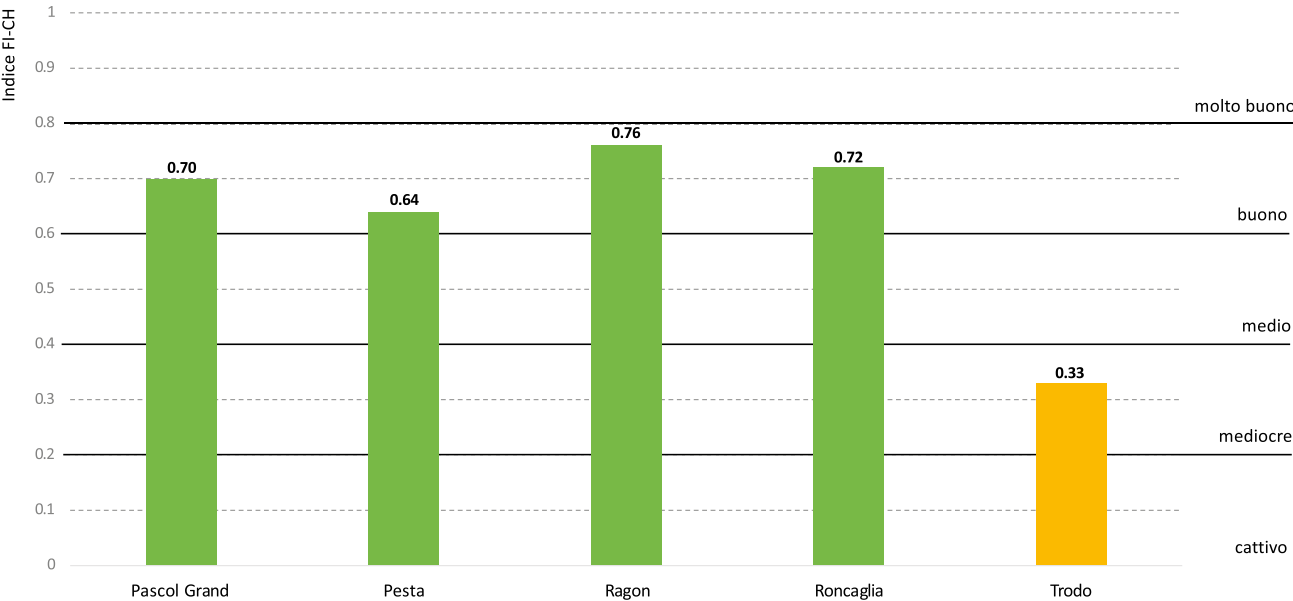


Figura 4: Grafico relativo ai punteggi dell'indice FI-CH ottenuti durante i campionamenti *post operam* per i diversi casi studio. Vengono indicati i valori soglia per l'attribuzione alle classi di qualità ecologica (da “cattivo a “molto buono”) secondo il Sistema Modulare a Livelli (Liechti et al. 1998).

Tabella 6: Specie ittiche inscritte in lista rossa e/o prioritarie a livello nazionale censite nei tratti rivitalizzati a seguito dei campionamenti post operam. LR: status lista rossa (UFAM/CSCF 2022); VU = “vulnerabile”; EN = “fortemente minacciato”. PR: priorità di conservazione (UFAM 2019d); 3 = “media”.

Nome scientifico	Nome comune	LR	PR	Pascol Grand	Pesta	Ragon	Roncaglia
Barbus plebejus	Barbo	VU	3		•		•
Squalius squalus	Cavedano italiano	VU				•	•
Padogobius bonelli	Ghiozzo	EN	3				•
Phoxinus lumaireul	Sanguinerola italiana	VU		•	•		•

alterazioni di natura antropica, in precedenza assenti o scarsamente rappresentati.

L'analisi delle specie EPT ha ulteriormente confermato l'idoneità degli habitat ricreati, in particolare per *taxa* particolarmente sensibili alle perturbazioni di natura antropica e iscritti in lista rossa (Lubini et al. 2012) e/o indicati come prioritari a livello nazionale (UFAM 2019d), i quali hanno potuto ricolonizzare i tratti rivitalizzati.

I risultati delle indagini comprovano, in estrema sintesi, il raggiungimento degli obiettivi naturalistici dei progetti di rivitalizzazione per quanto riguarda l'indicatore dei macroinvertebrati bentonici.

Anche le indagini sulla fauna ittica hanno dimostrato l'efficacia degli interventi di rivitalizzazione delle acque. Infatti, sia all'interno di tratti fluviali precedentemente senza presenza di fauna ittica, come nel caso del Pesta e del Ragon, sia in tratti precedentemente fortemente compromessi, come il Roncaglia, sia in aste fluviali ricreate *ex novo*, come nel caso del corso d'acqua Pascol Grand, si è osservato lo sviluppo di popolamenti piscicoli sufficientemente strutturati (con una buona ripartizione degli individui delle varie specie nelle diverse classi di età) e diversificati, caratterizzati dalla presenza di specie rare e/o protette secondo la lista rossa (UFAM/CSCF 2022) e la lista delle specie prioritarie a livello nazionale (UFAM 2019d).

I risultati suggeriscono come gli interventi abbiano consentito la creazione di condizioni atte a garantire la vocazionalità piscicola per i tratti rivitalizzati, sia in termini ecomorfologici, sia di connettività longitudinale. In analogia con quanto emerso dalle valutazioni sui macroinvertebrati bentonici, dalle indagini è stato possibile comprovare il pieno raggiungimento degli obiettivi naturalistici dei progetti di rivitalizzazione per quanto riguarda l'indicatore della fauna ittica.

L'unica eccezione è rappresentata dal corso d'acqua Trodo, per il quale il valore basso dell'indice FI-CH, tale da determinare un giudizio di stato ecologico "mediocre", descrive la presenza di una comunità ittica caratterizzata da alcuni deficit, riconducibili alla bassa densità di individui (biomassa). Questi parametri penalizzano fortemente il punteggio complessivo dell'indice, sebbene non indichino necessariamente una comunità piscicola compromessa o degradata ma piuttosto non ancora sufficientemente strutturata. Ciò è probabilmente dovuto sia agli eventi di piena che hanno interessato il tratto negli anni successivi alla rivitalizzazione, sia alla prossimità del tratto in esame alla confluenza con il fiume Ticino, quest'ultimo soggetto a fluttuazioni repentine della portata a causa dei noti fenomeni dei deflussi discontinui (*Schwall-Sunk*). Tali dinamiche influenzano negativamente il regime idraulico del tratto terminale del Trodo (confluenza con il fiume Ticino), con effetti negativi sia sulla disponibilità di habitat stabili, sia sulla capacità di colonizzazione e mantenimento di un popolamento strutturato. Gli sbalzi di portata possono inoltre provocare alterazioni tali da influenzare negativamente la presenza e lo sviluppo di habitat idonei per la riproduzione o per la creazione di aree rifugio e di *nursery*, con effetti diretti sulla sopravvivenza degli stadi giovanili. Segnaliamo inoltre che lo stato ecomorfologico del tratto di monte è classificato come artificiale,

con alveo e sponde lastricate, pertanto privo di habitat disponibili per la fauna ittica. Questa situazione contribuisce a limitare lo sviluppo naturale del tratto rivitalizzato. La progettazione della rivitalizzazione dovrebbe pertanto proseguire includendo l'intero tratto urbano del Trodo, fino all'imbocco del corso naturale nella valle. Ciononostante, la presenza di tutte le specie ittiche attese e potenzialmente presenti, in particolare le specie reofile quali lo scazzone e la sanguinerola italiana, a cui si aggiungono le segnalazioni di stadi larvali di temolo e di trota lacustre, rappresenta un indicatore positivo dell'efficacia degli interventi di rivitalizzazione. Prima dell'intervento, infatti, il tratto risultava del tutto privo di fauna ittica. Lo sviluppo di una comunità ittica a seguito della rivitalizzazione, seppur in numero esiguo, è pertanto da interpretare come un segnale positivo, nonostante il valore dell'indice FI-CH basso.

Per tutti i casi di studio, in generale si osserva che la ricolonizzazione spontanea delle cenosi animali acquatiche è stata raggiunta in poco tempo: per i macroinvertebrati bentonici, già dopo 1 anno dalla messa in esercizio dell'opera, si è osservato lo sviluppo di comunità diversificate, fino al raggiungimento dell'*optimum* ecologico dopo 3 anni. Per la fauna ittica, invece, il tempo di ripresa di comunità diversificate e strutturate necessita di maggiore tempo, essendo queste soggette a maggiore variabilità ambientale (siccità e prosciugamenti dei corsi d'acqua, temperatura elevata delle acque nei periodi estivi, eventi di piena straordinari). Per la valutazione delle comunità ittiche è dunque ragionevole attendere dai 3 ai 5 anni prima di poter indagare in maniera esaustiva lo stato ecologico del corso d'acqua attraverso questo bioindicatore.

In entrambi i casi è altresì auspicabile continuare a monitorare la situazione anche oltre questo periodo di 5 anni, al fine di poter trarre ulteriore conoscenza scientifica dall'evoluzione di questi ecosistemi acquatici ripristinati. I risultati sono in pieno accordo con le indicazioni per il controllo dell'efficacia a livello nazionale (Weber et al. 2019b), che prevedono una prima indagine da 4 a 6 anni dopo la rivitalizzazione.

CONCLUSIONI

Le valutazioni espone nel presente studio hanno avuto la duplice funzione di mettere in evidenza, da un lato, l'efficacia delle rivitalizzazioni in ambito fluviale e l'impatto positivo sulla biodiversità e, dall'altro, la risposta adeguata dell'utilizzo delle comunità acquatiche, in particolare quelle macrobentoniche e ittiche, quali bioindicatori per verificare e quantificare il raggiungimento degli obiettivi naturalistici preposti da questa tipologia di interventi di ingegneria naturalistica.

Appare evidente, alla luce dei risultati ottenuti, come l'attuazione di progetti di rivitalizzazione costituisca un elemento chiave per il ripristino di condizioni ecomorfologiche prossime a quelle naturali in corsi d'acqua precedentemente alterati, (Fig. 5). Al fine di raggiungere tali obiettivi, è tuttavia necessaria una fase di progettazione mirata agli obiettivi in termini di specie e ambienti target. Questa fase deve essere il più possibile orientata alla

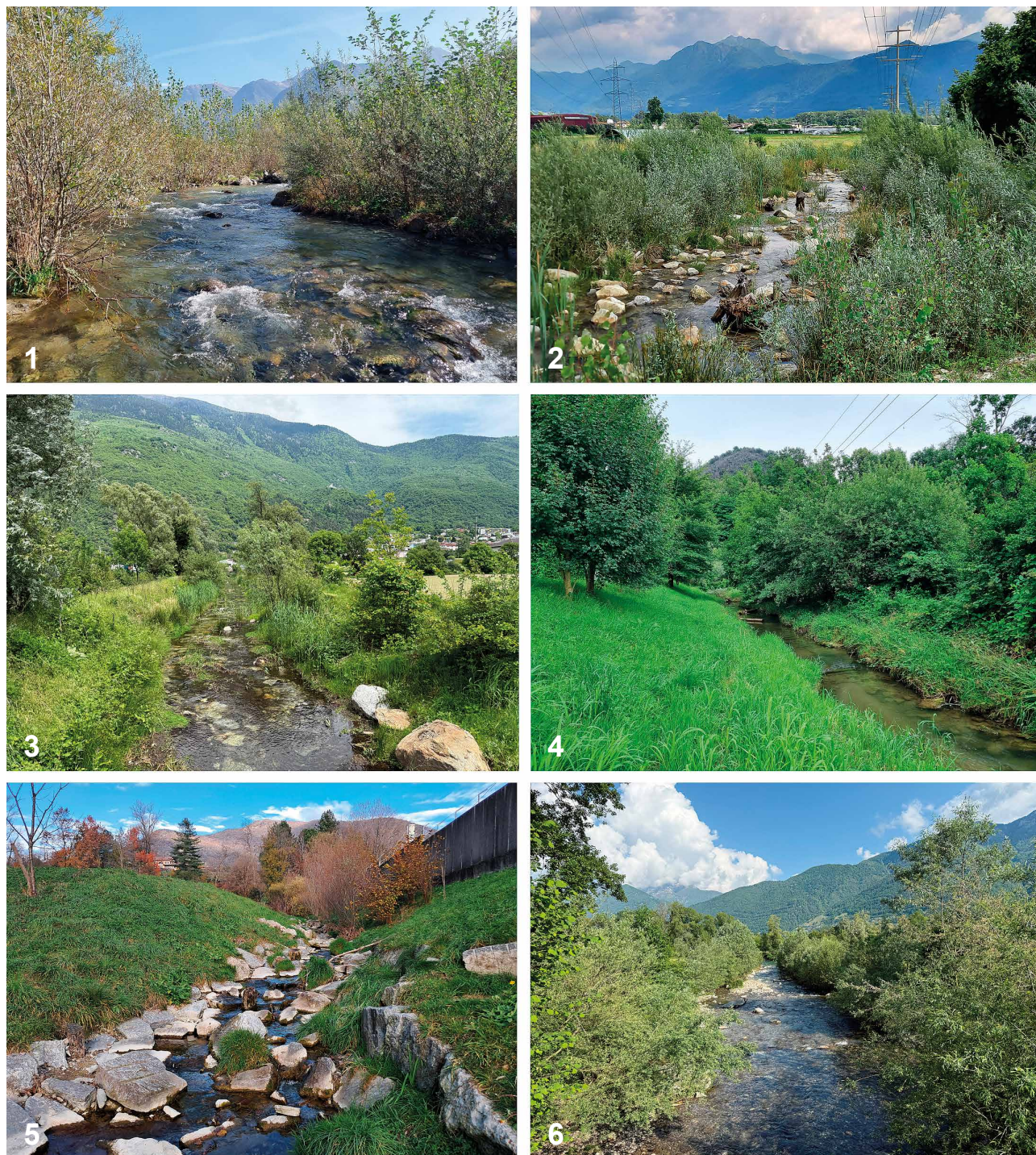


Figura 5: Aspetto finale dei sei corsi d'acqua oggetto di studio a seguito degli interventi di rivitalizzazione. 1: Pascol Grand. 2: Pesta. 3: Ragon. 4: Roncaglia. 5: Tognano. 6: Trodo (foto: Marco Nembrini).

realizzazione di nuovi habitat acquatici e terrestri perfluviali e al recupero di quelli alterati, massimizzando la diversificazione idromorfologica del corpo idrico e riattivando i processi dinamici quali fenomeni erosivi e di deposito di sedimenti fluviali minerali e organici, con particolare attenzione al mantenimento della sicurezza idraulica. Il tema del raggiungimento di un grado soddisfacente di diversità strutturale dell'alveo assume, in tale contesto, un ruolo centrale; risulta quindi essenziale lo sviluppo, di un varietà di elementi morfologici – quali rifugi sommersi e semisommersi, anse di discontinuità spondale, combinazioni eterogenee di substrati minerali o organici e velocità di deflusso, ecc. – tali da permettere di ricreare habitat e microhabitat acquatici che possano

garantire la coesistenza di un'ampia gamma di specie, sia animali sia vegetali. Così facendo, sarà possibile contribuire al ripristino della vocazionalità per i gruppi faunistici target e permettere la ricolonizzazione dei tratti rivitalizzati da parte di specie rare, la cui presenza, specialmente in contesti in cui precedentemente erano assenti, evidenzia l'effetto positivo nella conservazione della biodiversità. Cionondimeno, le rivitalizzazioni dei corsi d'acqua contribuiscono a risanare, laddove deficitaria, l'interconnessione ecologica, ripristinando corridoi ecologici percorribili dalla fauna acquatica e terrestre. Parallelamente all'attuazione di interventi volti al ripristino della connettività ecologica longitudinale (come, ad esempio, la rimozione di ostacoli trasversali

alla migrazione per la fauna ittica), risulta altrettanto fondamentale intervenire per ristabilire la connettività tra il corso d'acqua e gli ambienti terrestri limitrofi. A tale scopo, è auspicabile l'implementazione di misure finalizzate ad incrementare la diversità strutturale delle sponde come la messa a dimora di specie vegetali ripariali autoctone o l'inserimento di strutture ed elementi naturali quali pietraie, ceppaie o cataste di legno morto. Tali interventi risultano essenziali per la creazione di ambienti ripariali eterogenei e favorire l'attrattività del corridoio fluviale per quei gruppi faunistici terrestri o semiacquatici che sfruttano il corso d'acqua e le sue sponde quale area di rifugio, alimentazione e spostamento. I risultati di indagini standardizzate su altri indicatori biologici animali e vegetali non sono stati oggetto di questo studio ma gli effetti positivi sono stati altresì osservati in questi corpi idrici rivitalizzati (sviluppo di vegetazione riparia e specie caratteristiche, vegetazione acquatica sommersa e semisommersa quali macrofite acquatiche).

Il presente articolo ha il pregio di essere il primo studio a Sud delle Alpi ad aver applicato in modo standardizzato il controllo dell'efficacia a seguito della politica federale svizzera in materia di rivitalizzazione dei corsi d'acqua, su un ristretto ma comprovante numero di corpi idrici con caratteristiche morfologiche e idrauliche differenti. Il controllo dell'efficacia si rivela uno strumento di conoscenza scientifica fondamentale al fine di orientare correttamente sia le scelte tecniche durante fase progettuale della rivitalizzazione dei corsi d'acqua sia di dimostrare l'efficacia delle strategie politiche e dei finanziamenti allocati in materia di protezione dell'ambiente.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano gli enti promotori e finanziatori delle 6 opere di rivitalizzazione: L'Ufficio dei corsi d'acqua (UCA, Dipartimento del Territorio), l'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), il Consorzio di Manutenzione e Arginature del Basso Mendrisiotto (CMABM), le Ferrovie Federali Svizzere (FFS SA), l'Ufficio federale delle strade (USTRA), il WWF Svizzera italiana e i Comuni di Bellinzona, Castel San Pietro e Novazzano.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- Ambord I. & Thomas G. 2023. Rivitalizzazione dei corsi d'acqua: Pianificazione strategica. In Aiuto all'esecuzione – Rinaturazione delle acque. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Serie Pratica ambientale, UV-1208-I.
- Angelone S., Fäh R., Peter A., Scheidegger C. & Schleiss A. 2012. Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble. In Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau. Office fédéral de l'environnement (UFAM), Berna.
- CIRF. 2006. La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio. A. Nardini, G. Sansoni (curatori) e collaboratori, Mazzanti Editori, Venezia.
- Göggel W. 2012. Revitalisation des cours d'eau: planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l'environnement (UFAM), Berna. L'environnement pratique, n. 1208, 43 pp.
- Liechi P., Sieber U., von Blücher U., Willi H.P., Bundi U., Frutiger, ... & Niederhauser, P. 1998. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse: Système modulaire gradué. Informations concernant la protection des eaux, no 26. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berna.
- Lubini V., Knispel S., Sartori M., Vicentini H. & Wagner, A. 2012. Liste Rosse Efemeroteri, Plecotteri, Tricotteri. Specie minacciate in Svizzera, stato 2010. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna, e Centro Svizzero di Cartografia della Fauna (CSCF), Neuchâtel. Pratica ambientale n. 1212: 111.
- Thomas G., Weber C., Sprecher L., Åberg U., Baumgartner S. & Haertel-Borer S. 2019. Controllo dell'efficacia APPROFONDITO 2020-24. In Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni: imparare insieme per il futuro. Berna: Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Scheda 3, V1.02.
- UFAM 2018. Manuale Accordi programmatici nel settore ambientale 2020-2024. Comunicazione dell'UFAM quale autorità esecutiva ai richiedenti. Pratica ambientale n. 1817: 294.
- UFAM 2019a. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau (IBCH_2019). Macrozoobenthos – niveau R. 1ère édition actualisée 2019; 1re édition 2010. Office fédéral de l'environnement, Berna. L'environnement pratique n. 1026:58.
- UFAM 2019b. Set di indicatori 6 – Macrozoobenthos. In Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni: imparare insieme per il futuro. Berna: Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Scheda 6, V1.04.
- UFAM 2019c. Set di indicatori 7 – Pesci. In Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni: imparare insieme per il futuro (Scheda 6, V1.04). Berna: Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Scheda 7, V1.03.
- UFAM 2019d. Lista delle specie e degli ambienti prioritari a livello nazionale. Specie e ambienti prioritari da promuovere in Svizzera. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Pratica ambientale n. 1709: 97.
- UFAM/CSCF 2022. Lista rossa dei Pesci e Ciclostomi. Specie minacciate in Svizzera. Edizione aggiornata 2022. Ufficio federale dell'ambiente, (UFAM); Centro svizzero di cartografia della fauna (CSCF). Pratica ambientale n. 2217: 38.
- UFAM 2024. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Poissons (état 2024). Office fédéral de l'environnement, Berna. L'environnement pratique n. 2421:72.
- Ufficio dei corsi d'acqua UCA. 2006. Stato ecomorfologico dei corsi d'acqua nel Cantone Ticino. Bellinzona (dati non pubblicati).
- Ufficio dei corsi d'acqua UCA. 2014. Pianificazioni LPac. Rivitalizzazioni dei corsi d'acqua. Dipartimento del territorio: Bellinzona (dati non pubblicati).
- Weber C., Sprecher L., Åberg U., Thomas G., Baumgartner S. & Haertel-Borer S. 2019a. Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni: – l'essenziale in breve. In Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni: imparare insieme per il futuro. Berna: Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Scheda1, V1.02.
- Weber C., Sprecher L., Åberg U., Thomas G., Baumgartner S. & Haertel-Borer S. 2019b. Controllo dell'efficacia STAN-DARD – procedura e organizzazione. In Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni: imparare insieme per il futuro. Berna: Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). Scheda 2, V1.04.