

Paesaggi fluviali: dinamica dei sedimenti e connettività

Ricerca orientata alla pratica sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM

Paesaggi fluviali: dinamica dei sedimenti e connettività

Ricerca orientata alla pratica sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua

Nota editoriale

Editore

Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

L'UFAM è un ufficio del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC).

Istituti di ricerca

Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali Eawag
Plateforme de constructions hydrauliques PL-LCH, (EPFL)
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW,
(ETH Zurich)

Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio WSL

Gestione del progetto

Anna Belser (coordinamento progetto; UFAM),
Christoph Scheidegger (WSL), Sabine Fink (WSL),
Christine Weber (Eawag), David Vetsch (ETH Zurich),
Carmelo Juez (EPFL), Giovanni De Cesare (EPFL)

Gruppo d'accompagnamento

UFAM

Diego Dagani, Katharina Edmaier, Rémy Estoppey, Lorenzo Gorla,
Susanne Haertel-Borer, Christian Holzgang, Andreas Knutti,
Stephan Lussi, Benoît Magnin, Antoine Magnollay, Manuel Nitsche,
Martin Pfaundler, Carlo Scapozza, Adrian Schertenleib,
Gregor Thomas

Cantoni

Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE),
Erik Olbrecht (GR), Pascale Ribordy (FR), Thomas Stucki (AG)

Istituti di ricerca

Johny Wüest (Eawag), Christoph Vorburger (Eawag),
Anton Schleiss (EPFL), Giovanni De Cesare (EPFL), Robert Boes
(ETH Zurich), Christoph Hegg (WSL), Rolf Holderegger (WSL)

Studi d'ingegneria

Tamara Ghilardi (CSD Ingénieurs SA), Lukas Hunzinger
(Flussbau AG SAH), Sandro Ritler (Holinger AG)

Altri

Roger Pfammatter (Associazione svizzera di economia delle
acque SWV), Andreas Stettler (SWV), Benjamin Leimgruber
(Aqua Viva), Tobias Walter (Aqua Viva), Esther Leitgeb (Aqua Viva),
Stefan Vollenweider (Agenda 21 per l'acqua)

Redazione

Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano le persone seguenti per i loro preziosi contributi alla redazione del presente rapporto:

Marta Antonelli (Eawag), Francesco Caponi (ETH Zurich),
Melissa Dawes (WSL), Dorothea Hug Peter (WSL),
Michèle Kännel Dobbertin (WSL), Paolo Perona (EPFL),
Lucie Sprecher (Eawag), Davide Vanzo (ETH Zurich).

Traduzione

Servizio linguistico italiano, UFAM

Grafica

anamorph Visuelle Kommunikation

Impaginazione

Funke Lettershop AG

Foto di copertina

Fiume Moesa in Mesolcina (Grigioni)

© Sabine Fink

Link per scaricare il PDF

www.bafu.admin.ch/uw-2302-i

La versione cartacea non può essere ordinata.

La presente pubblicazione è disponibile anche in inglese, francese e tedesco. La lingua originale è l'inglese.

© UFAM 2023

Indice

Abstracts	5	4.3	Modellizzazione numerica delle opere di derivazione laterale	40
Prefazione	6	4.4	Raccomandazioni per le applicazioni pratiche	43
Introduzione	7	5	Rifugi acquatici durante le piene	45
1 Pianificazione strategica della rivitalizzazione e della conservazione	10	5.1	Cosa s'intende per rifugi?	45
1.1 Sfide per la pianificazione della rivitalizzazione e della conservazione	10	5.2	Funzionamento dei rifugi	47
1.2 Perché utilizzare modelli per pianificare la rivitalizzazione?	11	5.3	Disponibilità e valutazione dei rifugi, tre studi	47
1.3 Applicazione della modellizzazione ecologica nei progetti di pianificazione: un esempio utilizzando funghi	12	5.4	Conservazione e rivitalizzazione dei rifugi	51
1.4 Pianificazione della rivitalizzazione: scale temporali e spaziali	13	6	Simulazione del deposito di sedimenti fini nelle zone golenali	54
1.5 Struttura e forme degli habitat	14	6.1	Introduzione	54
1.6 L'interconnessione è fondamentale per il successo della rivitalizzazione	15	6.2	Modellizzazione numerica	55
1.7 Uso delle informazioni genetiche per valutare la connettività	15	6.3	Processi	56
1.8 Pianificazione della rivitalizzazione dei paesaggi fluviali: aspetti da considerare nell'uso dei modelli	16	6.4	Aspetti ecologici	57
2 Modellizzazione eco-idrodinamica degli habitat ripari	19	6.5	Caso di studio	59
2.1 Modellizzazione degli habitat nei paesaggi fluviali	19	7	Impatto della colmatazione del substrato sulla connettività verticale	63
2.2 Collegamento di modelli ecologici e idrodinamici	20	7.1	Colmatazione	63
2.3 Caso di studio: fiume Moesa	22	7.2	Decolmatazione	69
2.4 Uso nella pratica	25	7.3	Cambiamenti e conseguenze indotti dall'uomo	70
3 Flussi di risorse acquatiche e terrestri	27	7.4	Conclusioni	71
3.1 Importanza dei flussi dai sistemi acquatici a quelli terrestri	27	8	Distribuzione granulometrica e ciclo vitale della trota fario	72
3.2 Dati sugli apporti di risorse acquatiche e terrestri in Svizzera	29	8.1	Introduzione	72
3.3 Implicazioni gestionali	35	8.2	Differenze nella preferenza del substrato in funzione dell'età e del sesso	72
4 Risposta dei corsi d'acqua principali alla derivazione delle piene nelle zone golenali	37	8.3	Nesso tra la taglia delle femmine alla maturità e la struttura del substrato	74
4.1 Introduzione	37	8.4	Implicazioni per le strategie di sostegno delle popolazioni di trote e di miglioramento dei loro habitat	76
4.2 Stima dell'esonazione laterale	38	9	Continuità dei sedimenti e relative misure di apporto	80
		9.1	Interruzione della continuità dei sedimenti	80
		9.2	Misure di apporto di sedimenti	81
		9.3	Fondamenti del processo	84
		9.4	Valutazione dei risultati	87
		10	Bibliografia	89

Abstracts

Riverscapes are a diverse habitat mosaic of patches ranging from wet to dry that are shaped by the hydro- and morphodynamic characteristics of the river. Sediment dynamics and connectivity are therefore two key elements influencing the flood protection and ecological functions in river restoration efforts. The interdisciplinary research project 'Riverscape – sediment dynamics and connectivity' links hydraulic engineering and ecology to evaluate measures fostering sediment dynamics and to explore functional riverscape habitats. This publication comprises a summary of the main research findings of the project, supplemented by perspectives from researchers and practitioners who were not directly involved in the project.

I paesaggi fluviali sono caratterizzati da un mosaico di habitat diversi, da umidi ad aridi, plasmati dalle peculiarità idrodinamiche e morfodinamiche del corso d'acqua. La dinamica dei sedimenti e la connettività sono quindi due elementi chiave per la protezione contro le piene e le funzioni ecologiche negli sforzi di rivitalizzazione dei corsi d'acqua. Il progetto di ricerca interdisciplinare «Paesaggi fluviali: dinamica dei sedimenti e connettività» unisce la sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua al fine di valutare le misure che favoriscono la dinamica dei sedimenti ed esplorare gli habitat funzionali dei paesaggi fluviali. La presente pubblicazione comprende una sintesi dei principali risultati del progetto, integrata dai punti di vista di ricercatori e professionisti del settore non direttamente coinvolti nel progetto.

Flusslandschaften bilden ein vielfältiges Habitatmosaik von feuchten zu trockenen Standorten, die durch die hydro- und morphodynamischen Eigenschaften des Flusses geprägt sind. Sedimentdynamik und Vernetzung sind daher zwei Schlüsselemente, die den Hochwasserschutz und die ökologischen Funktionen bei Massnahmen zur Fließgewässerrevitalisierung beeinflussen. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Lebensraum Gewässer – Sedimentdynamik und Vernetzung» verbindet Wasserbau und Ökologie miteinander, um Massnahmen zur Förderung der Sedimentdynamik zu beurteilen und funktionale Lebensräume in Flusslandschaften zu erforschen. Diese Publikation fasst die wichtigsten Forschungsergebnisse zusammen und ergänzt diese durch Beiträge von Forschenden und Fachleuten aus der Praxis, die nicht direkt am Projekt beteiligt waren.

Les milieux fluviaux constituent une mosaïque d'habitats variés, allant des habitats très humides à d'autres complètement secs, qui se forment en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et morphodynamiques des cours d'eau. Ainsi, la dynamique sédimentaire et la connectivité sont deux éléments influant sur la protection contre les crues et les fonctions écologiques dans les efforts de revitalisation des cours d'eau. Le projet de recherche interdisciplinaire « Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité » fait le pont entre l'aménagement et l'écologie des cours d'eau afin d'évaluer les mesures favorisant la dynamique sédimentaire et d'explorer les habitats fonctionnels des milieux fluviaux. La présente publication contient un résumé des principaux résultats de ce projet ainsi que des interprétations complémentaires de la part de chercheurs et de praticiens qui n'ont pas directement participé au projet.

Keywords:

clogging, ecological function, flood protection, interdisciplinary research, refugia, river habitat, riparian species, river restoration

Parole chiave:

colmatazione, funzioni ecologiche, protezione contro le piene, ricerca interdisciplinare, rifugio, ambienti fluviali, specie riparie, rivitalizzazione dei corsi d'acqua

Stichwörter:

Kolmation, ökologische Funktion, Hochwasserschutz, interdisziplinäre Forschung, Refugien, Lebensraum Fließgewässer, auenbewohnende Arten, Fließgewässerrevitalisierung

Mots-clés:

colmatage, fonction écologique, protection contre les crues, recherche interdisciplinaire, refuges, habitat fluvial, espèces riveraines, revitalisation des cours d'eau

Prefazione

I corsi d'acqua prossimi allo stato naturale sono tra gli habitat più ricchi di specie della Svizzera. Formano un mosaico di siti, da umidi ad aridi, che cambiano costantemente a seconda delle condizioni di portata e della dinamica dei sedimenti. Tali corsi d'acqua rappresentano un corridoio che comprende anche banchi di ghiaia, boschi golenali e pozze. L'interconnessione di questi habitat consente la conservazione e lo sviluppo della biodiversità.

Oggi in Svizzera molti corsi d'acqua non sono più prossimi allo stato naturale. La maggior parte dei fiumi e dei torrenti è canalizzata e la portata e il bilancio dei sedimenti sono alterati. La biodiversità nei paesaggi fluviali è dunque diminuita sensibilmente. I cambiamenti climatici provocano inoltre un aumento della temperatura dell'acqua e condizioni di deflusso più estreme. Le piene copiose e i sempre più frequenti livelli di magra durante i periodi di siccità rappresentano una minaccia per l'uomo e le infrastrutture. Per migliorare la situazione a lungo termine è necessario armonizzare le misure di protezione contro le piene e di rivitalizzazione attraverso una stretta collaborazione tra diverse discipline.

Il progetto di ricerca interdisciplinare «Paesaggi fluviali: dinamica dei sedimenti e connettività» combina i due campi della sistemazione e dell'ecologia dei corsi d'acqua. I ricercatori di queste due discipline hanno unito le forze per stabilire i principi fondamentali e proporre soluzioni per il ripristino della dinamica dei sedimenti e dell'interconnessione degli habitat. I risultati più importanti per la pratica sono presentati in questa pubblicazione, destinata in particolare agli esperti della pubblica amministrazione e del settore privato.

Il progetto di ricerca «Paesaggi fluviali: dinamica dei sedimenti e connettività» è stato condotto congiuntamente dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) e dagli istituti di ricerca Eawag, EPFL, ETH Zurich e WSL, e ha coinvolto anche professionisti di amministrazioni cantonali, uffici privati e organizzazioni non governative.

L'UFAM desidera ringraziare tutti i partecipanti per la preziosa collaborazione e i rappresentanti delle amministrazioni cantonali e del settore privato per il loro sostegno.

Katrin Schneeberger, direttrice
Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

Introduzione

Sabine Fink, Anna Belser, Giovanni De Cesare,
Christoph Scheidegger, Christine Weber e David Vetsch

I processi idrologici e idraulici, come il trasporto dei sedimenti, influenzano gli organismi acquatici, anfibi e terrestri e i loro habitat ben oltre il canale di un fiume. Quest'area, il cosiddetto «paesaggio fluviale», comprende un'elevata diversità di habitat ripari, che possono variare nello spazio e nel tempo a seconda della portata del corso d'acqua e della dinamica dei sedimenti. Gli animali e le piante adattati alla vita nei paesaggi fluviali traggono vantaggio dalle mutevoli caratteristiche dell'ambiente stesso. La dinamica dei sedimenti può in particolare fornire nutrienti, promuovere la riproduzione e creare o alterare temporaneamente gli habitat.

Nei paesaggi fluviali prossimi allo stato naturale, l'ampia area che collega la terra e l'acqua offre spazio sufficiente per mitigare i rischi di piena. Nei paesaggi fluviali alterati, invece, le infrastrutture umane e i terreni agricoli sono colpiti da eventi che superano la portata di progetto, rendendo necessarie misure di protezione e una gestione del rischio residuo. Per combinare la protezione contro le piene e le funzioni ecologiche dei paesaggi fluviali è fondamentale comprendere il grado di connettività tra le zone acquatiche e terrestri che li caratterizzano. I corsi d'acqua prossimi allo stato naturale sono interconnessi con l'ambiente circostante in più dimensioni: longitudinalmente dalla sorgente alla foce, lateralmente dall'acqua alle rive (comprese) e verticalmente dalle acque superficiali alle acque sotterranee. La dinamica dei sedimenti influenza la connettività in tutte queste dimensioni e determina processi che coinvolgono spazi a scala dall'intero bacino idrografico alla singola particella.

Nei paesaggi fluviali ecologicamente interconnessi, le specie possono trovare rifugio in aree in cui l'impatto di eventi estremi (p. es. piene e siccità) è ridotto. La connettività funzionale promuove inoltre la biodiversità, anche in aree di dimensioni ridotte, poiché unisce gli habitat e consente agli organismi di disperdersi o colonizzare nuove aree. La ricolonizzazione degli habitat del paesaggio fluviale è un processo chiave, poiché lungo corsi d'acqua funzionali la dispersione delle specie riparie può raggiungere grandi distanze. La pianificazione strategica della rivitalizzazione e della conservazione a scala di bacino deve far leva su una prospettiva olistica.

I modelli possono aiutare a prevedere la probabilità che le specie raggiungano gli habitat all'interno del paesaggio fluviale dopo anni o decenni, anche in condizioni climatiche e morfologiche mutevoli (cfr. cap. 1; Fink e Scheidegger 2023). Le specie acquatiche e terrestri presenti nei paesaggi fluviali dipendono inoltre da habitat specifici per insediarsi, crescere e riprodursi. A livello di bacino idrografico, la formazione di questi habitat in luoghi particolari è determinata da fattori climatici e idrologici e, a livello locale, da fattori idrodinamici (cfr. cap. 2; van Rooijen *et al.* 2023).

Nei paesaggi fluviali prossimi allo stato naturale, l'acqua e la terra sono ben interconnesse e comprendono reti alimentari, in cui gli insetti che emergono dall'acqua servono da alimento per i predatori terrestri (p. es. ragni e uccelli; cfr. cap. 3; Kowarik e Robinson 2023). La connettività funzionale laterale tra habitat acquatici e terrestri, ad esempio la deviazione delle acque di piena, può essere importante anche per prevenire i pericoli naturali. I paesaggi fluviali con uno spazio riservato alle acque sufficiente per la ritenuta delle piene sono in grado di ridurre i picchi di piena, mitigando così l'impatto a valle. In caso di grande evento di piena, le opere di deviazione laterale deviano l'acqua, influenzando al tempo stesso il trasporto dei sedimenti nel canale principale (cfr. cap. 4; Frei *et al.* 2023). Siccome piene regolari sono importanti per la vegetazione delle zone golenali, la costruzione di opere di deviazione laterale può anche essere un'efficace misura ecologica.

Durante i piccoli e grandi eventi di piena, le specie dei paesaggi fluviali cercano rifugio in habitat acquatici o terrestri in cui l'impatto della portata elevata e della mobilitazione dei sedimenti è ridotto (cfr. cap. 5; Rachelly *et al.* 2023). Il mosaico di habitat all'interno dei paesaggi fluviali prossimi allo stato naturale crea numerosi rifugi, la cui disponibilità e funzionalità presuppongono tuttavia un apporto di sedimenti. Il deposito di sedimenti fini nelle zone golenali durante le piene è importante anche per la formazione di habitat ripari terrestri, come i boschi golenali ricchi di specie. Questo processo dipende fortemente dalla struttura degli habitat: gli arbusti e la vegetazione erbacea, ad esempio, lo favoriscono. La conoscenza delle caratteristiche di deposito dei sedimenti fini nei corsi composti è inoltre fondamentale per la protezione contro le piene nei corsi d'acqua rettificati (cfr. cap. 6; Conde *et al.* 2023).

I sedimenti in sospensione possono anche depositarsi nel substrato fluviale, dove le particelle fini trattenute negli spazi interstiziali provocano un intasamento del letto fluviale (la cosiddetta colmatazione), riducendo così la porosità e gli scambi di acqua (cfr. cap. 7; Dubuis *et al.* 2023). Con l'aumento della portata, la maggiore mobilità del materiale solido di fondo e la risospensione dei sedimenti fini consentono il disintasamento. È importante capire quali siano i fattori responsabili della colmatazione del letto, poiché questo processo ostacola i flussi di nutrienti e impedisce la libera circolazione di acqua ben ossigenata. Quest'ultima è molto importante per lo sviluppo delle uova dei pesci che le depongono nel substrato fluviale, come ad esempio la trota fario. Il tipo e le dimensioni dei sedimenti presenti nel substrato hanno inoltre un impatto sulla distribuzione spaziale della trota fario a seconda dell'età e del sesso (cfr. cap. 8; Takatsu *et al.* 2023).

L'instaurazione di una dinamica sedimentaria prossima allo stato naturale è fondamentale per migliorare la funzione ecologica del substrato fluviale. Una continuità dei sedimenti compromessa può essere mitigata mediante un apporto di sedimenti. L'approccio ottimale per le misure di ripristino del materiale solido di fondo varia a seconda dell'obiettivo perseguito, ad esempio il miglioramento dell'habitat per la riproduzione dei pesci, la promozione delle strutture dell'alveo o il miglioramento della dinamica nel canale (cfr. cap. 9; Mörtl *et al.* 2023). Per tutte le misure, la tempistica, la qualità e la quantità ideali del substrato aggiunto dipendono dagli obiettivi di protezione contro le piene e dalle caratteristiche ecologiche delle specie acquatiche e terrestri o dell'habitat interessato dall'apporto (p. es. pesci e vegetazione nel tratto fluviale).

La presente pubblicazione è il risultato di un processo interattivo, che ha coinvolto i ricercatori coinvolti nel progetto e il gruppo d'accompagnamento composto da professionisti di studi d'ingegneria privati, ONG e amministrazioni cantonali e federali. Riassume i principali risultati della fase di progetto 2017–2021 (cfr. riquadro 1) e include il punto di vista di ricercatori o professionisti del settore non direttamente coinvolti nel progetto (cfr. riquadro: «Nella pratica» in ogni capitolo). Ulteriori informazioni sul programma «Sistemazione ed ecologia dei corsi d'acqua» e sui progetti sono disponibili all'indirizzo www.rivermanagement.ch, che contiene anche i link verso rapporti e pubblicazioni scientifiche precedenti.

Riquadro 1: Programma di ricerca «Sistemazione ed ecologia dei corsi d'acqua»

La legge federale sulla protezione delle acque (LPAC, 1991) e l'ordinanza sulla protezione delle acque (OPAC, 1998) mirano a garantire corsi d'acqua funzionali in paesaggi fluviali prossimi allo stato naturale e al contempo la protezione contro le piene. Per adempiere questo mandato, dal 2011 è attuata una strategia nazionale di rivitalizzazione. Con lungimiranza, 20 anni fa l'UFAM ha avviato, assieme agli istituti di ricerca VAW (ETH Zurich), PL-LCH (EPFL), Eawag e WSL, il programma di ricerca interdisciplinare «Sistemazione ed ecologia dei corsi d'acqua», il cui obiettivo è elaborare soluzioni scientifiche e pratiche per la gestione delle acque nonché definire soluzioni per l'attuazione. Al programma partecipano ricercatori di varie discipline e professionisti del settore. I risultati mirano a contribuire all'attuazione della LPAC e della legge federale sulla sistemazione dei corsi d'acqua (1991) e sono messi a disposizione dei professionisti sotto forma di articoli scientifici e tecnici, manuali, rapporti e nella serie di pubblicazioni dell'UFAM «Studi sull'ambiente».

«Paesaggi fluviali: dinamica dei sedimenti e connettività» è il quarto progetto di ricerca pluriennale del programma «Sistemazione ed ecologia dei corsi d'acqua», dopo «Rodano-Thur», «Gestione integrata del bacino fluviale» e «Dinamica dei sedimenti e degli habitat». Comprende due campi di ricerca principali,

entrambi incentrati sulla protezione contro le piene e l'ecologia nei corsi d'acqua di medie dimensioni: (i) la dinamica dei sedimenti e (ii) la connettività longitudinale, laterale e verticale. Una descrizione dettagliata del progetto di ricerca con le priorità, i sottoprogetti e gli interrogativi di ricerca specifici è disponibile in Vetsch *et al.* (2018) e Fink *et al.* (2018).

Tra i principali prodotti concreti del programma di ricerca presentati finora figurano:

- Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen (Woolsey *et al.* 2005) [in tedesco e inglese]
- Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt (Rohde 2005) [in tedesco]
- Synthesebericht Schwall/Sunk (Meile *et al.* 2005) [in tedesco]
- Wasserbauprojekte gemeinsam planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten (Hostmann *et al.* 2005) [in tedesco e francese]
- Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua. Risultati del progetto di gestione integrata del bacino fluviale (UFAM 2012) [in tedesco, francese e italiano]
- Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua. Dinamica dei sedimenti e degli habitat (UFAM 2017a) [in tedesco, francese e italiano]