

# Dinamica dei sedimenti e degli habitat

Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM

# Dinamica dei sedimenti e degli habitat

Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua

# Abstracts

This publication expands on the factsheet entitled “Hydraulic engineering and ecology”, which was published in 2012 (FOEN 2012). It summarises the most important practical findings from the research project entitled “Bed load and habitat dynamics” 2013 – 2017. The topics and content were compiled in an interdisciplinary and interactive process within the framework of various sub-projects. Researchers and experts from various areas of the federal administration and associations participated in this process. The factsheets provide readers with information on the current status of research and its application and indicate further literature.

Die vorliegende Publikation ist eine Fortsetzung der Merkblatt-Sammlung «Wasserbau und Ökologie», die im Jahr 2012 erschienen ist (BAFU 2012). Sie fasst die wichtigsten praxisrelevanten Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» 2013 – 2017 zusammen. Die Themen und Inhalte wurden in einem interdisziplinären und interaktiven Prozess im Rahmen von verschiedenen Teilprojekten erarbeitet. An diesem Prozess beteiligten sich Forschende sowie Fachleute verschiedener Bereiche aus Verwaltung und Interessensverbänden. Die Merkblätter informieren die Leserinnen und Leser über den aktuellen Stand der Forschung sowie deren Anwendung und dienen als Wegweiser zu weiterführender Literatur.

La présente publication fait suite au *Recueil de fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau*, paru en 2012 (OFEV 2012). Elle résume les principaux résultats utiles pour la pratique qui proviennent du projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats», réalisé entre 2013 et 2017. Les sujets traités et les contenus ont fait l'objet d'un processus interdisciplinaire et interactif dans le cadre de divers projets partiels, auxquels ont pris part des scientifiques et des spécialistes de différents domaines issus de l'administration et d'associations professionnelles. Les lecteurs trouveront dans ces fiches les connaissances les plus récentes et des informations sur leur application ainsi que des renvois vers des ouvrages spécialisés.

La presente pubblicazione è una continuazione della raccolta «Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua», edita nel 2012 dall'UFAM. Riassume i risultati di maggior rilievo per la pratica del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» 2013 – 2017. I temi e i contenuti sono stati elaborati nell'ambito di un processo interdisciplinare e interattivo nel quadro di diversi progetti parziali. Al processo hanno partecipato anche ricercatori ed esperti di vari settori amministrativi e di associazioni portatrici d'interesse. Le schede informano le lettrici e i lettori sullo stato attuale della ricerca dal punto di vista delle sue applicazioni e sono completate da una bibliografia a carattere orientativo per un eventuale approfondimento.

**Keywords:**

*bed load, sediment, habitat, dynamics, reactivation, wetlands, biodiversity, networking, watercourses, discharges, erosion*

**Stichwörter:**

*Geschiebe, Sediment, Habitat, Dynamik, Reaktivierung, Auen, Biodiversität, Vernetzung, Fließgewässer, Schüttungen, Erosion*

**Mots-clés :**

*charriage, sédiment, habitat, dynamique, réactivation, zones alluviales, biodiversité, connectivité, cours d'eau, recharge sédimentaire, érosion*

**Parole chiave:**

*materiale solido di fondo, sedimenti, habitat, dinamica, riattivazione, golene, biodiversità, connettività, corsi d'acqua, riporti di materiale, erosione*

---

# Prefazione

La dinamica dei sedimenti e dei deflussi determina la morfologia dei corsi d'acqua come pure la loro funzionalità ecologica. In Svizzera, la dinamica dei sedimenti di molti corsi d'acqua è fortemente compromessa. Gli impianti di accumulazione, le opere di sbarramento e di rettificazione realizzate dall'uomo hanno modificato notevolmente la dinamica dei sedimenti, con numerose conseguenze sul piano ecologico. Molti grandi fiumi dell'Altopiano non trasportano quasi più materiale solido di fondo. D'altro canto vi sono corsi d'acqua con un eccesso di sedimenti.

L'importanza dei sedimenti per la funzionalità dei corsi d'acqua è poco nota all'opinione pubblica. Ai sedimenti viene rivolta la giusta attenzione soltanto quando, fuoriuscendo dagli alvei fluviali a seguito di piene o colate detritiche, diventano un pericolo per la popolazione, le abitazioni o le infrastrutture. La morfologia dei corsi d'acqua naturali è fortemente condizionata dalla mobilizzazione, dal trasporto e dal deposito di ciottoli, ghiaia e sabbia.

I sedimenti contribuiscono alla creazione di nuovi ambienti per gli organismi specializzati, come le specie vegetali pioniere, e favoriscono la biodiversità nei e lungo i corsi d'acqua. Una dinamica seminaturale dei sedimenti e dei deflussi è basilare per la funzionalità e il valore ecologico dei corsi d'acqua. La riattivazione della dinamica sedimentologica e di deflusso e quindi delle funzioni ecologiche è il presupposto per un'efficace rinaturazione delle acque e costituisce un obiettivo importante della revisione della legge sulla protezione delle acque.

Il progetto di ricerca interdisciplinare «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» ha preso in esame l'impatto dell'uomo sulla dinamica dei sedimenti nei corsi d'acqua e ha studiato e sviluppato le misure per riattivare tale dinamica. I risultati di maggior rilievo per la pratica saranno illustrati nella presente raccolta di schede tematiche. Le schede informano sullo stato attuale della ricerca e garantiscono il trasferimento immediato nella pratica delle conoscenze e degli sviluppi più recenti in materia.

Paul Steffen, vicedirettore  
Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

# Dinamica dei sedimenti e degli habitat nei corsi d'acqua

*La dinamica dei sedimenti e dei deflussi determina la morfologia dei corsi d'acqua come pure la loro funzionalità ecologica. In Svizzera, la dinamica dei sedimenti di molti corsi d'acqua è fortemente compromessa. La riattivazione delle funzioni ecologiche e della dinamica sedimentologica e di deflusso è il presupposto per un'efficace rinaturazione delle acque e costituisce un obiettivo importante della revisione della legge sulla protezione delle acque. Il progetto di ricerca interdisciplinare «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» ha preso in esame l'impatto dell'uomo sulla dinamica dei sedimenti nei corsi d'acqua e ha studiato e sviluppato le misure per riattivare tale dinamica. I risultati di maggior rilievo per la pratica saranno illustrati nella presente raccolta di schede tematiche.*

**M. Di Giulio, M. J. Franca, Ch. Scheidegger, A. Schleiss, D. Vetsch, Ch. Weber**

La morfologia dei corsi d'acqua naturali è fortemente condizionata dalla dinamica dei sedimenti, vale a dire dalla mobilitazione, dal trasporto e dal deposito di ciottoli, ghiaia e sabbia. I sedimenti contribuiscono alla creazione di nuovi ambienti per gli organismi specializzati, come le specie vegetali pioniere, e favoriscono la biodiversità nei e lungo i corsi d'acqua (fig. 2). Gli impianti di accumulazione, le opere di sbarramento e di rettificazione realizzate dall'uomo hanno modificato notevolmente la dinamica dei sedimenti, con numerose conseguenze sul piano ecologico (fig. 1).

L'importanza dei sedimenti per la funzionalità dei corsi d'acqua è poco nota all'opinione pubblica. Ai sedimenti viene rivolta la giusta attenzione soltanto quando, fuoriuscendo dagli alvei fluviali a seguito di piene o colate detritiche, diventano un pericolo (continua a pagina 8)

## **Programma di ricerca «Sistemazione ed ecologia dei corsi d'acqua»**

Quindici anni fa, l'Ufficio federale dell'ambiente UFAM, insieme agli istituti di ricerca VAW (ETH Zurigo), LCH (EPF Losanna), Eawag e WSL, ha lanciato il Programma di ricerca sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua, con l'obiettivo di elaborare basi scientifiche volte a trovare risposte a questioni pratiche attuali e di strutturarle in funzione della loro applicazione. Al programma hanno preso parte ricercatori di diverse discipline come pure specialisti in ambito pratico. I suoi risultati possono contribuire all'applicazione delle leggi sulla sistemazione dei corsi d'acqua e sulla protezione delle acque e sono disponibili per la pratica sotto forma di manuali, articoli specialistici e schede tematiche.

Dopo «Rodano-Thur» e «Gestione integrata del bacino fluviale», «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» è il terzo progetto di ricerca realizzato nell'ambito del programma «Sistemazione ed ecologia dei corsi d'acqua».

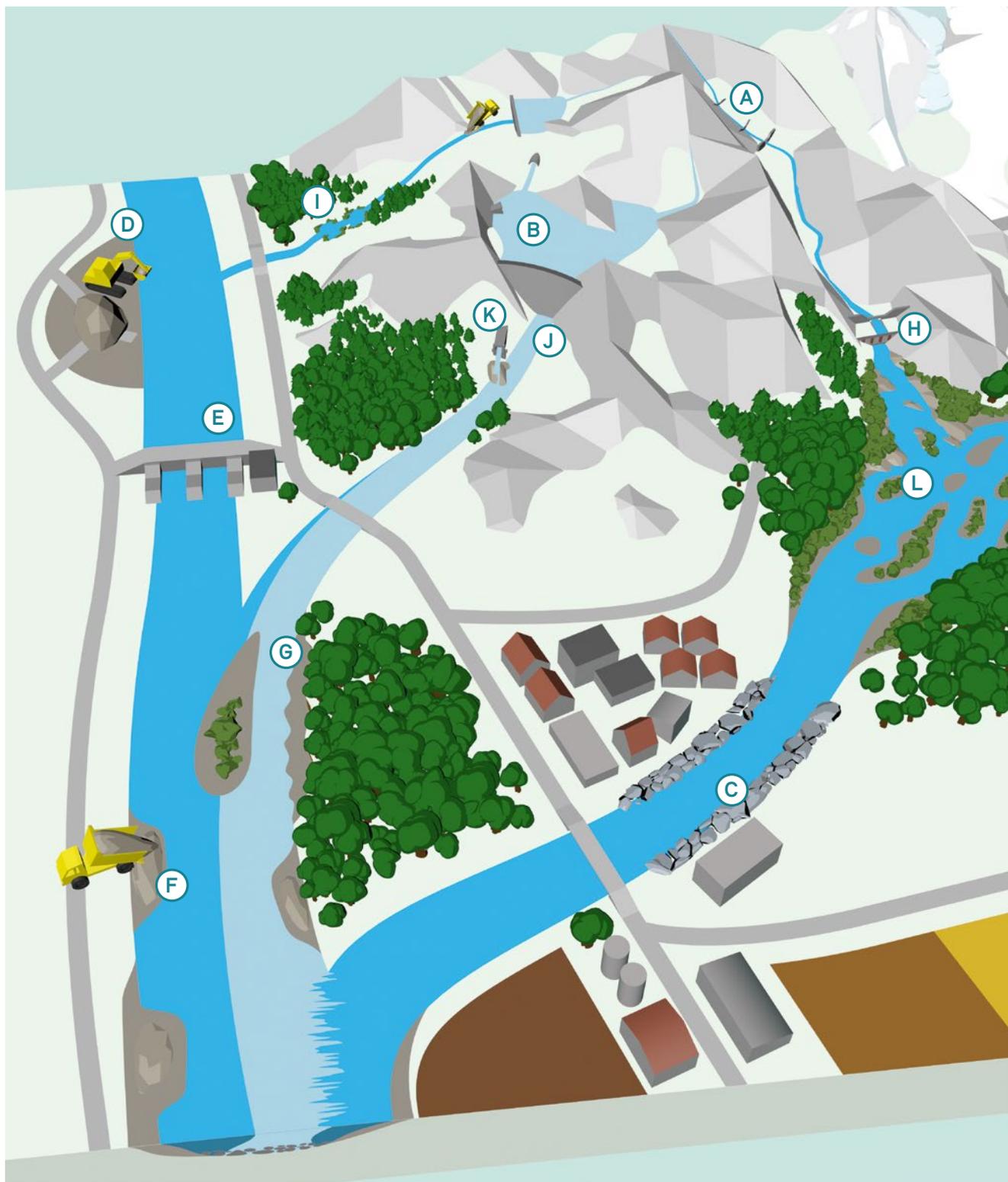
Le sue due priorità sono: 1) l'attivazione dei sedimenti e la dinamizzazione delle acque nonché 2) la rivitalizzazione dei paesaggi golenali. Una descrizione dettagliata del progetto di ricerca con le sue priorità, sottoprogetti e aspetti specifici è fornita da Schleiss et al. (2014) e Scheidegger et al. (2014).

Importanti pubblicazioni per la pratica derivate finora dal programma di ricerca:

- Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen (Woolsey et al. 2005)
- Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt (Rohde 2005)
- Synthesebericht Schwall/Sunk (Meile et al. 2005)
- Wasserbauprojekte Gemeinsam Planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten (Hostmann et al. 2005)
- Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua. Risultati del progetto di gestione integrata del bacino fluviale (UFAM 2012).

Fig. 1

Modello di una rete di corsi d'acqua con raffigurazione degli interventi antropici sulla dinamica dei sedimenti e le misure per la sua riattivazione (tab. 1) che saranno trattate nella presente raccolta di schede tematiche.



Tab. 1

Spiegazioni per la figura 1: cause di una dinamica alterata dei sedimenti e misure per riattivarla. La tabella riporta una serie di esempi di conseguenze ecologiche e rimanda alle relative schede tematiche della presente raccolta.

	Riferimento figura 1	Cause di un'alterazione della dinamica	N. scheda
A	Nella parte superiore del bacino imbrifero trovano impiego le briglie per il consolidamento dell'alveo e delle sponde. Queste limitano l'erosione e di conseguenza l'apporto di materiale solido.	Conseguenze ecologiche (es.): nel corso inferiore si crea un deficit di materiale solido, che, a sua volta, riduce la varietà degli habitat nel e lungo il corso d'acqua.	4
B	I laghi artificiali interrompono quasi completamente il trasporto di sedimenti: la velocità della corrente si riduce, i sedimenti si depositano e si accumulano.	Conseguenze ecologiche (es.): nella zona di sbarramento i semi vegetali contenuti nel sedimento affondano nel suolo perdendo la loro capacità di germinazione. La loro diffusione viene interrotta.	6
C	Le opere di rettificazione e il consolidamento delle sponde aumentano la capacità di trasporto dei sedimenti e impediscono l'erosione delle rive limitando l'apporto laterale di sedimenti.	Conseguenze ecologiche (es.): gli interventi di consolidamento delle rive riducono la formazione di ambienti ripariali dinamici e ampiamente strutturati.	1, 3
D	In caso di scarso trasporto solido, i prelievi di ghiaia possono determinare un deficit di sedimenti.	Conseguenze ecologiche (es.): un deficit di sedimenti può provocare un abbassamento dell'alveo determinando un calo del livello delle falde acquifere e l'isolamento delle golene dalla dinamica fluviale.	1, 5
E	La deposizione dei sedimenti avviene nella zona di sbarramento delle centrali idroelettriche ad acqua fluente. A seconda del tipo di esercizio della centrale, tale situazione può causare un apporto insufficiente di sedimenti a valle.	Conseguenze ecologiche (es.): a valle delle centrali idroelettriche ad acqua fluente mancano i sedimenti necessari per i siti di riproduzione dei pesci, come ad esempio i temoli, che depongono le uova su fondali ghiaiosi.	1
	Sezione figura 1	Misure di ripristino della dinamica	N. scheda
F	Con i riporti di ghiaia vengono apportati sedimenti. Quando nei fiumi dell'Altopiano o in quelli alpini vi è un deficit di materiale detritico, si ricorre a un riporto di ghiaia a valle degli impianti di accumulazione.	Conseguenze ecologiche (es.): i riporti di materiale assicurano la disponibilità di sedimento per gli habitat acquatici e terrestri.	7
G	Viene rimossa l'arginatura e favorita l'erosione delle sponde mediante riporti di ghiaia e soglie di fondo. L'erosione così indotta aumenta l'apporto di sedimenti.	Conseguenze ecologiche (es.): con l'erosione delle sponde si creano ambienti come le pareti di nidificazione per il martin pescatore o la rondine riparia.	7
H	Le opere di ritenuta selettiva dei sedimenti lasciano passare le piene di piccola e media entità insieme ai sedimenti, e bloccano soltanto gli eventi di piena più intensi che costituiscono un pericolo per le zone abitate e le infrastrutture.	Conseguenze ecologiche (es.): riattivazione della dinamica dei sedimenti nel tratto a valle del corso d'acqua e possibile formazione di un mosaico dinamico di habitat.	4
I	Le insenature laterali delle sponde influenzano l'accumulo di sedimenti fini, come dimostrano gli esperimenti in laboratorio.	Conseguenze ecologiche (es.): l'accumulo di sedimenti fini può incrementare la varietà di habitat nei corsi d'acqua.	3
J	Le piene artificiali periodiche in combinazione con i riporti di ghiaia possono riattivare la dinamica dei sedimenti a valle del corso d'acqua.	Conseguenze ecologiche (es.): le piene artificiali possono determinare l'asportazione di sedimenti fini dal letto del corso d'acqua e migliorare la riproduzione di pesci come le trote, che depongono le loro uova sui fondali ghiaiosi.	3, 6, 7
K	Le gallerie di bypass convogliano i sedimenti intorno ai bacini di accumulazione consentendo il transito dei sedimenti.	Conseguenze ecologiche (es.): la riattivazione del trasporto dei sedimenti migliora la propagazione di semi e parti vegetali riproduttive. Riattivazione della dinamica dei sedimenti nel tratto a valle del corso d'acqua e possibile formazione di un mosaico dinamico di habitat.	6
L	Una dinamica seminaturale dei sedimenti rafforza la connettività degli ambienti e favorisce la biodiversità delle golene.	Conseguenze ecologiche (es.): una dinamica seminaturale dei sedimenti contribuisce alla formazione di banchi di ghiaia, habitat ideali per le specie pioniere.	5

**Fig. 2**

*Il fiume Kander che scorre nel Gasterntal (BE) è caratterizzato da una dinamica seminaturale dei sedimenti e dei deflussi.*



Foto: Vinzenz Maurer

**Fig. 3**

*Nell'agosto del 2005 la frazione di Grafenort (OW) fu inondata dal fiume Aa.*



Foto: Forze aeree svizzere.

(continua da pagina 5) per la popolazione, le abitazioni o le infrastrutture. Nel 2005, le intense precipitazioni mobilitarono in molte località grandi quantità di sedimenti che, a seconda della zona, provocarono rotture di dighe, inondazioni e accumuli di detriti su vaste superfici, come nei pressi dell'Aa di Engelberg nel Canton Obvaldo, dove circa 170 000 m<sup>3</sup> di sedimenti furono trasportati dal bacino imbrifero superiore nella pianura di Grafenort (fig. 3) provocando ingenti danni. Parte della strada cantonale per Engelberg fu inoltre spazzata via causando un danno di oltre dieci milioni di franchi (UFAM 2007).

Molti processi sedimentologici sono estremamente complessi. Per esempio i sedimenti restano spesso depositati per anni nelle scarpate, negli alvei o nelle golene prima di essere nuovamente mobilizzati e trasportati a valle, impiegando così anche decenni prima di raggiungere un lago o mare in cui si depositano. In sistemi fluviali estesi, come quello del Rio delle Amazzoni, possono trascorrere addirittura fino a 10 000 anni prima che i sedimenti dalla sorgente arrivino al mare (Wohl et al. 2015).

## Riattivare la dinamica dei sedimenti

In molti corsi d'acqua della Svizzera la dinamica dei sedimenti è fortemente compromessa (fig. 1, tab. 1). Molti grandi fiumi dell'Altopiano non trasportano quasi più ma-

teriale solido di fondo. Viene definito materiale solido di fondo la parte grossolana del sedimento a contatto con l'alveo fluviale trasportata per rotolamento o saltazione. Le cause principali che determinano un limitato apporto di materiale solido nei torrenti sono da ricercare nelle opere di sbarramento, nel consolidamento degli argini per proteggerli dall'erosione nonché nelle camere di ritenuta che trattengono grandi quantità di sedimenti. Inoltre, le centrali idroelettriche interrompono il trasporto di materiale solido che rimane nel bacino di accumulazione. D'altro canto vi sono corsi d'acqua con un eccesso di sedimenti (Schälchli et al. 2005) dovuto, per esempio, al dilavamento dei sedimenti fini dalle superfici agricole. I sedimenti sono trasportati dalle acque in sospensione.

Una dinamica seminaturale dei sedimenti e dei deflussi è basilare per la funzionalità e il valore ecologico dei corsi d'acqua. Il suo ripristino costituisce quindi un importante obiettivo della revisione della legge sulla protezione delle acque (cfr. cap. La revisione della legge sulla protezione delle acque: un compito politico), che può essere raggiunto sia con l'adozione di misure di esercizio che edilizie o di entrambe contemporaneamente. Le misure edilizie sono di regola attuate una tantum, mentre quelle di esercizio in modo ricorrente. L'aiuto all'esecuzione «Risana-

gamma di misure specifiche per diversi tipi di impianti. Alcune di queste misure e le loro conseguenze idrauliche ed ecologiche (fig. 1, tab. 1) sono state oggetto di studio del progetto «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» (cfr. riquadro a pag. 5).

### **La revisione della legge sulla protezione delle acque: un compito politico**

La revisione della legge sulla protezione delle acque è entrata in vigore nel 2011. La legge persegue l'obiettivo di valorizzare i corsi d'acqua come ambienti seminaturali e di ripristinare le loro funzioni naturali. A tal fine è stato avviato un programma di rinaturazione su scala nazionale che comprende la rivitalizzazione di 4000 chilometri di corsi d'acqua entro il 2090 nonché il risanamento, entro il 2030, degli effetti negativi causati dalla produzione di energia idroelettrica (in particolare: deflussi discontinui, sedimenti, migrazione ittica). Inoltre, per la fine del 2018, è prevista la delimitazione di un adeguato spazio riservato alle acque lungo l'intera rete idrografica.

Per l'attuazione del programma di rinaturazione, l'Ufficio federale dell'ambiente UFAM ha elaborato l'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque», articolato in vari moduli (UFAM 2017), che mira a sostenere i Cantoni nell'attuazione delle nuove disposizioni giuridiche e a consentire un'esecuzione del diritto federale coordinata e uniforme su scala nazionale.

### **Schede tematiche**

I principali risultati rilevanti per la pratica del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» sono riassunti nella presente raccolta di schede tematiche, una continuazione di «Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua» pubblicata nel 2012 (UFAM 2012). Come nella prima raccolta, i temi e i contenuti sono stati elaborati nell'ambito di un processo interdisciplinare e interattivo, al quale hanno preso parte ricercatori e operatori pratici di diversi settori amministrativi specifici e associazioni portatrici d'interesse. Le schede informano sullo stato attuale della ricerca e sono completate da una bibliografia scientifica a carattere orien-

tativo e di guida per un eventuale approfondimento. Nelle schede stesse sono citati soltanto alcuni lavori scientifici per una migliore leggibilità dei testi. Un elenco completo di tutti i lavori finora pubblicati è riportato alla voce prodotti e pubblicazioni della pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch). Sulla stessa pagina web si può consultare il glossario relativo alle schede tematiche.

### **Bibliografia**

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **prodotti e pubblicazioni**

La raccolta comprende le seguenti schede tematiche

### 1 Dinamica dei sedimenti nella rete idrografica



La mobilizzazione, il trasporto e il deposito dei sedimenti sono soggetti a notevoli variazioni temporali e spaziali. Questa dinamica è guidata da agenti geomorfologici, climatici, idrologici e idraulici nonché ecologici. Gli animali, le piante, i funghi e i microrganismi hanno sviluppato una moltitudine di adattamenti per adeguarsi alla dinamica dei sedimenti, da cui numerose specie addirittura dipendono per il loro sviluppo. L'uomo modifica tale dinamica in maniera diretta e indiretta. La scheda 1 offre una visione generale della dinamica dei sedimenti nei corsi d'acqua della Svizzera e descrive le conseguenze degli interventi umani.

### 3 Importanza della dinamica dei sedimenti e fattori che la influenzano



I sedimenti fini e la loro dinamica influenzano la morfologia e gli habitat dei corsi d'acqua. I sedimenti fini si formano in seguito a processi come l'erosione del suolo e contribuiscono allo sviluppo di boschi golenali a legno duro e altri habitat nei e lungo i corsi d'acqua. Questa scheda descrive la dinamica dei sedimenti fini e spiega come sia influenzata dalla struttura delle sponde e da altri fattori. Nel progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat», l'influenza dell'assetto geometrico delle sponde sulla dinamica dei sedimenti fini è stata studiata sistematicamente in esperimenti di laboratorio.

### 2 Dinamica dei sedimenti e misurazione dei suoi effetti



I metodi impiegati nel mondo intero per misurare la dinamica dei sedimenti e i suoi effetti sulle condizioni ambientali, i processi ecologici e gli esseri viventi sono svariati. Si fa ricorso tanto ai metodi classici quanto alle nuove tecnologie, come il telerilevamento mediante droni, la misurazione del consumo di ossigeno nel fondo ghiaioso o le analisi genetiche. La scheda 2 offre una visione generale dei metodi in uso e spiega il loro utilizzo nell'ambito del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat».

### 4 Opere di ritenuta selettiva dei sedimenti



Le opere di ritenuta nei torrenti trattengono i sedimenti al fine di ridurre i danni delle piene alle zone abitate e alle infrastrutture. Quelle classiche li trattengono già durante le piene modeste, anche se il loro trasporto in questo caso non provocherebbe danni. In tal modo si crea un deficit di sedimenti nei tratti a valle dei corsi d'acqua. La scheda 4 spiega come migliorare la continuità del trasporto di sedimenti mediante la realizzazione di opere di ritenuta selettiva dei sedimenti.

### 5 Dinamica e biodiversità nelle golene



Le zone golenali caratterizzate da una grande varietà di ambienti presentano una maggiore resistenza ecologica rispetto a quelle con minore varietà. La varietà di habitat e specie delle zone golenali dipende principalmente dallo spazio riservato alle acque, dalla dinamica dei deflussi e dei sedimenti nonché dalla connettività degli ambienti. L'adozione di misure specifiche che favoriscono lo sviluppo delle specie tipicamente golenali può aumentare la varietà di specie. La scheda 5 illustra i principali fattori che influenzano gli ambienti golenali, riporta alcuni esempi e offre una visione generale sullo stato attuale delle ricerche nell'ambito delle zone golenali.

### 7 Riporti di ghiaia ed erosione delle sponde



Numerosi corsi d'acqua della Svizzera sono compromessi dal punto di vista ecologico perché trasportano una quantità insufficiente di sedimenti. I riporti di ghiaia e l'induzione dell'erosione delle sponde possono migliorare la disponibilità di sedimenti, con il conseguente vantaggio di valorizzare anche gli ambienti e contenere l'erosione del fondale. La scheda 7 illustra mediante esempi concreti entrambe le misure, ne descrive gli effetti ecologici e spiega come pianificarle e metterle in pratica.

### 6 Gallerie di bypass dei sedimenti e piene artificiali



La continuità del trasporto di sedimenti è interrotta dalla presenza di laghi artificiali. Nei tratti a valle dei corsi d'acqua si crea così un deficit di sedimenti che ha conseguenze negative per l'ecologia e la morfologia dei corsi d'acqua. Le gallerie di bypass dei sedimenti e le piene artificiali incrementano la disponibilità di sedimenti e ne riducono la carenza. La scheda 6 descrive entrambe le misure spiegandole con esempi concreti. Mostra inoltre gli effetti di tali misure sull'ecologia e sulla morfologia delle acque.

# 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 coinvolti:** Eawag; Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Di Giulio, M. Franca, M. J., Scheidegger, Ch., Schleiss, A., Vetsch, D., Weber, Ch., 2017: Dinamica dei sedimenti e degli habitat nei corsi d'acqua.  
In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Prefazione.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

01.17 1500 86039243

# 1 Dinamica dei sedimenti nella rete idrografica

*La mobilizzazione, il trasporto e il deposito dei sedimenti sono soggetti a notevoli variazioni temporali e spaziali. Questa dinamica è guidata da agenti geomorfologici, climatici, idrologici e idraulici, nonché ecologici. Gli animali, le piante, i funghi e i microrganismi hanno sviluppato una moltitudine di adattamenti per adeguarsi alla dinamica dei sedimenti; da tale dinamica dipende anche lo sviluppo di numerose specie. L'uomo modifica tale dinamica in maniera diretta e indiretta. La scheda 1 offre una visione generale della dinamica dei sedimenti nei corsi d'acqua della Svizzera e descrive le conseguenze degli interventi umani.*

**Ch. Weber, M. Döring, S. Fink, E. Martín Sanz, Ch. Robinson, Ch. Scheidegger, N. Siviglia, C. Trautwein, D. Vetsch, V. Weitbrecht**

Si definiscono sedimenti i materiali solidi minerali come la sabbia e la ghiaia nonché i frammenti di materiale biologico come i residui fogliari. La dinamica dei sedimenti comprende tre processi: 1. mobilizzazione (= apporto o produzione), 2. trasporto e 3. deposito di sedimenti.

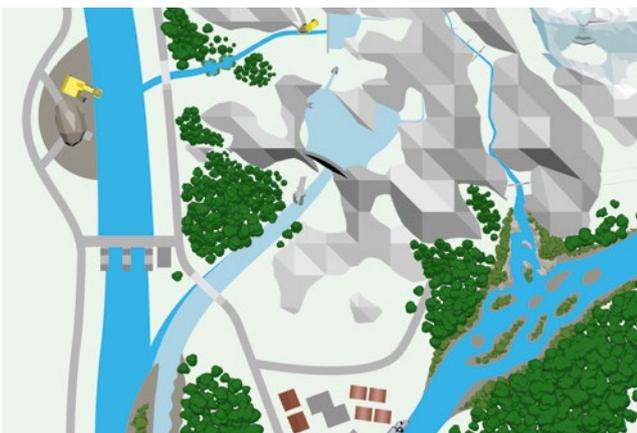
I sedimenti arrivano nelle acque principalmente attraverso l'erosione, le frane e le colate detritiche e sono tra-

sportati a valle con l'acqua. In base al tipo di trasporto si distinguono due tipi di sedimenti: A. a granulometria fine come sabbie, limi e argille trasportati in sospensione nell'acqua. Di regola, i granuli di questi sedimenti sono di diametro inferiore ai 2 mm e nel linguaggio tecnico sono denominati materiale in sospensione o sedimenti fini (cfr. scheda 3); B. a granulometria grossolana come ghiaia e ciottoli che rotolano o scorrono sul fondo dell'alveo. Sono denominati materiale solido di fondo. La dinamica dei sedimenti è anche nota con i sinonimi di bilancio del trasporto solido, bilancio in materiale solido o regime sedimentario.

La mobilizzazione, il trasporto e il deposito sono processi che richiedono tempi diversi, da pochi minuti fino a migliaia di anni (Wohl et al. 2015), e che possiamo osservare in punti diversi: in tutto il bacino imbrifero (fig. 1) come pure nell'habitat di una singola specie di pesce. Le diverse scale temporali e spaziali si influenzano reciprocamente; i processi che si svolgono su ampia scala hanno un effetto anche su piccola scala e viceversa.

**Fig. 1**

*Mobilizzazione, trasporto e deposito di sedimenti avvengono in diversi punti di un bacino idrografico (sinistra). Pianura alluvionale dinamica nella Val Roseg (GR; destra).*

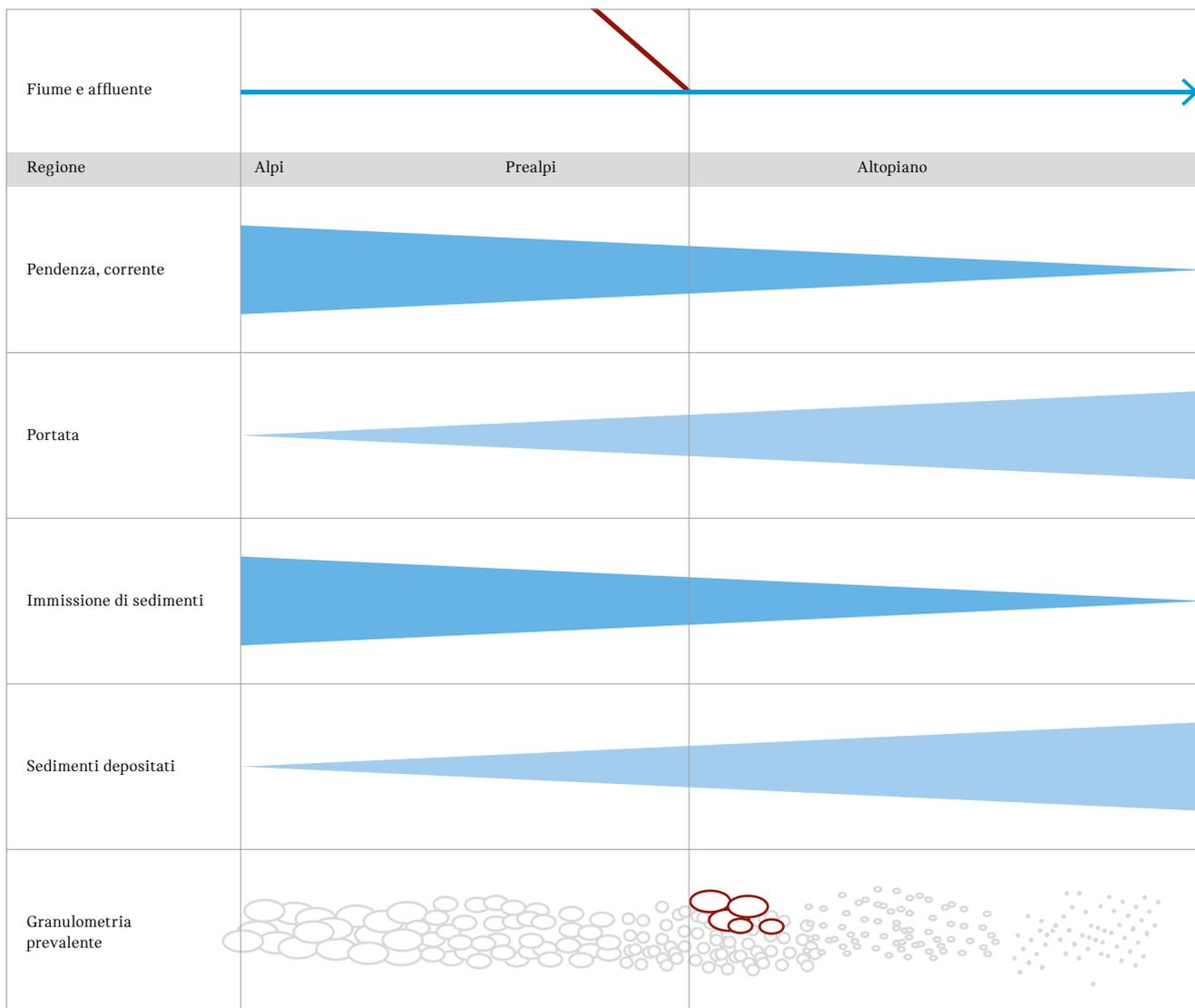


### Scala temporale

La mobilizzazione e il trasporto di sedimenti spesso iniziano all'improvviso, per esempio quando durante una piena viene superata una determinata portata. Ciò vale in particolare per il materiale solido di fondo. Per il materiale in sospensione l'andamento temporale è continuo; la mobilizzazione e il trasporto seguono direttamente il deflusso (Wohl et al. 2015). Una volta depositati, i sedimenti restano fermi per un periodo variabile, spesso per oltre un anno o anche per decenni, disponendosi in forma di isolotti nel corso d'acqua principale o sulle superfici

alluvionali, lungo le sponde o sui pendii. In seguito vengono nuovamente mobilizzati, nei laghi solo a seguito di eventi su larga scala, molto rari e quindi imprevedibili come terremoti, uragani o tsunami. Un esempio risale all'anno 563, quando probabilmente una frana presso il lago Lemano provocò un collasso del delta del Rodano e 250 milioni di metri cubi di sedimenti furono spostati verso il fondo del lago; lo tsunami che ne derivò generò morte e distruzione intorno al lago.

**Fig. 2**  
Mobilizzazione, trasporto e deposito di sedimenti lungo un corso d'acqua.



## Scala spaziale

Lungo il corso del fiume, dalla sorgente alla foce, la granulometria del sedimento trasportato si riduce progressivamente a causa dell'abrasione durante il trasporto e della degradazione meteorica (Jungwirth et al. 2003). Pertanto, la distribuzione granulometrica sul fondo dell'alveo del corso inferiore è per lo più uniforme e il diametro medio dei granuli è più piccolo rispetto a quello del corso superiore. Nel corso inferiore, meno ripido, predomina il trasporto dei sedimenti più fini e del materiale in sospensione, mentre in quello superiore prevale il trasporto di materiale solido di fondo, fatta eccezione per i torrenti glaciali che trasportano grandi quantità di materiale in sospensione. Gli affluenti laterali del corso d'acqua possono interrompere questa sequenza longitudinale e apportare considerevoli quantità di sedimenti di differente granulometria (Wohl et al. 2015; fig. 2). Lungo il corso del fiume si alternano tratti di deposito a tratti di erosione con diverse forme dell'alveo. I laghi agiscono come trappole di sedimenti e di conseguenza gli emissari sono caratterizzati da uno scarso trasporto solido. Anche su piccola scala, vale a dire all'interno di un tratto fluviale, coesistono a stretto contatto habitat con sedimenti di granulometrie differenti, per esempio conche con sedimenti fini e rapide con sedimenti più grossolani.

## Fattori di regolazione della dinamica dei sedimenti

La mobilizzazione, il trasporto e il deposito dei sedimenti sono regolati da diversi fattori che possono essere suddivisi nei quattro gruppi sotto elencati e che descriveremo singolarmente nei successivi paragrafi:

- 1) fattori di regolazione geomorfologici, come la natura del bacino imbrifero;
- 2) fattori di regolazione climatici e meteorologici, come il verificarsi di forti piogge;
- 3) fattori di regolazione idrologico-idraulici, come la velocità della corrente dell'acqua;
- 4) fattori di regolazione ecologici, come la presenza di piante acquatiche o di legni flottanti.

A seconda della posizione del corso d'acqua nel bacino imbrifero, prevalgono fattori di regolazione diversi; in uno stesso tratto fluviale agiscono inoltre per lo più contemporaneamente, rafforzandosi oppure ostacolandosi reciprocamente.

### 1) Geomorfologia

La composizione geologica del bacino imbrifero, quindi il tipo di roccia presente e il suo grado di meteorizzazione, influenza la mobilizzazione del sedimento, la sua forma e durezza, la sua distribuzione granulometrica e la composizione chimica. Contrariamente alle pietre cristalline, quelle calcaree si consumano e frantumano dopo brevi spostamenti. Anche la topografia gioca un ruolo importante, in particolare la forma della valle nonché la pendenza dell'alveo e dei pendii. Una pendenza maggiore determina un trasporto maggiore di sedimenti o, in caso estremo, provoca anche colate detritiche. I pendii ripidi aumentano il rischio di frane e cadute di massi accrescendo così l'apporto di sedimenti nell'alveo.

### 2) Clima e meteorologia

Ad alta quota, l'apporto di sedimenti nell'acqua è dovuto principalmente all'erosione delle sponde, alle frane e alle colate detritiche, fenomeni per lo più provocati da precipitazioni intense durante i temporali. La maggiore introduzione di sedimenti è anche dovuta alle piogge persistenti che saturano il terreno e riducono la capacità di trattenuta. Le valanghe sono un altro evento che contribuisce all'arricchimento di sedimenti nei corpi idrici.

L'infiltrazione e la relazione tra precipitazione e deflusso sono influenzati da svariati fattori: oltre alla saturazione del suolo, sono importanti la natura del terreno e il sistema radicale della copertura vegetale. Le radici rendono il terreno più permeabile garantendo così una rapida infiltrazione dell'acqua in caso di pioggia che attenua i picchi di piena e i tassi di trasporto.

### 3) Idrologia e idraulica

Il deflusso, la pendenza e la struttura dell'alveo, determinano sollecitazioni del fondo dell'alveo, profondità dell'acqua e velocità di deflusso variabili. Questi elementi influenzano a diverse scale spaziali e temporali il trasporto di sedimenti nel corso d'acqua. Il trasporto di sedimenti cambia a seconda della stagione in seguito alla variabi-

lità stagionale e regionale delle precipitazioni e dei deflussi. I torrenti glaciali, per esempio, durante una calda stagione estiva convogliano un elevato carico di sedimenti fini prodotti dall'abrasione dei ghiacciai. In linea di massima, la dinamica dei sedimenti è molto meno prevedibile rispetto a quella del deflusso.

#### 4) Ecologia

Le piante nel e intorno al corso d'acqua influenzano la dinamica dei sedimenti. Da un lato le loro radici consoli-

dano il terreno e riducono l'erodibilità delle sponde e dei pendii, dall'altro la densità delle popolazioni di piante acquatiche e l'accumulo di legno flottante contribuiscono al deposito locale di sedimenti (fig. 3a) o all'erosione delle sponde.

Gli organismi viventi intervengono attivamente nella dinamica dei sedimenti comportandosi da «ingegneri ecologici»: le trote e i temoli, nel periodo della riproduzione, per deporre le uova scavano il fondo dell'alveo aspor-

**Fig. 3**

*Gli organismi viventi influenzano la dinamica dei sedimenti. a) Le piante acquatiche, ad esempio le Callitriche sp., trattengono i sedimenti fini. b) I temoli (*Thymallus thymallus*) in fregola scavano il fondo dell'alveo. c) Le dighe dei castori provocano la deposizione di sedimenti fini. d) Le larve della specie di tricottero *Allogamus auricollis* costruiscono i loro astucci utilizzando particelle di sedimenti.*



tando i sedimenti fini (fig. 3b). Le dighe costruite dai castori rallentano la velocità della corrente dell'acqua determinando un deposito di sedimenti o addirittura uno spostamento dell'alveo (fig. 3c). Le larve di tricoteri vivono ben protette negli astucci che costruiscono utilizzando particelle di sedimenti (fig. 3d) e con questi involucri modificano la dinamica dei sedimenti su piccola scala. Le alghe presenti sul fondo dell'alveo aumentano la sua stabilità catturando e legando le particelle di sedimenti.

## Effetti della dinamica dei sedimenti

La mobilizzazione, il trasporto e il deposito dei sedimenti influenzano le caratteristiche di molti corsi d'acqua (Wohl et al. 2015). La dinamica dei sedimenti agisce in particolare:

- A) sulle **condizioni ambientali** negli habitat fluviali, vale a dire temperatura, velocità della corrente ecc.;
- B) sui **processi ecologici** come il ciclo dei nutrienti o la fotosintesi (utilizzo della luce solare da parte di piante e alghe);
- C) sugli **organismi viventi** come i pesci, le larve di insetti o le piante.

Gli effetti della dinamica dei sedimenti saranno approfonditi nei prossimi tre capitoli. In generale, si considerano soprattutto scale piccole e medie, in quanto rispecchiano la durata di vita e l'habitat della maggior parte degli organismi fluviali. Occorre tuttavia ricordare che le condizioni ambientali, i processi ecologici e gli organismi viventi sono influenzati anche da processi duraturi e di ampia scala (cfr. cap. Scala temporale).

### A. Condizioni ambientali

La mobilizzazione, il trasporto e il deposito di sedimenti possono creare e distruggere habitat nel e lungo il fiume (Döring et al. 2012). La letteratura specialistica usa a tale proposito il concetto di mosaico dinamico di habitat<sup>1</sup> («shifting habitat mosaic»). Ciò vuol dire che se da un lato nei corsi d'acqua seminaturali la posizione dei banchi di ghiaia e delle conche cambia, dall'altro sul lungo pe-

riodo la loro superficie totale in un tratto fluviale rimane pressoché immutata.

### Habitat fluviali

Nel settore bagnato la distribuzione granulometrica dell'alveo è diversa su piccola scala a seconda della velocità della corrente o della profondità dell'acqua. Nell'ambito del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat», nel fiume Thur (TG/ZH) sono stati confrontati tra loro tratti canalizzati e tratti allargati (Martín Sanz 2017). Sono state studiate la distribuzione granulometrica e il suo cambiamento nel tempo (fig. 4a, 4b). Nei tratti canalizzati a monte e a valle dell'allargamento la granulometria è risultata simile – relativamente grossolana e uniforme – e la sua variazione nel tempo trascurabile (4b), nel settore dell'allargamento invece ben più variata e dinamica: tratti con una granulometria sia grossolana che fine si sono alternati nel tempo e nello spazio.

### Habitat alimentati dalle falde acquifere

L'acqua fluviale interagisce con l'acqua sotterranea e la zona insatura (cfr. scheda 5). Questo scambio verticale ha un impatto su importanti parametri ambientali come quello della temperatura dell'acqua. Così, le zone con risorgive sono generalmente più fresche in estate e più calde in inverno rispetto al corso d'acqua circostante (Jungwirth et al. 2003). La connettività verticale è influenzata dalla composizione e dallo spessore del fondo dell'alveo nonché dalla composizione granulometrica. Per esempio, può essere ridotta a causa dei sedimenti fini che coprono il fondo dell'alveo e occludono il suo spazio poroso («colmatazione») (cfr. scheda 3). La movimentazione del fondo dell'alveo in caso di piena rimuove pure sedimenti fini.

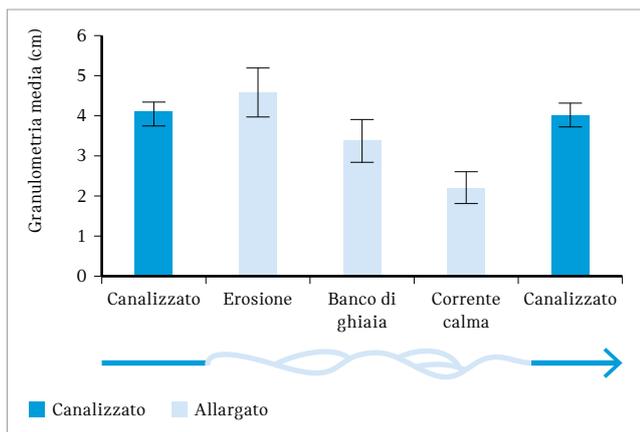
### Habitat terrestri

Dalla dinamica dei sedimenti dipendono i tipi di habitat che si creano lungo i corsi d'acqua: i depositi di sedimenti fini sui terreni golenali sono elementi chiave per la formazione dei boschi golenali a legno duro (cfr. scheda 5). La dislocazione dei banchi di ghiaia porta a una ridistribuzione granulometrica. In tal modo si modificano la permeabilità e la disponibilità di acqua su un banco di ghiaia. Nascono così habitat ideali per essere colonizzati da «piante pioniere» come il garofanino di Fleischer (*Epilo-*

<sup>1</sup> La definizione del termine «mosaico dinamico di habitat», e quella di altri termini, si trova nel glossario. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

**Fig. 4a**

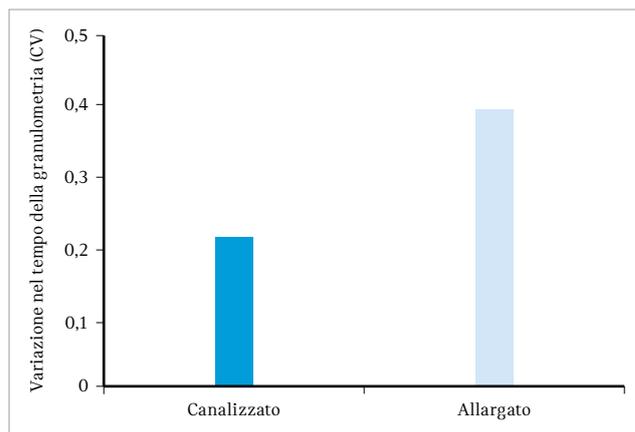
La composizione granulometrica in tratti canalizzati e in tratti allargati del fiume Thur.



Fonte: Martín Sanz 2017

**Fig. 4b**

La variazione nel tempo della composizione granulometrica nei tratti canalizzati e nei tratti allargati del fiume Thur. CV = coefficiente di variazione (più è grande, più ampia è la variazione).



Fonte: Martín Sanz 2017

*bium fleischeri*) o la tamerice alpina (*Myricaria germanica*). Esperimenti eseguiti in serra in condizioni controllate evidenziano come la germinazione e lo sviluppo della tamerice alpina dipenda dalla composizione dei sedimenti (fig. 4c; Benkler e Bregy 2010). Un fondo sabbioso stimola la germinazione dei semi; in assenza di sabbia il tasso di germinazione è basso o addirittura nullo. La germinazione avviene fondamentalmente in modo rapido, ma lo sviluppo delle foglie richiede molto più tempo e dipende anch'esso dal tipo di sedimenti. Vi sono inoltre differenze tra le popolazioni, per esempio i semi del bacino imbrifero del Rodano germogliano più in fretta rispetto a quelli del bacino imbrifero dell'Inn.

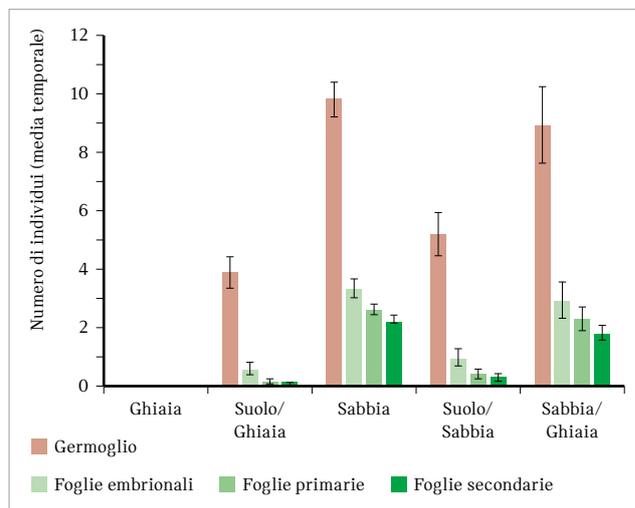
**B. Processi ecologici**

**Ciclo dei nutrienti**

Il materiale ricco di sostanze nutritive come il fogliame che proviene dalle sponde o dai tratti fluviali a monte, rimane sul fondo dell'alveo dove si accumula. Qui viene trasformato da numerosi microrganismi, funghi, alghe e larve di insetti, che a loro volta servono da nutrimento per i pesci e altri organismi viventi (Jungwirth et al. 2003). Il fogliame trattenuto sul fondo dell'alveo è pertanto un importante anello della catena trofica, in particolar modo dei corsi d'acqua di alta quota e delle golene.

**Fig. 4c**

Germinazione e sviluppo della tamerice alpina su diversi tipi di sedimento. I colori rappresentano i diversi stadi di sviluppo.



Fonte: Benkler und Bregy 2010

La trattenuta, l'accumulo e la trasformazione del materiale vegetale dipendono anche dalla distribuzione granulometrica che caratterizza il fondo dell'alveo: quanto più grossolani sono i granuli e minore la velocità della corrente tanto più il materiale resta sul posto. Sono inoltre importanti la frequenza e l'intensità delle piene con trasporto solido. Una riduzione degli eventi di piena con

trasporto solido può provocare un eccessivo accumulo di materiale vegetale, che a sua volta stimola la respirazione, quindi la trasformazione del materiale organico nel fondo dell'alveo, e comporta un maggior consumo di ossigeno. Tale fenomeno può modificare la concentrazione di nutrienti nel corso d'acqua e di conseguenza il metabolismo dell'intero ecosistema.

Nel progetto «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» è stato studiato in che misura la respirazione nei tratti canalizzati e in quelli allargati del fiume Thur (ZH/TG) dipende dalla dinamica dei sedimenti (Martín Sanz 2017). Nei tratti canalizzati la trasformazione dei materiali è risultata generalmente più elevata (fig. 5). Anche le singole misurazioni sono risultate più uniformi rispetto a quelle effettuate nei tratti allargati, dove le differenze locali erano maggiori. Con una maggiore frequenza e intensità delle piene la trasformazione si riduceva. Ciò si è manifestato con più evidenza nei tratti allargati, caratterizzati da un fondo dell'alveo più dinamico (fig. 4b).

Anche la colmatazione influenza alcuni importanti processi ecologici che avvengono nel fondo dell'alveo. Per esempio il consumo di ossigeno nelle zone di infiltrazione è superiore a quello nelle risorgive, poiché nell'acqua fluviale è anche presente materiale vegetale che viene trasformato. Al contrario, la risorgiva è ricca di nutrienti derivati dalla mineralizzazione del materiale vegetale nelle zone insature.

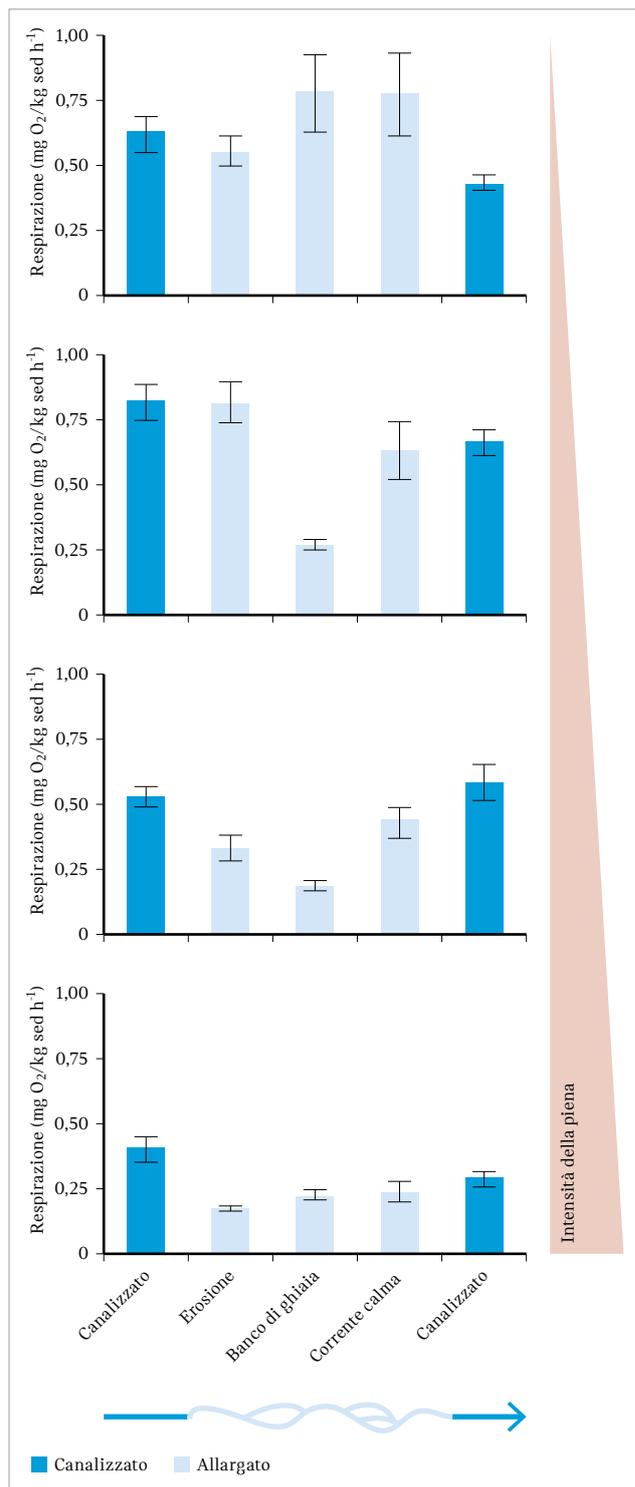
#### Interazioni con la catena trofica

Il materiale in sospensione, a seconda del tipo e dimensione di particelle, può ridurre in maniera più o meno significativa l'apporto di luce nei corsi d'acqua («torbidità») e, di conseguenza, anche la capacità di fotosintesi delle alghe o delle piante acquatiche. Inoltre i sedimenti fini depositati sul fondo dell'alveo possono coprire le alghe e le piante acquatiche riducendo la loro capacità di fotosintesi o provocandone addirittura la morte (cfr. scheda 3).

Sui banchi di ghiaia dei fiumi con vegetazione pioniera gli insetti specializzati trovano cibo e protezione. Per esempio il *Chorthippus pullus* è una specie di cavalletta che si nutre soprattutto di piante graminiformi come *Carex ssp.* e *Calamagrostis ssp.* Un'altra cavalletta, il *Tetrix tuerki*,

Fig. 5

La trasformazione del materiale organico (respirazione) nel fondo dell'alveo in funzione della dinamica delle piene e dei sedimenti durante il periodo di indagine. La dinamica è stata valutata in maniera integrale (durata e altezza del deflusso).



cerca invece le alghe sui tratti spondali ricchi di sedimenti fini e fangosi.

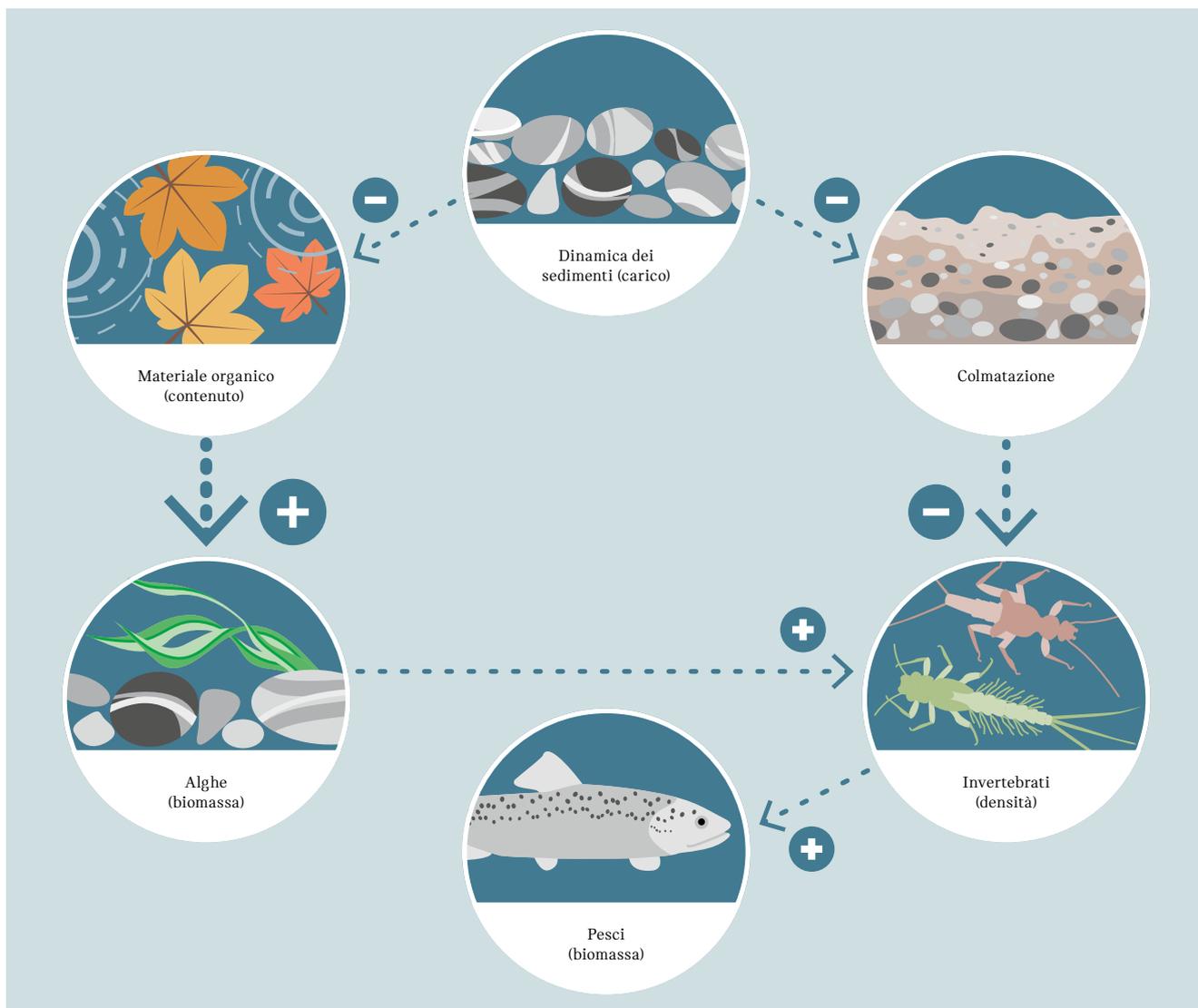
Per sfuggire ai loro predatori, molte specie di insetti terrestri si nascondono nel sedimento. Così il coleottero *Omophron limbatum* durante il giorno si rifugia in tubi di sabbia e di notte esce per andare a caccia di insetti (Rust-Dubié et al. 2006).

### C. Organismi viventi

La dinamica dei sedimenti può influenzare in maniera diretta gli organismi viventi (per es. con l'abrasione o lo schiacciamento). Ma anche in maniera indiretta: se per esempio una piena con trasporto solido mobilizza il fondo ghiaioso asportando i sedimenti fini, si creano le condizioni ideali per le specie ittiche che depongono le uova sui fondali ghiaiosi e la cui riproduzione dipende da un substrato ghiaioso sciolto e permeabile. Per gli organismi viventi dei corsi d'acqua e delle golene è determinante l'intensità dell'evento di piena; per esempio la quantità di

Fig. 6

La dinamica dei sedimenti e i suoi effetti diretti e indiretti sugli organismi viventi nei corsi d'acqua. Lo spessore delle frecce indica l'intensità dell'effetto; i segni più e meno indicano rispettivamente un effetto positivo e negativo.



materiale in sospensione o di fondo che si deposita durante la piena, la durata della piena, la stagione o la frequenza con cui si verifica.

Gli organismi viventi dei fiumi, nel corso della loro evoluzione, si sono adattati alla dinamica dei sedimenti. Per molte specie di animali e piante la dinamica dei sedimenti è addirittura indispensabile per lo sviluppo, che viene invece ostacolato se non è presente. Generalmente si fa una distinzione tra i diversi tipi di adattamenti, per esempio tra quelli della morfologia (per es. forma del corpo), della fisiologia (per es. metabolismo), del comportamento (per es. movimento) o del ciclo vitale (per es. momento della riproduzione). Gli organismi viventi non si adattano soltanto alla dinamica dei sedimenti, ma a molti altri fattori ambientali contemporaneamente. Nuovi studi condotti su pesci e altri organismi viventi hanno mostrato che gli adattamenti all'ambiente avvengono abbastanza rapidamente, vale a dire nell'arco di poche generazioni.

#### Pesci, alghe e larve di insetti

Le alghe hanno sviluppato strutture resistenti allo sfregamento, come l'ispessimento delle pareti cellulari. Per i pesci di fiume sono state accertate differenze intraspecifiche per quanto riguarda la forma del corpo, a seconda se colonizzano di preferenza le conche con sedimenti fini e corrente debole (pool) o le rapide con fondi dell'alveo grossolani e corrente forte (riffle). Lo scazzone, un piccolo pesce che vive sul fondo dei corsi d'acqua, può interrarsi fino a 30 cm di profondità e proteggersi così durante una piena moderata dal trasporto solido sul fondo ghiaioso. I pesci che si riproducono sui fondali ghiaiosi, hanno adattato le fasi della riproduzione alla dinamica dei sedimenti e del deflusso: nei corsi d'acqua svizzeri, per esempio, le trote iniziano a riprodursi durante il periodo di magra di fine autunno. Le uova, ben protette nella ghiaia, si sviluppano durante il periodo invernale caratterizzato da piene e dinamica dei sedimenti scarse. In un'ampia ricerca sul campo nell'ambito del progetto «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» è stata studiata la formazione della rete trofica sotto l'influsso di dinamiche dei sedimenti di differente intensità (fig. 6). In tale contesto sono stati studiati molti organismi viventi e le relative fonti di nutrizione: le alghe sul fondo dell'alveo, i residui fogliari nel sistema di pori della ghiaia, le larve di insetti nonché i pesci. Nella valutazione sono stati accer-

tati sia gli effetti diretti che indiretti. Tra l'altro è stato constatato che il numero e il peso complessivo di tutte le trote nel fiume aumentano con l'accumulo dei residui fogliari nel letto di ghiaia; nello stomaco delle trote sono stati rinvenuti con maggior frequenza piccoli invertebrati terrestri come ragni, formiche, coleotteri e vermi. Quanto più era ostruito lo strato ghiaioso, tanto più diminuiva la densità di larve di insetti. Inoltre nella ghiaia grossolana è stata osservata una maggiore quantità di piccoli animali che in quella fine.

#### Anfibi e rettili

Tutti gli specialisti delle golene hanno sviluppato varie strategie per far fronte ai livelli di acqua soggetti a repentini cambiamenti o alla deposizione di sedimenti. Numerosi rettili e anfibi dipendono per il loro ciclo vitale dal mosaico di habitat di una golena seminaturale. Per esempio la biscia tassellata (*Natrix tessellata*) caccia sui banchi di ghiaia, ma depone le uova nei depositi di sedimenti fini o di materiale flottante (Rust-Dubié et al. 2006). Gli adulti di rospo calamita (*Bufo calamita*) utilizzano come habitat le superfici ghiaiose dei fiumi e per la deposizione delle uova hanno bisogno di comparti alluvionali o dell'acqua ferma di un braccio morto.

#### Organismi viventi terrestri

La tamerice alpina (*Myricaria germanica*) estende in profondità le sue radici per non essere trascinata via dal banco di ghiaia durante le piene. I depositi di sedimenti con uno spessore di più centimetri non producono praticamente danni alle piante lignificate delle zone golenali – queste semplicemente formano nuovi germogli. Le piante erbacee, sia annuali che pluriennali, sono provviste di banche dei semi; i semi sopravvivono nella ghiaia. Le uova di uccelli come il piro-piro piccolo (*Actis hypoleucos*), che cova su banchi di ghiaia privi di vegetazione, grazie alla loro colorazione screziata di grigio si mimetizzano perfettamente (Rust-Dubié et al. 2006). Il *Chorthippus pullus* ha sviluppato diverse forme del corpo e varie strategie di migrazione: il *Chorthippus pullus* con ali lunghe si rinviene quando le densità di popolazione sono elevate al punto tale che occorre colonizzare nuovi banchi di ghiaia. In presenza di sufficienti habitat con una buona connettività, si avvista principalmente il *Chorthippus pullus* con ali corte.

### Dinamica (dei sedimenti) e biodiversità

Secondo il concetto scientifico dell'«ipotesi del disturbo intermedio» la massima biodiversità si produce con una dinamica media. In presenza di una dinamica marcata sopravvivono unicamente le specie resistenti, capaci di adattarsi a tale dinamica. Al contrario, con una dinamica scarsa alcune specie scompaiono perché soppiantate dalle specie concorrenti più forti. Considerando la rete di un corso d'acqua nel suo insieme, è possibile individuare le fonti di sedimenti, come le immissioni dagli affluenti, e determinare la loro influenza spaziale e temporale sulla biodiversità.

### Interventi dell'uomo nella dinamica dei sedimenti

L'uomo influenza la dinamica dei sedimenti da secoli; per esempio già nel Medioevo le sponde venivano protette dall'erosione mediante la costruzione di muri di deviazione. Fondamentalmente si distinguono due tipi di intervento, che saranno descritti nei prossimi paragrafi:

- A) gli interventi diretti nella dinamica dei sedimenti allo scopo di sfruttare la risorsa sedimenti o di prevenire i rischi, e
- B) gli interventi indiretti, vale a dire le misure non destinate alla dinamica dei sedimenti ma che tuttavia la influenzano.

Gli interventi dell'uomo includono sia gli interventi locali su piccola scala sia le misure attuate su larga scala con conseguenze di grande rilievo.

#### A. Interventi diretti

La ghiaia è estratta dai corsi d'acqua per due motivi: da un lato per utilizzarla come materiale da costruzione e dall'altro per impedire l'interramento del fondo dell'alveo (protezione contro le piene). I punti privilegiati per l'estrazione della ghiaia sono gli allargamenti o i delta, poiché è qui che viene tendenzialmente depositata la ghiaia. I corsi d'acqua regolati sono dimensionati in modo da contenere le piene di una determinata dimensione e lasciare al contempo la quota di fondo il più possibile invariata. Anche le camere di ritenuta (cfr. scheda 4) o l'estrazione

di ghiaia negli affluenti servono in modo analogo a regolare l'apporto di ghiaia durante le piene.

#### B. Interventi indiretti

I nostri corsi d'acqua sono stati rettificati e ristretti su larga scala per proteggere le pianure dalle inondazioni e per regolare il carico di sedimenti in misura tale da consentire la stabilizzazione della quota di fondo. I laghi artificiali e i bacini di accumulazione bloccano il trasporto di sedimenti (cfr. scheda Dinamica dei sedimenti e degli habitat nei corsi d'acqua: fig. 1, scheda 6). A scopo di manutenzione, i depositi di sedimenti devono essere rimossi eseguendo operazioni di dragaggio o di spurgo. Nelle zone ad agricoltura o selvicoltura intensiva, il dragaggio di sedimenti fini e il loro rilascio nelle acque è molto più frequente (cfr. scheda 3), soprattutto in assenza di una vegetazione riparia con funzione tampone. La varietà morfologica di un fiume rettificato è influenzata soprattutto dalla sua larghezza e idrologia. La crescente urbanizzazione e l'impermeabilizzazione di vaste superfici hanno determinato un incremento della velocità di scorrimento dell'acqua piovana, che a sua volta innalza i picchi delle piene. Il corso d'acqua acquista così una maggiore capacità di trasporto solido. A causa del cambiamento climatico i ghiacciai si sciolgono, il permafrost si disgela e le piogge diventano molto più frequenti rispetto alle neviccate. Pertanto la dinamica dei sedimenti in futuro tenderà ad aumentare, sia nei corsi d'acqua di montagna che in quelli dell'Altopiano.

### Effetti degli interventi dell'uomo

Gli interventi antropici diretti e indiretti nella dinamica dei sedimenti si riflettono sulla mobilitazione, il trasporto e il deposito di sedimenti determinandone sia un deficit che un eccesso (Wohl et al. 2015; cfr. scheda 7). Tutti le parti di una rete idrografica sono interconnesse tra loro: un deficit nel corso superiore può aumentare localmente l'erosione e causare un eccesso di sedimenti a valle. Deficit ed eccesso influenzano le condizioni ambientali, i processi ecologici e gli organismi viventi.

#### Condizioni ambientali

Un deficit di sedimenti causa l'approfondimento del fondo dell'alveo e un aumento della sua granulometria (selcia-

tura); inoltre la dinamica morfologica può essere fortemente limitata o completamente alterata (Bezzola 2004). Tale scenario si presenta se viene trattenuta o prelevata troppa ghiaia o se gli impianti di accumulazione trattengono i sedimenti ma continuano a rilasciare l'acqua. Se il fiume si approfondisce, si abbassa anche il livello delle falde acquifere circostanti. In tal modo si rompe il collegamento con gli habitat golenali ricchi di specie, come i bracci morti o le pozze, che non vengono più alimentati dalle acque sotterranee. Le massicce estrazioni di ghiaia in alveo, nonché l'erosione delle sponde causata dall'aumento della corrente nei corsi d'acqua canalizzati, portano a una forte regressione di preziosi habitat golenali terrestri (per es. banchi di ghiaia). Un eccesso di materiale in sospensione intensifica la formazione di depositi lungo le sponde o i tratti lentici del corso d'acqua.

#### **Processi ecologici e organismi viventi**

Le variazioni nella dinamica dei sedimenti possono modificare la concorrenza tra specie e individui e innescare una reazione a catena nella rete alimentare. Questa reazione può partire sia dalla base della rete alimentare, per esempio a causa di una minore attività fotosintetica delle alghe, sia da livelli più alti, per esempio a causa di una modificata pressione predatoria dei pesci. In ogni caso, in determinate situazioni, lo stato dell'ecosistema può cambiare in modo irreversibile («punto di non ritorno»).

Se si depositano quantità eccessive di materiale flottante, il successo riproduttivo dei pesci che dipendono per la riproduzione dai fondali ghiaiosi si riduce. Anche la composizione e la funzione delle biocenosi possono modificarsi. Le piante di riva sono particolarmente colpite dalla perdita di ambienti causata dagli interventi antropici nella dinamica dei sedimenti. Una dinamica dei sedimenti modificata consente ad esempio alle specie meno esigenti («generalisti») di colonizzare gli habitat a cui sono strettamente legate altre specie («specialisti»). Questo tipo di perdita di habitat, nella maggior parte dei casi, non si riflette in modo lineare sulla biodiversità: se l'habitat presente in partenza è già scarso, una sua ulteriore regressione ha un impatto di gran lunga superiore.

#### **Conclusione**

La dinamica dei sedimenti e dei deflussi determina in vari modi gli ecosistemi dei nostri corsi d'acqua. Il significato ecologico dei sedimenti è oggetto di studio da decenni. Molte conoscenze sono state oggi acquisite, per esempio su come la composizione del fondo dell'alveo agisce sulla riproduzione dei pesci che depongono le uova sui fondi ghiaiosi; oppure riguardo agli effetti dell'approfondimento dei corsi d'acqua nelle golene. Sono stati invece poco studiati gli aspetti dinamici, per esempio il modo in cui l'intensità del trasporto dei sedimenti e il momento in cui si verifica si ripercuotono sugli organismi. Nei prossimi anni, molto probabilmente, si riusciranno a ottenere importanti risultati, anche grazie al miglioramento costante dei metodi di misurazione (per es. il telerilevamento; cfr. scheda 2).

#### **Bibliografia**

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

# 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 coinvolti:** Eawag; Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Weber, Ch., Döring, M., Fink, S., Martín Sanz, E., Robinson, Ch., Scheidegger, Ch., Siviglia, A., Trautwein, C., Vetsch, D., Weibrecht, V., 2017: Dinamica dei sedimenti nella rete idrografica. In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 1.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

## 2 Dinamica dei sedimenti e misurazione dei suoi effetti

*I metodi impiegati nel mondo intero per misurare la dinamica dei sedimenti e i suoi effetti sulle condizioni ambientali, sui processi ecologici e sugli esseri viventi sono svariati. Si fa ricorso tanto ai metodi classici quanto alle nuove tecnologie, come il telerilevamento mediante droni, la misurazione del consumo di ossigeno nel fondo ghiaioso o le analisi genetiche. La scheda 2 offre una visione generale dei metodi in uso e spiega il loro utilizzo nell'ambito del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat».*

**M. Döring, M. Facchini, S. Fink, M. J. Franca, E. Martín Sanz, Ch. Robinson, Ch. Scheidegger, N. Siviglia, C. Trautwein, D. Vetsch, Ch. Weber**

La mobilizzazione, il trasporto e il deposito dei sedimenti sono processi molto dinamici e influenzano le condizioni ambientali, i processi ecologici e gli organismi viventi nel e lungo il fiume (cfr. scheda 1). Il rilevamento della dinamica dei sedimenti è il presupposto per una migliore conoscenza dei nostri corsi d'acqua e la loro gestione. Al contempo, data la grande varietà e la dinamica dei corsi d'acqua, le misurazioni rappresentano una sfida, sia sul piano tecnico e temporale che delle risorse di personale.

Per la misurazione della dinamica dei sedimenti (fig. 1) e dei suoi effetti, nel mondo intero vengono utilizzati molti metodi differenti, tanto nell'ambito delle rivitalizzazioni che in quello degli esami dell'impatto ambientale, delle valutazioni dei rischi ambientali o dei lavori di ricerca. La presente scheda offre una visione generale dei metodi disponibili, dei relativi campi di impiego, nonché dei punti di forza e di debolezza riassumendoli in alcune tabelle. La tabella 1 (p. 7) riporta i metodi per misurare la dinamica dei sedimenti, le tabelle 2 (p. 10) e 3 (p. 10) quelli per misurare gli effetti della dinamica dei sedimenti sulle condizioni ambientali e sugli organismi viventi.

Da un lato, le tabelle elencano metodi classici ben collaudati e in parte utilizzati da decenni nella pratica e nella ricerca, dall'altro descrivono i metodi in fase di sviluppo con riferimento alle applicazioni nel progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat». Per alcuni metodi esistono degli indicatori che consentono di valutare in che misura la dinamica dei sedimenti sia prossima allo stato naturale. Tale caratteristica rientra tra i «punti di forza» ed è contrassegnata nelle tabelle con il segno +. Per tutti i rilevamenti è possibile fare un confronto con i siti di riferimento prossimi allo stato naturale.

**Fig. 1**

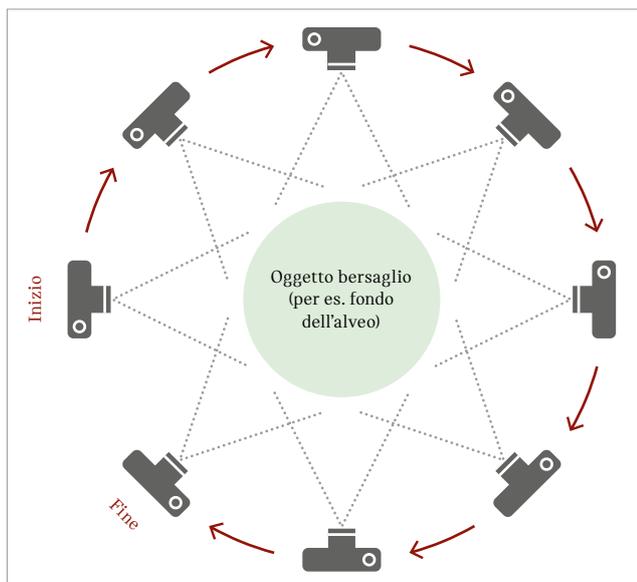
*La dinamica dei sedimenti e i suoi effetti sugli ambienti, le piante e gli animali possono essere rilevati con diversi parametri (a sinistra). Geofono per la misurazione diretta del volume di sedimenti nell'Erlenbach (a destra).*





Fig. 3

Principio della misurazione Structure-from-motion: anziché una singola immagine aerea, si crea una serie di immagini sovrapposte. Da queste si estrapola una rappresentazione in 3D (per es. modello digitale di elevazione).



Modificato secondo Westoby et al. 2012

nonché di calcolare parametri dinamici che rispecchiano i cambiamenti insiti nei processi morfologici.

## Effetti sulle condizioni ambientali e sui processi ecologici

### Metodi classici

I processi ecologici non vengono quasi mai studiati utilizzando i metodi classici. Soltanto negli ultimi anni i parametri funzionali, vale a dire orientati ai processi, hanno acquistato importanza per la ricerca e la valutazione in ambito ecologico. I metodi classici sono importanti per comprendere a livello di processo gli effetti dell'apporto e del deposito di sedimenti sulle comunità biologiche, per esempio per quanto concerne l'effetto dei sedimenti fini sul rifornimento di ossigeno al fondo dell'alveo.

### Metodi in fase di sviluppo

I microsensori di nuova generazione consentono di effettuare misurazioni nell'ordine del micron per le concentrazioni di nutrienti e ossigeno sul fondo dell'alveo. Questo a

sua volta permette di analizzare gli effetti della dinamica dei sedimenti sul biofilm o sui profili del corso d'acqua, per esempio prendendo in considerazione lo scambio tra le falde acquifere e le acque superficiali. Le serie temporali di durata giornaliera o pluriennale del trasporto di materiale in sospensione e dei processi di deposizione sono essenziali per comprendere meglio la reazione dell'ecosistema a una dinamica dei sedimenti modificata. La tecnologia dei sensori è in piena trasformazione, ma i dispositivi esistenti sono già largamente diffusi. Sono utilizzati anche come sistema di preallarme, per esempio in relazione al rilascio più dinamico dei deflussi residuali presso le aperture degli sbarramenti.

## Effetti sugli organismi viventi

### Metodi classici

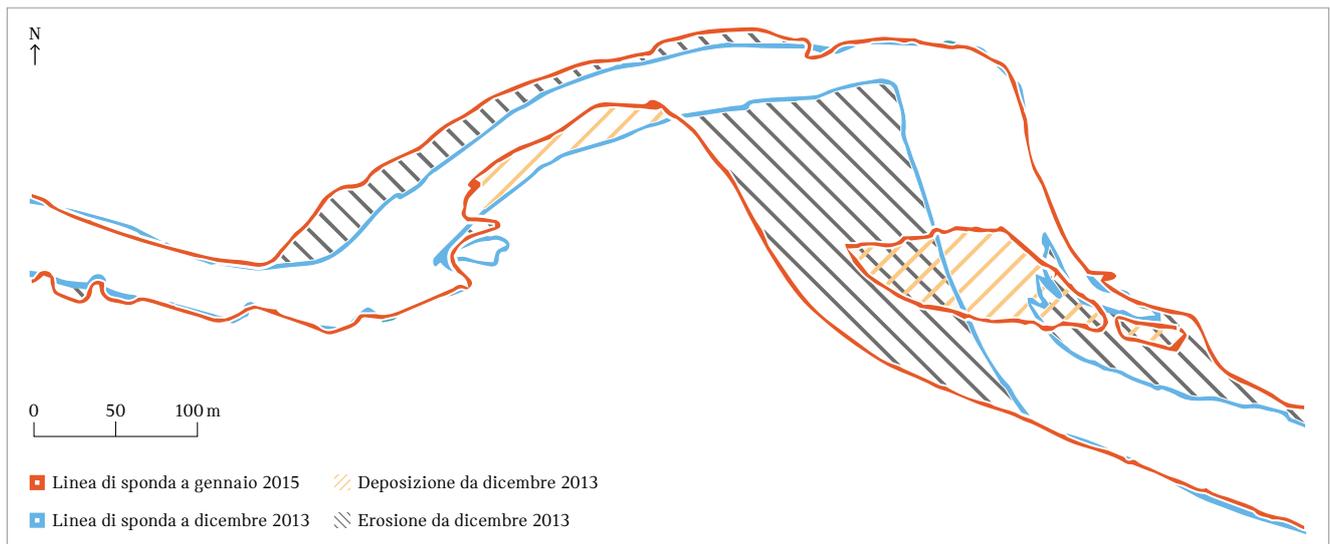
Con i metodi classici si descrivono la struttura e la dinamica di popolazione delle piante, degli animali e dei funghi come pure la struttura e la dinamica delle comunità acquatiche, anfibe e terrestri. Le prestazioni ecosistemiche sono determinate a diversi livelli – da quello di specie fino a quello di biocenosi. Inoltre vengono utilizzati parametri funzionali, vale a dire orientati ai processi, per esempio per organismi come i microbi che sono di difficile determinazione tassonomica.

### Metodi in fase di sviluppo

I droni e altri apparecchi di misurazione impiegati per il telerilevamento consentono di quantificare, per quanto riguarda il deposito e l'erosione, i cambiamenti su piccola scala causati dalle piene (fig. 4). Gli effetti della dinamica dei sedimenti sulla dinamica di popolazione e di comunità si prestano a essere modellati (fig. 6). La genetica di popolazione può essere utilizzata per ricavare informazioni su importanti processi avvenuti nel passato (per es. l'effetto del fondatore, i colli di bottiglia), nonché per una quantificazione del flusso genico a livello di paesaggio fluviale. Tramite la misurazione delle funzioni ecosistemiche si possono mettere in relazione le prestazioni ecosistemiche con la dinamica dei sedimenti.

**Fig. 4**

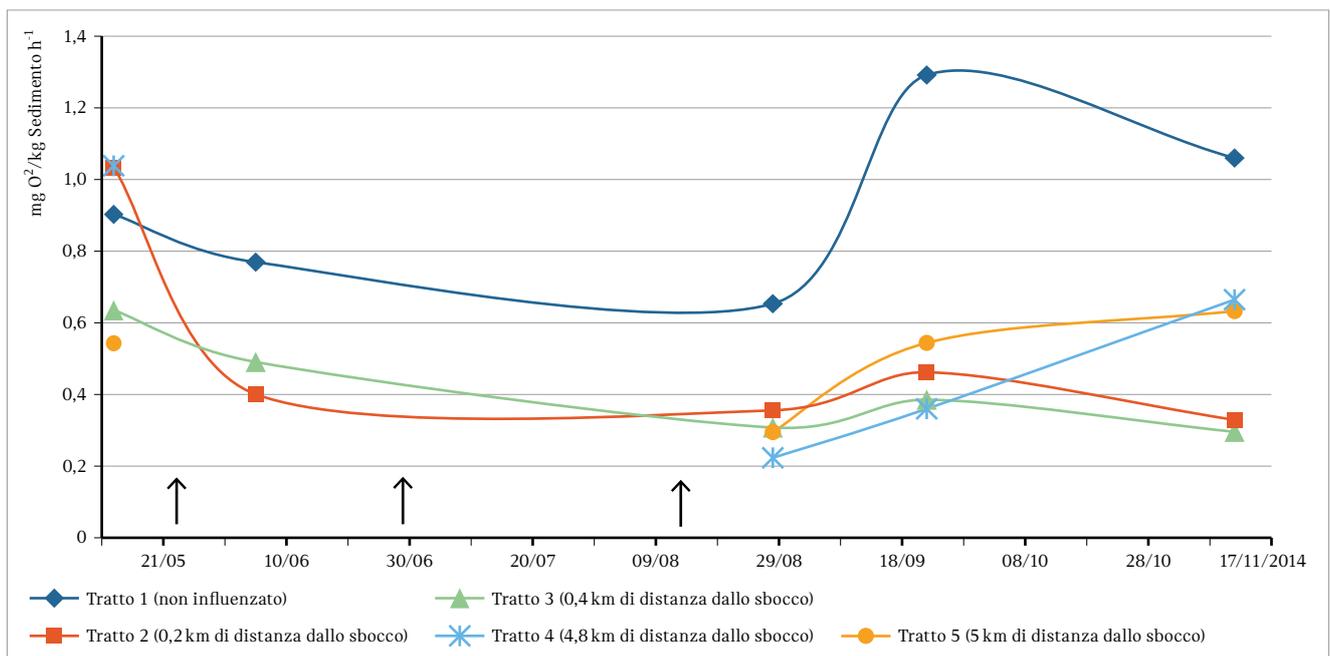
Spostamento della linea di sponda e dei banchi di ghiaia nel periodo da dicembre 2013 a gennaio 2015 della Thur a Neunforn (ZH). I dati sono stati digitalizzati tramite il SIG da un'immagine aerea.



Fonte: Eawag

**Fig. 5**

L'andamento temporale della respirazione dei sedimenti in cinque tratti analizzati nel corso inferiore dell'Albula (GR). I tratti 2-4 sono situati da 0,2 a 5 km sotto lo sbocco della galleria di deviazione dei sedimenti presso la centrale idroelettrica Solis, il tratto 1 è situato tra lo sbarramento e lo sbocco. Nel periodo analizzato, la galleria di deviazione dei sedimenti è stata messa in funzione tre volte durante eventi di piena. I momenti in cui si sono verificate le piene sono contrassegnati dalle frecce.



Fonte: Eawag

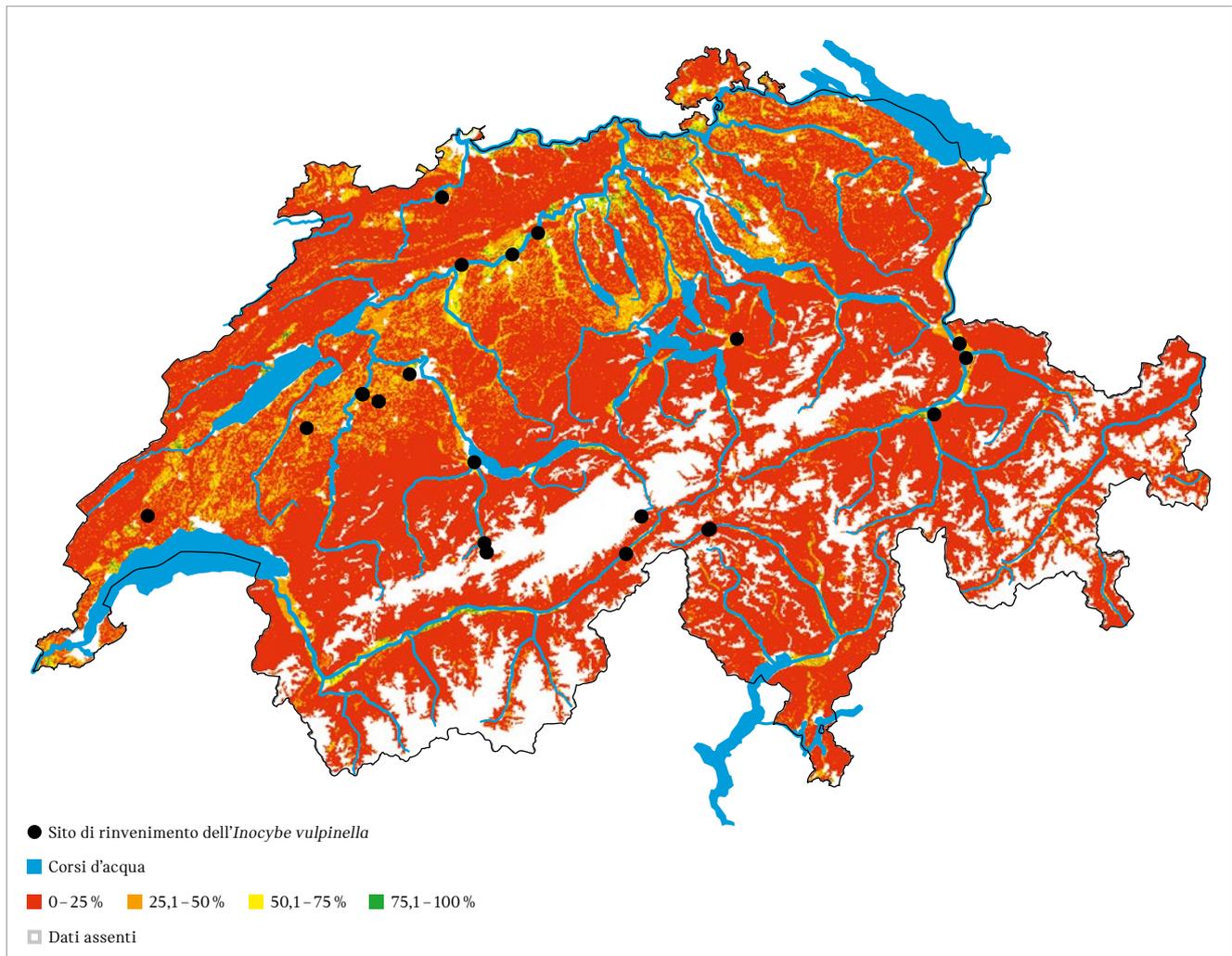
## Conclusione

La misurazione e la valutazione della dinamica dei sedimenti è un compito complesso. I metodi disponibili – da quelli classici a quelli in fase di sviluppo – consentono di fare una stima e talvolta anche una previsione a scala spaziale di habitat ma anche di intero bacino idrografico. Tuttavia, allo stato attuale, gli effetti dei diversi fattori di regolazione sulla dinamica dei sedimenti possono essere solo limitatamente distinti gli uni dagli altri (per es. idrologia, clima, uso del suolo). Anche la valutazione degli effetti della dinamica dei sedimenti sulla struttura e la

funzione degli ecosistemi è a tutt'oggi limitata. Si tratta comunque di informazioni necessarie ai fini di una gestione efficiente dei corsi d'acqua che tenga conto della dinamica dei sedimenti. A tale proposito va ricordato il rapido sviluppo di nuovi metodi, e in particolare la loro combinazione con quelli classici. Un approccio di questo tipo è rappresentato dall'accoppiamento delle immagini ecologiche acquisite da terra con quelle ottenute con il telerilevamento o con i software di modellazione BASEMENT (Vetsch et al. 2016). È un sistema che ha una grande potenzialità per quanto riguarda la valutazione

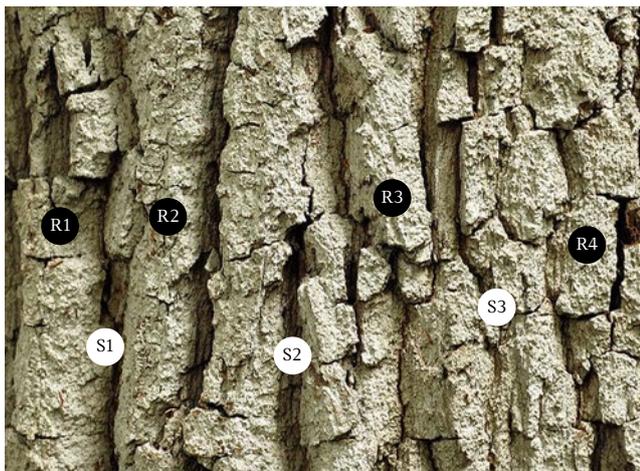
Fig. 6

Modellazione della probabilità di presenza per la specie *Inocybe vulpinella*. Questo fungo si rinviene principalmente sui suoli pianeggianti e sabbiosi in prossimità dei fiumi. Le modellazioni di nicchie ecologiche consentono di fare delle previsioni sulla presenza attuale e futura di una specie.



**Fig. 7a**

Campionamento (R1 – R4, S1 – S3) del lichene crostoso *Bactrospora dryina* su una quercia per un'analisi genetica della popolazione. Questa specie di lichene colonizza le querce ultracentenarie dei boschi golenali.



Fonte: Nadyeina et al. 2017

integrativa dell'ecosistema a diverse scale, da habitat poco estesi fino ad intero bacino imbrifero.

### Bibliografia

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

**Fig. 7b**

I genotipi (codice cromatico) del lichene *Bactrospora dryina* rinvenuto su tre querce in tre stazioni (Marthalen, Sins, Spitz). Dall'analisi genetica della popolazione risulta un differente livello di variabilità genetica sui singoli alberi e un flusso genico molto ridotto tra le tre stazioni. Questi dati fanno supporre l'assenza di un'interconnessione tra i boschi golenali a legno duro.

Marthalen																					
Sopra	G	G	C	G	C	C	C	G	G	G	C	G	G	S	C	G	C	T	C	C	
Metà	C	C	C	U	C	C	C	C	V	I	C	C	W	X	Y	C	C	C	C	G	
Sotto	C	C	L	C	I	C	Z	C	C	C	C	C	AA	C	C	C	C	I	C	C	
	R1	R1	S1	S1	R2	R2	S2	S2	R3	R3	S3	S3	R4	R4	S4	S4	R5	R5	S5	S5	
Sins																					
Sopra	D	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
Metà	B	B	B	B	B	D	D	D	B	B	B	D	B	B	B	B	D	D	D	D	
Sotto	B	B	B	B	B	D	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	D	B	D	D	
	R1	R1	S1	S1	R2	R2	S2	S2	R3	R3	S3	S3	R4	R4	S4	S4	R5	R5	S5	S5	
Spitz																					
Sopra	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Metà	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Sotto	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
	R1	R1	S1	S1	R2	R2	S2	S2	R3	R3	S3	S3	R4	R4	S4	S4	R5	R5	S5	S5	
Genotipo	A	B	C	D	G	I	L	N	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA				
Frequenza	66	44	43	26	10	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Fonte: Nadyeina et al. 2017

Tab. 1

Metodi per la misurazione della dinamica dei sedimenti. I metodi in fase di sviluppo sono evidenziati in blu. BI: bacino idrografico.

Parametro	Metodo/strumento di misurazione	Settore di impiego	Punti forti (+) Punti deboli (-)	Scala		Riferimento
				Tempo	Spazio	
<b>Materiale in sospensione</b>						
Concentrazione (e in parte taglia e/o forma)	Sensori ottici (luce o laser)	Determinazione della concentrazione del materiale in sospensione in funzione della torbidità	+ precisione + rilevamento temporale + misurazione autonoma + stima del trasporto tramite la velocità (due sensori) - approvvigionamento elettrico - nessuna raccolta di sedimenti - fabbisogno di calibrazione	Stato istantaneo - monitoraggio	Punti di misurazione	1)
	Procedure acustiche (utilizzo dell'effetto doppler, vale a dire riflessione delle onde acustiche)	Vari settori di impiego (monitoraggio ricerca, ecc.)	+ precisione + possibilità di creare profili + calcolo delle velocità - in sviluppo - calibrazione specifica	Stato istantaneo - monitoraggio	Punti di misurazione, profili e transetti	2)
	Tubi raccoglitori verticali	Rilevamento sul campo standard, successiva analisi di laboratorio	+ design robusto, semplice + raccolta di sedimenti - perturbazione del deflusso, soprattutto in prossimità del fondo - variabilità tra i tecnici campionatori	Campione globale	Punti di misurazione	3)
	Collettori a pompa	Rilevamento sul campo standard, successiva analisi di laboratorio	+ design robusto + sedimenti accumulati + possibilità di creare profili - sensibile all'intasamento - installazione dispendiosa	Continuativo o pulsato (comprese serie temporali)	Punti di misurazione e profili	1)
	Stima della profondità di visibilità (dischi di Secchi)	Classificazione approssimativa della torbidità, per esempio valutazione dell'aspetto più esterno	+ metodo standard + semplice da usare - soggettività	Stato istantaneo	Dipende dal campionamento	4) 5)
	Campionatore a bottiglia	Rilevamento sul campo standard, successiva analisi di laboratorio	+ design robusto, semplice + raccolta di sedimenti + largo impiego, collaudato - perturbazione del deflusso, soprattutto in prossimità del fondo e punti poco profondi - variabilità tra i tecnici campionatori	Stato istantaneo	Punti di misurazione e profili	1)
<b>Materiale solido di fondo</b>						
Massa oppure volume in funzione del tempo	Campionatore a cesto (trappola)	Campionamento di sedimenti	+ abbastanza economico + misurazione durante la piena - fiume guadabile - occorrono molti cesti	Rilevamento unico	Tratto Mesohabitat	6)

Parametro	Metodo/strumento di misurazione	Settore di impiego	Punti forti (+) Punti deboli (-)	Scala		Riferimento
				Tempo	Spazio	
	Geofoni (misurazione delle vibrazioni)	Quantificazione del trasporto solido di fondo	+ misurazione autonoma - installazione dispendiosa - requisiti del sito - calibrazione difficile	Rilevamento ripetuto e continuato	Tratto Mesohabitat	7) fig. 1
	Structure from motion (calcolo di superfici in 3D tramite il rilievo di immagini digitali)	Caratterizzazione della topografia e monitoraggio dei cambiamenti geomorfologici	+ economico + rilevamenti in zone di difficile accesso - raccolta dei dati dispendiosa - limitato nelle superfici bagnate/ricoperte di vegetazione - esperti	Anni (rilevamento ripetuto)	Tratto Mesohabitat	8) fig. 3
Spostamento/comportamento delle particelle	Scour chains	Determinazione della differenza netta tra erosione e deposito	+ misurazione durante la piena - perturbazione del fondo dell'alveo durante l'installazione - dispendioso (sul campo) - reperibilità - misurazione della differenza netta (≠ variazione temporale)	Monitoraggio dell'evento	Tratto Mesohabitat	9)
	Marcatura delle particelle con colorazione	Entità dello spostamento di materiale solido di fondo	+ economico - dispendioso in termini di tempo - fiume guadabile - reperibilità	Monitoraggio dell'evento	Mesohabitat – BI	10)
	Marcatura delle particelle con PIT-tag	Entità dello spostamento di materiale solido di fondo	+ localizzazione delle singole particelle + abbastanza economico - fiume guadabile - dispendioso (preparazione, sul campo)	Monitoraggio dell'evento	Mesohabitat – BI	11)
<b>Composizione del substrato</b>						
Distribuzione granulometrica	Metodo pebble-count, per es. lungo un transetto	Caratterizzazione dell'habitat, dati di base (per es. modellazione idraulica)	+ raccolta dei dati veloce + economico + campionamento di superfici bagnate - sottostima delle particelle piccole - variabilità tra i tecnici campionatori e i campioni - soltanto lo strato di copertura	Anni	Tratto Mesohabitat	12)
	Analisi dei sedimenti secondo Fehr (campionamento in linea)	Caratterizzazione dell'habitat, dati di base (per es. calcolo del carico di materiale solido di fondo)	+ raccolta dei dati veloce + economico + campionamento di superfici bagnate + bassa variabilità tra i tecnici campionatori e i campioni - dispendioso in termini di tempo (sul campo) - soltanto lo strato di copertura	Anni	Tratto Mesohabitat	13)
	Granulometria media ed eterogeneità	Caratterizzazione dell'habitat	+ rilevamento veloce, semplice + grandezze rilevanti ecologicamente - soltanto lo strato di copertura	Anni	Tratto Mesohabitat	14)

Parametro	Metodo/strumento di misurazione	Settore di impiego	Punti forti (+) Punti deboli (-)	Scala		Riferimento
				Tempo	Spazio	
	Basegrain/analisi delle immagini	Caratterizzazione della distribuzione granulometrica	+ rilevamento veloce + economico + bassa variabilità tra i tecnici campionatori e i campioni + estrapolazione sulla distribuzione sotto lo strato di copertura - raccolta dei dati dispendiosa in termini di tempo - errori dovuti alla proiezione di ombre - precisione sotto l'acqua ridotta	Anni	Tratto Mesohabitat	15) fig. 2a
Deposito nello spazio poroso del fondo dell'alveo (colmatazione)	Cesto per il deposito di sedimenti	Entità dell'apporto di sedimenti fini sul fondo dell'alveo	+ abbastanza economico + misurazione durante la piena - fiume guadabile - occorrono molti cesti	Campione globale	Punti di misurazione	16)
	Valutazione visiva della colmatazione in 5 stadi	Idoneità dei siti di riproduzione, scambio con le falde acquifere	+ rilevamento veloce, semplice + rilevanza ecologica - dati categoriali - solo settori non bagnati - soggettività	Anni	Mesohabitat	17)
<b>Forma dell'alveo</b>						
Sinuosità Numero di bracci Banchi e isole Spostamento dell'habitat	Telerilevamento (drone/aereo/satellite)	Cambiamento dell'ecosistema	+ valutazione frequente ed efficace a livello di paesaggio - attrezzatura - esperti - solo in parte applicabile in acqua	Giorni – decenni	Mesohabitat – BI	18) 19) fig. 4
<b>Geometria dell'alveo</b>						
Dimensione dell'alveo	Rilevamenti di profili trasversali	Caratterizzazione dell'habitat, dati di base (per es. calcolo del carico di sedimenti)	- dispendioso in termini di tempo	Anni	Mesohabitat – BI	1)
	Informazioni sulle superfici in 3D utilizzando il LiDAR (Light detection and ranging)	Caratterizzazione e cambiamento dell'ecosistema (per es. spostamenti)	+ precisione dell'informazione in 3D - costoso - attrezzatura - esperti	Anni	Mesohabitat – BI	8) fig. 2b
	Acoustic-Doppler-Current-Profiler (ADCP)	Vari settori di impiego (monitoraggio, ricerca, ecc.)	+ precisione dell'informazione in 3D - attrezzatura - esperti	Giorni – decenni	Tratto	20)
	Modelli (per es. Basement)	Ampio impiego, per esempio per la prevenzione dei rischi, l'eFlow, la rivitalizzazione	+ vari settori di impiego + possibilità di fare previsioni + visualizzazione - dispendioso in termini di tempo - grande quantità di dati	Giorni – decenni	Tratto – BI	21)

Tab. 2

Metodi per la misurazione degli effetti della dinamica dei sedimenti sulle condizioni ambientali e i processi ecologici. I metodi in fase di sviluppo sono evidenziati in blu. Bl: bacino idrografico

Parametro	Metodo/strumento di misurazione	Settore di impiego	Punti forti (+) punti deboli (-)	Scala		Riferimento
				Tempo	Spazio	
Trattenuta di materiale organico	Applicazione di fogliame artificiale (carta)	Finora soprattutto per progetti di ricerca	+ simulazione di un processo naturale (esperimento sul campo) + valutazione standard - fiume guadabile - dispendioso in termini di risorse umane	Ore	Tratto	22) scheda descrittiva 25
Respirazione (flusso di CO <sub>2</sub> )	Camera di respirazione del suolo	Finora soprattutto per progetti di ricerca	+ veloce ed economico + specifico per il luogo e il momento + riconoscimento di cambiamenti repentini - perturbazione delle zone iporreiche durante il campionamento	Ore – giorni	Mesohabitat	23) fig. 5

Tab. 3

Metodi per la misurazione degli effetti della dinamica dei sedimenti sugli organismi viventi nei corsi d'acqua. I metodi in fase di sviluppo sono evidenziati in blu. Bl: bacino idrografico

Parametro	Metodo/strumento di misurazione	Settore di impiego	Punti forti (+) punti deboli (-)	Unità di misura		Riferimento
				Tempo	Spazio	
Stadi di successione						
Composizione delle fitocenosi e classi di età	Rilevamento delle popolazioni	Caratterizzazione del mosaico di habitat nelle golene	+ combinabile (immagini aeree/LIDAR, dati sulla distribuzione) + indicatori per determinati tipi di habitat - dispendioso in termini di tempo - esperti	Stagione – anni	Regionale – globale (CH soprattutto 10 – 100 m <sup>2</sup> )	39) 24) 25)
	Telerilevamento (drone/aereo)	Caratterizzazione del mosaico di habitat nelle golene	+ elevata risoluzione - occorre trasformare i dati - esperti - ev. occorrono dati sul suolo	Stagione – anni	Regionale – globale	26)
	Diffusione e flusso genico	Caratterizzazione della connettività tra gli habitat	+ specie e popolazioni + preciso + spiegazione della diversità passata e presente - interpretazione difficile (effetti diversi per uno stesso modello genetico) - esperti - costoso	Storico – attuale	Regionale – globale	27) fig. 7a, 7b
	Modellazione di habitat potenzialmente idonei per le piante golene	Stima del potenziale di rivitalizzazione	+ stima della distribuzione passata, attuale e futura - esperti - sono necessari dati ambientali	Storico – previsione	Regionale – globale	28) fig. 6

Parametro	Metodo/strumento di misurazione	Settore di impiego	Punti forti (+) punti deboli (-)	Unità di misura		Riferimento
				Tempo	Spazio	
<b>Interconnessione verticale/colmatazione</b>						
Riproduzione di specie ittiche che depongono le uova su fondali ghiaiosi	Conta dei fregolatoi, delle larve, degli individui adulti (riproduttivi)	Idoneità dell'habitat di riproduzione, successo riproduttivo, per esempio dopo i riporti	+ veloce e semplice + indice per il successo riproduttivo di più anni - accessibilità dei siti	Stagione – anni	Tratto – BI	29) 30)
	Introduzione sperimentale di uova di pesce (per es. scatole Vibert)	Idoneità dell'habitat di riproduzione, successo riproduttivo in caso di apporto di sedimenti fini	+ semplice da usare + modificato, per quantificare l'apporto di sedimenti fini - numero di uova limitato	Stagione – anni	Tratto Mesohabitat	31) 32) 33) 34)
<b>Abrasione</b>						
Capacità di resistenza (= resistenza)	Introduzione di muschi artificiali (strisce di velcro)	Determinazione dell'intensità di abrasione	+ economico	Stagione – anni	Tratto Mesohabitat, confronto tra fiumi	35)
	Introduzione di piante riparie artificiali (bastoncini)	Determinazione della dinamica dei sedimenti presso le rive	+ economico + quantificazione dell'erosione	Stagione – anni	Tratto Mesohabitat, confronto tra fiumi	35)
	Presenza di gruppi di specie resistenti all'abrasione (per es. alghe)	Caratterizzazione della dinamica dei sedimenti	+ basato su gilde, pertanto ampiamente confrontabile - esperti	Stagione – anni	Mesohabitat – BI	36)
	Dendrocronologia (per es. analisi degli anelli annuali)	Ricostruzione della dinamica dei sedimenti del passato	- esperti	Storico	Tratto	37)
Capacità di ripresa (= resilienza)	Presenza di perifiton (contenuto di clorofilla a)	Intensità della perturbazione, momento dal quale la piena trasporta sedimenti	+ semplice ed economico + di largo impiego + indicatore funzionale - esperti per la valutazione	Stagione – anni	Tratto Mesohabitat	35)
	Varietà e intensità dei processi microbiologici	Finora soprattutto per progetti di ricerca	+ rilevamento semplice + indicatore funzionale + riduzione dei costi - esperti	Giorni – anni	Tratto Mesohabitat	38)

# 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 coinvolti:** Eawag; Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Döring, M., Facchini, M., Fink, S., Franca, M. J., Martín Sanz, E., Robinson, Ch., Scheidegger, Ch., Siviglia, A., Trautwein, C., Vetsch, D., Weber, Ch., 2017: Dinamica dei sedimenti e misurazione dei suoi effetti. In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 2.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

### 3 Importanza della dinamica dei sedimenti fini e fattori che la influenzano

*I sedimenti fini e la loro dinamica influenzano la morfologia e gli habitat dei corsi d'acqua. I sedimenti fini si formano in seguito a processi come l'erosione del suolo e contribuiscono allo sviluppo di boschi golenali a legno duro e altri habitat nei e lungo i corsi d'acqua. Questa scheda descrive la dinamica dei sedimenti fini e spiega come sia influenzata dalla struttura spondale e da altri fattori. Nel progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat», l'influenza dell'assetto geometrico delle sponde sulla dinamica dei sedimenti fini è stata studiata sistematicamente in esperimenti di laboratorio.*

**C. Juez, M. J. Franca, S. Fink, Ch. Scheidegger, A. Siviglia, S. Stähly, C. Trautwein, Ch. Weber, A. Schleiss**

Sono definiti sedimenti fini quelli con particelle di diametro inferiore a 2 mm, vale a dire le frazioni di argilla, limo e sabbia. Nei corsi d'acqua i sedimenti fini sono localizzati soprattutto sotto l'alveo, oppure sono trasportati in sospensione. In caso di colmatazione sono presenti anche nello strato superficiale dell'alveo stesso. La mobilizzazione e il trasporto dei sedimenti fini dipendono

dalla presenza di turbolenze sufficientemente forti, come quelle che caratterizzano i fiumi alpini e prealpini. La concentrazione di sostanze in sospensione aumenta più l'acqua è profonda. Essa raggiunge il massimo in prossimità del fondo dell'alveo, dove avvengono scambi tra le sostanze in sospensione e le particelle del fondo dell'alveo. La porzione più fine del trasporto in sospensione è costituita da particelle di diametro inferiore a 0,1 mm, il cosiddetto «wash load».

#### **Mobilizzazione, trasporto e deposito**

Le tre principali fonti di sedimenti fini sono (cfr. scheda 1):

- l'erosione e la meteorizzazione di rocce e suoli;
- l'abrasione della frazione solida costituita da granuli grossolani (nei fiumi, ghiacciai) e l'urto dei sedimenti più grossolani durante gli eventi di piena;
- le frane e le colate detritiche.

Nei fiumi alpini e prealpini i sedimenti fini sono in costante movimento. Tendono invece a scendere e a depositarsi quando la corrente è lenta e le acque sono calme (fig. 1). Nei fiumi canalizzati i sedimenti fini contribui-

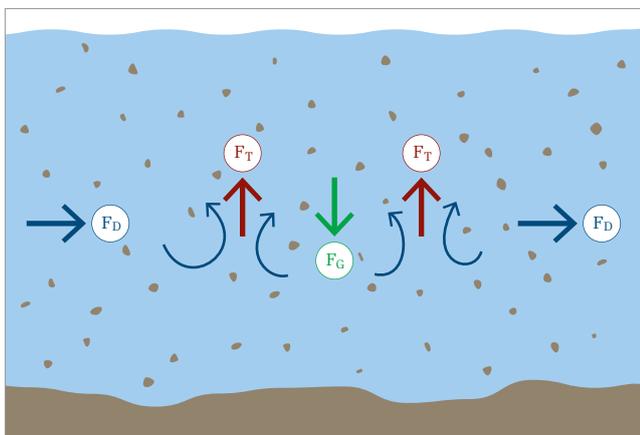
**Fig. 1**

*Rappresentazione schematica delle insenature che sono state studiate in un esperimento di laboratorio (a sinistra). Allargamento locale della Kander ad Augand (BE) con isole di ghiaia e depositi di sedimenti fini (a destra). L'acqua della Kander è in genere caratterizzata da un'elevata quantità di sedimenti fini.*



**Fig. 2**

Rappresentazione schematica delle forze che agiscono sul materiale in sospensione. La spinta dinamica  $F_T$  dovuta alla turbolenza mantiene in sospensione i sedimenti fini e dipende dalla velocità della corrente. La forza della corrente  $F_D$  trasporta i sedimenti verso valle. La forza di gravità  $F_G$  agisce contro la forza della turbolenza e dipende dalla massa propria della particella.



Fonte: LCH-EPFL

scono solo marginalmente ai sovralluvionamenti. Nei laghi naturali e artificiali rappresentano invece la frazione principale dei sedimenti introdotti. È il caso dei sedimenti fini di origine glaciale trasportati dal Rodano nel lago Lemano, dove si depositano in prossimità del delta oppure tramite correnti torbide nei settori profondi del lago in modo simile a una valanga subacquea. Nei corsi d'acqua naturali, per azione delle piene le sostanze in sospensione raggiungono i margini e le piane golenali dove poi si depositano. I sedimenti fini nelle golene a legno tenero

**Tab. 1**

Grandi laghi svizzeri nei quali si depositano considerevoli quantità di sedimenti fini provenienti dagli affluenti principali.

Lago	Afluente principale
Lago di Brienz	Aare, Lütschine
Lago di Costanza	Reno
Lago Lemano	Rodano
Lago Maggiore	Ticino
Lago di Thun	Kander
Lago dei Quattro Cantoni	Reuss, Muota
Lago di Walen	Linth

Fonte: LCH-EPFL

e duro, spesso definiti limo alluvionale, contribuiscono all'apporto di nutrienti in queste aree. Tale processo è tuttavia pregiudicato dagli interventi antropici (cfr. cap. Interventi dell'uomo nella dinamica dei sedimenti).

La figura 2 mostra che i processi fisici come la spinta dinamica e la turbolenza influenzano la sospensione, la discesa e il deposito dei sedimenti fini. La spinta dinamica è essenzialmente determinata dalla turbolenza attorno alle particelle dei sedimenti fini. La discesa è provocata dalla gravità e dipende in primo luogo dalla massa ma anche dalla forma di una particella (per es. lamellare vs. rotonda). La forza della turbolenza influenza la quantità di sedimenti fini che restano in sospensione. Se la concentrazione di sedimenti fini aumenta e supera un determinato valore limite, le particelle iniziano a depositarsi. Se la turbolenza si riduce in modo drastico, per esempio negli allargamenti o in altri tratti fluviali a corrente lenta, predomina la gravità con conseguente deposito e arricchimento di sedimenti fini.

**Sedimenti fini nei corsi d'acqua svizzeri**

I fiumi alpini trasportano più materiale in sospensione rispetto ai fiumi di bassa quota. Se un fiume alpino sfocia in un lago, questo si trasforma in un bacino di sedimentazione. Determinati laghi svizzeri intercettano l'intero carico di sedimenti fini dei loro affluenti (tab.1) che espandono così costantemente il loro delta, come accade con il delta del Reno nel lago di Costanza. Il surriscaldamento climatico tende in generale a far aumentare l'apporto di materiale in sospensione. Il progressivo scioglimento dei ghiacciai, per esempio, porta alla formazione di morene che vengono facilmente erose dalla pioggia e dal vento liberando grandi quantità di sedimenti fini nei fiumi.

**Importanza ecologica dei sedimenti fini**

I composti organici, vale a dire contenenti carbonio, sono un'importante fonte di energia per gli esseri viventi e quindi un elemento decisivo della rete trofica, sia acquatica che terrestre. Il materiale organico presente nei corsi d'acqua è prodotto direttamente nell'acqua tramite la fotosintesi attuata dalle alghe, dalle piante acquatiche e dai cianobatteri utilizzando la luce solare, oppure è pro-

dotto altrove e poi introdotto dall'esterno, per esempio con il fogliame che cade in acqua lungo le sponde o proviene da monte.

Il ciclo del carbonio, che ha un prezioso ruolo ecologico, è anch'esso collegato alla dinamica dei sedimenti. Il carbonio è infatti trasportato insieme ai sedimenti fini: disciolto in acqua o aderente a superfici minerali o in forma di materiale organico (residui fogliari ecc.). Il suo accumulo e la sua ulteriore trasformazione sul fondo fluviale e sulle superfici golenali dipendono anche dalla granulometria dei sedimenti fini che si depositano (cfr. cap. Interventi dell'uomo nella dinamica dei sedimenti).

I sedimenti fini possono fungere anche da vettori di nutrienti e costituire così un'importante fonte nutritiva per le alghe acquatiche e la vegetazione golenale di cui stimolano la crescita. Inoltre il materiale organico asportato con l'erosione dei sedimenti presenti nelle golene contribuisce a rifornire di cibo gli organismi acquatici (Colditz 1994).

La granulometria dei sedimenti influenza il tipo di golene che si forma (cfr. scheda 5): se lungo le sponde del fiume si depositano principalmente ghiaia e particelle grossolane di sedimento, si sviluppano boschi golenali a legno tenero; se invece prevale il deposito di sedimenti fini, si assiste allo sviluppo di boschi golenali a legno duro. Lo sviluppo dei due tipi di golena dipende sia dalla dimen-

**Fig. 3**

*I depositi di sedimenti fini nella Kander (BE) offrono un habitat alle piante pioniere.*



Foto: Vinzenz Maurer

sione dei granuli che dalla frequenza delle inondazioni (Colditz 1994; Ellenberg 2010).

Grazie ai sedimenti fini e ai nutrienti che contengono, dopo il rientro di una piena, si creano le condizioni ideali per la germinazione dei semi delle specie di alberi che vivono negli ambienti golenali. Rientrano tra queste specie i salici, gli ontani e i pioppi (Delarze et al. 2015). Lo stesso accade alle diverse specie bersaglio oggetto della protezione della natura e delle specie. Molte specie bersaglio<sup>1</sup> si avvantaggiano della formazione di nuovi ambienti ricchi di sostanze nutritive dovuta alla deposizione di sedimenti fini (fig. 3). Per altre invece, come la tamerice alpina (*Myricaria germanica*), l'apporto di sedimenti fini organici rappresenta un ostacolo alla germinazione.

La dinamica dei sedimenti fini ha effetti diretti e indiretti sugli organismi acquatici dell'intera rete trofica (cfr. scheda 1). Molti organismi viventi si sono adattati alla dinamica dei sedimenti modificando la loro morfologia, fisiologia, comportamento o ciclo di vita.

### **Interventi dell'uomo nella dinamica dei sedimenti fini**

Gli interventi dell'uomo perturbano il naturale equilibrio tra immissione e trasporto di sedimenti fini. Le conseguenze sono soprattutto due:

- 1) l'aumento dell'immissione di sedimenti fini può portare alla colmatazione del fondo dell'alveo fluviale pregiudicando così lo scambio tra le acque superficiali e sotterranee e il trasporto di ossigeno negli spazi interstiziali della ghiaia.
- 2) le basse velocità della corrente favoriscono la deposizione dei sedimenti fini mettendo così a rischio la protezione contro le piene.

In Svizzera la topografia favorevole consente uno sfruttamento intensivo dell'energia idroelettrica. Inoltre la densità degli insediamenti, le misure di protezione contro le piene o le rettificazioni dei fiumi a scopo agricolo hanno

<sup>1</sup> La definizione di «specie bersaglio» e di altri termini si trova nel glossario. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

favorito una morfologia fluviale artificiale (cfr. scheda 1). Queste attività dell'uomo hanno effetti diretti e indiretti sulla dinamica dei sedimenti. I principali interventi dell'uomo nella dinamica dei sedimenti fini saranno brevemente descritti nei prossimi paragrafi.

#### Lavori di costruzione

Dai cantieri dislocati nei e lungo i fiumi possono liberarsi sedimenti fini. Questi sono immessi tramite il vento o la pioggia nei corsi d'acqua o mobilizzati in acqua con la risospensione e trasportati altrove.

#### Rettificazioni dei fiumi

I fiumi sono stati rettificati per garantire la protezione contro le piene e recuperare superfici agricole. La correzione dei fiumi riduce la naturale variabilità della larghezza dell'alveo, con la conseguenza che si riducono anche la variabilità della velocità e profondità dell'acqua; ciò determina a sua volta la scomparsa degli ambienti con acqua a corrente lenta o ferma nonché delle zone golenali. Inoltre, nei fiumi rettificati il carico di materiali in sospensione non riesce quasi più a depositarsi, fatta eccezione per quelli caratterizzati da sezioni trasversali strutturate – per esempio a doppio trapezio – dove durante gli eventi di piena si ha una deposizione di sedimenti fini sui margini delle golene.

#### Impianti di accumulazione

In Svizzera, gran parte della corrente elettrica è prodotta dalle centrali idroelettriche. I laghi artificiali aumentano la flessibilità nella produzione di elettricità. Gli impianti di accumulazione dotati di grandi laghi artificiali intercettano quasi completamente i sedimenti creando un deficit a valle. Un bacino di accumulazione agisce come un'opera di ritenuta dei sedimenti e con il tempo tende a interrarsi (cfr. scheda 6). Come contromisura, per recuperare la sua capacità di invaso si effettuano operazioni di spurgo, che però in caso di diluizione insufficiente determinano un'elevata concentrazione di sedimenti fini che finiscono per depositarsi a valle nei settori a corrente lenta (fig. 4).

#### Modifica della copertura del suolo

Modifiche della copertura del suolo, per esempio dovute all'utilizzazione agricola, agli incendi boschivi o alla selvicoltura possono aumentare l'erosione. In questo modo i

**Fig. 4**

*L'Aare nella Haslital (BE) con un carico molto elevato di sedimenti fini in seguito a un'operazione di spurgo del lago artificiale Räterichsbodensee.*



Foto: Markus Zeh

sedimenti fini vengono trascinati via e cambia la dinamica dei sedimenti. Soprattutto alle basse quote, il paesaggio agricolo aperto contribuisce in larga misura all'immissione di sedimenti fini nei ruscelli e nei fiumi.

#### Effetti morfologici

Un'elevata e prolungata immissione di sedimenti fini nei fiumi con fondo ghiaioso e una pendenza compresa fra 0,1% e 1%, accresce la mobilità della ghiaia e pertanto il trasporto solido. Se tale immissione perdura, il sistema interstiziale del fondo ghiaioso con il tempo si riempie causando in caso estremo la colmatazione del fondo dell'alveo. In questo modo diminuisce la scabrezza e si forma un fondo liscio e statico che innalza la velocità dell'acqua in prossimità del fondo dell'alveo. Le piene medie e grandi possono così propagarsi a velocità più elevata e creare delle onde di sedimento.

Una quantità elevata di sedimenti fini introdotti e depositati a seguito di attività antropiche riduce la profondità dell'acqua e favorisce lo sviluppo di una morfologia a dune del fondo dell'alveo. L'aumento della macrosca-brezza del fondo dell'alveo e l'impatto sulla corrente che ne conseguono agiscono a loro volta sulla morfologia fluviale.

Lo spurgo dei laghi artificiali con elevate concentrazioni di sedimenti fini può determinare a valle un elevato interrimento e deposito di sedimenti fini. Gli interrimenti si verificano soprattutto nei settori in cui la velocità dell'acqua è bassa e che sono riparati dalla corrente, per esempio dietro i grandi blocchi in prossimità della sponda.

Un deficit di sedimenti fini può d'altro canto favorire l'erosione e l'instabilità delle sponde.

### **Effetti ecologici**

Una carenza di sedimenti fini può avere numerose conseguenze ecologiche se si considera la grande influenza che hanno sul bilancio dei nutrienti nelle golene e in altri ambienti lungo e nei corsi d'acqua come pure il loro contributo allo sviluppo delle golene a legno duro e di altri habitat (cfr. cap. Importanza ecologica dei sedimenti fini).

D'altro canto un'elevata concentrazione di materiale in sospensione riduce la penetrazione della luce solare nel corso d'acqua («torbidità»); l'attività di fotosintesi si riduce anch'essa o viene limitata ai settori poco profondi delle sponde. Ciò può comportare cambiamenti nell'intera rete trofica, come è stato dimostrato dai nuovi studi condotti con isotopi stabili: quando aumenta la torbidità, cresce la dipendenza delle larve di insetti dall'apporto di nutrienti terrestri. Elevate concentrazioni di materiale in sospensione possono anche raschiare le alghe («effetto di sabbatura»), rendere più difficile la ricerca della preda per i pesci che cacciano a vista o provocare uno spostamento degli habitat dei pesci.

Quantità eccessive di sedimenti fini depositati sullo strato superficiale o nel sottostrato poroso del fondo ghiaioso di un fiume possono intasare il sistema interstiziale (colmatazione) e così ridurre o addirittura bloccare i processi di scambio tra l'acqua fluviale e l'acqua sotterranea. La variabilità termica di un tratto fluviale viene pertanto ridotta, le fluttuazioni termiche nel corso della giornata diventano più ampie perché viene meno l'effetto tampone oppure la temperatura media estiva dell'acqua si innalza. Per le specie legate agli ambienti acquatici freddi, gli aumenti di temperatura rappresentano una fonte di stress che ne altera il comportamento e ne ostacola lo sviluppo.

Gli effetti negativi più studiati sono quelli della colmatazione sulle specie ittiche che si riproducono su fondi ghiaiosi, come le trote, i temoli o i salmoni. In un fondo d'alveo colmatato le uova deposte negli spazi interstiziali ricevono troppo poco ossigeno e l'eliminazione dei prodotti del metabolismo è più complicata. Ciò può portare alla morte delle uova. La colmatazione ha un effetto negativo anche sulle larve degli insetti, che vengono infatti private di importanti microhabitat all'interno del sistema interstiziale del fondo ghiaioso. Tuttavia, le diverse specie non sono interessate nella stessa misura: le specie sensibili si indeboliscono mentre quelle più tolleranti si avvantaggiano di questa situazione. Inoltre i sedimenti fini possono ricoprire le alghe e causare una diminuzione della loro attività fotosintetica o addirittura la loro morte.

Durante il processo di colmatazione il sistema interstiziale ghiaioso si arricchisce di materiale organico. Questa eutrofizzazione del fondo dell'alveo si intensifica quando cresce l'introduzione di materiale organico a seguito di una maggiore erosione del suolo. L'aumento del carico di nutrienti nel sistema interstiziale ghiaioso accelera la decomposizione, che tuttavia è ostacolata dal cattivo trasporto di ossigeno attraverso i pori interstiziali ostruiti da sedimenti fini.

Tramite i sedimenti fini vengono anche trasportate e depositate nelle golene sostanze nocive come i metalli pesanti (Hostache et al. 2014).

### **Misure per influenzare la dinamica dei sedimenti fini**

La dinamica dei sedimenti fini nei corsi d'acqua può essere influenzata adottando diverse misure. Il capitolo che segue ne illustra alcune.

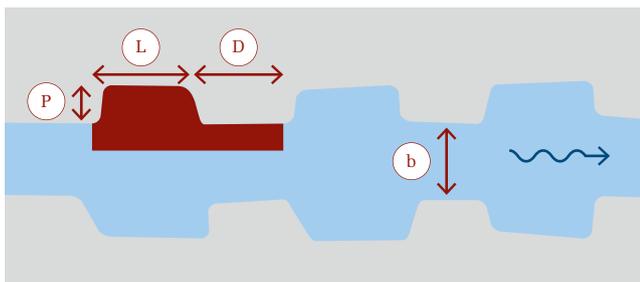
#### **Spurgo dei bacini artificiali combinato con le piene**

Le operazioni di spurgo dei bacini artificiali consistono nell'asportazione per erosione di grandi quantità di sedimenti fini e nel loro rilascio a valle per via idraulica (fig. 4). Con gli spurghi i sedimenti fini transitano negli ambienti golenali, dove si depositano favorendo lo sviluppo di boschi a legno tenero e duro. Quando si attua lo spurgo è importante che la concentrazione dei materiali in so-

Fig. 5

Definizione della geometria delle insenature studiata in laboratorio.

$L$  = lunghezza dell'insenatura,  $P$  = profondità dell'insenatura e  $D$  = distanza dell'insenatura.  $b$  indica la larghezza del canale.



Fonte: LCH-EPFL

sensione resti inferiore ai valori considerati critici per la sopravvivenza delle biocenosi acquatiche locali. Non devono essere rilasciati sedimenti inquinati. Pertanto le operazioni di spurgo richiedono un'attenta pianificazione ed esecuzione. Il momento ideale in cui dovrebbero aver luogo è durante le piene naturali, mentre nei tratti con deflussi residuali si possono eventualmente provocare piene artificiali tramite l'apertura degli scarichi (cfr. scheda 6). Per prevenire la colmatazione del fondo dell'alveo, lo spurgo deve essere concluso durante la riduzione della portata di piena naturale e quindi seguito da un lavaggio con acqua pulita. In combinazione con i riporti di sedimenti a valle dello sbarramento, le operazioni di spurgo possono migliorare la morfologia di un corso d'acqua, in quanto riattivano il trasporto solido (Battisacco et al. 2016; Juez et al. 2016).

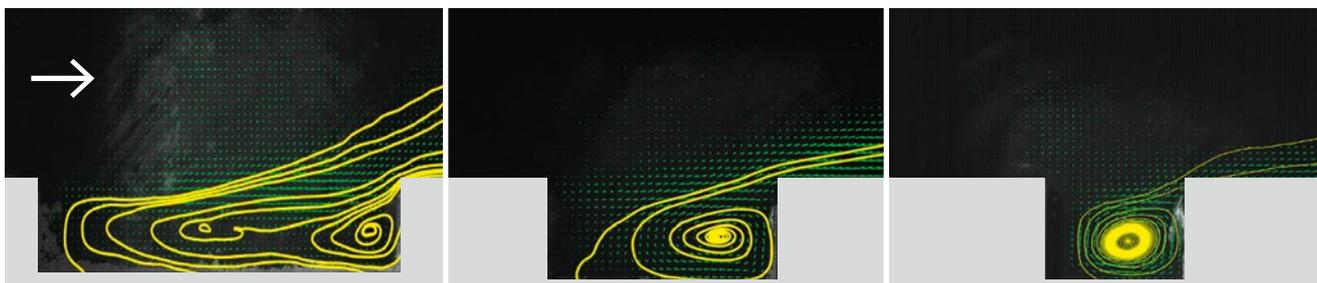
### Allargamenti locali e insenature

Gli allargamenti locali o la scabrezza delle sponde, ottenuta per esempio con la creazione di insenature, possono valorizzare ecologicamente un corso d'acqua poiché aumentano la variabilità delle correnti e degli ambienti (fig. 1). Gli allargamenti locali devono estendersi per lunghi tratti fluviali con una lunghezza pari a un multiplo della larghezza del fiume. Le insenature, al contrario, per tratti brevi con una lunghezza che corrisponde all'incirca da una a tre volte la larghezza del fiume. Entrambe le strategie portano localmente a un abbassamento della velocità dell'acqua favorendo così la deposizione di sedimenti fini nei tratti fluviali allargati o nelle insenature. In Svizzera, allo stato attuale, mancano esperienze pratiche relative alla disposizione sistematica delle insenature (fatta eccezione per i campi di pennelli), mentre sono già stati attuati numerosi allargamenti locali. Nelle situazioni in cui manca lo spazio per gli allargamenti locali, una soluzione alternativa sono le insenature, che servono tra l'altro anche come rifugio per i pesci nei tratti con deflussi discontinui (Ribi et al. 2015).

La creazione artificiale di più insenature (fig. 5) determina una macroscabrezza delle sponde che favorisce la deposizione dei sedimenti fini. La geometria delle insenature influenza la velocità di deposizione dei sedimenti fini e la velocità con cui sono trascinati via durante le piene. Nel progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat», le diverse geometrie delle insenature sono state studiate mediante esperimenti di laboratorio. Sono stati inoltre utilizzati tre diversi deflussi in modo da rappresen-

Fig. 6

Comportamento del flusso nelle insenature (visione dall'alto). Da sinistra a destra: rapporto di forma ( $RF$ ) = 0,2; 0,4 e 0,8. Il valore del rapporto di espansione ( $RE$ ) è stato mantenuto costante a 0,8. Le frecce verdi corrispondono alla grandezza dei vettori di velocità e le linee gialle alle linee di flusso.



Fonte: LCH-EPFL

Tab. 2

Geometrie di insenature laterali e deflussi studiati negli esperimenti di laboratorio.

Parametro	Unità	Settore analizzato
Rapporto di forma $RF = P/L$	[-]	0,2–0,8
Rapporto di espansione $RE = P/D$	[-]	0,4–1,2
Profondità relativa di deflusso $= h/b$	[-]	0,06–0,12
Concentrazione di sedimenti fini	[g/l]	0,5–1,5

Fonte: LCH-EPFL

tare il più ampio spettro di fiumi possibile. Il prossimo capitolo illustra i risultati degli esperimenti di laboratorio.

## Esperimenti di laboratorio con le insenature

### Scopo

Con gli esperimenti condotti su un canale di laboratorio è stato studiato l'impatto delle insenature sul trasporto e il deposito di sedimenti fini. In particolare è stato analizzato come la geometria delle insenature influenzi la quantità di sedimenti fini che si deposita. È stato possibile determinare in che modo le sponde molto scabre possono modificare il trasporto dei sedimenti fini. Se l'obiettivo è l'intercettazione dei sedimenti fini, si sceglie la geometria delle insenature che più favorisce la deposizione dei sedimenti. La funzione di ritenzione dei sedimenti è tuttavia limitata nel tempo se per azione delle piene maggiori le insenature vengono liberate dai depositi che si sono formati.

### Geometrie e deflussi analizzati

Per gli esperimenti di laboratorio la geometria delle insenature è stata definita mediante tre grandezze (fig. 5): lunghezza dell'insenatura ( $L$ ), profondità dell'insenatura ( $P$ ) e distanza dell'insenatura ( $D$ ). Queste tre grandezze consentono di calcolare il rapporto di forma ( $RF = P/L$ ) nonché il rapporto di espansione ( $RE = P/D$ ). I rapporti di forma ed espansione analizzati negli esperimenti di laboratorio sono riportati nella tabella 2.

Oltre alle diverse geometrie, negli esperimenti di laboratorio sono stati impiegati tre diversi deflussi (basso, me-

dio, elevato). La profondità relativa di deflusso è stata definita mediante il rapporto tra la profondità  $h$  di deflusso e la larghezza  $b$  dell'alveo ( $h/b = 0,06; 0,09; 0,12$ ). Negli esperimenti è stata scelta una concentrazione dei sedimenti tale da non provocare alcuna deposizione nel canale senza insenature.

A seconda della portata e della geometria dell'alveo, nelle insenature si ottiene un aumento o una diminuzione della corrente rotazionale su ampia scala. Le celle di turbolenza su ampia scala, come i vortici, mantengono in sospensione i sedimenti fini in misura più o meno intensa.

### Risultati

Dagli esperimenti di laboratorio sono state tratte le seguenti conclusioni (fig. 6):

- i rapporti di espansione elevati ( $RE > 0,8$ ) determinano, in linea di massima e indipendentemente dal deflusso, una maggiore ritenzione di sedimenti fini;
- i rapporti di forma elevati ( $RF > 0,6$ ) determinano in presenza di deflussi di magra una maggiore ritenzione di sedimenti fini. Viceversa, se i deflussi sono elevati (per es.  $h/b > 0,07$ ) si verificano un aumento della turbolenza e una riduzione della ritenzione di sedimenti. Ciò vuol dire che i sedimenti depositati durante il deflusso di magra vengono di nuovo mobilizzati durante la piena;
- un rapporto di espansione elevato ( $RE > 0,8$ ) combinato con un rapporto di forma elevato ( $RF > 0,6$ ) determina un marcato deposito di sedimenti fini nelle insenature;
- i rapporti di forma bassi ( $RF < 0,3$ ) determinano la formazione di depositi agli angoli delle insenature. La restante parte del canale rimane libera oppure vi si deposita soltanto sabbia grossolana e ghiaia;
- i rapporti di forma elevati ( $RF > 0,6$ ) favoriscono il deposito di sedimenti nella parte centrale delle insenature. Gli altri settori sono privi di sedimenti fini.

### Conclusioni

Per l'applicazione pratica, dai risultati si possono ricavare tre informazioni operative:

- nei corsi d'acqua con una profondità relativa di deflusso bassa ( $h/b < 0,07$ ), le insenature con valori bassi o medi dei rapporti di forma e di espansione possono agevo-

- lare il deposito di sedimenti fini. La cosa importante è favorire nelle insenature la presenza di zone sia con velocità di deflusso elevate che basse. Ciò determina la deposizione di granuli di diverse dimensioni e questo a sua volta comporta l'aumento della varietà di habitat;
- nei fiumi con profondità relativa di deflusso elevata ( $h/b > 0,10$ ), le insenature con valori elevati dei rapporti di forma e di espansione ( $RF > 0,6$  e  $RE > 0,8$ ) creano un sufficiente grado di turbolenza che consente di prevenire un rapido interrimento delle insenature o favorisce l'asportazione dei depositi durante i deflussi di piena;
  - in linea generale, un elevato rapporto di espansione ( $RE > 0,6$ ) produce un rapido interrimento delle insenature in presenza di profondità relative di deflusso medie, i cui depositi possono però essere di nuovo mobilizzati durante i deflussi di piena ( $h/b > 0,10$ ).

## Bibliografia

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

# 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 coinvolti:** Eawag: Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Juez, C. Franca, M.J., Fink, S., Scheidegger, Ch., Siviglia, A., Stähly, S., Trautwein, C., Weber, Ch., Schleiss, A., 2017: Importanza della dinamica dei sedimenti e fattori che la influenzano. In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 3.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

01.17 1500 86039243

## 4 Opere di ritenuta selettiva dei sedimenti

*Le opere di ritenuta nei torrenti trattengono i sedimenti al fine di ridurre i danni delle piene alle zone abitate e alle infrastrutture. Quelle classiche li trattengono già durante le piene modeste, anche se il loro trasporto in questo caso non provocherebbe danni. In tal modo si crea un deficit di sedimenti nei tratti a valle dei corsi d'acqua. La scheda 4 spiega come migliorare la continuità del trasporto di sedimenti mediante la realizzazione di opere di ritenuta selettiva dei sedimenti.*

**S. Schwindt, M. J. Franca, S. Fink, Ch. Scheidegger, A. Schleiss**

I torrenti hanno un'elevata capacità di trasporto solido perché sono caratterizzati da forti pendenze e si contraddistinguono per i loro bacini imbriferi ricchi di sedimenti. Durante le piene, i torrenti possono trasportare grandi quantità di materiale solido modificando così la morfologia del tratto a valle del corso d'acqua. La morfologia dell'alveo e il trasporto solido influenzano lo sviluppo degli ambienti acquatici con la loro flora e fauna (cfr. scheda 1). Nella maggior parte dei casi, le opere di ritenuta realizzate per proteggere i centri abitati e le infrastrutture trattengono quasi tutto il materiale solido interrompendo così la continuità del suo trasporto. Al

contempo interrompono la connettività longitudinale degli ambienti lungo i corsi d'acqua (cfr. scheda 5). Le opere di ritenuta sono costituite da una camera di ritenuta e da una briglia aperta per lo scolo (fig. 2).

Nel bacino imbrifero di un torrente (cfr. scheda Dinamica dei sedimenti e degli habitat nei corsi d'acqua: fig. 1, tab. 1; sezione in dettaglio: cfr. fig. 1) le diverse opere di protezione influenzano il passaggio dei sedimenti. Nella parte superiore del bacino imbrifero, come pure nei tratti scoscesi spesso presenti, vengono costruite briglie di consolidamento per ridurre l'erosione dell'alveo e per stabilizzare le sponde. Nella parte inferiore del bacino imbrifero, sulla conoide di deiezione formata dai detriti depositati dal torrente si trovano spesso centri abitati e infrastrutture.

Su una conoide con una pendenza minore, il corso d'acqua è nella maggior parte dei casi completamente canalizzato, con un alveo rinforzato per aumentare la capacità di trasporto solido. Durante gli eventi di piena estremi, non è però da escludere la formazione di pericolosi depositi di detriti, in particolare lungo i restringimenti del corso d'acqua o in prossimità di ponti, che possono provocare

**Fig. 1**

*Rappresentazione di un'opera di ritenuta dei sedimenti per proteggere una galleria (a sinistra). Opera di ritenuta dei sedimenti presso un'affluente della Reuss a Gurtellen (UR, a destra).*



considerevoli danni ai centri abitati. Questo è stato ad esempio dimostrato dagli eventi di piena del 2000 verificatisi nei Comuni di Briga (VS) e di Naters (VS; UFAEG 2002). Per prevenire i danni si ricorre pertanto alla realizzazione di opere di ritenuta a monte degli agglomerati urbani e delle infrastrutture.

### Opere di protezione nei torrenti

I processi che caratterizzano il trasporto del materiale solido di fondo e in sospensione e del materiale legnoso galleggiante sono diversi tra loro, motivo per cui anche le opere di protezione impiegate sono differenti. Le opere di ritenuta classiche sono concepite per trattenere il materiale solido fluviale in presenza di piene con una percentuale di materiale solido esigua rispetto alla portata totale (acqua e materiale solido). Eventi di piena caratterizzati da una percentuale di materiale solido trasportato superiore al venti per cento rispetto alla portata totale sono definiti colate detritiche. Una protezione dalle colate detritiche è offerta dalle briglie frangicolata. Tuttavia, anche le opere di ritenuta possono essere progettate per trattenere il materiale solido trasportato con le colate detritiche. In questi casi, la briglia che chiude la camera di ritenuta deve avere caratteristiche specifiche, in particolare per quanto riguarda la grandezza delle aperture.

Le opere di ritenuta classiche hanno una camera di ritenuta a monte della briglia, come si può vedere nell'esempio della figura 2 (Riddes, VS). La briglia è caratterizzata da una o più aperture. In caso di piena si ottura automaticamente per motivi meccanici o idraulici, con conseguente accumulo di detriti nella camera di ritenuta. L'ostruzione idraulica interviene quando il deflusso del torrente supera la capacità di deflusso delle aperture della briglia, quella meccanica quando l'ingombro del materiale di fondo e/o detriti legnosi galleggianti intasano le aperture (Piton e Recking 2016a). Per garantire la stabilità di un'opera di ritenuta sono necessari altri elementi edili (per es. protezione contro l'affossamento ai piedi della briglia), nonché una rampa di accesso per la manutenzione. Per la descrizione dei processi torrentizi fondamentali nonché della struttura edile delle opere di ritenuta e delle briglie torrentizie si rimanda alla letteratura specialistica (per es. Bergmeister et al. 2009).

Nelle opere di ritenuta classiche spesso l'apertura della briglia non è dimensionata in modo corretto. Le aperture troppo strette o basse provocano una trattenuta di materiale già in caso di eventi di piena modesti favorendo un precoce deposito di sedimenti nella camera di ritenuta. Le aperture troppo strette bloccano inoltre il passaggio a numerose specie di pesci. Una volta che l'accumulo di sedimenti diventa permanente, aumenta la velocità di deflusso attraverso le aperture della briglia. In tal modo, i pesci cattivi nuotatori non riescono più a risalire lo sbarramento, in particolare quando il fondo dell'alveo è liscio. Se le aperture sono troppo grandi, vi è il rischio che durante un evento di piena la camera di ritenuta si svuoti spontaneamente dei sedimenti (processo di autopulizia).

Se le aperture non sono state correttamente dimensionate e strutturate, in una situazione di piena di dimensionamento<sup>1</sup>, si aggiunge anche il rischio che, per i motivi sopra menzionati, la capacità della camera di ritenuta sia ridotta, in quanto già occupata dai sedimenti che si sono depositati durante le precedenti portate di piccola entità. Pertanto, per lo svuotamento periodico della camera di ritenuta occorre spesso adottare misure di manutenzione dispendiose. Inoltre, venendo a mancare nel corso inferiore i sedimenti trattenuti a monte, occorre adottare anche misure di consolidamento del fondo dell'alveo e delle sponde. Un deficit di sedimenti rilasciati dai torrenti compromette l'intero sistema fluviale e gli habitat annessi (cfr. scheda 1). La figura 3 mostra una camera di ritenuta nella Tinière presso Villeneuve (VD) con una griglia, in cui la ridotta distanza tra le barre determina la trattenuta permanente di sedimenti.

### Opere di ritenuta selettiva dei sedimenti

Se le opere di ritenuta interrompono il trasporto di sedimenti già durante le piene modeste che formano banchi di ghiaia ( $< HQ_{10}$ ), lo stato ecologico fluviale a valle di tali opere può essere compromesso. Per conservare il passaggio dei sedimenti e la connettività ecologica (cfr. scheda 5), da un punto di vista idromorfologico le opere di ritenuta non dovrebbero trattenere sedimenti fino a

<sup>1</sup> La definizione del termine «piena di dimensionamento», e di altri termini, si trova nel glossario. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

Fig. 2

Esempio di un'opera di ritenuta dei sedimenti presso il torrente La Fare a Riddes (VS) con camera di ritenuta e opera di sbarramento con apertura per lo scolo.



Foto: Sebastian Schwindt

quando il deflusso totale di un torrente può scorrere a valle senza rischi.

Gli eventi di piena modesti sono importanti per la sopravvivenza delle specie di fauna e flora pioniere che vivono sui banchi di ghiaia. Per esempio la tamerice alpina (*Myricaria germanica*) per potersi imporre rispetto ad altre specie concorrenti più forti, e colonizzare a lungo termine i banchi ghiaiosi, ha bisogno di piene con portate com-

Fig. 3

Esempio di una camera di ritenuta chiusa da una griglia a barre che determina una trattenuta eccessiva di materiale solido (La Tinière presso Villeneuve, VD).



Foto: Sebastian Schwindt

prese tra HQ<sub>7</sub> a HQ<sub>10</sub>. Molte specie vegetali si sono adattate agli eventi di piena modesti, per esempio sviluppando radici per fissarsi saldamente al sottosuolo (per es. *M. germanica*). Altre invece, come le specie di salice, sono provviste di tronchi e rami pieghevoli che le proteggono dai danni che può provocare lo spostamento di sedimenti.

Inoltre, dal punto di vista ecologico, è auspicabile che durante gli eventi di piena modesti non vengano trattenuti materiali solidi nella camera di ritenuta, per evitare l'immobilizzazione dei sedimenti fini e dei preziosi nutrienti ivi presenti (cfr. scheda 3). Un'opera di ritenuta dovrebbe pertanto svolgere la sua funzione di trattenuta soltanto durante gli eventi di piena maggiori che mettono in pericolo le aree abitate e le infrastrutture a valle. A tal fine, l'apertura della briglia per lo scolo della camera di ritenuta deve essere progettata in maniera tale che si intasi di materiale solido soltanto quando la portata di piena non è più in grado di trasportare i sedimenti verso il tratto inferiore del corso principale. Nel presente testo, la portata alla quale il materiale solido deve iniziare a depositarsi nella camera di ritenuta è definita portata solida massima.

### Progettazione e ubicazione

Le camere di ritenuta con una superficie a forma di pera sono le più indicate per trattenere i sedimenti. Il rapporto

Fig. 4

Esempio di apporto puntuale di materiale solido di fondo tramite colata detritica con ghiaia, molto più fine rispetto ai blocchi del letto del torrente (Ruisseau des Vaunaises, presso Caux, VD).

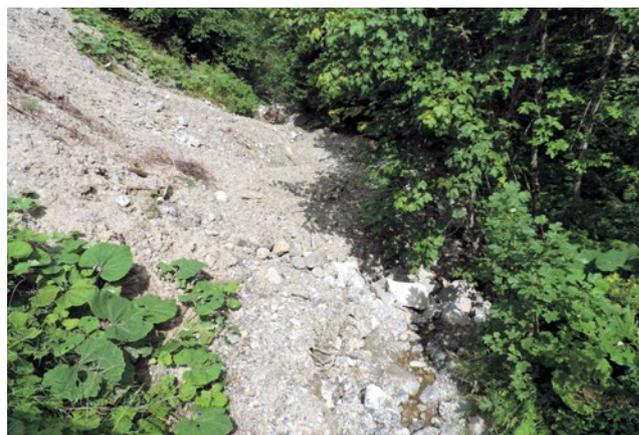
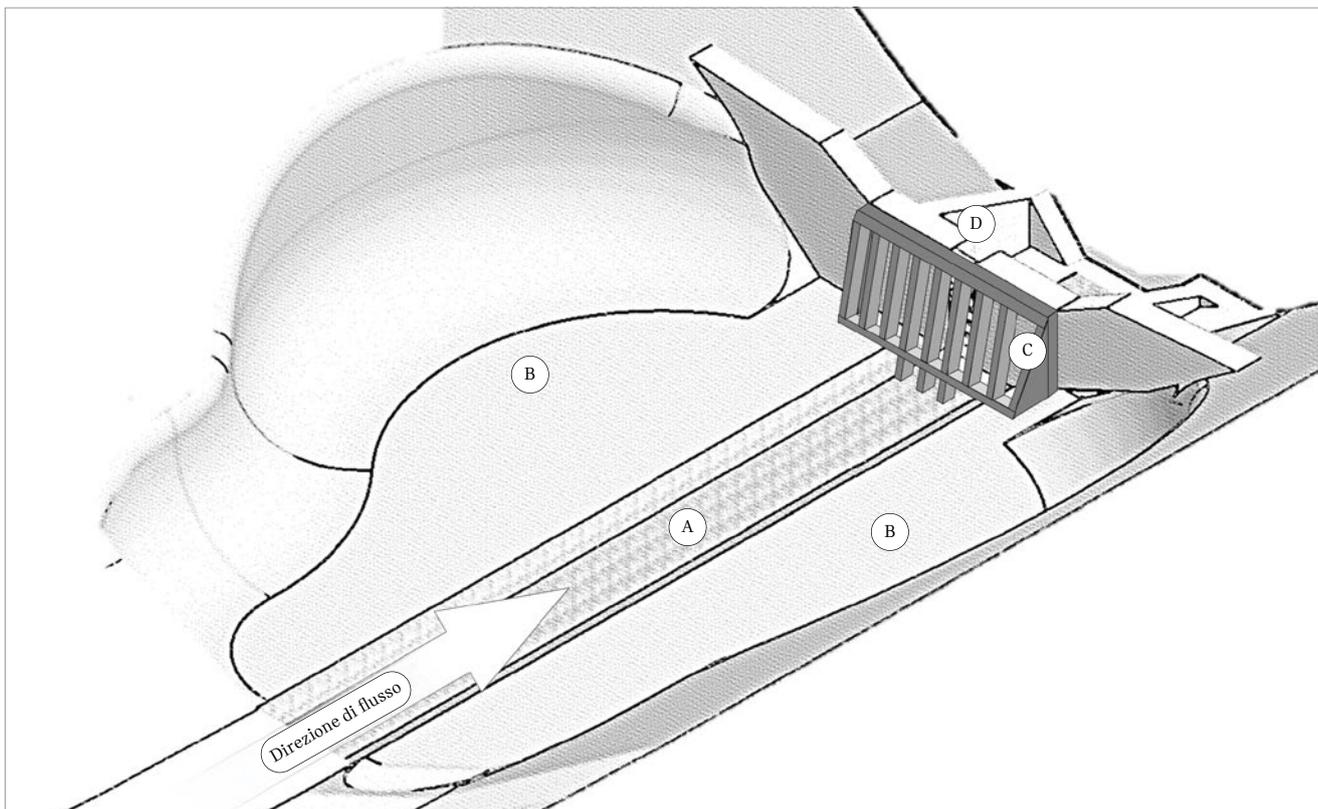


Foto: Sebastian Schwindt

Fig. 5

Rappresentazione schematica di un'opera di ritenuta dei sedimenti con canaletta (A), camera di ritenuta (B) nonché opera di sbarramento con doppia apertura per un controllo meccanico (C) e idraulico (D) della trattenuta di materiale solido. Fonte: Illustrazione secondo Zollinger 1983



Fonte: Illustrazione secondo Zollinger 1983

tra la lunghezza e la larghezza massima deve essere di 1,5 : 1 (Zollinger 1983).

Le briglie di consolidamento modificano la pendenza dell'alveo e riducono in tal modo il trasporto solido, che tra l'altro può anche essere influenzato dalla presenza in alveo di singoli grandi blocchi di frana (i cosiddetti blocchi residuali). Ciò rende molto incerta la stima del trasporto di sedimenti, che tuttavia resta fondamentale per progettare la struttura di un'opera di ritenuta. La capacità di trasporto solido durante le piene è spesso sottovalutata quando si assume come riferimento la composizione granulometrica del materiale di fondo visibile. In caso di piena, in effetti, grandi accumuli di materiale nel bacino imbrifero possono essere di nuovo mobilizzati e/o essere trascinati con le colate detritiche ai lati del corso d'acqua. Sono trasportati su un fondo selciato naturale come

materiale di fondo mobilizzabile («travelling bed load») (fig. 4).

È pertanto consigliabile calcolare il trasporto solido delle piene assumendo come riferimento granulometrico la granulometria del materiale di fondo mobilizzabile più fine. In tal modo si ottengono tassi di trasporto più elevati. La granulometria del materiale di fondo mobilizzabile può essere determinata analizzando i banchi di deposito presso le sponde o i depositi presso le briglie esistenti (Piton 2016).

La sistemazione a gradinata con più briglie chiuse (briglie di consolidamento) ritarda e riduce i picchi di trasporto solido, come hanno mostrato Piton e Recking (2016b).

La progettazione delle aperture delle briglie delle camere di ritenuta è stata analizzata in diversi studi, per esempio

valutando l'altezza di deposito davanti alle briglie a fessura con aperture verticali strette (per es. Armanini e Larcher 2001, 2006). Aspetti rilevanti per la pratica sono:

- l'importanza e le possibilità offerte dal controllo della modalità dei deflussi nella camera di ritenuta al di sopra dell'opera di sbarramento,
- la capacità di deflusso dell'apertura della briglia,
- la riduzione della capacità di trasporto solido con il riempimento dell'apertura, nonché
- la prevenzione dello svuotamento spontaneo delle camere di ritenuta dai sedimenti per azione della corrente (autopulizia).

Al primo posto abbiamo la trattenuta sicura dei sedimenti a partire dal raggiungimento della portata solida massima, basata su una combinazione tra ostruzione idraulica e meccanica delle aperture. La deposizione di sedimenti in una camera di ritenuta gestita con un'ostruzione esclusivamente idraulica o esclusivamente meccanica nasconde dei rischi, in quanto il momento in cui essa interviene presenta grandi incertezze. La combinazione dei due principi di ostruzione risulta meglio controllabile ed è stata applicata con successo nella Drance presso Martigny (Schwindt et al. 2016).

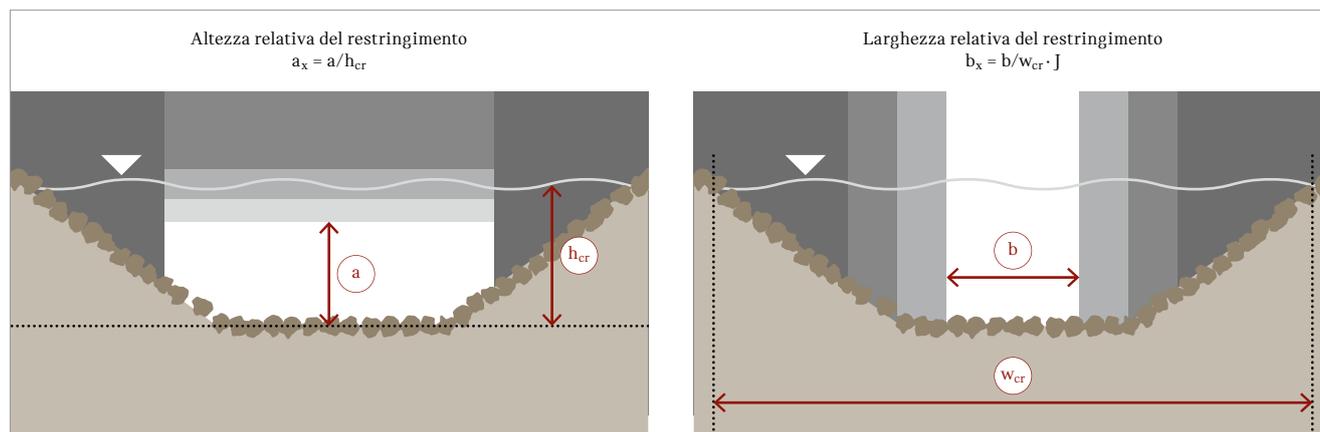
Per un'ostruzione meccanica dell'apertura, che interviene in primo luogo attraverso il materiale di fondo gros-

solano e il materiale legnoso galleggiante, il criterio principale è dato dalla larghezza e dall'altezza relative dell'apertura. In questo caso, l'altezza e la larghezza non devono superare 1,5 volte il diametro dell'oggetto di dimensionamento (Piton e Recking 2016a). La grandezza dell'oggetto di dimensionamento è definita tramite il diametro caratteristico  $d_{90}$  del sedimento mobilizzabile o tramite il diametro del legno galleggiante. Tuttavia, considerato che questi diametri dipendono dal tipo di eventi, la loro determinazione è problematica. Per fare un esempio, il diametro  $d_{90}$  del materiale solido dipende dall'erosione dei depositi e anche la presenza di legno galleggiante può variare molto. In linea di massima, le quantità di legno galleggiante sono scarse durante gli eventi di piena modesti ( $< HQ_{10}$ ) e un'ostruzione meccanica è piuttosto improbabile fino al raggiungimento della portata solida massima. È tuttavia raccomandabile adottare misure supplementari per bloccare il legno galleggiante a monte della camera di ritenuta.

Numerosi studi dimostrano che l'ostruzione meccanica interviene in modo sicuro quando l'altezza dell'apertura è minore o uguale al diametro  $d_{90}$  del materiale di fondo o la sua larghezza è minore o uguale a  $1,5 \cdot d_{90}$ . Gli effetti dell'ostruzione idraulica sul trasporto solido sono stati studiati sperimentalmente e saranno illustrati nel presente capitolo.

Fig. 6

Aperture analizzate sperimentalmente con restringimenti verticali (a sinistra) e laterali (a destra). Sono rappresentate le seguenti grandezze: altezza dell'apertura  $a$ , profondità di deflusso  $h_{cr}$ , larghezza dell'apertura  $b$ , larghezza media del deflusso critico  $w_{cr}$ . Per il calcolo della larghezza relativa del restringimento  $b_x$ , è importante la pendenza longitudinale della canaletta  $J$ .



### Concetto più ampio per la struttura delle opere di ritenuta

Le aperture delle briglie dovrebbero essere strutturate in maniera tale da non ostruirsi né idraulicamente né meccanicamente fino al raggiungimento della portata solida massima. A tal fine è necessario il controllo della modalità dei deflussi nell'opera di ritenuta, che può essere ottenuto con l'inserimento di un canale scabro nella camera di ritenuta. Nel canale, la portata al colmo deve corrispondere alla portata solida massima. La figura 5 mostra un'opera di ritenuta concepita in maniera classica integrata da un canale di questo genere.

Da un'analisi condotta su circa 60 torrenti delle Alpi svizzere è risultato che la sezione trasversale naturale di un torrente può essere approssimata a un canale di forma trapezoidale con un'inclinazione spondale compresa tra 20° e 35°. La scabrezza del canale viene stabilita utilizzando il diametro granulometrico determinante dello strato di copertura (in genere quello di  $d_{90}$  del fondo dell'alveo del corso superiore). Per garantire la stabilità del canale, sul fondo devono essere disposti dei blocchi grossolani. La loro granulometria deve corrispondere all'incirca a quella del materiale di fondo che può ancora essere mobilizzato da una portata di picco della piena di dimensionamento. In prossimità della briglia, i blocchi nel canale devono essere rivestiti con magrone di calcestrutto in maniera che la camera di ritenuta possa essere svuotata dopo gli eventi di piena maggiori senza danneggiare il canale. A partire dalla portata solida massima, la camera di ritenuta a monte dell'apertura viene progressivamente riempita e, di conseguenza, si riduce la capacità di trasporto nel canale.

### Ostruzione idraulica

Nelle modellizzazioni è stata studiata sistematicamente l'influenza delle dimensioni delle aperture sul deflusso e sul trasporto solido (Schwindt et al. 2017). Sono state testate aperture in forma di restringimenti verticali e laterali del canale. Un restringimento verticale del canale (fig. 6a) determina un deposito e un deflusso in pressione nell'apertura. I restringimenti laterali (fig. 6b) limitano il deflusso dalle sponde e provocano nell'apertura un deflusso a pelo libero critico. A causa del deposito, a monte dell'opera di sbarramento il deflusso da torrentizio diventa lento. In tal modo l'apertura della briglia funge da

sezione di controllo (deflusso a pelo libero con profondità di deflusso critica).

Per un'utilizzabilità generale dei risultati delle sperimentazioni, l'altezza e la larghezza dell'apertura sono normalizzate mediante l'altezza e la larghezza di deflusso del deflusso critico (senza opera di sbarramento) (fig. 7). Inoltre l'altezza relativa del restringimento ( $a_x$ ) è definita mediante il quoziente tra l'altezza dell'apertura ( $a$ ) e la profondità di deflusso ( $h_{cr}$ ) del deflusso critico nel canale. La larghezza relativa del restringimento ( $b_x$ ), condizionata dalla pendenza dell'alveo, corrisponde al quoziente tra la larghezza dell'apertura ( $b$ ) e la larghezza media del deflusso critico ( $w_{cr}$ ), moltiplicato per la pendenza longitudinale del canale ( $J$ ). Le modellazioni mostrano che le pendenze longitudinali sono da considerare soltanto per i restringimenti laterali (Schwindt 2017).

La capacità di deflusso  $Q_c$  dell'apertura in  $m^3/s$  per una sezione rettangolare dell'alveo con restringimento laterale può essere calcolata con l'equazione sottostante (1) (Bergmeister et al. 2009), dove  $\mu$  è un coefficiente di deflusso,  $g$  la costante di gravità ( $9,81 m/s^2$ ) e  $H_0$  l'altezza dinamica immediatamente a monte dell'apertura. In caso di scarso intasamento, per il coefficiente di deflusso  $\mu$  può essere assunto un valore compreso tra 0,65 e 0,75. Per le aperture a forma di trapezio deve essere utilizzata la larghezza media del trapezio (Schwindt 2017, Schwindt et al. 2017).

$$Q_c = \mu b \frac{2}{3} \sqrt{2g} [H_0^{3/2} - (H_0 - a)^{3/2}] \quad (1)$$

Un importante parametro è la capacità di trasporto solido, che corrisponde al massimo trasporto solido che non provoca accumuli di sedimenti nel canale.

La capacità di trasporto solido  $Q_b$  è ridotta dai restringimenti verticali e laterali. La diminuzione è stata stabilita confrontando le misurazioni della capacità di trasporto solido nel canale in presenza e in assenza di restringimenti. La capacità di trasporto solido del canale senza restringimenti corrisponde all'incirca alla quantità calcolata con la formula VAW (Smart e Jaeggi 1983). Per deflussi superiori, a causa della posa in opera del canale, la capacità di trasporto solido può essere maggiore rispetto a quella calcolata con la formula VAW.

La diminuzione della capacità di trasporto solido dovuta al restringimento può essere determinata dalla normalizzazione con la capacità di trasporto solido del deflusso normale nel canale. La capacità relativa del trasporto solido risultante  $\vartheta$  (2) corrisponde alla diminuzione percentuale della capacità di trasporto solido del canale,

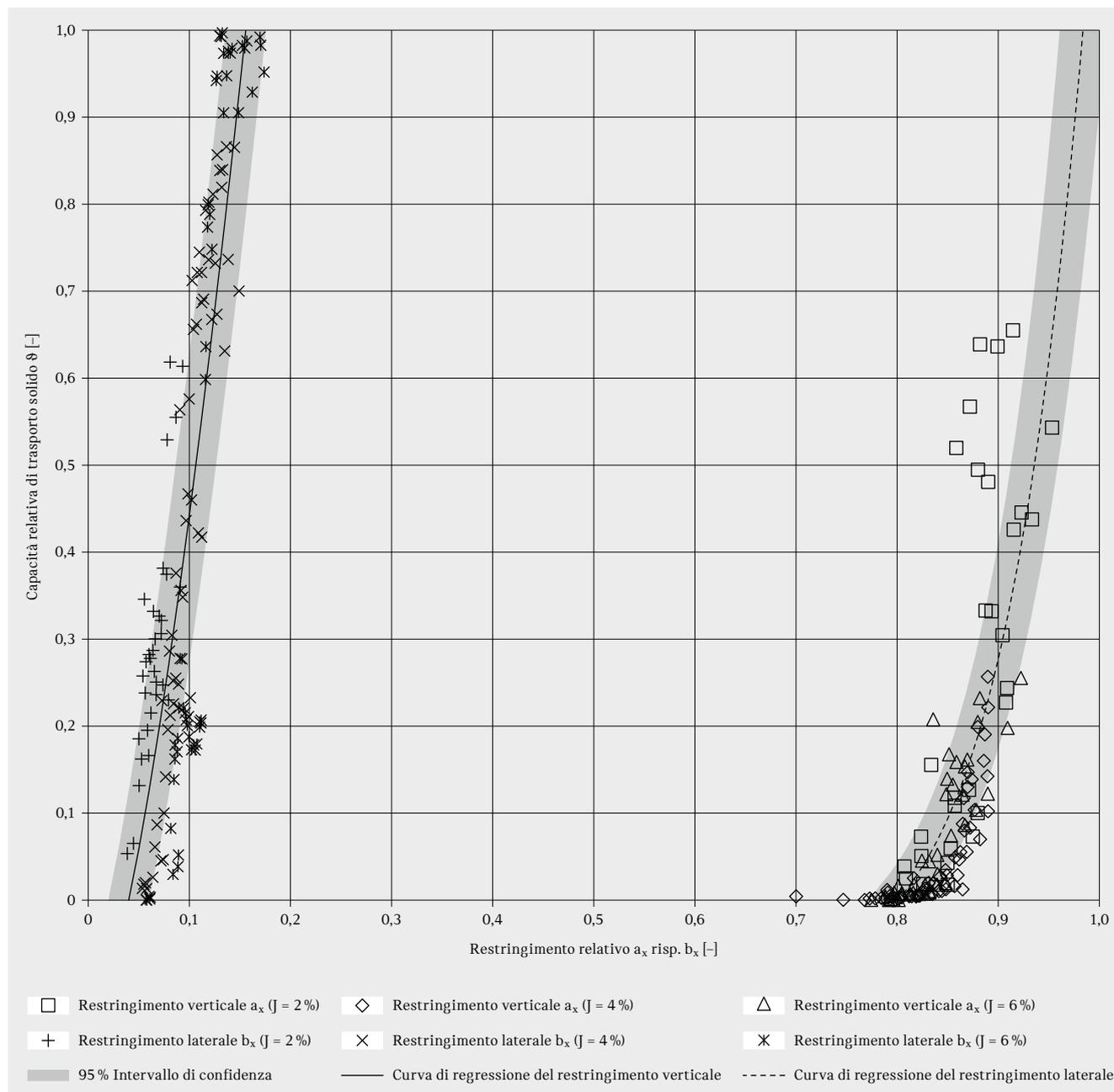
che dipende dai restringimenti verticali o laterali:

$$\vartheta = \frac{Q_{b, \text{restringimento}}}{Q_{b, \text{canaletta}}} \quad (2)$$

Con  $\vartheta = 1$  la capacità di trasporto solido non viene ridotta dal restringimento. Più stretto diventa il restringimento

Fig. 7

Capacità relativa di trasporto solido  $\vartheta = Q_{b, \text{restringimento}} / Q_{b, \text{canaletta}}$  in funzione dell'altezza e della larghezza relativa del restringimento  $a_x$ , con curve di regressione qualitative e un intervallo di confidenza del 68 %.



più si riduce la capacità di trasporto solido e  $\vartheta$  si avvicina allo zero. La figura 5 mostra questo rapporto per il canale con diverse pendenze longitudinali (2%, 3,5% e 5,5%) in relazione all'altezza relativa del restringimento  $a_x$  e la larghezza relativa del restringimento  $b_x$  determinata dalla pendenza (per le definizioni geometriche cfr. fig. 6).

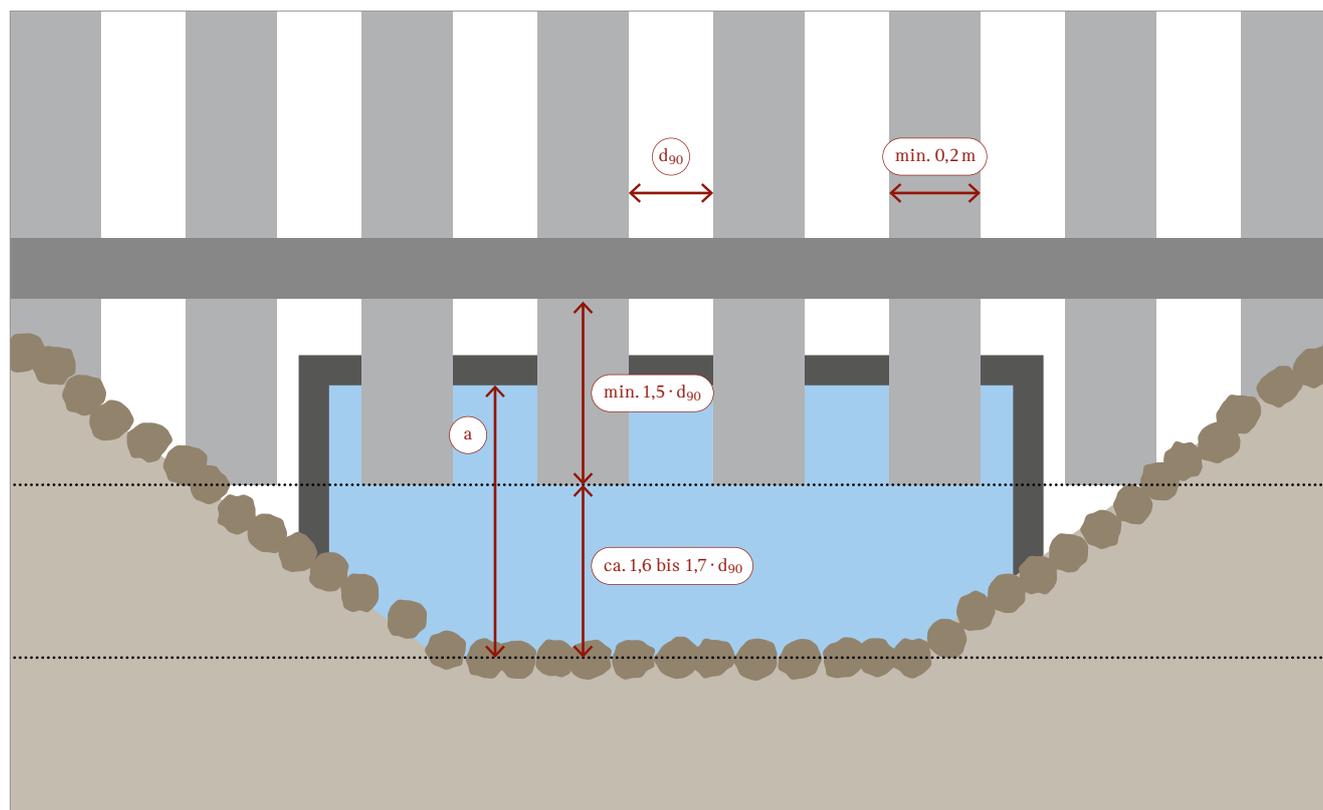
La figura 7 mostra che un restringimento verticale influenza sul trasporto solido a partire da un'altezza relativa del restringimento di circa  $a_x = 0,98$ . La capacità di trasporto solido reagisce significativamente agli ulteriori restringimenti verticali e per valori di circa  $a_x = 0,75$  si approssima allo zero. Per poter adeguare l'altezza critica dell'apertura anche dopo la realizzazione dell'opera, è consigliabile nella pratica realizzare un'apertura modulabile, per esempio con un sistema mobile di travi (ciò non corrisponde all'installazione di uno sbarramento regolabile). Gli elementi mobili, a differenza degli sbarramenti mobili, possono essere adattati soltanto in caso di portate ridotte e non sono regolabili durante le piene.

A partire da una larghezza relativa del restringimento di circa  $b_x = 0,18$  la capacità di trasporto solido è ridotta dai restringimenti laterali. Con una larghezza relativa del restringimento di circa  $b_x = 0,03$  si esaurisce la capacità di trasporto solido. Questo valore corrisponde circa al 30 per cento della larghezza della portata solida massima nel canale. Fondamentalmente l'apertura del passaggio non dovrebbe comportare un restringimento laterale del canale principale, visto che la capacità di trasporto solido, secondo la figura 7, reagisce molto sensibilmente già con dei piccolissimi restringimenti.

Un importante criterio per la progettazione dell'apertura è la massima profondità di deposito possibile, determinata dall'altezza dell'opera di sbarramento. In linea di massima, con gli sbarramenti più alti aumentano sia il volume di raccolta sia l'affidabilità della trattenuta di sedimenti prodotta dall'ostruzione idraulica.

**Fig. 8**

*Profilo trasversale con misure della griglia per l'ostruzione meccanica. Sullo sfondo è raffigurata l'apertura per l'ostruzione idraulica.*



Il calcolo dell'altezza di deposito per un'opera di sbarramento con aperture multiple è complesso ed è stato poco studiato. Pertanto è sconsigliato predisporre più aperture.

#### **Funzionamento di un'opera di ritenuta ampliata**

Nella figura 5 è raffigurata un'opera di ritenuta che mostra l'attuazione pratica di un sistema di trattenuta combinato. Si tratta di un sistema costituito da una briglia con apertura presidiata da una griglia a barre per la trattenuta selettiva meccanica, seguita da un'altra briglia con un'apertura libera per la trattenuta selettiva idraulica. La distanza tra le barre verticali deve corrispondere a un diametro granulometrico di  $d_{90}$ . Le barre devono scendere nel canale soltanto fino ad un livello in cui l'azione idraulica esercitata sul trasporto solido è assente o è lieve fino al raggiungimento della portata solida massima (fig. 8). La griglia ha un'inclinazione di 2:1, in maniera tale che in caso di innalzamento del livello dell'acqua, il legno galleggiante possa essere trasportato oltre l'opera di sbarramento. L'altezza libera sotto la griglia deve essere pari verticalmente a circa  $1,6 - 1,7 \cdot d_{90}$  in maniera tale che la parte inferiore della griglia sia già immersa prima del raggiungimento della portata solida massima e i sedimenti a granulometria grossolana possano incagliarsi.

L'altezza e la larghezza dell'apertura idraulica devono essere configurate secondo la figura 5 in maniera tale che il trasporto solido, al raggiungimento della portata solida massima, sia limitato a circa  $\vartheta \leq 0,5$ . L'accumulo così generato, al superamento della portata solida massima, determina un deposito di sedimenti direttamente dietro la griglia. Con l'aumento della portata, il materiale grossolano «salta» nelle barre che sporgono nel canale, dove resta intrappolato provocando l'ostruzione meccanica della griglia a barre. Tale chiusura ostacola l'autopulizia della camera di ritenuta, in quanto non si apre neanche in presenza di portate oscillanti o in fase di calo. Per un funzionamento corretto è determinante che i singoli elementi della griglia scendano liberamente con sufficiente lunghezza (verticalmente min.  $1,5 \cdot d_{90}$ ) verso il canale.

Le simulazioni idrauliche hanno dimostrato che se una briglia aperta non è preceduta da una griglia a barre vi è il rischio di un autosvuotamento.

#### **Costruzione, manutenzione e gestione delle opere di ritenuta**

Un'opera di ritenuta nel corso superiore di un torrente dev'essere ubicata idealmente dopo una diminuzione della pendenza longitudinale, in prossimità dell'oggetto da proteggere. La camera di ritenuta deve essere quanto più ampia possibile, in modo tale che durante gli eventi di piena e con la sua intera superficie sommersa, i sedimenti possano depositarsi per via naturale. In questo modo, in alcuni casi, si riesce a ridurre la dimensione della briglia aperta nonché la frequenza delle operazioni di manutenzione.

Il bacino idrografico di un torrente come pure il sito in cui realizzare l'opera di ritenuta devono essere sottoposti ad analisi geologica e idrologica. La geologia locale è importante per la fondazione e l'ancoraggio della briglia aperta e per la necessaria protezione dagli affossamenti. I processi idrologici sono importanti per stabilire le portate di piena, il trasporto solido e la comparsa di materiale legnoso galleggiante. Le misure per il trattenimento di legno galleggiante devono essere adottate indipendentemente dall'opera di sbarramento, nel corso superiore o nella camera di raccolta. Le corrispondenti misure sono descritte nella letteratura specialistica, per esempio Lange e Bezzola (2006) oppure Bergmeister et al. (2009). Per esempio nell'opera di ritenuta rappresentata nella figura 5, nello specifico all'imbocco della camera di ritenuta, potrebbe essere collocata una griglia a forma di V. Un'altra soluzione per una trattenuta combinata di materiale di fondo e legno galleggiante consiste nell'installare in prossimità dell'apertura della briglia dei setti sommersi. Esempi di tali opere li troviamo in Austria e Svizzera, dove i setti sommersi si sono già dimostrati efficaci durante i grandi eventi di piena (Lange e Bezzola 2006).

La struttura dell'opera di ritenuta, in particolare il volume della camera di ritenuta, deve essere adeguata alla portata di dimensionamento definita per il trattenimento dei sedimenti. In Svizzera, a seconda dell'obiettivo di protezione, i suoi valori sono compresi tra  $HQ_{50}$  e  $HQ_{100}$ . Il controllo dell'energia del deflusso immediatamente a valle della briglia mediante opere di protezione contro l'affos-

samento va considerato nell'ambito del dimensionamento idraulico.

La regolazione del transito di sedimenti attraverso le opere di ritenuta esistenti può essere migliorata realizzando un canale nella camera di ritenuta. I risultati delle simulazione indicano che la progettazione del canale deve essere basata sulla portata solida massima dell'apertura, in maniera tale che il trasporto dei sedimenti sia garantito fino al raggiungimento di tale portata. Grazie alla concentrazione della portata nel canale, non si verifica alcun deposito di materiale fino al raggiungimento della portata solida massima. Le opere di sbarramento esistenti, costituite soltanto da una griglia o soltanto da un'unica apertura per il controllo idraulico, devono essere completate in maniera complementare: a una griglia va aggiunta a valle un'apertura idraulica, ad una apertura idraulica aggiunta a monte una griglia.

È da preferire l'impiego di tecniche di bioingegneria e di materiale da costruzione disponibile in loco. Le parti in cemento che vengono a contatto con il materiale solido trasportato devono essere rivestite da blocchi antierosione.

I criteri di costruzione riguardanti la stabilità delle opere idrauliche, le proprietà meccaniche del materiale da costruzione e la fondazione sono descritti esaurientemente nella letteratura specialistica con particolare attenzione per le ali delle briglie che non dovrebbero essere sommerse (Bergmeister et al. 2009).

Per i lavori di pulizia e manutenzione sono necessari una rampa di accesso alla camera di ritenuta nonché un buon collegamento con la rete stradale. La frequenza di tali lavori dipende dal grado di riempimento della camera di ritenuta, dalle direttive di sicurezza specifiche del luogo e dalla classificazione dell'opera. Nel migliore dei casi, il materiale depositato è costituito da ghiaia che può essere utilizzata nell'industria delle costruzioni come aggregato per il calcestruzzo. Tale utilizzo è consentito soltanto se non vi è carenza di sedimenti nel corso inferiore. Altrimenti occorre restituire i sedimenti al corso d'acqua nel punto adatto (cfr. scheda 7) Nel peggiore dei casi, la manutenzione comporta costi notevoli, per esempio quando i depositi frammisti a materiale organico (= legno,

rami) nonché a sedimenti fini devono essere portati via e depositati. Durante i lavori di pulizia si deve evitare di danneggiare il canale. Utili allo scopo sono la demarcazione del canale e la posa in opera di massi.

Piccole quantità residue di materiale solido nel canale vengono trascinate via senza rischi direttamente dalla corrente del torrente. L'autopulizia del canale può essere favorita dai lavori di asportazione durante le portate di entità superiore rispetto a quella media annuale, per esempio quando è ancora in atto la fase calante della piena (cfr. scheda 3).

I piccoli depositi di legno galleggiante e le piante sono preziosi dal punto di vista ecologico, per esempio perché servono da rifugio per le larve di insetti. I depositi di legno morto devono invece essere eliminati se compromettono il funzionamento dell'opera di ritenuta.

Per i lavori di manutenzione si fa una distinzione tra opere standard e opere chiave. Tuttavia i due concetti sono descritti vagamente dalla letteratura. Sono definite opere standard quelle che in caso di guasti tecnici hanno un impatto da minimo a medio sulle zone abitate. Vanno sorvegliate e controllate almeno ogni cinque anni. I guasti tecnici delle opere chiave hanno un grande impatto sulle zone abitate e pertanto devono essere sorvegliate e controllate annualmente. In entrambi i casi, le verifiche sono da svolgere secondo necessità. I controlli devono essere attuati da esperti interdisciplinari (Bergmeister et al. 2009).

## Conclusione

Le opere di ritenuta la cui camera di ritenuta è dotata di un canale a forma di trapezio, con superficie scabra (fig. 5), lasciano passare materiale solido fino a una portata solida massima. L'apertura di una briglia deve essere conforme alla geometria del canale e quindi non influenzare o influenzare limitatamente il trasporto solido fino al raggiungimento della portata solida massima. Con la combinazione di una briglia aperta e una griglia a monte si può prevenire l'autosvuotamento della camera di ritenuta rendendo più sicuro il trattenimento dei sedimenti.

---

Una trattenuta sicura dei sedimenti selezionata idraulicamente a partire dalla portata solida massima si ottiene soltanto mediante i restringimenti verticali dell'apertura della briglia. Inoltre l'opera non deve essere sommersa. Si possono prendere in considerazione i restringimenti laterali come strumenti costruttivi, per esempio per ottenere una sezione rettangolare dell'apertura della briglia. Il deflusso reagisce in modo sensibile ai restringimenti verticali. Pertanto dovrebbero essere strutturati in modo flessibile. Ai fini di una maggiore sicurezza di pianificazione per l'introduzione della trattenuta dei sedimenti, occorre svolgere in aggiunta delle modellizzazioni basate sui progetti specifici.

## **Bibliografia**

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > **prodotti e pubblicazioni**

# 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 coinvolti:** Eawag; Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Schwindt, S., Franca, M.J., Fink, S., Scheidegger, Ch., Schleiss, A., 2017: Opere di ritenuta selettiva dei sedimenti. In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 4.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

01.17 1500 86039243

## 5 Dinamica e biodiversità nelle golene

*Le zone golenali caratterizzate da una grande varietà di ambienti presentano una maggiore resistenza ecologica rispetto a quelle con minore varietà. La varietà di habitat e specie delle zone golenali dipende principalmente dallo spazio riservato alle acque, dalla dinamica dei deflussi e dei sedimenti nonché dalla connettività degli ambienti. L'adozione di misure specifiche che favoriscono lo sviluppo delle specie tipicamente golenali può aumentare la varietà di specie. La scheda 5 illustra i principali fattori che influenzano gli ambienti golenali, riporta alcuni esempi e offre una visione generale sullo stato attuale delle ricerche nell'ambito delle zone golenali.*

**S. Fink, M. Döring, M. J. Franca, E. Martín Sanz, O. Nadyeina, Ch. Robinson, A. Schleiss, Ch. Scheidegger**

Nelle golene, grazie al ripetuto impatto di piene di piccola, nonché media e grande intensità, seguite da deflussi di magra, si crea un mosaico dinamico di habitat<sup>1</sup> (cfr. scheda 1). Sia la diversa composizione dei sedimenti che il diverso effetto esercitato dalle correnti e dalle temperature portano alla formazione di una grande varietà di

<sup>1</sup> La definizione del termine «mosaico dinamico di habitat», e quella di altri termini, si trova nel glossario. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

### Fig. 1

*Rappresentazione schematica di una golena (a sinistra). Golena presso Rhäzüns (GR) nel febbraio 2015 (a destra). Le superfici ghiaiose aperte, i banchi di ghiaia con vegetazione pioniera e i boschi golenali a legno tenero formano, insieme ai tratti fluviali caratterizzati da differenti dinamiche della corrente, un sistema dinamico di habitat.*



piccoli habitat (fig. 1). La posizione spaziale dei singoli habitat (per es. boschi golenali a legno tenero e duro, pozze, banchi di ghiaia ecc.) cambia continuamente. Dopo eventi estremi come le piene centenarie cambia addirittura la disposizione dei singoli ambienti (cfr. cap. Grandi spostamenti di sedimenti). Un paesaggio golenale naturale è pertanto un sistema dinamico di habitat, dotato di grande resilienza ecologica (capacità di adattarsi ai cambiamenti) e di elevata varietà strutturale. Le specie caratteristiche e bersaglio tipiche delle golene si sono adattate alla dinamica dei sedimenti e dei deflussi (cfr. scheda 1). La biodiversità delle golene naturali viene misurata in base alla presenza di specie come pure in base alla varietà dei processi ecologici (cfr. scheda 2).

La varietà di ambienti e specie nelle golene è determinata in modo preponderante dallo spazio del corso d'acqua, vale a dire dalla superficie di cui dispone. Una dinamica dei sedimenti e dei deflussi elevata, una buona connettività degli habitat e la promozione specifica delle specie, favoriscono la biodiversità nel perimetro golenale. Questi fattori ecologici dipendono dallo spazio occupato da un corso d'acqua e si influenzano reciprocamente. La figura 2 illustra schematicamente come i singoli fattori ecologici contribuiscano a realizzare appieno il potenziale di biodiversità delle golene (cfr. Naiman et al. 2005).

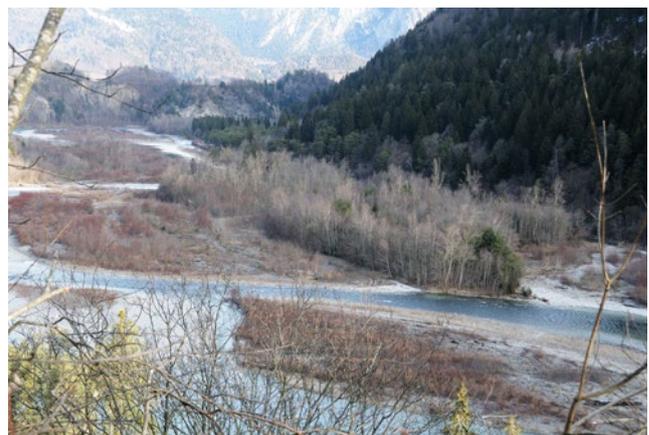
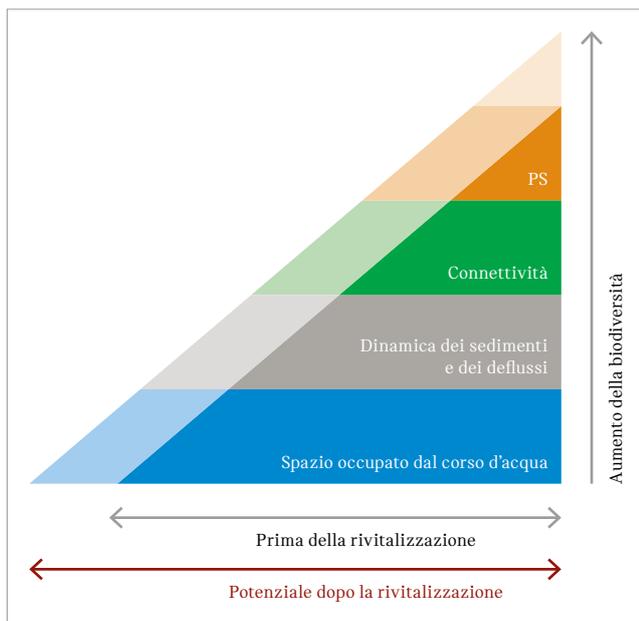


Fig. 2

*Piramide dei fattori ecologici che influenzano la biodiversità nelle golene. Le frecce indicano il raggio d'azione dei singoli fattori e il loro effetto dopo una rivitalizzazione. PS: promozione specifica delle specie.*



Fonte: WSL

Nei prossimi capitoli saranno descritti i singoli fattori che influenzano l'ecologia delle golene.

## Spazio dei corsi d'acqua

Dal 1900 la superficie dei paesaggi golenali in Svizzera è fortemente regredita (Lachat et al. 2010). La protezione delle zone golenali e le rivitalizzazioni hanno l'ambizioso obiettivo di realizzare su una superficie minima di habitat un optimum di biodiversità. La grandezza minima di un tipo di habitat è stabilita in base al fabbisogno di spazio ecologico (cfr. tabella 2 in Scheidegger et al. 2012). Con una rivitalizzazione è possibile aumentare lo spazio riservato a un corso d'acqua e favorire così anche le prestazioni ecosistemiche delle golene, come per esempio la protezione contro le piene, la creazione di riserve di nutrienti, la funzione di filtraggio e lo stoccaggio di carbonio. Nella Thur a Niederneunforn (TG) è stato per esempio attuato un allargamento e al posto degli argini sono stati disposti dei dossi di pietra trasversali nell'alveo. La varia-

bilità della velocità della corrente è stata incrementata e la protezione contro le piene notevolmente migliorata. Al contempo sono nati nuovi habitat preziosi come le isole di ghiaia.

Le carte e le immagini aeree storiche mostrano dove erano naturalmente presenti le golene, quale spazio aveva occupato in passato il corso d'acqua e quali habitat erano presenti all'epoca (fig. 3). In un sistema golenale naturale la posizione spaziale degli habitat cambia costantemente dando luogo a un mosaico dinamico. Tuttavia, sul lungo periodo, le percentuali relative di habitat variano poco («shifting habitat mosaic», cfr. Stanford et al. 2005). Al contrario, nei paesaggi golenali danneggiati dagli uomini, le superfici dei diversi tipi di habitat golenali e le relative percentuali possono variare sensibilmente, in particolare per quanto concerne gli habitat tipicamente golenali dipendenti dalla dinamica idromorfologica, come ad esempio i banchi di ghiaia con vegetazione pioniera o le isole (Döring et al. 2013).

L'esempio della golena di Sandey (BE) mostra come la costruzione nel 1950 di un lago artificiale e la costruzione di argini contro le piene hanno modificato la dinamica dei sedimenti e dei deflussi del corso d'acqua (Urbachwasser) e degli habitat golenali (fig. 4). Lo spazio riservato al corso d'acqua è stato notevolmente ridotto dalle costruzioni, e il deflusso odierno nella golena raggiunge soltanto il 70 per cento rispetto a quello seminaturale del 1940. Di conseguenza sono cambiate le percentuali relative di habitat: fino al 2007 gli habitat tipicamente golenali dipendenti dalla dinamica idromorfologica si sono ridotti fino al 78 per cento rispetto al 1940, mentre quelli pratici risultavano aumentati del 28 per cento.

## Dinamica dei sedimenti e dei deflussi

La dinamica dei sedimenti e dei deflussi influenza il mosaico dinamico di habitat e la varietà strutturale degli habitat acquatici, anfibi e terrestri delle golene. La loro dimensione varia considerevolmente e dipende dagli eventi di piena. Si distinguono tre tipi di piena: 1. le piene stagionali che si ripetono annualmente con scarso trasporto solido di fondo e moderati spostamenti di sedimenti; 2. le piene medie con un tempo di ritorno di 10–50 anni che

provocano notevoli spostamenti di sedimenti; 3. le piene maggiori con un tempo di ritorno di 100 o più anni che provocano spostamenti eccezionali di sedimenti. I tre tipi di piene agiscono su habitat golenali diversi, a seconda delle fasce altitudinali interessate. I banchi di ghiaia si formano a qualsiasi altitudine e sono soggetti a tutti e tre i tipi di piena. Il bosco golenale a legno tenero non è presente nella fascia alpina ed è inondato soprattutto da piene con tempi di ritorno più elevati. I boschi golenali a legno duro sono circoscritti alle zone montane e collinari e sono inondati solo dalle piene maggiori con elevati tempi di ritorno, ma non da piene stagionali e annuali. L'effetto all'interno dell'habitat dipende dalla quantità, dalla fre-

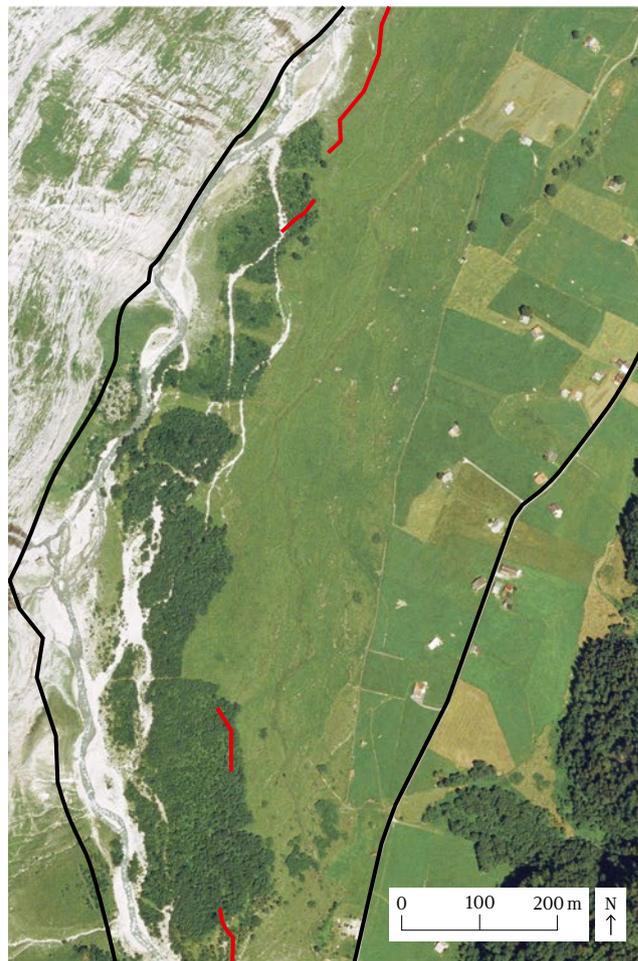
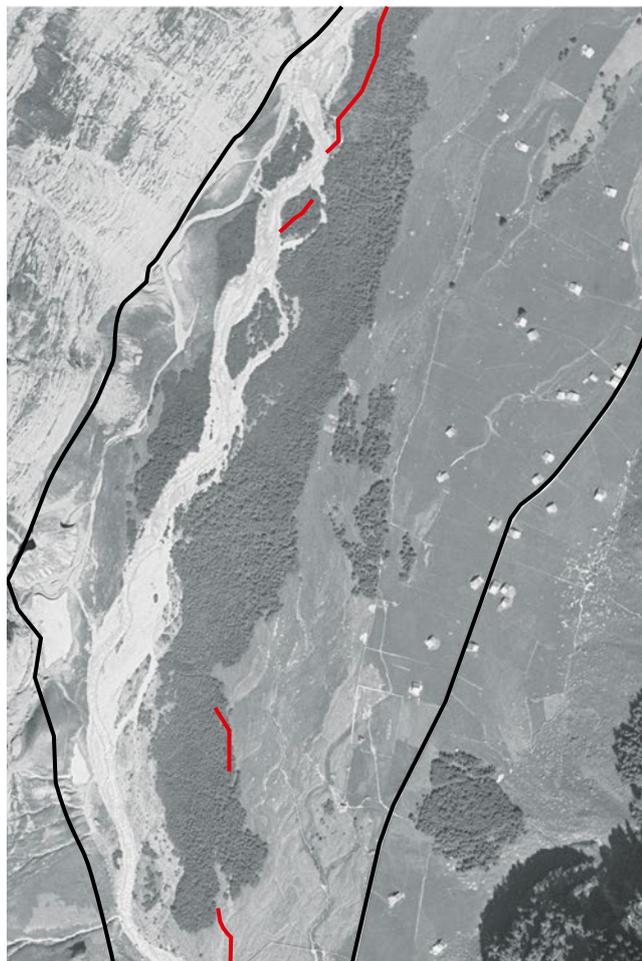
quenza, dalla durata e dal momento dello spostamento di sedimenti nel corso dell'anno.

#### Piccoli e medi spostamenti di sedimenti

Nelle zone golenali, le piene stagionali e annuali e gli spostamenti di sedimenti a esse associati, influenzano soprattutto le zone acquatiche, anfibe e terrestri in prossimità del corso d'acqua. A seguito di eventi di piena di piccola e media entità piccole quantità di sedimenti soprattutto a granulometria più fine vengono spostate nell'alveo e in sua prossimità. Questi piccoli spostamenti sono importanti per il mosaico dinamico di habitat come pure per gli adattamenti dei cicli vitali delle specie golenali, come ad esempio la tamerice alpina (*Myricaria ger-*

Fig. 3

Confronto tra un'immagine storica del 1940 (a sinistra) e un'immagine aerea del 2007 (a destra) della gola di Sandey. La costruzione di un lago artificiale a monte e di dighe di protezione contro le piene (in rosso) hanno modificato considerevolmente la gola. L'intera superficie compresa entro le linee nere è stata definita come perimetro della gola.

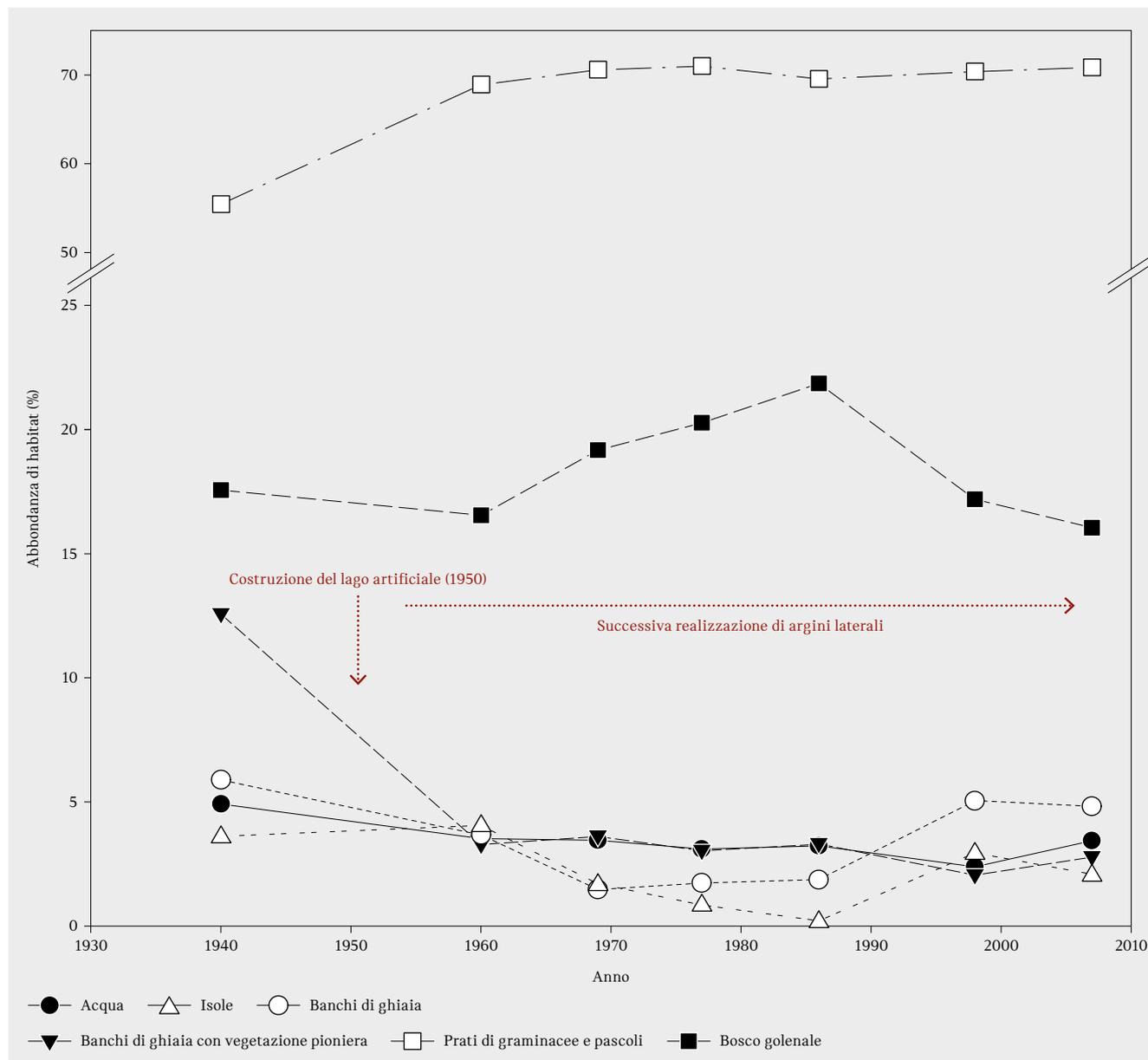


manica) che vive sui banchi di ghiaia, e la cui germinazione può essere ostacolata dalla presenza di sedimenti fini e da frazioni elevate di humus. Nelle golene inondate periodicamente il rischio di colmatazione è minore (cfr. scheda 3). I costanti interrimenti creano nuovi habitat per gli specialisti di habitat, per esempio per il coleottero *Blethisa multipunctata* (vedi in Rust-Dubié et al. 2006). Se la dinamica dei sedimenti è assente, aumentano le specie sensibili alle perturbazioni (generalisti) a discapito

di quelle resistenti (specialisti): così per esempio nelle golene alpine la tamerice alpina regredisce mentre il crostaceo anfipode del genere *Gammarus* si espande. In assenza di una dinamica dei sedimenti, anche a bassa quota i neobiota invasivi (specie alloctone invasive) occupano habitat meno dinamici, per esempio la verga d'oro del Canada (*Solidago canadensis*), la verga d'oro maggiore (*Solidago gigantea*) o il ciprino dorato (*Carassius auratus auratus*; BUWAL 2002).

Fig. 4

La frequenza relativa di aree con differenti habitat nel periodo tra il 1940 e il 2007 nella golena di Sandey.



Fonte: Döring et al. 2013

### Grandi spostamenti di sedimenti

Le piene centenarie, o quelle ancor più rare, sono spesso temute per via degli ingenti spostamenti di sedimenti che provocano e il loro elevato potenziale distruttivo. Per prevenirle vengono realizzate delle opere di arginatura. I danni che le piene provocano spostando grandi quantità di acqua e sedimenti possono essere ridotti riservando al corso d'acqua uno spazio sufficiente per svolgere la funzione di ritenzione. Per esempio i bracci secondari e i bracci morti trattengono i sedimenti e l'acqua riducendo così il carico del corso d'acqua principale. I grandi spostamenti entro il perimetro golenale, soprattutto se avvengono nel tratto medio del corso d'acqua e se lo spazio a disposizione è sufficiente, possono rimodellare gli habitat e formarne di nuovi. Inoltre, durante questi eventi la distribuzione granulometrica cambia dando origine a un mosaico dinamico di habitat.

### Influsso delle rivitalizzazioni sulla dinamica

Dopo l'allargamento delle golene della Thur a Niederneuenforn (TG) si sono formati nuovi habitat golenali che, a causa della variazione dei deflussi, sono esposti a una dinamica costante. L'allargamento ha quindi accresciuto la varietà di habitat rispetto ai tratti canalizzati. Il tratto allargato è stato confrontato con quelli canalizzati a monte e a valle (Martín Sanz 2017). Nell'allargamento la variabilità spaziale e temporale della respirazione sedimentaria (vale a dire la trasformazione del materiale organico nel fondo dell'alveo; cfr. scheda 1) nonché la densità di alghe e di macroinvertebrati era più elevata in seguito alla maggiore dinamica dei sedimenti e dei deflussi. Il confronto ha inoltre mostrato che la respirazione sedimentaria e il numero di specie di macroinvertebrati sono notevolmente influenzati sia dalla dinamica dei deflussi che dalla morfologia fluviale. La crescita delle alghe e la densità dei macroinvertebrati sono invece essenzialmente regolate dalla dinamica dei deflussi e meno dalla morfologia fluviale (Martín Sanz 2017).

### Connettività

La connettività degli habitat garantisce il flusso genico tra le popolazioni delle specie caratteristiche e bersaglio. In questo modo cresce la probabilità di sopravvivenza delle specie organizzate in metapopolazioni, anche se

i loro habitat sono rari e/o piccoli. Se la connettività è buona, la resilienza delle golene è maggiore, anche nel caso in cui si verificano ingenti spostamenti di sedimenti. Una buona connettività biologica assicura tra l'altro una maggiore efficacia delle rivitalizzazioni, che accrescono molto di più la biodiversità anche su superfici poco estese (fig. 5).

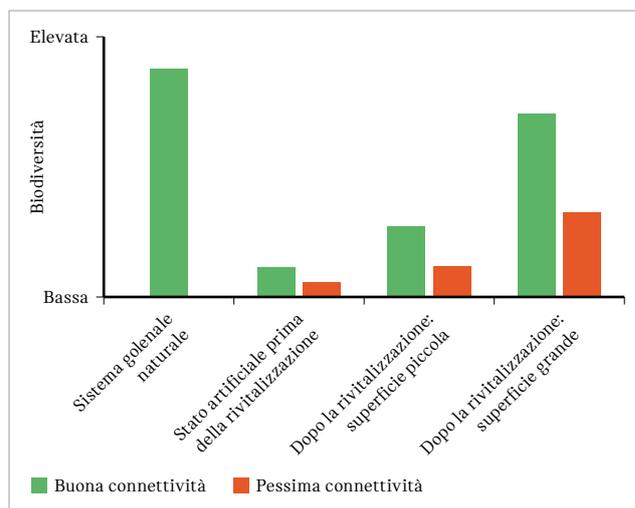
Il presupposto fondamentale è che la connettività sia assicurata su tutti e tre gli assi – verticale, laterale e longitudinale (Stevenson e Sabater 2011). I tre tipi di connettività sono brevemente descritti nei seguenti paragrafi.

#### Connettività verticale

La connettività verticale tra l'alveo e il fondo fluviale (cfr. scheda 1) influenza l'ecosistema e la biodiversità in modo esteso entro il perimetro golenale, per esempio tramite il ciclo dei nutrienti, i flussi termici e la crescita delle alghe. Essa dipende soprattutto dalla permeabilità dei sedimenti. Nelle rivitalizzazioni delle golene la connettività verticale può ad esempio essere favorita tramite gli allargamenti fluviali, la creazione di condizioni di macro-scabrezza con la posa di massi in prossimità delle sponde o la realizzazione di campi di pennelli. In questo

Fig. 5

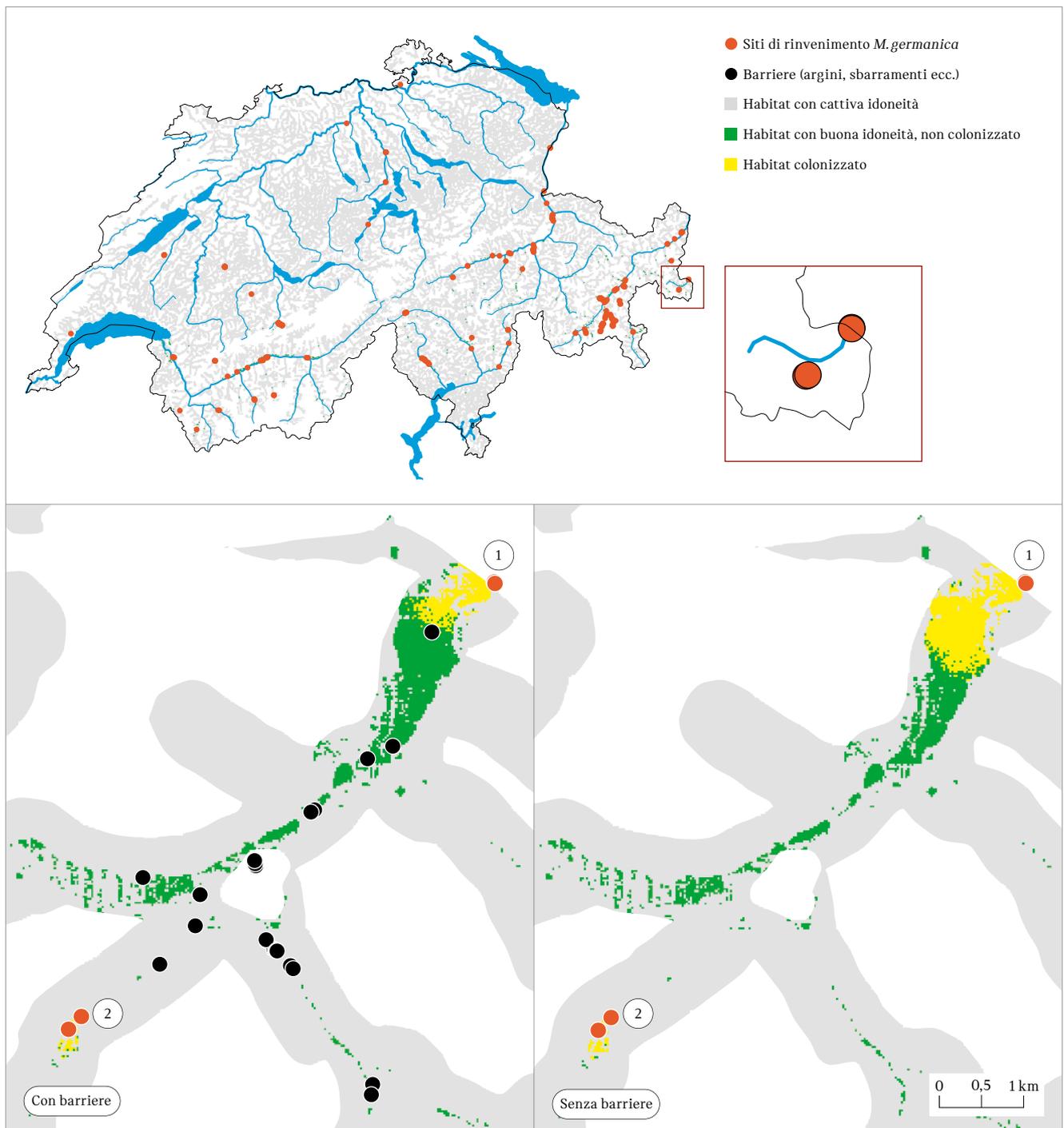
Rappresentazione schematica del cambiamento della biodiversità in funzione della connettività biologica. Una buona connettività biologica è la chiave per ottenere un'elevata crescita della biodiversità dopo una rivitalizzazione, anche su superfici poco estese.



Fonte: WSL

Fig. 6

Sopra: rinvenimento della tamerice alpina in Svizzera (fonte: Info Flora). Sotto: modellizzazione della probabilità di presenza della tamerice alpina lungo il torrente Rom presso Müstair (GR). Partendo dai luoghi di rinvenimento della specie, la sua distribuzione (in giallo) in habitat idonei (in verde) viene simulata (50 anni nel futuro). Dalla stazione 1 la tamerice alpina si può diffondere liberamente senza barriere (a destra); in presenza di barriere (a sinistra) la sua diffusione è rallentata. Il modello indica inoltre che la diffusione da una seconda stazione (2) non è interrotta da barriere ma da habitat non idonei (in grigio).



modo si riesce a rallentare l'apporto di sedimenti fini e a prevenire la colmatazione (cfr. scheda 3).

### Connettività laterale

La connettività laterale tra il corso d'acqua e la zona rivierasca è importante poiché favorisce il deposito di sedimenti fini e nutrienti nelle golene nonché la propagazione dei semi e degli organismi (Stevenson e Sabater 2011). In caso di inondazione delle golene, gli organismi acquatici come i chironomi o i coleotteri sono trascinati sui banchi di ghiaia, dove sopravvivono in uno stadio larvale attivo – fino a quando il contenuto di umidità resta abbastanza elevato – oppure in diversi stadi di quiescenza (per es. bozzoli, cisti, uova invernali). Con una buona connettività laterale questi organismi, durante una successiva inondazione dei banchi di ghiaia (per es. a seguito di grandi perturbazioni) contribuiscono alla ricolonizzazione del corso d'acqua. Se tuttavia la connettività laterale è molto limitata, come nei tratti con deflussi residuali, la presenza di questi individui sui banchi di ghiaia si riduce notevolmente (Martín Sanz 2017). Una buona connettività laterale consente inoltre alle specie acquatiche e anfibe di rifugiarsi in habitat protetti durante le piene e i grandi spostamenti di sedimenti. Con le rivitalizzazioni si può indurre l'erosione laterale (cfr. scheda 7), valorizzare i bracci morti o creare pozze.

### Connettività longitudinale

La connettività longitudinale tra i sistemi golenali lungo i diversi tratti di un corso d'acqua principale innalza la capacità di resistenza delle golene a lunga distanza dopo una perturbazione e assicura l'interconnessione tra le popolazioni a monte e a valle. Dipende spesso dalla connettività longitudinale anche la colonizzazione delle golene rivitalizzate, in quanto contribuisce alla propagazione delle piante e degli animali tipicamente golenali favorendo il trasporto dei semi e delle parti riproduttive vegetative e l'immigrazione di organismi acquatici (Naiman et al. 2005). La connettività longitudinale può essere ottenuta migliorando la continuità del trasporto di sedimenti o un risanamento dei sedimenti (cfr. schede 3 e 6). I nuovi studi dimostrano che i riporti di sedimenti favoriscono la connettività a lunga distanza fino nei tratti a valle del fiume (cfr. scheda 7). Anche gli affluenti immettono sedimenti aumentando così la connettività. Barriere verticali come le opere di ritenuta dei sedimenti e le bri-

glie di consolidamento riducono generalmente la connettività longitudinale e la continuità del trasporto di sedimenti, a meno che il loro funzionamento o la loro struttura non siano stati concepiti in maniera tale da consentire un trasporto selettivo dei sedimenti (cfr. scheda 4). Le piene artificiali o le gallerie di bypass dei sedimenti (cfr. scheda 6) consentono di superare queste barriere e di migliorare la dinamica dei sedimenti.

Per le specie che vivono nelle golene, la connettività longitudinale degli ambienti è essenziale per la sopravvivenza a lungo termine. È questo il caso della tamerice alpina (*Myricaria germanica*), una specie presente sui banchi di ghiaia, che in molte regioni della Svizzera è minacciata e nel Giura addirittura estinta (InfoFlora 2016). I modelli con parametri topografici, geologici e climatici indicano le regioni con una potenziale presenza della tamerice alpina (fig. 6, Fink et al. 2017). I modelli di diffusione della specie, che tengono conto delle distanze di diffusione e delle barriere esistenti, indicano dove, nonostante le barriere, potrebbe insediarsi in futuro la tamerice alpina. Diventa quindi è possibile pianificare eventuali siti di rivitalizzazione delle golene con la specie bersaglio tamerice alpina. Inoltre, consente di includere nella pianificazione le zone golenali di importanza nazionale e le zone Smeraldo a monte o a valle dei siti in cui sono presenti le attuali popolazioni della specie bersaglio.

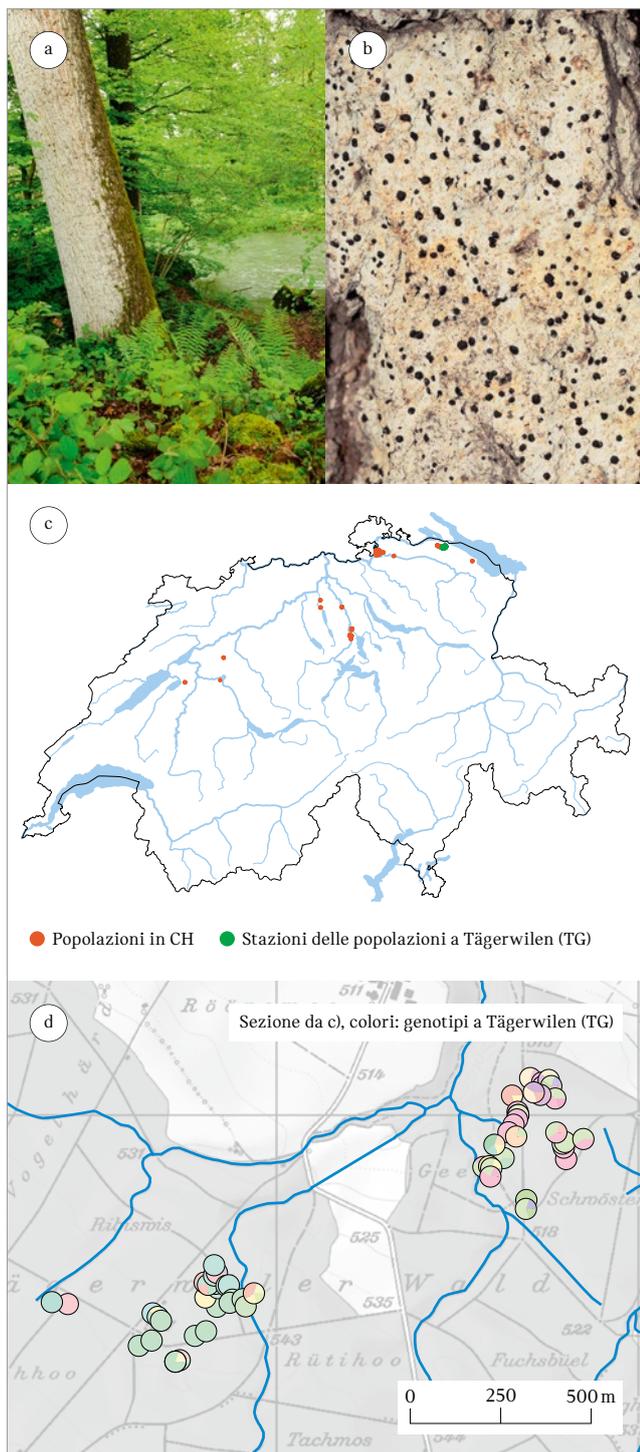
### Promozione specifica delle specie

Se si migliora la dinamica dei deflussi e dei sedimenti delle zone golenali con misure di risanamento e di rivitalizzazione, occorre considerare le esigenze delle specie tipicamente golenali (specie caratteristiche) e delle specie minacciate. A dipendenza del tipo di golena e della fascia altitudinale vengono ospitate specie bersaglio differenti, che non hanno le stesse esigenze riguardo alla composizione e alla dinamica dei sedimenti e dei deflussi (tab. 1).

Il bosco golenale a legno duro, un habitat ricco di specie divenuto raro, è un hotspot delle specie bersaglio. Il lichene crostoso (*Bactrospora dryina*) cresce per esempio su vecchie querce, generalmente ultracentenarie. Si tratta di una specie che solo raramente riesce a diffon-

Fig. 7

Il lichene *Bactrospora dryina* è una specie prioritaria a livello nazionale presente nei boschi golenali a legno duro. a) Quercia come habitat per *Bactrospora dryina* in un bosco golenale a legno duro inondato periodicamente. b) *Bactrospora dryina* e c) sue popolazioni in Svizzera. d) Composizione del pool genico di *Bactrospora dryina* a Tägerwilen (TG).



Fonte: Nadyeina et al. 2017

dersi a lunga distanza, motivo per cui la colonizzazione di nuovi ambienti avviene solo dopo molto tempo. Le popolazioni di *Bactrospora dryina* mostrano una grande variabilità genetica, sia a scala di sito che di singolo albero (fig. 7, Nadyeina et al. 2017). La conservazione dei boschi golenali a legno duro e la loro interconnessione con gli ambienti rivitalizzati può facilitare la colonizzazione da parte del lichene *Bactrospora dryina*. Tra le specie che possono essere promosse in un bosco golenale a legno duro rientrano le querce e le formazioni forestali rade.

## Conclusione

Il presupposto per avere golene con un'elevata varietà di specie e di habitat è quello di riservare ai corsi d'acqua uno spazio sufficientemente grande. Una dinamica dei sedimenti e dei deflussi seminaturale influenza notevolmente gli habitat favorendone la diversità. Per le specie bersaglio rare e minacciate delle golene occorre adottare misure di promozione specifiche. La scelta delle specie bersaglio dipende dall'habitat golenale e dall'altitudine, che a loro volta determinano i requisiti della composizione dei sedimenti e della dinamica dei sedimenti e dei deflussi. Le piene stagionali che si ripetono annualmente e gli spostamenti di sedimenti contribuiscono alla conservazione della flora e fauna tipicamente golenali e influenzano gli ambienti acquatici, anfibi e terrestri. Gli spostamenti medi, grandi o molto rari di sedimenti provocati dalle piene con un tempo di ritorno da 20 a 10 000 anni danno origine a nuovi ambienti e favoriscono la diffusione a lunga distanza delle specie bersaglio. La connettività potenzia la resilienza delle golene. Tale resilienza rimane elevata anche se si verificano ingenti spostamenti di sedimenti ed è un importante fattore di sopravvivenza delle specie (bersaglio) tipicamente golenali.

## Bibliografia

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

Tab. 1

Esempi di specie bersaglio per le rivitalizzazioni nelle golene e loro esigenze in termini di composizione del sedimento. Tutte le specie figurano nella Lista delle specie prioritarie a livello nazionale (UFAM 2011) e sono riportate in Delarze et al. (2015) come specie caratteristiche degli habitat golenali. \*Priorità: responsabilità della Svizzera per la conservazione delle specie: 4 = responsabilità molto elevata, 3 = responsabilità elevata, 2 = responsabilità media, 1 = responsabilità esigua (UFAM 2011).

Nome comune	Nome scientifico	Prio.*	Habitat Unità di habitat secondo Delarze e Gonseth (2015) con numero	Requisiti relativi al sedimento
<b>Alpina (&gt; 1700 m s.l.m.)</b>				
 Specie del genere <i>Stereocaulon</i>	<i>Stereocaulon ssp.</i> , per es. <i>S. glareosum</i>	2	Suoli alluvionali di origine glaciale e alpina Suolo alluvionale con vegetazione pioniera erbacea <i>Epilobion fleischeri</i> (3.2.1.1)	Licheni terricoli tra il pietrisco lungo i fiumi alpini
	<i>Coprinus martinii</i>	1	Sponde sabbiose alluvionali di torrenti alpini e glaciali Rive dei torrenti alpini con vegetazione pioniera (carichi artiche relitte) <i>Caricion bicolori-atrofuscae</i> (2.2.5)	Suoli contenenti humus e torba
<b>Montana (&lt;1700 m s.l.m.)</b>				
 Pendolino delle fonti	<i>Montia fontana</i>	3	Sorgenti acide con copertura vegetale Sorgenti acide con copertura vegetale <i>Cardamino-Montion</i> (1.3.3)	Suoli umidi con miscela di sedimenti (ghiaia grossolana, ciottoli, sabbia)
	<i>Cochlearia pyrenaica</i>	3	Sorgenti alcaline con copertura vegetale Sorgenti alcaline con copertura vegetale <i>Cratoneurion</i> (1.3.2)	Suoli umidi con miscela di sedimenti (ghiaia grossolana, ciottoli, sabbia)
	<i>Amanita friabilis</i>	2	Rive lungo i corsi superiori e medi dei fiumi Ontaneti alluvionali con Ontano bianco <i>Alnion incanae</i> (6.1.3)	Suoli alluvionali da ghiaiosi ad argillosi
 Piro piro piccolo	<i>Actitis hypoleucos</i>	1	Banchi di ghiaia e fasce alluvionali dei fiumi Saliceti arbustivi alluvionali <i>Salicion elaeagni</i> (5.3.6)	Banchi di ghiaia con vegetazione rada come siti di nidificazione
	<i>Omophron limbatum</i>	3	Banchi di ghiaia e fasce alluvionali dei torrenti e dei fiumi; dipendono strettamente dalla loro dinamica idrica Suolo alluvionale con vegetazione pioniera erbacea <i>Epilobion fleischeri</i> (3.2.1.1)	Durante il giorno si rifugiano nei tubi di sabbia tra i banchi di ghiaia
<b>Collinare (&lt;900 m s.l.m.)</b>				
 Gamberaia arrotondata	<i>Callitriche hamulata</i>	4	Corso medio o inferiore, fiumi larghi e profondi Zona del Barbo e dell'Abramide (Epipotamon) <i>Ranunculion fluitantis</i> (1.2.1) Zona del temolo (Hyporhitron) <i>Fontinalidion antipyreticae</i> (1.2.2)	Le piante si ancorano nel fiume, sono necessari sedimenti fini

	Nome comune	Nome scientifico	Prio.*	Habitat Unità di habitat secondo Delarze e Gonseth (2015) con numero	Requisiti relativi al sedimento
	Ninfea minore	<i>Nuphar pumila</i>	1	Bracci morti, presso i banchi di ghiaia di acque a corrente lenta Acque con vegetazione stagnale <i>Nymphaeion (1.1.4)</i>	Suolo con limo torboso; il livello dell'acqua non deve variare molto
	Romice tabacco di palude	<i>Rumex hydrolapathum</i>	3	Habitat lungo la linea di riva risp. l'area interrata; in un'area inondata frequentemente Canneti terrestri, ripariali <i>Phalaridion (2.1.2.2)</i>	Suoli ghiaiosi, sabbiosi
	Campanella maggiore	<i>Leucojum aestivum</i>	2	Rive lungo il corso medio e inferiore dei fiumi Saliceti alluvionali con Salice comune <i>Salicion albae 6.1.2</i>	Banchi e rive sabbiosi a granulometria fine con inondazioni che durano fino a tre mesi
	Brasca acutifolia	<i>Potamogeton acutifolius</i>	2	Bracci morti Acque con vegetazione di piante vascolari sommerse <i>Potamion (1.1.2)</i>	Sensibili all'inquinamento delle acque e a un elevato apporto di sedimenti fini
	Felce penna di struzzo	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	4	Regioni rivierasche dei corsi d'acqua inondate periodicamente (non annualmente) Frassineti umidi <i>Fraxinion 6.1.4</i>	Suoli con sedimenti fini
	Erba cucco	<i>Cucubalus baccifer</i>	4	Lungo i corsi d'acqua dove le rive boscate sono state soggette a dilavamento; nelle zone marginali del bosco golenale con dinamica fluviale e spostamenti meccanici occasionali Margini igrofilo di pianura <i>Convolvulion (5.1.3)</i>	Suoli alluvionali limosi
	Crescione di chiana	<i>Rorippa amphibia</i>	4	Periodicamente in secca (quando la profondità estiva dell'acqua è media) Canneti terrestri, ripariali <i>Phalaridion (2.1.2.2)</i>	Fondo dell'alveo del corso d'acqua ricco di nutrienti e sedimenti fini
		<i>Physcomitrium patens</i>	4	Rive di corsi d'acqua in secca durante l'estate Luoghi con vegetazione di basse erbe annuali igrofile (giunchi nani) <i>Nanocyperion (2.5.1)</i>	Suoli limosi fangosi
	Specie del genere Stereocaulon	<i>Stereocaulon ssp.</i> , per es. <i>Stereocaulon rivolorum</i>	4	Suoli alluvionali fluviali a basse quote Suolo alluvionale con vegetazione pioniera erbacea <i>Epilobion fleischeri (3.2.1.1)</i>	Banchi pietrosi/ghiaiosi lungo i fiumi
		<i>Gomphus similimus</i>	2	Corso medio o inferiore, fiumi larghi e profondi Zona del Barbo e dell'Abramide (Epipotamon) <i>Ranunculion fluitantis (1.2.1)</i>	Sedimenti fini necessari per la protezione e la nutrizione; in caso di eccessiva eutrofizzazione la specie scompare
	Bimacchiata	<i>Epitheca bimaclata</i>	1	Zone ad acqua lentiche e zone rivierasche Canneti lacustri <i>Phragmition (2.1.2.1)</i>	Sviluppo larvale che dura da due a tre anni, alternativamente tra sedimento fine e vegetazione sommersa

Nome comune	Nome scientifico	Prio.*	Habitat	Requisiti relativi al sedimento
<b>Unità di habitat secondo Delarze e Gonseth (2015) con numero</b>				
	Scazzone	<i>Cottus gobio</i>	4	Torrenti con trote e fiumi più grandi, abitanti del suolo
				Zona inferiore della Trota (Metarhitron) <i>Scapanion undulatae</i> (1.2.3)
				Perdita di ambienti causata dalla colmatazione, ostacolo alla migrazione attraverso le opere trasversali

**Icone (secondo Delarze e Gonseth 2015)**

Piante vascolari		Libellule	
Briofite		Coleotteri	
Licheni		Pesci	
Funghi		Uccelli	

# 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 coinvolti:** Eawag; Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Fink, S., Döring, M., Franca, M. J., Martín Sanz, E., Nadyeina, O., Robinson, Ch., Schleiss, A., Scheidegger, Ch., 2017: Dinamica e biodiversità nelle golene. In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 5.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

01.17 1500 86039243

## 6 Gallerie di bypass dei sedimenti e piene artificiali

*La continuità del trasporto di sedimenti è interrotta dalla presenza di laghi artificiali. Nei tratti a valle dei corsi d'acqua si crea così un deficit di sedimenti che ha conseguenze negative per l'ecologia e la morfologia dei corsi d'acqua. Le gallerie di bypass dei sedimenti e le piene artificiali incrementano la disponibilità di sedimenti e ne riducono la carenza. Questa scheda descrive entrambe le misure spiegandole con esempi concreti. Mostra inoltre gli effetti di tali misure sull'ecologia e sulla morfologia delle acque.*

**M. Facchini, E. Martín Sanz, S. Fink, D. Vetsch, Ch. Robinson, M. Döring, A. Siviglia, Ch. Scheidegger, R. Boes**

I laghi artificiali interrompono la continuità di un corso d'acqua, influenzano il trasporto dei sedimenti e riducono la connettività longitudinale delle popolazioni vegetali e animali e dei loro habitat. L'alterazione del trasporto di sedimenti determina inoltre un deficit di sedimenti nel corso inferiore con ripercussioni ecologiche. Il bacino artificiale agisce come un'opera di ritenuta dei sedimenti e, in assenza di contromisure, con il tempo tende a interrarsi. In questo caso si producono effetti negativi sull'e-

sercizio dell'opera idraulica, come per esempio perdite di rendimento (per es. energia idraulica), minore capacità di laminazione delle piene, minore flessibilità nell'esercizio o maggiore deterioramento dei macchinari come le turbine a causa di concentrazioni più elevate di materiale in sospensione.

Le gallerie di bypass dei sedimenti e le piene artificiali rappresentano possibili misure per migliorare la continuità dei corsi d'acqua (fig. 1) e saranno descritte nella presente scheda. Un'altra misura che si adotta di frequente è lo spurgo dei bacini artificiali. Gli spurghi e le piene artificiali sono a volte confusi tra loro. La differenza è negli obiettivi: gli spurghi hanno lo scopo di prevenire l'interramento del bacino artificiale e di garantire la funzionalità degli organi di rilascio, mentre con le piene artificiali si persegue la valorizzazione ecologica dei tratti a deflusso residuale a valle dello sbarramento. Entrambe le misure richiedono da parte del gestore dell'impianto di accumulazione un'attenta valutazione degli aspetti economici. A parità di volume di acqua rilasciato, le due misure presentano sinergie. Tuttavia, per lo spurgo dei ba-

**Fig. 1**

*Rappresentazione schematica di una galleria di bypass dei sedimenti (a sinistra). Struttura di scarico della galleria di bypass presso l'impianto di accumulazione Solis nel fiume Albul (GR; a destra); l'immagine è stata ripresa il 23.05.2014 durante il suo secondo funzionamento in presenza di una piena.*



cini artificiali la concentrazione del materiale in sospensione costituisce un fattore critico (cfr. scheda 3).

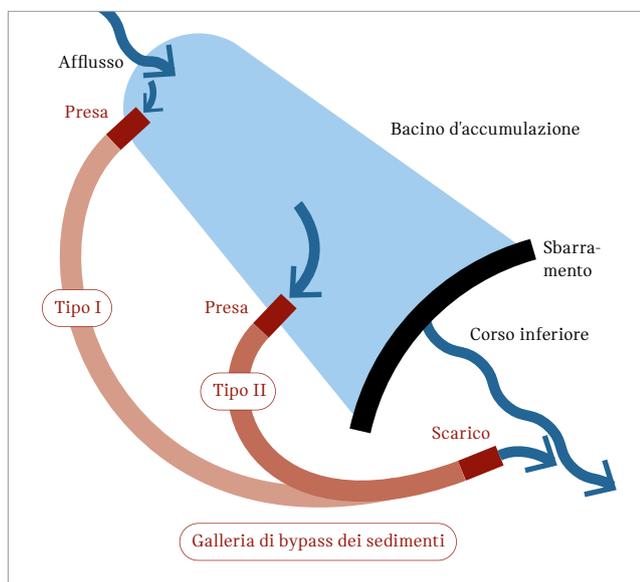
Quest'ultima misura non è stata oggetto di studio nell'ambito del progetto «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» e pertanto non sarà ulteriormente trattata in questa sede. La presente scheda è strutturata in due parti: nella prima tratta gli aspetti tecnici e di esercizio delle gallerie di bypass e delle piene artificiali, nella seconda illustra gli aspetti ecologici e riporta esempi concreti.

## Le gallerie di bypass dei sedimenti

Le gallerie di bypass dei sedimenti servono a ridurre l'interramento dei bacini artificiali e a conservare o ripristinare la continuità dei corsi d'acqua, in particolare per il trasporto dei sedimenti. In Svizzera, attualmente, sono in esercizio 10 gallerie di bypass presso impianti di accumulazione con laghi artificiali non molto estesi (tab. 1), altre sono in corso di pianificazione.

Fig. 2

Rappresentazione schematica del funzionamento di una galleria di bypass dei sedimenti. L'acqua e i sedimenti trasportati nel bacino artificiale sono convogliati dalla galleria e restituiti al fiume a valle della diga.



Fonte: VAW

Una galleria di bypass è costituita da un'opera di presa a monte del bacino artificiale o al suo interno, dalla galleria stessa e da un'opera di scarico a valle del bacino (fig. 2). Si distinguono due tipi di gallerie di bypass. Nel tipo I l'opera di presa è situata sull'immissario al limite superiore dell'invaso. Nella pianificazione si considerano attentamente la lunghezza della galleria e il necessario tratto di accelerazione del deflusso a monte della presa. In tutta la galleria prevale il deflusso a pelo libero (Auel e Boes 2011).<sup>1</sup> Un esempio di galleria di bypass del tipo I è quella del «Pfaffensprung» sul fiume Reuss presso Wassen (UR). Nel tipo II l'opera di presa è collocata per lo più in prossimità dello sbarramento e, di conseguenza, la lunghezza della galleria è inferiore. Inoltre l'opera di presa è sommersa e dal punto di vista idraulico predomina il deflusso in pressione (Auel e Boes 2011). Se l'organo di controllo che regola il deflusso (paratoia) è inserito in prossimità della presa, il passaggio dal deflusso in pressione a quello a pelo libero avviene in tal punto. Se invece si trova presso lo sbocco, nella galleria può anche instaurarsi un deflusso in pressione. In ogni caso deve essere impedita l'entrata di materiale galleggiante nella galleria di bypass, per esempio con un setto divisorio per prevenire intasamenti nella galleria. Un esempio di galleria di bypass di tipo II è quella dell'Albula presso Solis (GR; cfr. cap. Esempi concreti).

## Funzionamento delle gallerie di bypass dei sedimenti

Le gallerie di bypass dei sedimenti sono attive soprattutto durante gli eventi di piena naturale. L'acqua in questo caso è utilizzata per trascinare il sedimento attraverso la galleria. In Svizzera le gallerie di bypass entrano in funzione generalmente per più giorni all'anno (Auel 2014; Kondolf et al. 2014). L'organo di controllo consente di regolare la quantità di acqua convogliata. L'acqua che non può essere né convogliata né accumulata nel bacino, viene rilasciata attraverso l'organo di regolazione dell'impianto di accumulazione (per es. turbine, sfioratore di piena o scaricatore di fondo).

Il funzionamento di una galleria di bypass di tipo I avviene in condizioni di ritenzione normale deviando attraverso la galleria la maggior parte dei sedimenti con deflusso a

<sup>1</sup> La definizione di «deflusso a pelo libero» e di altri termini si trova nel glossario. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

**Interrogativi scientifici irrisolti**

- Dislocazione dei nuovi sedimenti immessi ed effetto della riattivazione del trasporto di sedimenti sotto l'aspetto ecologico.
- Periodo, frequenza e durata ideali per l'esercizio delle gallerie di bypass dei sedimenti o delle piene artificiali nonché i picchi di deflusso ottimali sotto l'aspetto ecologico.

pelo libero. Il funzionamento della galleria di bypass di tipo II richiede invece una parziale riduzione del livello di invaso nel bacino. In tal modo nell'area di interrimento si creano le condizioni di corrente che mobilizzano i sedimenti (Auel 2014).

Il funzionamento delle gallerie di bypass durante gli eventi di piena produce effetti paragonabili a quelli creati dalle piene artificiali a valle degli impianti di accumulazione. Esso consente un rilascio controllato di acqua. Adeguando in modo opportuno il funzionamento di queste gallerie, è possibile regolare la portata di picco e la durata di un evento in maniera tale da migliorare le condizioni ecologiche a valle (Martín Sanz et al. 2015) e prevenire i danni ecologici. Una piena artificiale che non trasporta sedimenti rilascia a valle soltanto acqua, mentre una galleria di bypass rilascia pure il sedimento prove-

niente dal corso d'acqua a monte del lago artificiale. Una galleria di bypass è messa in esercizio preferibilmente in concomitanza con una piena naturale, affinché a valle si creino condizioni paragonabili a quelle precedenti la costruzione dell'impianto di accumulazione per quanto riguarda il bilancio di sedimenti.

Auel et al. (2016) hanno studiato l'evoluzione a monte e a valle di quattro impianti di accumulazione con gallerie di bypass, basandosi su indicatori ecologici e morfologici. Al momento del rilevamento gli impianti erano in esercizio da un periodo compreso tra 0 e 92 anni. Con l'aumentare della durata dell'esercizio di una galleria di bypass, le condizioni che si creano a valle sono simili a quelle presenti prima della costruzione degli impianti di accumulazione nonché a quelle a monte dei bacini di accumulazione. È consigliabile adeguare costantemente l'esercizio di una galleria di bypass in base alle specifiche esperienze fatte con l'impianto, in modo da prevenire gli effetti negativi e favorire lo spostamento dei sedimenti che agisce positivamente sullo stato ecologico delle acque. Le ottimizzazioni devono essere supportate da altri studi.

**Effetti spaziali e temporali**

Il carico di sedimenti immesso nelle gallerie di bypass dipende fondamentalmente dalla posizione dell'opera di presa, dalla struttura del lago artificiale nonché della massa sedimentaria e dalla composizione del materiale

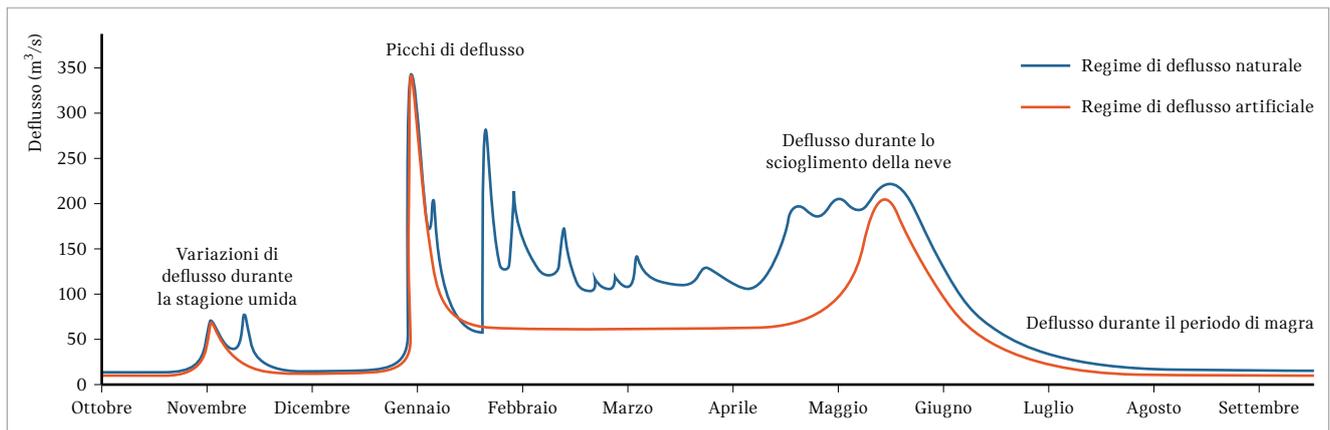
**Tab. 1**

Gallerie di bypass dei sedimenti in Svizzera; il tipo di galleria è schematizzato nella figura 2. \* In funzione del livello dell'acqua del bacino.

Denominazione	Centrale idroelettrica	Tipo di galleria	Corso d'acqua	Gestore
Egschi	Rabiusa-Realta	II	Rein da Sumvitg	Kraftwerke Zervreila AG
Bacino di compensazione Hintersand	Linth-Limmern	I	Sandbach	Kraftwerke Linth-Limmern AG Axpo Hydroenergie
Palagnedra	Verbano	I/II*	Melezza	OFIMA SA
Pfaffensprung	Amsteg	I	Reuss	SBB AG – Infrastruktur Energie
Rempen	Siebnen	I	Wägitaler Aa	Axpo/ewz – AG Kraftwerk Wägital
Runcahez	Tavanasa	I	Rein da Sumvitg	Axpo – Hydro Surselva AG
Sera	Gondo	I	Grosses Wasser	Alpiq HYDRO Exploitation SA
Solis	Rothenbrunnen/Sils	II	Albula	ewz
Val d'Ambrà	Nuova Biaschina	I	Rierna	Azienda Elettrica Ticinese
Ual da Mulin	Bargaus	I	Ual Draus	Flims Electric AG

**Fig. 3**

Esempio di un idrogramma che mostra il tipico andamento di un deflusso naturale e funzionale. I diversi picchi di deflusso sono determinati in base alle funzioni morfofluviali, ecologiche e biogeochimiche necessarie per conservare gli habitat di diverse specie.



Fonte: UC Davis Center for Watershed Sciences (adattamento)

depositato. Uno studio nell'ambito del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» ha dimostrato che durante l'esercizio, a valle, possono subentrare sia un interrimento che un'erosione del fondo dell'alveo. L'entità dei cambiamenti morfologici dipende dalla durata dell'esercizio, dal picco di deflusso nonché dal volume di deflusso e dal carico di sedimenti (Facchini 2017). Nei tipici tratti fluviali alpini, i cambiamenti del fondo dell'alveo si estendono a valle per un tratto da cento metri a diversi chilometri. Lo studio ha inoltre evidenziato che i cambiamenti del fondo dell'alveo, subito dopo la prima messa in esercizio, proseguono in direzione della corrente. Tuttavia, con il passare del tempo e un esercizio più frequente i cambiamenti si riducono a favore di una situazione d'equilibrio. A lungo termine le condizioni morfologiche del corso d'acqua tornano ad approssimarsi a quelle originarie antecedenti la costruzione dell'impianto di accumulazione. A seconda della situazione, questo processo può durare anche diversi decenni.

### Piense artificiali

Le piense artificiali sono una misura adottata nel mondo intero allo scopo di valorizzare gli habitat dei corsi fluviali a valle dei grandi impianti di accumulazione. Sono definiti grandi impianti di accumulazione quelli in grado di contenere una considerevole quota del deflusso medio an-

nuale. Con questa capacità di invaso, neanche le piense piccole e medie tracimano e nell'acqua a valle viene a mancare la dinamica di deflusso. Mediante il rilascio controllato di acqua dal bacino artificiale è possibile creare a valle una piena artificiale per favorire la variabilità del deflusso e lo spostamento dei sedimenti. Gli obiettivi ecologici delle piense artificiali dipendono da situazioni specifiche. Spesso l'obiettivo è quello di valorizzare gli ambienti e di potenziare le opportunità di riproduzione per le specie ittiche che, come le trote, depongono le uova sui fondali ghiaiosi.

La prassi di rilasciare piense artificiali per finalità ecologiche si consolida sempre più nel mondo come pure in Svizzera. La loro frequenza ed entità varia in base alla situazione locale e all'obiettivo perseguito. Il ricorso alle piense artificiali come misura ecologica richiede una corretta gestione dei corsi d'acqua a valle degli impianti di accumulazione. A tal fine occorre rilevare e valutare periodicamente gli effetti prodotti a valle, in particolare prima e dopo una piena. Le piense artificiali possono così essere ottimizzate in funzione della valorizzazione ecologica dei corsi d'acqua e della sicurezza contro le piense.

### Esecuzione

Per migliorare l'idrologia e il regime sedimentario dei corsi fluviali alterati, l'entità, la frequenza e la durata delle piense artificiali devono orientarsi a un regime di

deflusso naturale (fig. 3). Modificando in modo adeguato l'esercizio dell'impianto di accumulazione, la portata di picco e la durata di un evento possono essere regolate in maniera tale da consentire nel corso inferiore condizioni idrologiche ed ecologiche ottimali (Martín Sanz et al. 2015), in altre parole un regime di deflusso funzionale. Al contrario, sono quanto più possibile da prevenire piene o carichi di materiale in sospensione che si discostano troppo dal regime naturale. Nei corsi d'acqua con deflusso residuale e deficit di sedimenti, le piene devono essere combinate con un rilascio di sedimenti immediatamente a valle dell'impianto di accumulazione. In caso contrario le piene artificiali possono abbassare l'alveo, come pure isolare e inaridire le golene.

## Aspetti ecologici

La fisionomia dei fiumi è determinata dal deflusso, dal sedimento e dalla temperatura (cfr. scheda 1). Per una gestione ottimale dei fiumi impattati dagli impianti di accumulazione occorre tener conto di tutti e tre gli aspetti in ugual misura.

### Spostamenti di sedimenti

Il rilascio controllato dell'acqua e dei sedimenti mediante le gallerie di bypass come pure le piene artificiali migliorano il bilancio dei sedimenti nel corso inferiore. A tal fine è importante che l'attuazione delle misure sia ottimale sul piano ecologico. Lo spostamento di sedimenti e di materiale organico incentiva la formazione di nuovi ambienti e anche la loro varietà. I sedimenti trasferiti presso i banchi di ghiaia sono particolarmente importanti per la creazione di microhabitat per le specie acquatiche, anfibe e terrestri nonché per le popolazioni di specie pioniere (cfr. schede 1, 5). Inoltre le inondazioni e gli spostamenti di sedimenti occasionali agiscono positivamente sull'evoluzione dei boschi golenali a legno duro e tenero perché contribuiscono alla deposizione di nutrienti.

I grandi eventi di deflusso e di movimentazione dei sedimenti agiscono in modo più incisivo rispetto a quelli minori, come è stato dimostrato nell'Albula a valle della galleria di bypass di Solis (cfr. cap. Esempi concreti). I grandi eventi che rilasciano sedimenti erodono in profondità il fondo dell'alveo e lo spostano riducendo così la

densità e il numero di specie dei macroinvertebrati nonché la crescita delle alghe. Una forte erosione può ridurre la respirazione nel sedimento, ossia l'importante funzione di trasformazione delle sostanze (cfr. scheda 1). A seconda della frequenza dei rilasci controllati di acqua e sedimenti, lo stato precedente agli eventi può ripristinarsi abbastanza rapidamente. Nell'ambito dell'esercizio delle gallerie di bypass e della produzione delle piene artificiali occorre pertanto ricordare che i grandi eventi di deflusso incidono notevolmente sulla struttura e la funzionalità dei corsi d'acqua. Ne sono coinvolte anche la produzione primaria e secondaria nonché la decomposizione della biomassa. Per ottenere le modifiche ecologiche auspiccate occorre pertanto dimensionare correttamente tali eventi e ripeterli con una certa frequenza al fine di conservarle i cambiamenti indotti (Martín Sanz et al. 2017).

### Connettività longitudinale

Le gallerie di bypass non soltanto favoriscono la continuità del flusso di sedimenti, ma assicurano anche il trasporto di semi e di parti vegetali (cfr. scheda 3) garantendo così la diffusione a valle delle specie come pure la connettività longitudinale degli habitat terrestri e acquatici (Auel et al. 2016). Considerato che le gallerie di bypass sono in esercizio soltanto durante gli eventi di piena, la connettività è limitata solo a questo periodo; nel resto del tempo i semi si depositano nel bacino artificiale e perdono la loro capacità di germinazione perché rimangono immersi troppo a lungo nell'acqua (cfr. scheda 4).

I semi di determinate specie di piante (per es. *Myricaria germanica*, *Salix* ssp) sono trasportati dall'acqua per galleggiamento soltanto nei mesi estivi e per favorire la diffusione di queste specie è consigliabile pianificare le piene artificiali in questi periodi. Inoltre, il periodo in cui sono pianificate le piene e l'intensità del rilascio di acqua possono essere determinanti per la sopravvivenza delle piante allo stadio giovanile, le quali possono essere trascinate via con maggior facilità (cfr. scheda 5).

Sia l'esercizio delle gallerie di bypass che le piene artificiali assicurano il trasporto di nutrienti ne favoriscono la disponibilità per le piante (cfr. scheda 3).

Fig. 4

Lo Spöl con deflusso residuale (a sinistra, deflusso ca.  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ ) e durante una piena (a destra, deflusso  $43\text{ m}^3/\text{s}$ ).



Foto: Urs Uehlinger, Eawag



## Esempi concreti

### Galleria di bypass di Solis

La galleria di bypass per l'impianto di accumulazione di Solis nel fiume Albula (GR) nella parte centrale del Canton Grigioni è stata terminata nel 2012. Caratterizzata da un profilo ad arco ha una larghezza di 4,4 m, una lunghezza di 973 m e un pendenza media dell'1,9 per cento. La sua portata massima è di  $170\text{ m}^3/\text{s}$ , che equivale all'incirca ai picchi di piena che si verificano una volta ogni cinque anni. La galleria di bypass del tipo II sfocia nell'Albula 300 m a valle dello sbarramento (fig. 1) e dalla messa in esercizio ha funzionato finora otto volte durante le piene (stato autunno 2016).

Il più grande evento ha avuto luogo il 13 agosto 2014. In quell'occasione la galleria ha funzionato per circa 14 ore con una portata media di  $153\text{ m}^3/\text{s}$  e ha convogliato all'incirca  $20\,000\text{ m}^3$  di sedimento (Müller-Hagmann 2017). Subito a valle dello scarico, questi rilasci hanno eroso il fondo fluviale e depositato un sedimento più fine, mentre più a valle, prima della foce del Reno posteriore, hanno provocato interramenti e un deposito di materiale più grossolano (Facchini et al. 2015).

### Pièe artificiali nello Spöl

Lo Spöl (fig. 4) nasce dalla Val Ursera, scorre attraverso i due laghi artificiali di Livigno e Ova Spin e sfocia a Zernez nell'Inn. Nel 1973, fu terminata la costruzione della

diga Punt dal Gall nella Valle di Livigno. Da allora, a valle dell'impianto non esiste più una dinamica naturale di deflusso che segue la variabilità stagionale, ma soltanto un deflusso residuale ( $1,5\text{ m}^3/\text{s}$  di notte e  $2,5\text{ m}^3/\text{s}$  di giorno).

Nel 1999 è stato avviato un programma per aumentare la variabilità dei deflussi tramite le pièe artificiali. Da allora, ogni anno, le pièe vengono adeguate in base ai dati di monitoraggio dell'anno precedente. L'obiettivo è quello di acquisire esperienza e conoscenze sulle pièe artificiali e sui loro effetti ecologici. Le pièe artificiali sono inoltre impiegate per provocare lo spostamento di sedimenti ed erodere i coni laterali delle colate detritiche favorendo così la dinamica degli habitat. A condizione che sia presente una sufficiente quantità di acqua nel bacino di Livigno, il programma prevede da due a tre portate di picco all'anno, che corrispondono all'incirca agli eventi di piena che si verificavano prima della costruzione della diga. A valle dell'impianto di accumulazione, l'apporto di sedimenti dagli affluenti previene il deficit di sedimenti e pertanto non è necessaria un'ulteriore introduzione di sedimenti.

Anche altri studi scientifici indicano che le pièe artificiali modificano le condizioni degli habitat e di conseguenza la struttura delle biocenosi (Mürle et al. 2005). Nei fiumi con una variabilità di deflusso elevata, la composizione delle comunità di macroinvertebrati risulta per esempio più na-

turale rispetto ai fiumi con una variabilità minore. Inoltre, dall'avvio del programma, si assiste al reinsediamento di specie adattate a un regime di deflusso variabile e alla riduzione di quelle non resistenti alle correnti. Inoltre le piene, asportando materiale organico, lasciano il campo libero all'insediamento di nuove comunità dei microrganismi decompositori che modificano la trasformazione delle sostanze (respirazione) nel fondo dell'alveo.

Il programma attuato nello Spöl ha inoltre dimostrato che le piene artificiali aumentano la capacità degli ambienti situati a valle di resistere agli eventi catastrofici, come è accaduto con l'incidente che causò un enorme trasporto di materiale in sospensione nel torrente Spöl all'inizio del 2013.

## Conclusione

Il rilascio controllato e ottimizzato dal punto di vista ecologico di acqua e sedimenti ottenuto con il funzionamento delle gallerie di bypass come pure di piene artificiali possono migliorare il bilancio di sedimenti a valle. Un rilascio ottimizzato contribuisce allo spostamento dei sedimenti e del materiale organico e favorisce la nascita di nuovi habitat. Le caratteristiche idrologiche di entrambi gli approcci, vale a dire il periodo (stagione), i picchi, la durata, la frequenza ecc. devono orientarsi alle condizioni del regime di deflusso originario.

Ogni situazione richiede un concetto di gestione fluviale a sé stante, il quale dovrebbe essere accompagnato da un monitoraggio che consenta un confronto tra i diversi fiumi come pure un processo di apprendimento. Considerare l'aspetto del regime sedimentario è una prassi relativamente recente, introdotta nell'ambito della gestione ecologica dei fiumi. I responsabili della pianificazione e attuazione dei rilasci di acqua e di sedimenti devono pertanto adottare un sistema di gestione adattativa che consente di ottimizzare costantemente i processi gestionali grazie al monitoraggio continuo e all'analisi dei risultati ottenuti.

## Bibliografia

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

# 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 coinvolti:** Eawag; Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Facchini, M., Martín Sanz, E., Fink, S., Vetsch, D., Robinson, Ch., Döring, M., Siviglia, A., Scheidegger, Ch., Boes, R., 2017: Gallerie bypass dei sedimenti e piene artificiali. In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 6.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

01.17 1500 86039243

## 7 Riporti di ghiaia ed erosione delle sponde

*Numerosi corsi d'acqua della Svizzera sono compromessi dal punto di vista ecologico perché trasportano una quantità insufficiente di sedimenti. I riporti di ghiaia e l'induzione dell'erosione delle sponde possono migliorare la disponibilità di sedimenti, con il conseguente vantaggio di valorizzare anche gli ambienti e contenere l'erosione del fondale. La scheda 7 illustra mediante esempi concreti entrambe le misure, ne descrive gli effetti ecologici e spiega come pianificarle e metterle in pratica.*

**F. Friedl, E. Battisacco, L. Vonwiller, S. Fink, D. Vetsch, V. Weitbrecht, M. J. Franca, Ch. Scheidegger, R. Boes, A. Schleiss**

I corsi d'acqua con un deficit di sedimenti, dovuto per esempio all'interruzione del loro trasporto a monte dei bacini di accumulazione, sono spesso assai danneggiati dal punto di vista ecologico. Una misura per valorizzarli è aumentare la disponibilità di sedimenti, per esempio mediante i riporti di ghiaia o favorendo l'erosione delle sponde (fig. 1). Se il deflusso è più elevato o si verifica una piena, i riporti o le sponde vengono erosi (fig. 2). Ne consegue una maggiore immissione di sedimenti a valle,

che depositandosi sul fondo dell'alveo formano strutture morfologiche dinamiche. Gli obiettivi principali dei riporti e dell'erosione delle sponde sono: (i) ridurre il deficit di sedimenti; (ii) valorizzare gli habitat acquatici e terrestri per i pesci, i macroinvertebrati e le piante; (iii) prevenire l'erosione progressiva del fondo e proteggere i ponti o le arginature (per es. Kondolf e Minear 2004). Di seguito saranno presentati e spiegati sulla base di esempi concreti gli aspetti tecnici ed ecologici dei riporti di ghiaia e dell'induzione dell'erosione delle sponde. Nell'ambito del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» sono stati studiati i fiumi torrentizi (ripidi) tendenzialmente soggetti a forti correnti e i fiumi di pianura (poco ripidi) caratterizzati per lo più da correnti calme.

### Riporti di sedimenti

#### Pianificazione ed esecuzione

Tipo, posizione e forma dei riporti

Nell'ambito dei riporti di sedimenti si distingue tra arricchimento diretto e indiretto. Nel caso di un arricchimento diretto i riporti di sedimenti sono disposti in maniera tale da indurre nei siti ecologicamente idonei la formazione di

**Fig. 1**

*Rappresentazione schematica dei riporti di sedimenti e dell'erosione delle sponde (a sinistra). Esecuzione di un'operazione di riporto di sedimenti presso la Reuss a valle di Bremgarten (AG; a destra).*



**Fig. 2**

Ripporto di sedimenti nella Töss presso Sennhof, Winterthur (ZH). Situazione subito dopo il riporto (a sinistra) e un mese più tardi, dopo un picco di deflusso leggermente inferiore a  $HQ_1$  (a destra).



Fotos: AWEL

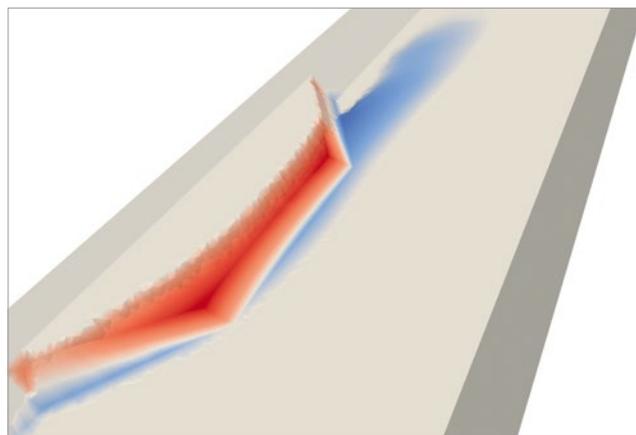
strutture morfologiche come banchi di sedimenti o guadi. Questo tipo di riporto è attuabile unicamente se è presente un accesso diretto al corso d'acqua. Nel caso di un arricchimento indiretto, i materiali sono riportati nei siti idonei dal punto di vista logistico e idraulico, ovvero dove la corrente è più forte. Se il deflusso è abbastanza elevato, il materiale di riporto viene mobilizzato e trasportato idraulicamente a valle, dove – a seconda delle peculiarità del luogo – accentua le strutture morfologiche presenti o ne forma di nuove. I sedimenti possono o es-

sere riportati nel fiume in presenza di deflussi di magra (fig.1) o sui margini golenali in presenza di deflussi più elevati. L'arricchimento indiretto è utilizzato più spesso rispetto a quello diretto perché, tra gli altri motivi, costa meno, si lascia eseguire più facilmente, incide meno sull'ambiente acquatico e non dipende dall'accessibilità, spesso limitata, al corso d'acqua.

I sedimenti devono essere riportati il più possibile in prossimità del sito da cui sono stati prelevati. In tal modo si

**Fig. 3**

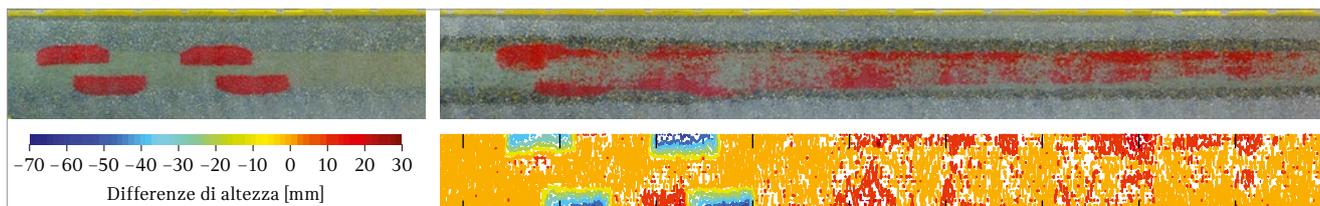
Esperimenti di erosione condotti nello stesso momento su riporti di sedimenti in un modello fisico (a sinistra) e in un modello numerico (a destra). A destra: la dislocazione del sedimento eroso è riconoscibile dalla lingua di sedimenti che si sta formando a valle (in blu). Inoltre è visibile il volume eroso del riporto (in rosso).



Fonte: VAW

Fig. 4

Arricchimento di sedimenti mediante riporti alternati in un esperimento di laboratorio. A sinistra: disposizione iniziale. A destra: depositi dopo 9 ore di deflusso costante. L'immagine mostra una foto (sopra) e il difference plot di una misurazione laser (sotto). Nel difference plot i colori indicano l'erosione (valori negativi nella legenda) oppure i depositi (valori positivi).



Fonte: LCH-EPFL

riduce al minimo indispensabile il trasporto e il suo inquinamento. I siti per il riporto di sedimenti devono essere scelti attentamente, con l'obiettivo di limitare eventuali interventi nella zona delle sponde, come per esempio la costruzione di strade di accesso. In tal modo si possono anche ridurre i costi.

I test di laboratorio condotti nell'ambito del progetto «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» hanno dimostrato che nei fiumi alpini la disposizione parallela o alternata di più riporti determina un arricchimento di sedimenti più duraturo (Battisacco 2016). Inoltre, dalle modellizzazioni fisiche per i fiumi di pianura (Friedl et al. 2016) è emerso che un riporto di sedimenti in forma di isola è soggetto a una più rapida erosione rispetto a un riporto collocato direttamente presso la sponda in quanto l'isola espone due pendii alla corrente. Inoltre è stato dimostrato che i

riporti di sedimenti che occupano meno del 30 per cento della larghezza del corso d'acqua (grado di ostruzione < 30 %) causano a monte soltanto un lieve rigurgito (meno del 20% della profondità di deflusso iniziale). Il rigurgito può essere stimato con l'equazione di Oak e Smith (1994), elaborata per i singoli pennelli.

I processi di erosione osservati in laboratorio possono essere ben rappresentati con simulazioni numeriche (fig. 3). Vonwiller et al. (2016) hanno mostrato che questi modelli devono considerare tre componenti (approcci di modellizzazione): (i) il trasporto laterale di sedimenti, che tiene conto della deviazione del trasporto dovuto all'inclinazione laterale del fondo dell'alveo, (ii) il collasso della scarpata indotto dalla gravità, che rappresenta lo scivolamento della scarpata al superamento della pendenza critica e (iii) una riduzione della forza di trascinarsi di fondo critica dovuta alla pendenza locale del fondo in direzione della corrente.

Fig. 5

Riporto di sedimenti nell'Aare presso Aarwangen (BE).



Foto: Flussbau AG

Stima del tasso di trasporto e volume dei riporti

In un tratto fluviale, il tasso di trasporto per diversi deflussi e idrogrammi può essere determinato con approcci di calcolo semplici, basati sulle modellizzazioni fisiche o numeriche (per es. BASEMENT; Vetsch et al. 2016). La distribuzione granulometrica del materiale di riporto gioca in questo caso un ruolo decisivo. Per stabilire il volume dei riporti, gli operatori responsabili possono orientarsi al carico seminaturale medio annuale o a un carico che consente di conservare strutture morfologiche seminaturali. Occorre inoltre tenere conto delle esigenze relative alla protezione contro le piene. Un monitoraggio è indispensabile per ridurre al minimo le incertezze dei cal-

coli relativi al trasporto, per individuare scarichi indesiderati sul fondo e per ottimizzare i riporti.

#### Provenienza del materiale di riporto

Il materiale di riporto viene prelevato dalle camere di ritenuta dei sedimenti, dai bacini di accumulazione o dalle cave di ghiaia. Occorre in questo caso assicurarsi che la distribuzione granulometrica risponda ai requisiti ecologici locali. Idealmente andrebbe utilizzato sedimento tipicamente fluviale, che origina dal fiume stesso. Nella regione prealpina e nell'Altipiano svizzero, il materiale di riporto è generalmente costituito da frazioni miste di sabbia e ghiaia, che a volte bisogna setacciare o amalgamare. Un materiale troppo ricco di sedimenti fini o sostanze organiche, a seconda delle situazioni, potrebbe risultare inappropriato dal punto di vista ecologico. Inoltre, un materiale con un'elevata percentuale di sedimenti fini rischia di nuocere alle captazioni di acqua potabile dislocate a valle del corso d'acqua.

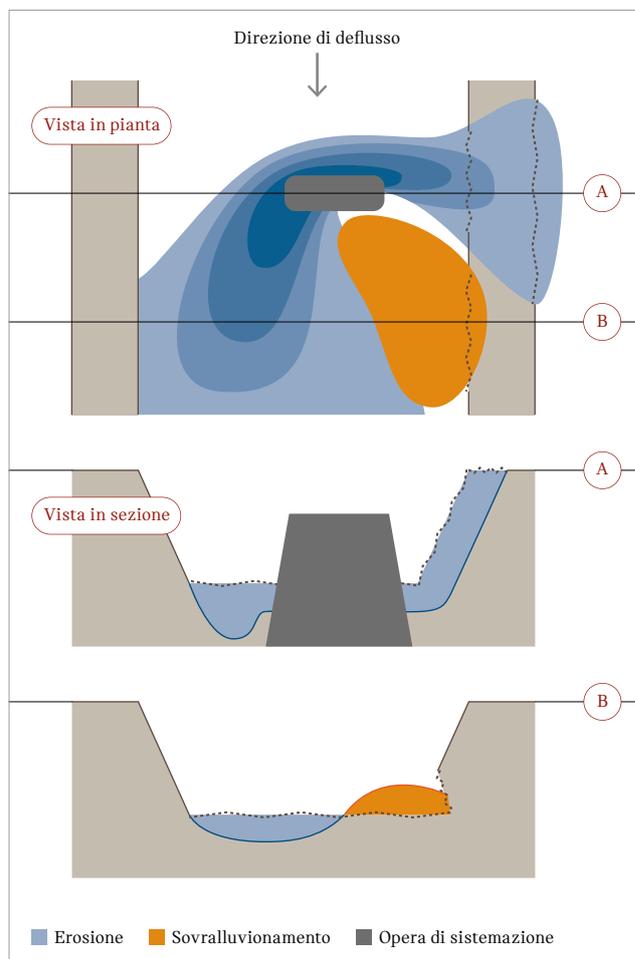
#### Effetto spaziale e temporale

Sulla base di modellazioni, Friedl et al. (2016) hanno dimostrato che l'evoluzione nel tempo dell'erosione dei riporti di sedimenti, dipende, oltre che dalle condizioni di deflusso, soprattutto dalla granulometria, dal grado di occupazione e dalla posizione del materiale riportato nel corso d'acqua, mentre la sua densità, altezza e lunghezza hanno un ruolo secondario.

Secondo le ricerche di laboratorio condotte nell'ambito del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» di Battisacco (2016), l'estensione e la solidità dei depositi di sedimenti a valle dei riporti è ottimale quando il deflusso iniziale copre appena i riporti. Inoltre è stato osservato che la disposizione parallela dei riporti determina a valle una distribuzione uniforme dei sedimenti, mentre quella alternata porta ad una parziale formazione di banchi (fig. 4). Sulla base di questi risultati è possibile concludere che l'immissione di sedimenti favorisce la formazione di nuove strutture morfologiche e lo spostamento di sedimenti, per esempio presso i banchi di ghiaia esistenti. A seconda della composizione del materiale immesso varia l'effetto sul fondo dell'alveo, che può risultare nell'assottigliamento, nella decolmatazione o colmatazione o nella mobilizzazione dello strato di copertura.

Fig. 6

*Erosione laterale indotta presso uno sbarramento non sommerso.*



Fonte: VAW

I riporti di sedimenti attuati in alvei più ripidi (> 1%) richiedono la presenza di un deflusso che non provochi la mobilizzazione dello strato di copertura e che trasporti il materiale riportato sul fondo fluviale stabile esistente. Ciò è importante per garantire la sicurezza contro le piene e in quei casi in cui vengono combinati i riporti con le piene artificiali, come per esempio a valle delle dighe (cfr. scheda 6).

#### Esempi concreti

Da alcuni anni in Svizzera si ricorre più spesso ai riporti di sedimenti. Nell'Aare (BE), a valle del lago di Biene, per esempio in due siti, in presenza di deflussi di magra, sono stati effettuati arricchimenti indiretti con la forma di un lungo banco di ghiaia e di isole laterali in prossimità della

sponda. Il volume dei riporti fu stabilito in maniera tale da essere completamente sommersi, già in caso di un evento di piena modesto con conseguente erosione e dislocazione del materiale. In località Deitingen (SO), a valle della centrale ad acqua fluente di Flumenthal, nel 2005 è stato riportato un volume di 12 000 m<sup>3</sup>. Il materiale proveniva dall'opera di ritenuta dei sedimenti presso la foce della Emme, un affluente situato a monte. Presso Aarwangen (BE) nel 2005 e 2010, a valle della centrale ad acqua fluente di Bannwil, i volumi di riporto sono stati rispettivamente di 11 000 m<sup>3</sup> e 10 000 m<sup>3</sup> (fig. 5). Il materiale proveniva dalla cava di ghiaia «Risi». Il materiale fine fu setacciato per prevenire l'intorbidimento dell'acqua. Il diametro massimo dei granuli dei riporti di sedimenti nei siti di Aarwangen e Deitingen era rispettivamente di 50 mm e 60 mm. Il riporto di Deitingen è stato eroso più lentamente rispetto a quello di Aarwangen a causa della minore pendenza del fondo e della distribuzione granulometrica più grossolana.

Nel 2004, nell'Alto Reno presso Zurzach (AG) e presso l'isola di Rietheim è stato effettuato un riporto di sedimenti. Presso Zurzach, l'arricchimento indiretto aveva la forma di un banco di ghiaia e un volume di 1000 m<sup>3</sup>. Presso l'isola di Rietheim è stato effettuato nei potenziali luoghi di riproduzione delle specie ittiche che dipendono dai fondali ghiaiosi un arricchimento diretto con un volume di circa 100 m<sup>3</sup>. Mediante un monitoraggio sono stati documentati i cambiamenti dei corpi di riporto e la loro dislocazione attraverso deflussi più elevati (Abegg et al. 2013).

Nell'Aare presso Schwellenmätteli, a Berna, rimangono immobilizzati molti depositi di sedimenti. Il materiale viene dragato periodicamente e restituito all'Aare in due siti a valle dello sbarramento di Engehalde in forma di riporti di sedimenti.

A monte della centrale ad acqua fluente di Bremgarten-Zufikon, la Reuss tende ai sovralluvionamenti, mentre a valle si crea un deficit di sedimenti. Nell'ambito della manutenzione dei corsi d'acqua e della protezione contro le piene, a monte della centrale ogni due anni si attua di regola un prelievo di sedimenti per restituirli a valle (Hackl 2013). In inverno il materiale di riporto viene prelevato dai banchi di ghiaia, trasportato in autocarri e rilasciato in un

Fig. 7

*Erosione delle sponde indotta da un'isola artificiale nella Töss (ZH) nel 2013.*



Foto: VAW

sito idoneo a valle di Bremgarten. Anche durante i deflussi di magra, la corrente è sufficiente per erodere parzialmente i riporti e distribuirli in prossimità del fondo fluviale (fig. 1). Altri esempi di immissioni di sedimenti li troviamo nel Cantone di Zurigo, nella Limmat e nella Töss (fig. 2).

## Erosione delle sponde

### Pianificazione ed esecuzione

Le sponde di un tratto fluviale rettificato e non rivitalizzato sono generalmente protette da opere di arginatura, che hanno lo scopo di garantire la stabilità delle sponde, in particolare durante le piene. Nei punti in cui il letto fluviale può essere allargato in modo naturale senza compromettere la protezione dalle piene, l'erosione delle sponde non va impedita, ma addirittura promossa. Da chiarire è quale settore del fiume possa essere lasciato a una libera evoluzione al fine di stabilire una linea di intervento.<sup>1</sup> È altresì da verificare se sia necessaria una protezione nascosta delle sponde, per esempio in stato «dormiente». Di seguito sono riportate alcune misure per promuovere l'erosione delle sponde.

<sup>1</sup> La definizione del termine «linea di intervento», e di altri termini, si trova nel glossario. Online: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

### Rimozione delle arginature

La rimozione delle arginature favorisce l'erosione delle sponde indotta dalla corrente e non richiede ulteriori interventi. È la soluzione più economica, basata su un processo regolato da una propria dinamica naturale, che dipende dal deflusso, ma anche dall'azione locale della corrente e quindi dall'idrologia, dalla situazione geometrica e dalle condizioni idrauliche. Tale processo può durare anni.

### Altre misure per destabilizzare le sponde

La vegetazione ha un effetto stabilizzante e pertanto può ostacolare o rallentare in modo considerevole l'erosione delle sponde. Inoltre, se il deflusso è troppo basso, la frazione grossolana dei sedimenti può depositarsi alla base della scarpata della sponda proteggendola ulteriormente dall'erosione (Requena 2008). Esistono numerose misure che contrastano questi processi e favoriscono l'erosione delle sponde, per esempio la riduzione della stabilità della scarpata ottenuta mediante lo sradicamento delle radici, la creazione di fenditure locali con macchinari o l'abbassamento delle sponde.

### Erosione laterale ottenuta con le opere di sistemazione

Le opere di sistemazione come i pennelli o le isole artificiali possono deviare la corrente e aumentare l'erosione laterale. Le opere di sistemazione riducono la sezione trasversale di deflusso che determina un rigurgito a monte, aumenta la velocità di deflusso e sollecita maggiormente le sponde. Le opere di sistemazione più appropriate sono quelle solide, non soggette a erosione oppure quelle che vengono erose soltanto con il passare del tempo, per esempio i riporti in forma di isole.

### Effetto spaziale e temporale

Le ricerche di laboratorio condotte nell'ambito del progetto «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» mostrano che nel caso delle opere di sistemazione, l'entità della loro erosione dipende dalla posizione in cui sono collocate (Friedl et al. 2016). Un'opera disposta vicino alla sponda, per esempio una piccola isola con un canale laterale, determina un'erosione rapida che si propaga in larghezza, ma che rimane localizzata. Un'opera situata a grande distanza dalla sponda, per esempio un pennello presso la sponda opposta, porta a un'erosione più lenta e meno marcata, ma che prosegue su un tratto fluviale

più lungo. A seconda del deflusso, il materiale eroso si deposita in prossimità o più distante dal luogo dell'intervento di sistemazione. Nella peggiore delle ipotesi si forma un deposito subito dopo il punto di intervento, che protegge la sponda a valle e riduce il progredire dell'erosione (fig. 6).

Le opere realizzate in un corso d'acqua per deviare la corrente influenzano sempre entrambe le sponde, fatta eccezione per i fiumi molto larghi. Occorre inoltre considerare il rischio che si formi una fossa d'erosione direttamente presso l'opera di sistemazione che potrebbe abbassare il fondale a monte. È quindi opportuno pianificare un'adeguata protezione contro l'affossamento sulla sponda opposta nonché presso l'opera stessa.

Considerato che gli effetti delle opere di sistemazione in alveo dipendono dalla vegetazione e dalla resistenza delle sponde all'erosione, gli effetti ecologici e morfologici auspicati potrebbero tardare o addirittura non manifestarsi.

### Esempio concreto

Nella Töss (Mittlere Aue), a monte di Winterthur (ZH), nel 2001 sono state parzialmente rimosse le opere di protezione delle sponde e il corso fluviale è stato suddiviso con un'isola artificiale costituita da aggregati grossi per opere idrauliche (armourstone). Nonostante i tre eventi di piena verificatisi nei successivi dieci anni (due a distanza di due anni e uno dopo cinque anni), l'erosione delle sponde è risultata molto limitata. Nel 2009 sono state pertanto dissodate le scarpate delle sponde e sono stati rimossi i rizomi. Nel 2011, tre eventi di piena con un tempo di ritorno fino a 1,5 anni hanno alla fine causato un'erosione laterale di 3 metri. Le frazioni grossolane del materiale eroso non sono state trasportate oltre, ma si sono depositate presso le sponde formando uno strato di copertura che ha impedito l'ulteriore erosione delle sponde per azione degli eventi di piena più modesti. Nel 2013 una piena decennale ha portato a un'erosione laterale delle sponde fino a 8 m (fig. 7). Questo esempio dimostra chiaramente che smantellando soltanto la protezione delle sponde non si ottiene necessariamente l'erosione auspicata. L'ottenimento dell'erosione auspicata dipende dalla copertura vegetale locale delle sponde e dalla vegeta-

zione in prossimità nonché dalla composizione del materiale delle sponde.

## Aspetti ecologici

### Riperti di sedimenti

I riperti di sedimenti favoriscono l'apporto di nuovi sedimenti agli habitat acquatici e terrestri ma possono pure introdurre prodotti indesiderati come, ad esempio, sostanze inquinanti, materiali organici in decomposizione o semi di specie di piante invasive. Si tratta di aspetti di cui bisogna tener conto quando si valuta la provenienza e la qualità del materiale di riporto. L'introduzione di semi di specie invasive può portare all'estinzione di popolazioni locali di specie pioniere e l'arricchimento di nutrienti alla scomparsa specie di piante adattate agli ambienti oligotrofici.

Il periodo in cui prelevare e rilasciare i sedimenti è determinante per ridurre gli impatti negativi sugli organismi terrestri e acquatici. Nel caso di un arricchimento diretto, il nuovo habitat deve essere disponibile in primavera, poco prima della fase di germinazione, o dopo la fioritura, durante la diffusione dei semi. La scelta del periodo deve essere inoltre coordinata con i periodi di riproduzione delle specie ittiche indigene.

In particolare, occorre limitare l'apporto di sedimenti fini per non pregiudicare o addirittura distruggere la qualità degli habitat acquatici esistenti. I depositi di sedimenti fini possono per esempio ostacolare l'apporto di acqua e di ossigeno ai fregolatoi delle specie ittiche che dipendono dai fondali ghiaiosi per la riproduzione e determinare così la morte delle loro uova (cfr. scheda 3).

Le specie bersaglio degli habitat rivieraschi hanno esigenze diverse in materia di granulometria, quantità ed eterogeneità dei sedimenti (cfr. schede 1 e 5). Dalla composizione del sedimento dipende anche il tenore di umidità. La scelta del materiale di riporto deve tenere conto delle specie bersaglio da promuovere. Negli ambienti golenali naturali, i siti secchi sono situati su sedimenti grossolani permeabili e i siti umidi su sedimenti limosi, spesso gli uni accanto agli altri. Pertanto, soprattutto nel caso

degli arricchimenti diretti occorre mirare a un'elevata varietà di siti.

### Erosione delle sponde

L'erosione delle sponde crea nuovi ambienti, come per esempio le zone a corrente calma adatte agli avannotti o le pareti di nidificazione per specie come il martin pescatore e la rondine riparia; al contempo rappresenta localmente un fattore transitorio di stress per l'ambiente rivierasco. Tuttavia la flora e la fauna fluviali si sono adattate a tali perturbazioni e in parte addirittura ne dipendono. L'erosione deve essere invece impedita negli ambienti che ospitano organismi che sostano a lungo nello stesso luogo (cfr. scheda 5; Scheidegger et al. 2012).

## Conclusione

I riperti di sedimenti riducono il deficit di sedimenti nei corsi d'acqua e consentono un arricchimento controllato. Nell'applicazione della misura è importante considerare svariati aspetti, tra cui l'accessibilità al corso d'acqua, la provenienza e composizione del materiale di riporto, ma anche il periodo in cui attuarla per non danneggiare i pesci e altri organismi.

Un'alternativa ai riperti è l'arricchimento di sedimenti ottenuto inducendo l'erosione delle sponde. In questo caso occorre prima rimuovere le opere di protezione e la copertura vegetale delle sponde. Rivestono un ruolo importante in questo contesto anche le misure di protezione come la definizione di una linea di intervento o le opere di protezione «dormienti» che servono a impedire un'estensione indesiderata dell'erosione. Il tratto fluviale in cui si decide di favorire l'erosione delle sponde deve essere scelto con l'obiettivo di non distruggere o isolare gli habitat esistenti, ma di creare tra loro la migliore interconnessione possibile.

Entrambe le misure si prestano alla formazione di strutture naturali e contribuiscono alla dinamica e varietà degli habitat. Gli obiettivi sono la promozione degli habitat acquatici e terrestri riattivando la dinamica dei sedimenti e il ripristino della funzionalità dei corsi d'acqua.

## Bibliografia

L'elenco bibliografico dettagliato relativo a questa scheda si trova nella pagina web del programma [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) > prodotti e pubblicazioni

# 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 coinvolti:** Eawag: Istituto per la ricerca sulle acque dei Politecnici federali; Laboratoires de Constructions Hydrauliques (LCH), EPFL Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zurigo; Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio (WSL)

**Direzione del progetto:** Anna Belser, coordinamento progetto, UFAM; Christoph Scheidegger, WSL; Christine Weber, Eawag; David Vetsch, VAW-ETH Zurigo; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Assistenza specialistica:** UFAM: Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi  
Cantoni: Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG); Istituti di ricerca: Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL); Altri: Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Redazione:** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Indicazione bibliografica:** Friedl, F., Battisacco, E., Vonwiller, L., Fink, S., Vetsch, D., Weitbrecht, V., Franca, M. J., Scheidegger, Ch., Boes, R. M., Schleiss, A. 2017: Riporti di ghiaia ed erosione delle sponde. In: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. Scheda 7.

**Traduzione:** Servizio linguistico italiano, UFAM

**Progetto grafico e illustrazioni:** M. Schneeberger, anamorph.ch

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

© UFAM 2017

01.17 1500 86039243

# 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).

**Foto di copertina:** La Sense presso Zumholz (FR).

Foto: Markus Zeh

**Indicazione bibliografica:** UFAM (ed.) 2017: Dinamica dei sedimenti e degli habitat. Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. 84 pagg.

**Link per scaricare il PDF:**

[www.bafu.admin.ch/uw-1708-i](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-i)

La presente pubblicazione è disponibile anche in francese e tedesco (lingua originale).

© UFAM 2017

01.17 1500 86039243