

9 Continuità dei sedimenti e relative misure di apporto

Un trasporto di sedimenti compromesso può avere numerosi effetti negativi sull'eco-morfodinamica dei paesaggi fluviali. Se ben progettate, le misure di apporto dei sedimenti rappresentano un approccio di mitigazione promettente a vari livelli. Il presente capitolo si concentra sugli esperimenti condotti per studiare l'influenza dell'incremento dei sedimenti sulle strutture morfologiche dell'alveo e la persistenza delle forme emergenti dell'alveo. Include anche informazioni sui criteri di progettazione e sui metodi di valutazione dei risultati.

Christian Mörtl, Robin Schroff e Giovanni De Cesare

9.1 Interruzione della continuità dei sedimenti

Dalla sorgente alla foce, lungo il loro corso i fiumi trasportano sedimenti. Se esistono fonti naturali di sedimenti e la portata indisturbata varia con gli eventi di piena e le stagioni, un processo continuo di erosione e deposito plasma il tracciato e la morfologia dell'alveo. Questa dinamica naturale è fondamentale per la diversità degli habitat fluviali (UFAM 2017a).

Nei fiumi corretti, il regime sedimentario naturale è spesso perturbato da: (i) un regime di portata alterato, (ii) una maggiore capacità di trasporto derivante dalla canalizzazione o (iii) una disponibilità ridotta di materiale solido di fondo. Un regime di portata alterato, dovuto principalmente alla correzione del deflusso per la produzione di energia (deflussi residuali e discontinui) o la protezione contro le piene, riduce le portate di picco necessarie per i principali eventi di mobilizzazione del materiale solido di fondo. La canalizzazione, nell'ambito della rettifica storica dei fiumi, aumenta la capacità di trasporto e causa l'incisione dell'alveo e il progressivo appiattimento della pendenza del canale. La disponibilità di materiale solido di fondo può essere ridotta dalla protezione degli argini o dall'estrazione di sedimenti alluvionali. La continuità longitudinale del trasporto dei sedimenti può essere interrotta da trappole per sedimenti o opere idrauliche, come le centrali ad acqua fluente e le dighe con grandi bacini, portando a una completa scomparsa del materiale solido di fondo nel tratto a valle.

Siccome la mitigazione degli effetti negativi dell'energia idroelettrica sul bilancio del materiale solido di fondo ha svolto un ruolo chiave nella revisione del 2009 della legislazione svizzera sulle acque (art. 43a della legge federale

sulla protezione delle acque, LPAc, 1991), questa prima parte si concentra sull'impatto dei bacini artificiali sulla continuità dei sedimenti.

9.1.1 Impatto dei bacini artificiali

L'interruzione della continuità dei sedimenti causata dai bacini artificiali può avere effetti diretti e indiretti a monte, a valle e sul bacino stesso (fig. 52). All'ingresso a monte dei grandi bacini, il materiale di fondo si accumula a causa della riduzione della velocità della corrente. Questo può portare all'innalzamento dell'alveo e, in alcuni casi, a un aumento del rischio di piene. All'interno dei grandi bacini, i sedimenti fini in sospensione vengono trasportati più vicino alla diga, per poi depositarsi lentamente e portare al progressivo riempimento del bacino. La sedimentazione dei bacini minaccia l'uso sostenibile della forza idrica (Schleiss *et al.* 2010), ad esempio riducendo la capacità di stoccaggio o bloccando le uscite. A valle dei grandi bacini, il deficit di materiale solido di fondo, combinato con un regime di deflusso innaturale, può portare al degrado dell'eco-morfodinamica del tratto iniziale. In condizioni di portata costantemente bassa, le frazioni granulari più piccole dell'alveo si erodono, lasciando dietro di loro uno strato di sedimenti grossolani e immobili (strato di armatura; Kondolf 1997). Con il tempo, i sedimenti fini in sospensione si depositano nello spazio interstiziale aperto, dando luogo a un intasamento del letto, la cosiddetta colmatazione (cfr. cap. 7 e 8). La colmatazione e l'armatura riducono l'habitat riproduttivo per i pesci che depongono le uova nella ghiaia, degradano l'habitat dei macroinvertebrati e compromettono il flusso iporreico (Schälchli 1992). In presenza di portate elevate, lo strato di armatura può rompersi e rilasciare sedimenti fini dallo

Figura 52

Problemi legati ai sedimenti nei corsi d'acqua regolati per quanto riguarda la discontinuità e i cambiamenti morfologici. Discontinuità dei sedimenti: (1) accumulo di sedimenti, (2) deposito di sedimenti grossolani, (3) deposito di sedimenti fini, (4) deposito di materiale organico, (6) deficit di materiale solido di fondo e (9) eccesso di sedimenti fini in sospensione. Cambiamenti morfologici: (1) innalzamento dell'alveo, (5) sedimentazione del bacino, (6) sviluppo di un'armatura statica nell'alveo, (7) incisione dell'alveo, (8) perdita di dinamica morfologica e (9) colmatazione degli spazi interstiziali.

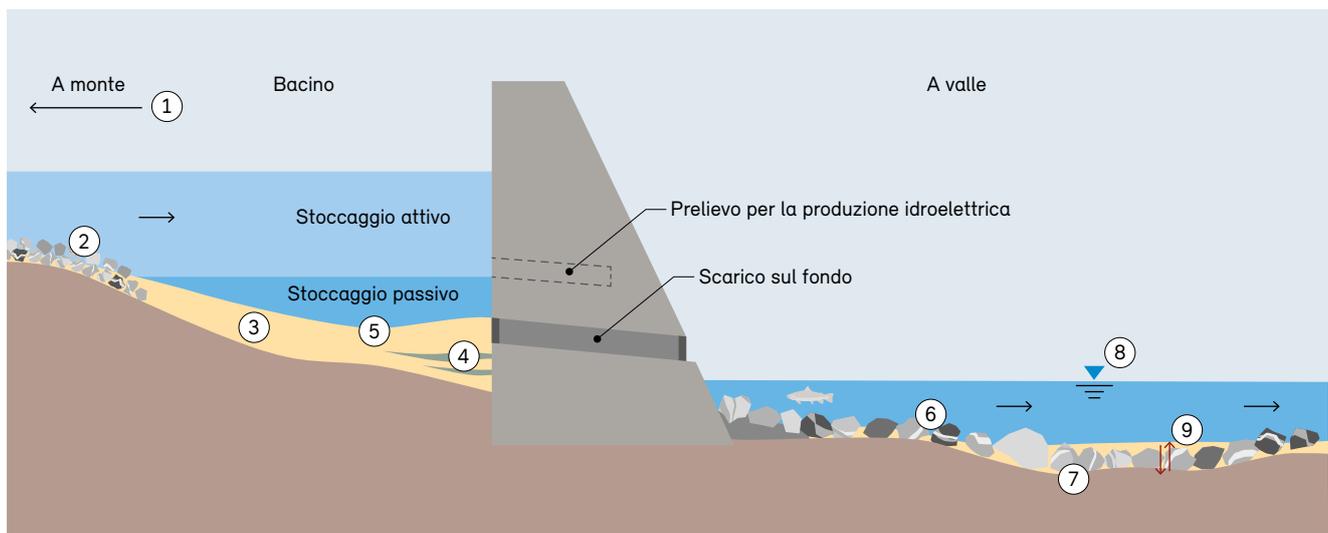


Figura adattata da Mörtl *et al.* (2020)

strato subsuperficiale. Con un deficit di materiale solido di fondo, l'alveo rischia l'erosione permanente (incisione dell'alveo). A lungo termine, la riduzione della dinamica idromorfologica porta a un impoverimento dello spazio per gli habitat acquatici e ripari.

9.2 Misure di apporto di sedimenti

9.2.1 Descrizione e applicazione

L'apporto di sedimenti designa l'aggiunta artificiale di sedimenti a un corso d'acqua. Le misure di apporto di sedimenti includono il riporto diretto di sedimenti sotto forma di argini artificiali o altre strutture morfologiche all'interno del corso d'acqua. Un'altra opzione è l'aggiunta di sedimenti a monte, attraverso la creazione di depositi erodibili all'interno del canale o lungo le rive, progettati per essere mobilizzati durante gli eventi di piena. Invece di un riporto *in situ*, i sedimenti possono anche essere forniti in modo continuo durante una piena, ad esempio con l'aiuto di un nastro trasportatore o di uno scivolo naturale. L'apporto dei sedimenti può avvenire anche

indirettamente, attraverso l'erosione indotta delle rive, ad esempio con strutture di guida o la rimozione di protezioni spondali.

9.2.2 Quadro giuridico

Nella legislazione svizzera, il risanamento dei corsi d'acqua si suddivide in rivitalizzazione, mitigazione dei deflussi discontinui e risanamento dei deflussi residuali. La rivitalizzazione mira a ripristinare le funzioni naturali, contrastando gli interventi diretti dell'uomo sulla morfologia dei canali mediante opere edilizie. La mitigazione dei deflussi discontinui prevede il ripristino della connettività longitudinale per la migrazione dei pesci, la mitigazione dei flussi discontinui e il risanamento del regime sedimentario perturbato.

Se non è fattibile né proporzionato ripristinare la continuità dei sedimenti per una struttura esistente, si possono attuare misure di apporto di sedimenti per risanare il regime sedimentario a valle (Schälchli e Kirchofer 2012). L'apporto di sedimenti può avvenire anche nel contesto di progetti di rivitalizzazione: può far parte della misura

di rivitalizzazione stessa (p. es. creazione di habitat per la riproduzione, arricchimento della diversità strutturale), migliorare l'efficacia di una misura di rivitalizzazione (p. es. l'allargamento dinamico del corso d'acqua) o mitigare gli effetti secondari di una misura di rivitalizzazione (deficit di materiale solido di fondo a valle causato dai lavori di allargamento del corso d'acqua).

9.2.3 Raccomandazioni specifiche per la progettazione

I principali obiettivi dell'apporto di sedimenti sono tutti legati al miglioramento dell'eco-morfodinamica a diversi livelli territoriali e temporali (Mörtl e De Cesare 2021; fig. 53). L'obiettivo del ripristino del bilancio in materiale solido di fondo, ad esempio, è di ristabilire il trasporto naturale del materiale solido di fondo, con conseguente miglioramento delle strutture e delle dinamiche morfologiche in qualsiasi punto del fiume in cui le condizioni sono favorevoli. L'apporto di sedimenti va dunque progettato per migliorare l'eco-morfodinamica a lungo termine a livello di rivitalizzazione. Con i regimi di piena ecologici e uno spazio riservato alle acque sufficiente, crea le condizioni per un'evoluzione naturale verso uno stato di riferimento sostenibile. Una misura di apporto incentrata sul ripristino dell'habitat riproduttivo può produrre effetti positivi locali

a breve termine. Questa misura può essere applicata in sezioni fluviali con restrizioni idromorfologiche, come i tratti con deflussi residuali, ma gli effetti positivi potrebbero essere meno persistenti.

Ripristino del bilancio del materiale solido di fondo

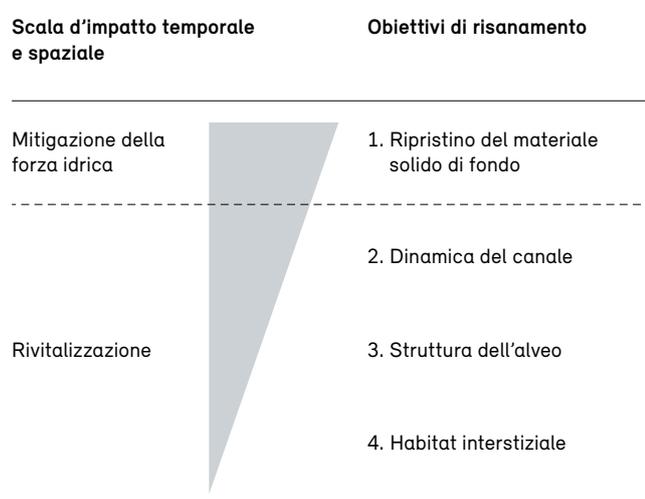
L'apporto di sedimenti per ripristinare il bilancio del materiale solido di fondo è solitamente attuato a monte di un tratto fluviale lungo e continuo con un potenziale ecologico significativo e processi idromorfologici sufficientemente forti per garantire un trasporto continuo di materiale solido di fondo. La distribuzione granulometrica e il volume di progetto devono corrispondere al materiale e al deficit di materiale solido di fondo (volume di trasporto richiesto) (Schälchli e Kirchhofer 2012). Il materiale può provenire da trappole per il materiale solido di fondo, bacini o cave di ghiaia, ma non dovrebbe avere un contenuto elevato (> 12–14 %) di sedimenti più piccoli della ghiaia fine o del materiale organico, per evitare un'elevata torbidità e la colmatazione dei tratti a valle (Kondolf 2000). I depositi erodibili abbinati alla mobilizzazione delle piene si sono dimostrati un metodo efficiente dal punto di vista dei costi (UFAM 2017a). Un importante criterio di riporto per una mobilizzazione efficiente è la morfologia del canale, che influenza parametri idraulici come la capacità di trasporto, le condizioni di portata e la curva di rigurgito. Tuttavia, altri criteri, come la protezione contro le piene, le infrastrutture e l'accessibilità, potrebbero imporre ulteriori restrizioni (UFAM 2017a). Il periodo scelto dovrebbe trovarsi al di fuori del periodo di riproduzione e, idealmente, prima del picco di deflusso stagionale. Nei casi in cui il trasporto dei sedimenti è disturbato da decenni e a seconda del rapporto tra il volume fornito e il deficit annuale di materiale solido di fondo potrebbe essere necessaria una ripetizione annuale della misura. Anche le restrizioni territoriali relative all'apporto di sedimenti possono rendere la ripetizione ogni 2–3 anni un'alternativa efficiente dal punto di vista dei costi.

Promozione della dinamica del canale

Con un'innalzamento sufficiente nel canale attivo, i tassi di apporto di sedimenti possono diventare un fattore trainante per la mobilità laterale (Rachely *et al.* 2018). L'apporto di sedimenti può quindi essere utilizzato per promuovere la morfodinamica del canale, ad esempio nei progetti di allargamento dinamico del canale. Quando al corso d'acqua viene concesso spazio sufficiente, ad esempio

Figura 53

Obiettivi di risanamento delle misure di apporto di sedimenti a diverse scale di impatto temporale e territoriale.



rimuovendo la protezione delle rive, l'apporto di sedimenti artificiali può aumentare i tassi di erosione delle rive e quindi migliorare la connettività laterale. I sedimenti forniti possono essere composti da una miscela di sedimenti naturali. Per innescare i processi idromorfologici necessari per una dinamica significativa del canale occorrono eventi di portata massima.

Miglioramento della struttura dell'alveo

La struttura longitudinale dell'alveo nei corsi d'acqua naturali di ghiaia dell'Altopiano svizzero è caratterizzata da una sequenza di pozze, acque lente e rapide. Dove il trasporto del materiale solido di fondo e la dinamica del canale sono fortemente compromessi, ad esempio nelle sezioni con deflussi residuali, l'incremento dei sedimenti con depositi erodibili può migliorare la diversità strutturale dei tratti fluviali locali (Schroff *et al.* 2021). Anche il riporto diretto di sedimenti può essere utilizzato per creare le forme dell'alveo desiderate. Rachelly *et al.* (2021) ipotizzano che, per i fiumi canalizzati e con alveo di ghiaia sinuoso, l'attività morfologica dipende principalmente dal tasso di apporto di sedimenti e dalla portata, mentre l'impatto di piccole variazioni nella distribuzione granulometrica del materiale apportato sulla risposta del canale è minore. La frequenza delle ripetizioni dovrebbe dipendere dalla risposta morfologica del sistema fluviale.

Creazione di habitat interstiziali (riproduttivi)

Se l'obiettivo principale dell'apporto di sedimenti è la creazione diretta di habitat riproduttivi, il progetto deve essere adattato di conseguenza. La granulometria caratteristica deve essere selezionata in base ai requisiti del substrato riproduttivo delle specie ittiche dominanti o di particolare interesse (cfr. cap. 7 e 8), considerando anche il substrato naturale del tipo di corso d'acqua. La granulometria preferita dalla trota fario (*Salmo trutta*), ad esempio, è di 2–5 centimetri (Breitenstein e Kirchhofer 2010). Il volume di apporto può essere stimato in base al volume del substrato riproduttivo mancante, mentre il posizionamento deve rispettare le preferenze delle specie interessate in termini di profondità di deposizione delle uova. Con l'apporto diretto di sedimenti, si possono creare forme dell'alveo ideali, come le rapide riproduttive (Pulg *et al.* 2013). È possibile progettare anche un apporto indiretto da depositi erodibili, che richiede solo piccoli eventi di piena perché la granulometria riproduttiva è solitamente ridotta. La progettazione richiede un'attenzione

particolare ai processi di trasporto e deposito previsti. Se la progettazione è corretta, è possibile garantire un trasporto sufficiente di substrato riproduttivo verso le potenziali aree di riproduzione. Come per qualsiasi misura di apporto di sedimenti, occorre valutare e ridurre al minimo gli effetti sulla protezione contro le piene e sull'equilibrio delle acque sotterranee. Potrebbe essere necessaria una ripetizione annuale per garantire cambiamenti a lungo termine che favoriscano il successo della riproduzione. Il momento ideale per la creazione di habitat riproduttivi tramite l'apporto di ghiaia va dalla tarda estate all'autunno, tra i periodi di riproduzione delle specie di ciprinidi e salmonidi (Breitenstein e Kirchhofer 2010). La frequenza ottimale di una misura dipende dall'erosione del deposito e dallo stato di colmatazione.

Figura 54

Fotografia di un canale morfologico con depositi erodibili presso la piattaforma PL-LCH dell'EPFL.

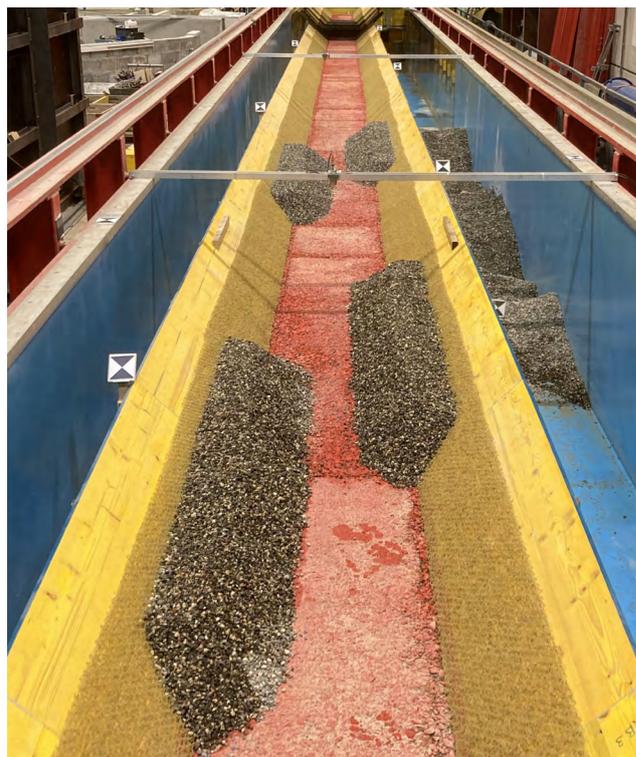
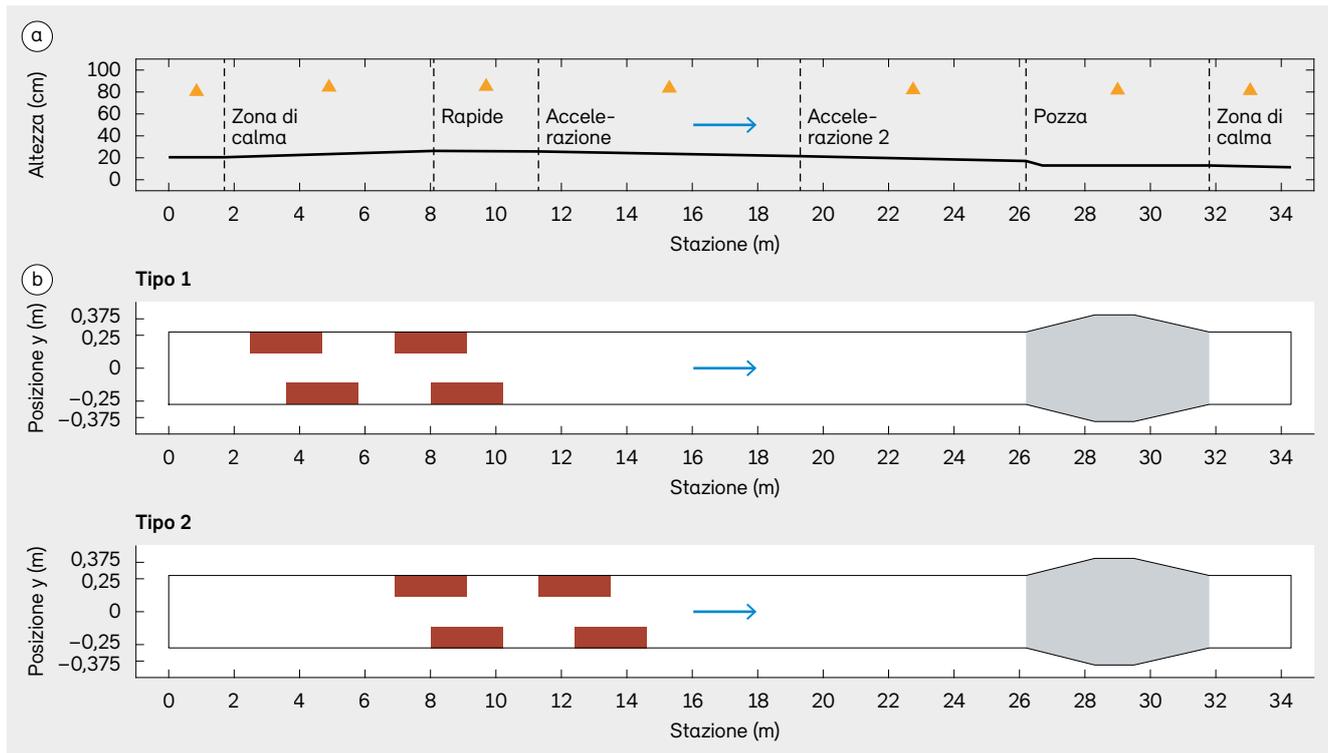


Foto: C. Mörtl, © PL-LCH

Figura 55

(a) Profilo longitudinale del canale artificiale, che mostra le sezioni delle diverse strutture dell'alveo rappresentate e la posizione dei sensori del livello dell'acqua (triangoli gialli). (b) Vista dall'alto dell'alveo del canale, che mostra le due posizioni dei depositi (quadrati rossi) e l'area dell'alveo erodibile (superficie grigia) all'interno della sezione trasversale allargata.



Fonte: EPFL

9.3 Fondamenti del processo

9.3.1 Esperimento fisico

Nell'ambito del progetto di ricerca «Sedimenti e dinamica degli habitat» sono stati fatti progressi nell'ottimizzazione della progettazione di misure di apporto di sedimenti, studiando i modelli tipici di erosione, trasporto e deposito (Friedl *et al.* 2017). Qui di seguito è descritto un esperimento di monitoraggio condotto su un canale per studiare l'influsso delle strutture morfologiche dell'alveo e la persistenza delle forme emergenti dell'alveo.

Descrizione dell'esperimento

Presso la piattaforma PL-LCH dell'EPFL è stato costruito un canale rettilineo lungo 34 metri con pendenza variabile (fig. 54, 55). Il canale ha una sezione trasversale trapezoidale e due sezioni di diversa larghezza dell'alveo. La sezione a monte ha un alveo di materiale fisso e una larghezza uniforme

di 0,5 metri. Nella sezione a valle, il canale si allarga fino a un massimo di 0,75 metri e contiene materiale mobile. Il materiale fisso è costituito da una miscela di sedimenti grossolani (granulometria 4–16 mm), che forma un alveo armato, ed è di colore rosso. La miscela dell'alveo è stata selezionata sulla base di prove di scansione preliminari per rappresentare una scabrezza idraulica corrispondente a un coefficiente di conduttività di Strickler, $K_{ST} = 34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$. Il materiale mobile nella sezione più ampia ha una distribuzione granulometrica più fine (4–8 mm). Secondo Battisacco *et al.* (2016), il sedimento apportato è costituito da diverse miscele ed è collocato in quattro depositi a geometria alternata (fig. 55b). Il volume totale apportato ($0,21 \text{ m}^3$) corrisponde al 100 per cento della capacità di trasporto degli eventi di piena morfogenici simulati (Q_2 , 8 ore) per la pendenza media del canale. La pendenza del canale è separata in diverse sezioni lineari, ognuna delle quali rappresenta una diversa struttura dell'alveo (fig. 55a), secondo le definizioni della valutazione dei risultati dei

progetti di rivitalizzazione dei corsi d'acqua dell'UFAM (Weber *et al.* 2019). La sequenza segue quella identificata sul campo (Schroff *et al.* 2021) a valle dell'apporto di sedimenti del 2016 nel tratto con deflussi residuali della Sarine nel Cantone di Friburgo (Stähly *et al.* 2020).

L'obiettivo dell'esperimento è trovare criteri di progettazione ottimali per l'apporto di sedimenti con depositi erodibili per migliorare la struttura dell'alveo (cfr. n. 9.2.3).

Strutture dell'alveo

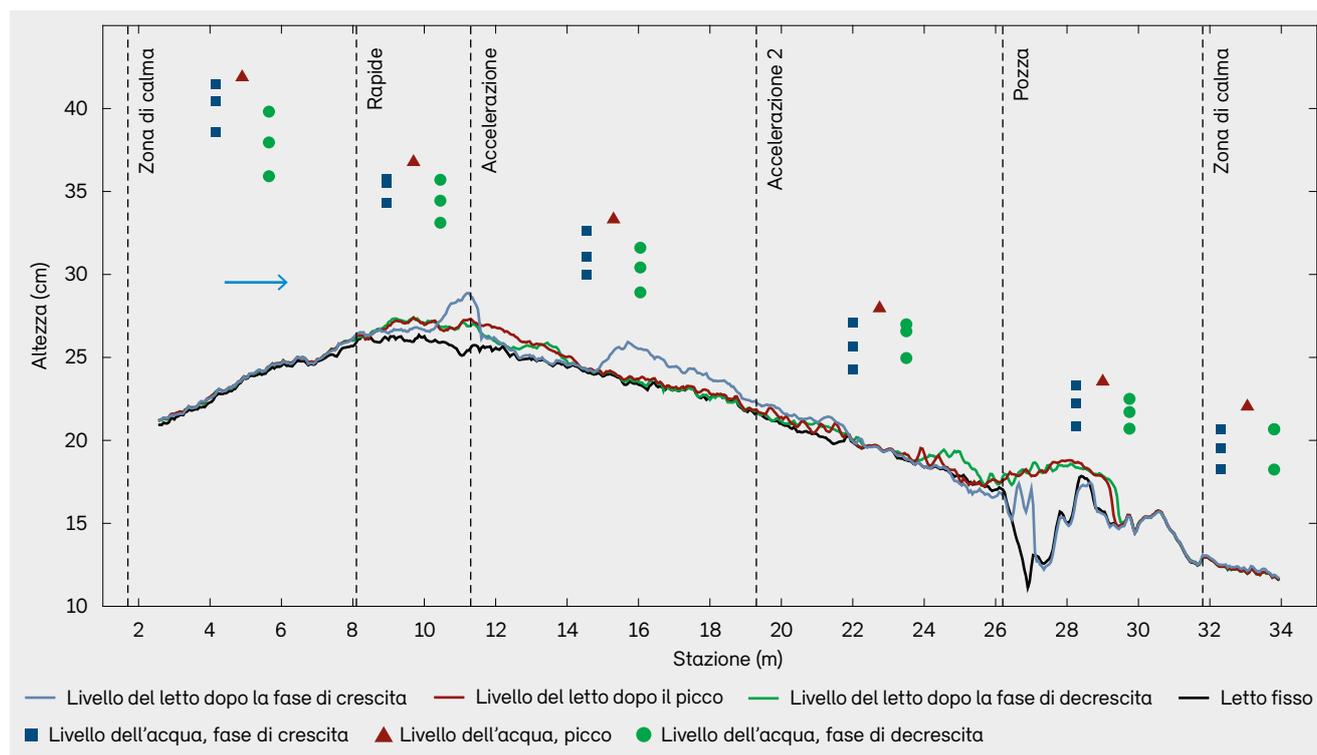
La modifica della pendenza e della sezione trasversale crea condizioni idrauliche differenti lungo il canale. Un aumento della pendenza crea un bacino a monte (scorrimento), dove le velocità in prossimità dell'alveo e gli sforzi tangenziali dell'alveo, necessari per la mobilizzazione dei sedimenti, sono notevolmente ridotti. Quando il livello dell'alveo si alza (rapida), la profondità dell'acqua diminuisce e la

corrente inizia ad accelerare, a causa della diminuzione della sezione trasversale. A parità di portata di picco, i depositi di sedimenti collocati nelle rapide vengono erosi e trasportati fuori dalla zona di deposito a un tasso significativamente più elevato (89 % del volume incrementato; fig. 55b, tipo 2) rispetto ai depositi collocati nella sezione di scorrimento a monte (46 %; fig. 55b, tipo 1).

Con l'aumento della pendenza a valle della rapida (corrente lenta, pendenza 5,5 ‰), le velocità e gli sforzi tangenziali del letto aumentano ulteriormente. Il trasporto e il deposito di sedimenti nella sezione di corrente lenta dipendono dall'entità, dalla forma e dalla durata dell'idrogramma di piena. Nel ramo ascendente di un idrogramma simmetrico, si verifica un forte deposito lungo un tratto corrispondente a 10 larghezze di canale (fig. 56). I depositi alternati con un elevato rapporto di blocco (proporzione della sezione trasversale bagnata bloccata dal deposito,

Figura 56

Profilo longitudinale del canale, con registrazioni del livello dell'alveo e dell'acqua in diversi stadi (ramo ascendente, picco, ramo discendente) di un idrogramma simmetrico. Le registrazioni del livello dell'alveo rappresentano l'altezza media di una striscia longitudinale larga 18 cm (sfalsata tra i depositi) lungo l'asse centrale del canale.



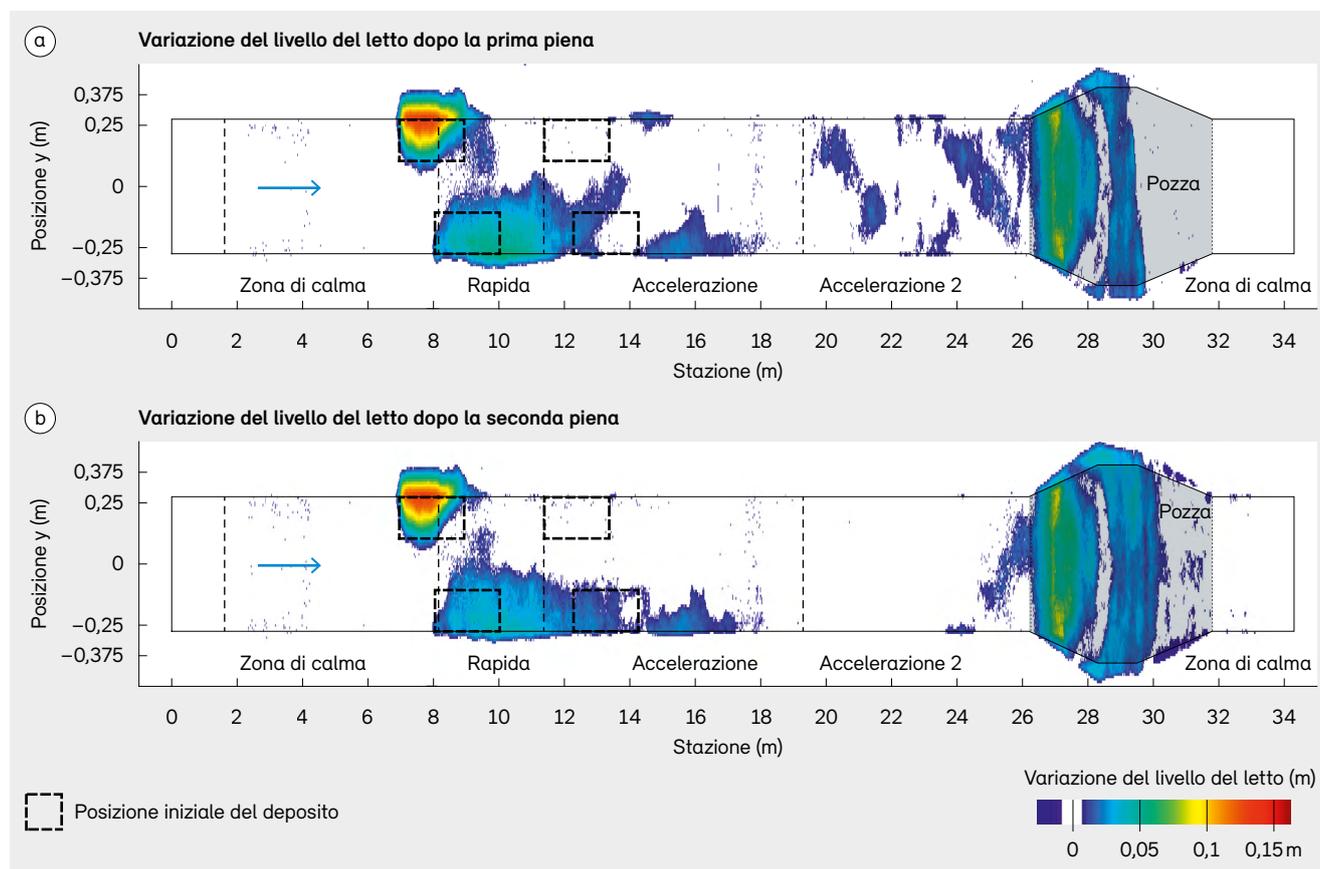
in questo caso 1/3) inducono una forte deviazione del deflusso e del fronte di deposito verso un lato del corso d'acqua. Nel ramo discendente si creano nuove forme dell'alveo a una distanza di 10–20 larghezze del canale dalla zona di deposito nel tratto più ripido (corrente lenta 2, 7,0 ‰), evidenziando un effetto crescente della distanza di spostamento nel tempo.

In una sequenza tipica di un corso d'acqua con alveo di ghiaia, le pozze si formano a valle delle correnti lente: agiscono come bacini di ritenzione dei sedimenti, che immagazzinano e inviano sporadicamente ondate di sedimenti, e sono considerate uno dei principali fattori che contribuiscono ai rilasci impulsivi di sedimenti (Dhont e Ancey 2018). Nell'esperimento di laboratorio, la maggior parte del materiale mobilizzato è stato depositato nella

pozza dopo il primo e il secondo evento di piena successivo (63 e 73 %). In ogni caso è stata trasferita o rilasciata più a valle una percentuale trascurabile. Al contrario, nella sezione di deflussi residuali della Sarine, i traccianti nei sedimenti depositati hanno rivelato un notevole trasporto e deposito a valle di una grande pozza (Stähly *et al.* 2020). È presumibile che le caratteristiche micromorfologiche, come la scabrezza delle sponde e le eterogeneità idrauliche, come le correnti secondarie, possano aumentare significativamente il trasporto attraverso le pozze in un singolo evento di piena. Le pozze a valle delle misure di apporto di sedimenti (< 20 larghezze del canale) riducono tuttavia la lunghezza dell'impatto fino a quando i sedimenti provenienti da apporti ripetuti o dall'apporto naturale riempiono la pozza in misura sufficiente a innescare un nuovo rilascio impulsivo di sedimenti.

Figura 57

Vista dall'alto del cambiamento dopo (a) il primo e (b) il secondo evento di piena successivo con idrogramma identico, in seguito a un'unica misura d'incremento dei sedimenti. Le caselle tratteggiate indicano le posizioni iniziali dei depositi.



Persistenza delle forme dell'alveo

La persistenza delle nuove forme dell'alveo create da depositi erodibili è stata valutata in prove con eventi di piena successivi con idrogrammi identici. Dopo due eventi di piena, la percentuale di copertura dello strato di armatura (8,3 %) era significativamente ridotta rispetto alla copertura dopo un singolo evento di piena (22,5 %) (fig. 57). Ad eccezione di gran parte del deposito più a monte, tutti i depositi sono stati erosi e almeno parzialmente mobilizzati durante i due eventi di piena. La persistenza delle forme dell'alveo è stata massima nelle immediate vicinanze dei depositi originali (< 5 larghezze del canale). Le forme dell'alveo longitudinali vicine alle sponde si sono rivelate più persistenti di quelle trasversali al centro del canale. I risultati indicano che dopo ogni grande evento di piena morfogenico ($-Q_2$) dovrebbero essere riforniti sedimenti, se l'obiettivo è migliorare la struttura dell'alveo su uno strato di armatura statica nel tratto immediatamente a valle (< 20 larghezze del canale). Il volume dei depositi dovrebbe essere rifornito fino al 100 per cento della corrispondente capacità di trasporto. Gli eventi di piena con una portata di picco minore hanno avuto un impatto minimo sulle nuove forme dell'alveo create.

9.4 Valutazione dei risultati

Per valutare i risultati delle misure di apporto di sedimenti in base agli obiettivi sono disponibili diversi metodi di valutazione standardizzati. L'uso di linee guida e di metodi standardizzati garantisce la comparabilità e facilita l'apprendimento tra progetti. La scelta dei metodi appropriati dipende dal contesto della misura, ma anche dagli obiettivi di rivitalizzazione. In Svizzera è obbligatorio valutare i risultati per le misure attuate nel contesto del risanamento del bilancio in materiale solido di fondo come pure per i progetti di rivitalizzazione dei corsi d'acqua (art. 42c e 49 OPAC).

Nel 2019 l'UFAM ha pubblicato una documentazione pratica, che descrive una struttura definita e una procedura standardizzata per la valutazione dei risultati dei progetti di rivitalizzazione dei corsi d'acqua (Weber *et al.* 2019). Una documentazione simile per i progetti di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo è in preparazione e attualmente è disponibile sotto forma di bozza. Il principio di base della valutazione dei risultati descritta in entrambi

i documenti è il confronto tra le caratteristiche rilevanti del tratto fluviale interessato prima e dopo il risanamento.

9.4.1 Effetti ecomorfologici

Risanamento del bilancio in materiale solido di fondo

L'obiettivo primario del risanamento del bilancio in materiale solido di fondo è ripristinare strutture e dinamiche morfologiche seminaturali tipiche (Schälchli e Kirchhofer 2012). Nella valutazione dei risultati delle misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo, la valutazione raccomandata degli obiettivi di risanamento si basa su una serie di sei indicatori abiotici (tracciato del canale, estensione dei banchi di ghiaia, composizione del substrato, colmatazione interna, evoluzione del talweg, evoluzione della posizione media dell'alveo). Questi indicatori possono essere integrati da indicatori biotici, con particolare attenzione alla fauna ittica. Occorre stimare l'impatto effettivo della misura di risanamento sul bilancio medio annuo del materiale solido di fondo del tratto.

Rivitalizzazione dei corsi d'acqua

La documentazione pratica per la valutazione dei risultati dei progetti di rivitalizzazione comprende 22 indicatori, suddivisi in 10 serie di indicatori (Weber *et al.* 2019). Ogni serie di indicatori rappresenta un obiettivo tipico di rivitalizzazione. La serie 1 (diversità degli habitat) comprende sei indicatori ecomorfologici: strutture dell'alveo, strutture delle sponde, profondità dell'acqua, velocità della corrente, presenza di copertura e substrato. La loro valutazione è la base obbligatoria per la valutazione dei risultati dei progetti di rivitalizzazione (Weber *et al.* 2019). Oltre agli indicatori obbligatori della serie 1, anche la serie 2 (dinamica) è molto importante e può essere uno strumento di valutazione efficace per le misure di apporto di sedimenti. I tre indicatori dinamica della struttura dell'alveo, dinamica della struttura delle sponde ed evoluzione della posizione dell'alveo sono direttamente legati al buon funzionamento del trasporto di materiale solido di fondo. L'idoneità delle restanti serie di indicatori abiotici e biotici, come la serie 7 (pesci), può essere valutata di volta in volta e dipende dagli obiettivi di rivitalizzazione perseguiti.

Riquadro 12: Nella pratica – obiettivi e domande chiave della pianificazione*Sandro Ritler, Holinger AG*

Per pianificare la continuità dei sedimenti e le misure di apporto sono fondamentali cinque domande chiave: dove, come e quando dovrebbero essere depositati i sedimenti nonché quanti e di che qualità?

Definizione degli obiettivi

Per rispondere a queste domande occorre un'analisi dettagliata della situazione attuale in materia di sicurezza contro le piene ed ecologia. Occorre poi definire gli obiettivi perseguiti, che possono includere il raggiungimento di un quasi equilibrio del materiale solido di fondo, la prevenzione del dilavamento e la creazione di nuovi habitat e siti di riproduzione, nonché determinare, come nei progetti di rivitalizzazione, le specie ittiche bersaglio, per le quali viene selezionato il sedimento ottimale per il substrato di riproduzione.

Domande chiave

Dove e come: durante gli eventi di piena, i restringimenti esistenti all'interno del canale non devono essere ridotti ulteriormente dai depositi di sedimenti. Allo stesso tempo,

la progettazione di argini di ghiaia deve tener conto delle strutture idrauliche, come le centrali elettriche, e di altre condizioni limite, come le condutture e l'uso ricreativo. Una volta individuato il sito adatto, è necessario garantire l'accessibilità e non compromettere alcun oggetto naturale degno di protezione. Durante il versamento, bisogna fare attenzione a garantire una distribuzione uniforme dei sedimenti per evitare un sovraccarico del sistema. Il luogo di deposito dei sedimenti deve essere logisticamente gestibile. Quantità e qualità: la quantità di sedimenti necessaria per uno stato di equilibrio dipende dalla capacità di trasporto e dai sedimenti disponibili. Inoltre, la quantità e la qualità dei sedimenti possono influenzare la torbidità a valle. In generale, è preferibile un apporto minore, ma più regolare. Per ragioni di sostenibilità, i sedimenti dovrebbero provenire dallo stesso bacino idrografico.

Quando e come: la scelta del momento in cui apportare i sedimenti deve tener conto della protezione contro le piene, della pesca e della vegetazione. Si può far ricorso a studi pilota per acquisire esperienza con le incertezze e gli imprevisti, al fine di determinare la migliore tempistica. In definitiva sono importanti sia le preoccupazioni relative alla sicurezza contro le piene sia quelle relative all'ecologia e nel pianificare la continuità dei sedimenti e le misure di apporto occorre trovare un equilibrio ottimale.