

Bilancio in materiale solido di fondo – Misure

Un modulo dell'aiuto all'esecuzione Rinaturazione delle acque



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM

Bilancio in materiale solido di fondo – Misure

Un modulo dell'aiuto all'esecuzione Rinaturazione delle acque

Nota editoriale

Valenza giuridica

La presente pubblicazione è un aiuto all'esecuzione elaborato dall'UFAM in veste di autorità di vigilanza. Destinata in primo luogo alle autorità esecutive, essa concretizza le prescrizioni del diritto federale in materia ambientale (in merito a concetti giuridici indeterminati e alla portata e all'esercizio della discrezionalità) nell'intento di promuovere un'applicazione uniforme della legislazione. Le autorità esecutive che vi si attengono possono legittimamente ritenere che le loro decisioni siano conformi al diritto federale. Sono ammesse soluzioni alternative, purché conformi al diritto vigente.

Editori

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

Autori

Manuel Nitsche, Martin Pfändler; in collaborazione con Lukas Hunzinger, Ueli Schälchli, Arthur Kirchhofer, Tobias Rüesch, Christian Roulier

Gruppo di accompagnamento

Daniel Devanthery, Cantone del Vallese; Michael Döring, ZHAW Wädenswil; Rémy Estoppey, UFAM;
Alessandro Grasso, UFAM; Philipp Gyr, Cantone di San Gallo; Daniel Hefti, UFAM; Oliver Hitz, Cantone di Berna; Bernhard Hohl, Ufficio federale dell'energia;
Antoine Magnollay, UFAM; Christian Marti, Cantone di Zurigo; Ricardo Méndez, Axpo; Sabin Nater, Cantone di Argovia; Roger Pfammatter, ASEA (fino ad agosto 2020); Anton Schleiss, PF Losanna; David Schmid, Cantone dei Grigioni; Steffen Schweizer, Kraftwerke Oberhasli; Luca Vetterli, ProNatura; Christine Weber, EAWAG;
Simona Weber, UFAM; Urs Zehnder, Cantone di Lucerna; Frédéric Zuber, Cantone del Vallese

Grafica e impaginazione

Funke Lettershop AG

Foto di copertina

Riporto di materiale solido di fondo nella Limmat a valle della centrale idroelettrica di Wettingen (AG)
© Manuel Nitsche

Link per scaricare il PDF

www.bafu.admin.ch/uv-2325-i

La versione cartacea non può essere ordinata.

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

© UFAM 2024

Indice

Abstracts	5	4	Controllo dell'efficacia	63
Prefazione	6	4.1	Introduzione	63
Aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque»	7	4.2	Indicatori	64
Modifica del diritto in materia di protezione delle acque	7	4.3	Ambito del controllo dell'efficacia	66
Aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque»	7	4.4	Verificare il raggiungimento dell'obiettivo	68
		4.5	Correzione della misura	68
1	Introduzione	8	Allegati	70
1.1	Panoramica del modulo	8	A	Basi legali
1.2	Importanza del materiale solido di fondo ai fini della rinaturazione	9	B	Bibliografia
1.3	Obiettivi di risanamento e ponderazione degli interessi	11	C	Inha Contenuto di una decisione di risanamento
1.4	Basi legali	12	D	Approcci per la determinazione del carico di fondo nello stato attuale e allo stato seminaturale
2	Procedura di risanamento	14	E	Procedura di determinazione del carico di fondo necessario
2.1	Procedura di risanamento per impianti idroelettrici	14	F	Note sulla pianificazione, progettazione e attuazione dei singoli tipi di misure
2.2	Procedura di risanamento per impianti non idroelettrici	16	G	Lista di controllo: studio sul tipo e sull'entità delle misure
2.3	Principi per la costruzione di nuovi impianti e l'ampliamento di quelli esistenti	17	H	Indicatori per il controllo dell'efficacia
3	Studio sulla tipologia e sull'entità delle misure	19		
3.1	Panoramica	19		
3.2	Fase di lavoro 1: studio approfondito dello stato attuale e seminaturale del corso d'acqua	22		
3.3	Fase di lavoro 2: definire gli obiettivi morfologici per il corso d'acqua e il carico di fondo necessario	35		
3.4	Fase di lavoro 3: definire obiettivi di risanamento per gli impianti	49		
3.5	Fase di lavoro 4: redigere un catalogo delle misure	49		
3.6	Fase di lavoro 5: elaborare e valutare varianti di misure	54		
3.7	Fase di lavoro 6: scegliere la variante migliore	58		
3.8	Fase di lavoro 7: coordinamento con altre misure riguardanti il corso d'acqua	59		
3.9	Fase di lavoro 8: definire il piano di controllo dell'efficacia	60		
3.10	Procedura semplificata	61		

Abstracts

The current module of the implementation guide on river restoration describes the procedure for planning measures to eliminate or prevent bedload deficits in rivers possibly caused by hydropower plants, gravel extractions, flood protection and revitalization projects and other installations in rivers. Planning includes steps for analyzing the situation, defining objectives and measures. The module also suggests a pragmatic method for determining the ecologically required bedload transport as well as a concept and indicators for monitoring the effectiveness of bedload measures.

Questo modulo dell'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque» descrive la procedura di pianificazione delle misure volte a eliminare o prevenire i deficit di apporto solido nei corsi d'acqua in presenza di impianti idroelettrici, prelievi di ghiaia, camere di ritenuta, progetti di rivitalizzazione e protezione contro le piene e altri impianti. La pianificazione comprende le seguenti fasi di lavoro: analisi della situazione, definizione degli obiettivi e definizione delle misure. Il modulo propone anche un metodo prammatico per determinare il carico di fondo necessario, come pure un piano completo di indicatori per il controllo dell'efficacia di misure concernenti il materiale solido di fondo.

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» beschreibt das Vorgehen zur Planung von Massnahmen zur Beseitigung oder Verhinderung von Geschiebedefiziten im Gewässer bei Wasserkraftanlagen, Kiesentnahmen, Geschiebesammlern, Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekten und anderen Anlagen. Zur Planung gehören Arbeitsschritte zur Situationsanalyse, zur Zieldefinition und zur Massnahmendefinition. Im Modul wird auch eine pragmatische Methodik zur Bestimmung einer erforderlichen Geschiebefracht vorgeschlagen sowie ein Konzept und Indikatoren für die Wirkungskontrolle von Geschiebemaßnahmen.

Le présent module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux présente la procédure de planification des mesures visant à éliminer ou à empêcher les déficits de charriage dans les eaux affectées notamment par des centrales hydroélectriques, des gravières, des dépotoirs à alluvions, des aménagements de protection contre les crues et de revitalisation des eaux. La planification comprend l'analyse de la situation de même que la définition des objectifs et des mesures. Le module propose également une méthode pratique pour déterminer le débit de charriage nécessaire ainsi qu'une stratégie et des indicateurs pour le suivi de l'efficacité des mesures mises en œuvre.

Keywords:

Bedload balance, bedload remediation, Waters Protection Act, restoration measures, hydropower utilization, rivers

Parole chiave:

bilancio in materiale solido di fondo, risanamento del bilancio in materiale solido di fondo, legge sulla protezione delle acque, misure di risanamento, sfruttamento idrico, corsi d'acqua

Stichwörter:

Geschiebehaushalt, Geschiebesanierung, Gewässerschutzgesetz, Sanierungsmassnahmen, Wasserkraftnutzung, Fliessgewässer

Mots-clés:

régime de charriage, assainissement du régime de charriage, loi fédérale sur la protection des eaux, mesures d'assainissement, exploitation de la force hydraulique, cours d'eau

Prefazione

Tra gli obiettivi fondamentali del diritto federale sulla protezione delle acque figurano la protezione integrata delle acque e delle loro molteplici funzioni nonché il loro sfruttamento sostenibile da parte dell'uomo. La modifica della legge sulla protezione delle acque del 2011 s'iscrive proprio in questo filone: si tratta di trovare soluzioni equilibrate per proteggere le acque, tenendo conto dei legittimi interessi di protezione e utilizzazione.

Questa evisione rappresenta un'importante pietra miliare nella protezione delle acque in Svizzera. Tale revisione mira a rivalutare le acque quali habitat più prossimi allo stato naturale, in modo che contribuiscano alla conservazione e alla promozione della biodiversità.

L'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque» intende sostenere i Cantoni nell'attuazione di queste disposizioni giuridiche nonché consentire un'esecuzione del diritto federale coordinata e uniforme in tutta la Svizzera. L'aiuto all'esecuzione, articolato in vari moduli, abbraccia tutti gli aspetti rilevanti della rinaturazione delle acque: la rivitalizzazione dei corsi d'acqua, delle acque stagnanti e delle zone golenali, il ripristino della libera migrazione dei pesci e del bilancio in materiale solido di fondo, il risanamento dei deflussi discontinui e il coordinamento delle attività di gestione delle acque. Poiché l'esecuzione del diritto ambientale rientra tra i compiti dei Cantoni, l'elaborazione di questo aiuto all'esecuzione è stata seguita da un gruppo di lavoro che comprendeva anche rappresentanti cantonali.

Il presente modulo è dedicato all'elaborazione e alla valutazione di misure volte a eliminare o prevenire i deficit del bilancio in materiale solido di fondo dei corsi d'acqua che possono essere causati da centrali idroelettriche, progetti di sistemazione idraulica o altri impianti. Le misure prevedono l'aumento del carico di fondo e in alcuni casi la mobilitazione di materiale solido attraverso il miglioramento della dinamica di deflusso. Il modulo illustra le prescrizioni più importanti per la scelta delle misure, le modalità di valutazione di tali misure, definendo altresì il metodo di controllo dell'efficacia dopo l'attuazione delle misure. I requisiti riguardanti la larghezza dell'alveo e lo spazio riservato alle acque non fanno parte del modulo.

L'UFAM ringrazia tutti coloro che hanno contribuito alla riuscita della presente pubblicazione, in particolare i membri del team di progetto, del gruppo di accompagnamento e gli esperti esterni, che si sono impegnati nel trovare soluzioni attuabili nella pratica.

Stephan Müller, divisione Acque
Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

Aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque»

Modifica del diritto in materia di protezione delle acque

Nel 2009 le Camere federali hanno adottato una serie di modifiche di legge con lo scopo di portare avanti la rinaturazione dei corsi d'acqua in Svizzera. Tali modifiche perseguono diversi indirizzi:

- promuovere le rivitalizzazioni (ripristino mediante misure edilizie delle funzioni naturali di acque superficiali arginate, corrette, coperte o messe in galleria);
- garantire e sfruttare in modo estensivo lo spazio riservato alle acque;
- ripristinare la libera migrazione dei pesci;
- ridurre gli effetti negativi dei deflussi discontinui a valle di impianti idroelettrici;
- migliorare il bilancio in materiale solido di fondo.

Aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque»

La presente pubblicazione è un modulo dell'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque». L'aiuto all'esecuzione abbraccia tutti gli aspetti rilevanti della rinaturazione delle acque: la rivitalizzazione dei corsi d'acqua, delle acque stagnanti e delle zone golenali, il ripristino della libera migrazione dei pesci, il risanamento dei deflussi discontinui e del bilancio in materiale solido di fondo. È articolato in vari moduli per ciascun ambito concernenti la pianificazione strategica, l'attuazione di misure concrete, il finanziamento, il modello di dati e i requisiti relativi ai dati secondo la legge del 5 ottobre 2007 sulla geoinformazione (LGI, RS 510.62), oltre a un modulo non direttamente attinente alla tematica della rinaturazione e dedicato al coordinamento delle attività di gestione delle acque. I moduli disponibili sono presenti sul sito www.bafu.admin.ch/aiuto_all_esecuzione_rinaturazione_delle_acque.

1 Introduzione

1.1 Panoramica del modulo

Tema: modifica del bilancio in materiale solido di fondo

L'articolo 43a della legge sulla protezione delle acque (LPAc, RS 814.20) stabilisce che il bilancio in materiale detritico di un corso d'acqua non può essere modificato da impianti al punto da arrecare sensibile pregiudizio alla fauna e alla flora indigene, ai loro biotopi, al regime delle acque sotterranee e alla protezione contro le piene. Si ha un bilancio in materiale detritico modificato ai sensi di tale articolo nel caso in cui sia presente:

- una riduzione del carico di fondo nel corso d'acqua a valle di un impianto, dovuta ad esempio al materiale solido presente nelle camere di ritenuta e nei bacini di accumulazione o all'estrazione di materiale solido;
- una riduzione dell'apporto di materiale solido, dovuta ad esempio alla sistemazione del fondo o delle sponde di corsi d'acqua non rettificati;
- una riduzione della capacità di trasporto solido di fondo dovuta a un regime delle piene modificato da prelievi di acqua.

Si tratta, quindi, di eliminare o prevenire i deficit del carico di fondo. Anche i sovralluvionamenti del fondo causati da depositi di materiale solido nei bacini di accumulazione di impianti idroelettrici possono arrecare un sensibile pregiudizio alla protezione contro le piene. Tuttavia, trattandosi di singoli casi, non sono presi in esame nel presente aiuto all'esecuzione.

Non rientrano nell'ambito dell'articolo 43a LPAc né del presente modulo:

- l'abbassamento del letto o i deficit morfologici dovuti al restringimento o alla canalizzazione (larghezza ridotta) di un corso d'acqua; le relative misure, che prevedono anche il ripristino della larghezza, vengono attuate nell'ambito di progetti di protezione contro le piene e di rivitalizzazione in conformità all'articolo 4 della legge sulla sistemazione dei corsi d'acqua (LSCA) e all'articolo 37 LPAc;
- la colmatazione e l'insabbiamento del fondo a seguito di prelievi di acqua; le relative misure vengono attuate principalmente in conformità alle disposizioni sui deflussi residuali e alle prescrizioni sugli spurghi;
- i deficit di protezione contro le piene dovuti a fenomeni naturali di sovralluvionamento o erosione; le relative misure vengono attuate dai Cantoni in conformità alla LSCA.

Destinatari

Per migliorare il bilancio in materiale solido di fondo, in una prima fase i Cantoni hanno elaborato la pianificazione strategica, completata al 31 dicembre 2014. In tale occasione hanno individuato i tratti di corsi d'acqua pregiudicati in maniera sensibile da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo nonché designato gli impianti responsabili di tali deficit. I Cantoni e i detentori di questi impianti hanno ora il compito di pianificare e attuare misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo.

Anche i progetti di sistemazione idraulica riguardanti la protezione contro le piene e la rivitalizzazione devono essere pianificati in modo da attenersi alle disposizioni sul bilancio in materiale solido di fondo previste dalla LPAc.

Con la presente pubblicazione, la Confederazione intende fornire un supporto a tutti gli attori coinvolti (detentori di impianti, Cantoni e uffici privati) nella pianificazione dei processi di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo e nella scelta delle relative misure.

Impianti rilevanti

Sono rilevanti ai fini delle misure gli impianti idroelettrici (captazioni, sbarramenti, bacini di accumulazione ecc.), ma anche impianti non direttamente correlati alla forza idrica quali prelievi di ghiaia, camere di ritenuta, opere di sistemazione dei corsi d'acqua nonché progetti di sistemazione idraulica per la protezione contro le piene e la rivitalizzazione, qualora modifichino in modo pregiudizievole il bilancio in materiale solido di fondo. Può trattarsi di impianti esistenti, ma anche di impianti nuovi o ampliati.

Contenuti

Il presente modulo descrive la procedura di pianificazione di misure volte a eliminare o prevenire i deficit di apporto solido (cap. 2). In particolare raccomanda una procedura sulle modalità di elaborazione dello studio previsto per legge sulla tipologia e sull'entità delle misure da attuare riguardo a tutti gli impianti di un bacino imbrifero soggetti a risanamento (cap. 3) nonché di pianificazione del controllo dell'efficacia (cap. 4).

Metodo del «carico di fondo necessario»

Il presente modulo propone una serie di metodi per determinare il «carico di fondo necessario», ossia il carico necessario a eliminare il pregiudizio sensibile arrecato al bilancio in materiale solido di fondo da alterazioni negative.

Aggiornamento del modulo

I metodi proposti nel modulo vengono verificati sulla base delle esperienze derivate da interventi di risanamento e progetti di ricerca. È previsto un aggiornamento del modulo conformemente allo stato delle conoscenze e delle esperienze tratte dalla pratica.

1.2 Importanza del materiale solido di fondo ai fini della rinaturazione

Rapporto tra materiale solido di fondo, larghezza e morfologia

L'articolo 42a dell'ordinanza sulla protezione delle acque (OPAc, RS 814.201) esamina il rapporto di causalità tra il bilancio in materiale detritico e le strutture morfologiche delle acque. L'influenza del trasporto solido di fondo sulla larghezza dell'alveo e sulle strutture morfologiche è stata descritta in numerosi studi scientifici (come Parker 1979, Church 2006). La morfologia di un corso d'acqua non rettificato dipende non solo dal trasporto solido di fondo, ma anche da altri fattori quali la portata, la vegetazione e le condizioni geologiche.

Se un corso d'acqua non presenta restringimenti, la larghezza dell'alveo e la morfologia si adattano al regime di deflusso e all'apporto di materiale solido di fondo, determinando alvei che vanno da meandriformi a ramificati. Una caratteristica distintiva sostanziale di tali forme è la larghezza relativa dell'alveo (Ahmari & da Silva 2011, Métivier & Barrier 2012): rispetto alla loro profondità di deflusso, gli alvei ramificati sono molto più larghi degli alvei meandriformi o sinuosi. I cambiamenti intervenuti nella larghezza dell'alveo e nella morfologia a seguito di un apporto di materiale solido di fondo modificato sono stati dimostrati in prove su modelli (ad es. Marti 2006) e in un'indagine sui corsi d'acqua svizzeri (Schälchli & Hunzinger, 2021).

La larghezza di corsi d'acqua arginati è spesso ridotta, facendo sì che la forma dell'alveo venga determinata soprattutto da tali restringimenti. L'articolo 43a LPAc e il presente modulo trattano soltanto la regolamentazione del carico di fondo, mentre la modifica o il ripristino della larghezza dell'alveo sono trattati principalmente in progetti di rivitalizzazione e di protezione contro le piene basati sull'articolo 4 LSCA e sull'articolo 37 LPAc.

Fondi ghiaiosi come habitat

La maggior parte dei corsi d'acqua svizzeri trasporta materiale solido, ossia pietrisco, ghiaia e sabbia grossolana, che in caso di aumento della portata si spostano sul fondo dell'alveo. Il materiale solido di fondo è il materiale da costruzione dei nostri fiumi, a partire dal quale l'acqua modella costantemente nuove strutture e quindi habitat diversi. La ghiaia depositata sul fondo dell'alveo viene utilizzata da pesci litofili per deporvi le uova, mentre le zone a margine dei banchi di ghiaia con basse profondità di deflusso offrono habitat per i giuvenili. La superficie e i pori dei fondi ghiaiosi sono l'habitat di larve di insetti di cui si nutrono i pesci. I banchi di ghiaia che si prosciugano durante le portate di magra e medie costituiscono un habitat per vegetazione pioniera e piccoli organismi (cavallette, ragni, uccelli ecc.). Una marcata dinamica del carico di fondo, ossia l'erosione, lo spostamento e il deposito di sabbia, ghiaia e pietrisco, è tipica delle zone golenali di fiumi con trasporto solido ed è alla base della straordinaria diversità di specie animali e vegetali indigene che le popolano. Non da ultimo, un substrato naturale e bene irrigato rafforza anche la capacità di autodepurarsi del corso d'acqua, migliora la qualità dell'acqua e lo scambio tra acque sotterranee e superficiali.

Deficit di materiale solido di fondo

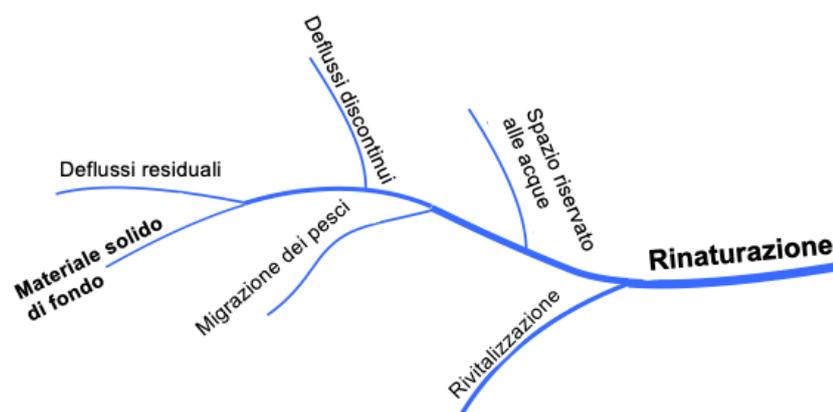
Nei fiumi con apporto insufficiente di materiale solido di fondo, il talweg¹ e i banchi di ghiaia possono erodersi. L'alveo principale si abbassa, mentre gli alvei e i banchi laterali vengono inondatai meno frequentemente, popolandosi di cespugli. Ne consegue una riduzione della larghezza dinamica e una tendenza a formare un alveo unico. Un deficit di apporto solido rende il substrato più grossolano, il fondo si consolida e tende a colmarsi. Tutti questi cambiamenti sono associati a una riduzione della dinamica morfologica, la quale determina una trasformazione radicale dell'ambiente acquatico. La popolazione di larve di insetti diminuisce, i pesci litofili non trovano un substrato adatto alla riproduzione, i giuvenili hanno meno zone di acqua poco profonda con substrato sciolto a disposizione, i banchi di ghiaia presentano spesso una colmatazione di alghe secche e sedimenti fini. Se il livello della falda freatica si abbassa, cambia la composizione della vegetazione golenale a favore di specie che preferiscono siti secchi. Il deficit di apporto solido porta a un impoverimento generale della morfologia e quindi a una perdita della naturale composizione e diversità delle specie.

¹ Linea che collega le quote minime di profili trasversali nella direzione longitudinale di un fiume.

Risanamento del bilancio in materiale solido di fondo quale misura di rinaturazione

La LPAC prevede varie misure di rinaturazione e ripristino delle funzioni naturali dei corsi d'acqua (Fig. 1), di cui il risanamento del bilancio in materiale solido di fondo costituisce un aspetto. Oltre al bilancio in materiale solido di fondo, per la morfologia di un corso d'acqua sono ugualmente importanti la larghezza e la portata. Affinché le misure di rinaturazione siano efficaci, occorre quindi attuare anche altre misure complementari quali rivitalizzazioni, risanamento dei deflussi residuali e risanamento dei deflussi discontinui. Ciò significa a sua volta che l'efficacia delle misure relative al materiale solido di fondo è maggiore nei tratti di corsi d'acqua in cui la larghezza, la portata e la dinamica sono prossime allo stato naturale o sono state ripristinate in tal senso.

Fig. 1: Varie misure di rinaturazione dei corsi d'acqua



1.3 Obiettivi di risanamento e ponderazione degli interessi

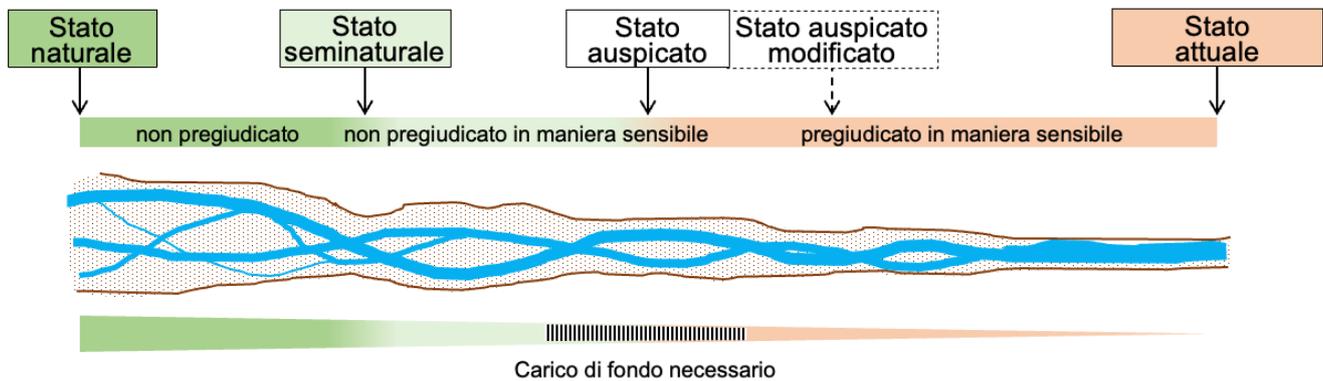
Eliminazione dei pregiudizi sensibili e ripristino dello stato seminaturale

L'obiettivo di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo consiste nel rimuovere i pregiudizi sensibili causati dagli impianti, ripristinando strutture morfologiche e una dinamica prossime allo stato naturale. Pertanto, le misure adottate mirano in primo luogo ad aumentare il carico di fondo necessario a ripristinare le strutture e la dinamica summenzionate nei tratti di corsi d'acqua che presentano una larghezza e una portata simili allo stato seminaturale (per la definizione cfr. cap. 3.2.2). Pregiudizi non sensibili sono ammessi (cfr. stato auspicato in Fig. 2).

Obiettivi morfologici ridotti in presenza di condizioni quadro

Per alcuni tratti di corsi d'acqua da risanare, la larghezza insufficiente o la dinamica di deflusso fortemente ridotta rendono impossibile ripristinare un bilancio in materiale solido di fondo e una morfologia prossimi allo stato naturale, anche aumentando il carico di fondo nell'impianto soggetto a obbligo di risanamento. In questi casi gli obiettivi di risanamento vengono ridimensionati (cfr. stato auspicato modificato in Fig. 2 e nei cap. 3.3.2–3.3.7).

Fig. 2: Condizioni morfologiche in funzione del carico di fondo nell'esempio di un corso d'acqua ramificato allo stato naturale



Le misure di risanamento mirano a raggiungere lo stato auspicato, o a modificarlo, aumentando il carico di fondo. Al momento di stabilire le misure, è prevista una ponderazione degli interessi il cui scopo consiste, tra le altre cose, nel determinare l'entità di ciascuna misura di risanamento soprattutto in conformità agli interessi della protezione contro le piene (cap. 3.5.4), dal momento che tale protezione non può essere compromessa da misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo. Ove necessario, questo aspetto deve essere garantito attraverso misure complementari di protezione contro le piene o la riduzione del carico di fondo. Se ciò comporta che gli obiettivi di risanamento non vengano più raggiunti integralmente, si parla di risanamento parziale (cap. 3.7).

1.4 Basi legali

Obbligo di eliminare i pregiudizi sensibili

Secondo l'articolo 43a capoverso 1 LPaC, i detentori di impianti sono tenuti a prendere misure per evitare di arrecare sensibile pregiudizio al corso d'acqua dovuto a una modifica del bilancio in materiale detritico. Un pregiudizio arrecato dalla modifica del bilancio in materiale detritico alla fauna e alla flora indigene nonché ai loro biotopi è considerato sensibile quando le strutture o la dinamica morfologiche delle acque sono alterate in modo pregiudizievole da impianti quali centrali idroelettriche, prelievi di ghiaia, piazze di deposito o opere di sistemazione dei corsi d'acqua (art. 42a OPaC). Ai prelievi di ghiaia a scopo commerciale si applica la regolamentazione speciale già in vigore dell'articolo 44 LPaC. L'obbligo riguarda sia i detentori di nuovi impianti sia i detentori di impianti esistenti.

Se i corsi d'acqua sono già pregiudicati in maniera sensibile da uno squilibrio del bilancio in materiale detritico, gli impianti devono essere risanati entro il 31 dicembre 2030 (art. 83a LPaC). Nel determinare le misure, occorre tenere conto dei criteri di cui all'articolo 43a capoverso 2 lettere a–e LPaC. Inoltre, le misure nel bacino imbrifero del corso d'acqua interessato devono essere armonizzate, previa consultazione dei detentori degli impianti in questione (cpv. 3).

Per il resto si applica un requisito generale di coordinamento con altre attività di gestione delle acque (art. 46 cpv. 1 OPaC). I dettagli a tale riguardo sono illustrati nel modulo «Coordinamento delle attività di gestione delle acque» dell'aiuto all'esecuzione Rinaturazione delle acque.

Studio sulla tipologia e sull'entità

Per gli impianti che richiedono l'adozione di misure, i Cantoni elaborano uno studio sulla tipologia e sull'entità delle misure necessarie (art. 42c cpv. 1 OPAc). Nel caso delle centrali idroelettriche, il materiale detritico deve essere fatto transitare nella misura del possibile attraverso l'impianto (art. 42c cpv. 2 OPAc).

Controllo dell'efficacia

Una volta attuate le misure di risanamento, su richiesta dell'autorità competente il detentore dell'impianto idroelettrico esamina mediante controllo dell'efficacia se gli obiettivi di risanamento sono stati raggiunti (art. 42c cpv. 4 OPAc). Il detentore comunica all'autorità competente i risultati affinché questa possa valutare l'efficacia delle misure di protezione delle acque attuate, fornire informazioni al riguardo e all'occorrenza disporre misure correttive (art. 50 LPAc e art. 49 cpv. 2 OPAc). Nel caso di nuovi impianti e di impianti non idroelettrici, è necessario effettuare comunque un controllo dell'efficacia, in quanto i Cantoni sono tenuti a fornire informazioni sulle misure adottate e sulla loro efficacia per la protezione delle acque (art. 49 cpv. 2 OPAc).

Rapporti dei Cantoni

Ogni quattro anni i Cantoni devono presentare alla Confederazione un rapporto sulle misure attuate (art. 83b cpv. 3 LPAc).

Conservazione intatta delle zone golenali d'importanza nazionale

Nell'ambito del risanamento del bilancio in materiale solido di fondo, occorre tenere conto anche del diritto in materia di protezione della natura, in particolare se coinvolge zone golenali d'importanza nazionale. Secondo l'ordinanza sulle zone golenali, lo scopo della protezione prevede la conservazione «intatta» e, per quanto ragionevole e fattibile, il ristabilimento della dinamica naturale del regime delle acque e di quello dei detriti alluvionali, nonché la conservazione delle caratteristiche geomorfologiche (art. 4 cpv. 1 lett. b–c ordinanza sulle zone golenali).

Conformemente all'articolo 5 capoverso 1 della suddetta ordinanza, i Cantoni sono tenuti ad adottare i provvedimenti di protezione e di manutenzione necessari per la conservazione degli oggetti. Tra le altre cose vigilano affinché le zone golenali con un regime delle acque e dei detriti totalmente o ampiamente intatti siano protette integralmente, gli sfruttamenti esistenti e quelli nuovi siano conformi allo scopo della protezione, sia incoraggiato lo sviluppo di piante e animali rari e minacciati nonché delle loro biocenosi (art. 5 cpv. 2 ordinanza sulle zone golenali). Infine, l'articolo 8 dell'ordinanza stabilisce che i Cantoni vigilino affinché i danni arrecati in particolare alla dinamica naturale del regime delle acque e dei detriti degli oggetti siano eliminati, per quanto possibile, non appena se ne presenti l'occasione.

Una deroga allo scopo della protezione di una conservazione intatta è ammissibile soltanto per progetti direttamente legati all'ubicazione che sono utili alla protezione degli uomini dagli effetti dannosi dell'acqua o a un altro interesse pubblico preponderante d'importanza nazionale (art. 4 cpv. 2 ordinanza sulle zone golenali). Per gli impianti idroelettrici, l'interesse nazionale è definito dall'articolo 8 dell'ordinanza sull'energia (OEn, RS 730.01) sulla base di valori soglia della produzione.

Gli articoli di legge rilevanti per la pianificazione delle misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo sono riportati nell'allegato A.

2 Procedura di risanamento

2.1 Procedura di risanamento per impianti idroelettrici

Il risanamento del bilancio in materiale solido di fondo è suddiviso in cinque fasi: 1) pianificazione strategica dei Cantoni, 2) studio sulla tipologia e sull'entità delle misure e progettazione, 3) domanda d'indennizzo e attuazione, 4) conteggio e versamento, 5) controllo dei risultati.

La figura 3 fornisce una panoramica della procedura di risanamento di impianti idroelettrici e descrive il ruolo e i compiti dei vari attori: detentori degli impianti, Cantoni e Ufficio federale dell'ambiente (UFAM).

Nel caso di impianti idroelettrici lungo acque transfrontaliere, l'Ufficio federale dell'energia (UFE) subentra ai Cantoni quale autorità esecutiva, coordinando le misure con le autorità del Paese limitrofo interessato.

Fase 1 Pianificazione strategica dei Cantoni

Alla fine del 2014, i Cantoni avevano individuato i tratti di corsi d'acqua pregiudicati in maniera sensibile e gli impianti soggetti a obbligo di risanamento. Questi risultati sono stati approvati da ciascun Cantone e pubblicati come pianificazione cantonale. Nel 2015 l'UFAM ha espresso il proprio parere su tutte le pianificazioni cantonali.

Fase 2 Studio sulla tipologia e sull'entità delle misure e progettazione

Alla pianificazione strategica segue la pianificazione delle misure, che nella legislazione sulla protezione delle acque prende il nome di «studio sulla tipologia e sull'entità delle misure». Nell'ambito dello studio si stabiliscono obiettivi concreti per i corsi d'acqua e si definiscono le misure per raggiungerli. Lo studio, corrispondente a una pianificazione di fase 2 del modello di prestazioni 112 secondo SIA, «Studi preliminari», viene elaborato dai Cantoni nell'ottica del bacino imbrifero. Si raccomanda di coinvolgere i detentori degli impianti nella preparazione dello studio. Se dallo studio sulla tipologia e sull'entità delle misure relative a un impianto emerge

- a) che non vi è alcun pregiudizio sensibile,
- b) che nessuna misura è possibile per motivi di proporzionalità, protezione contro le piene o obiettivi di politica energetica,

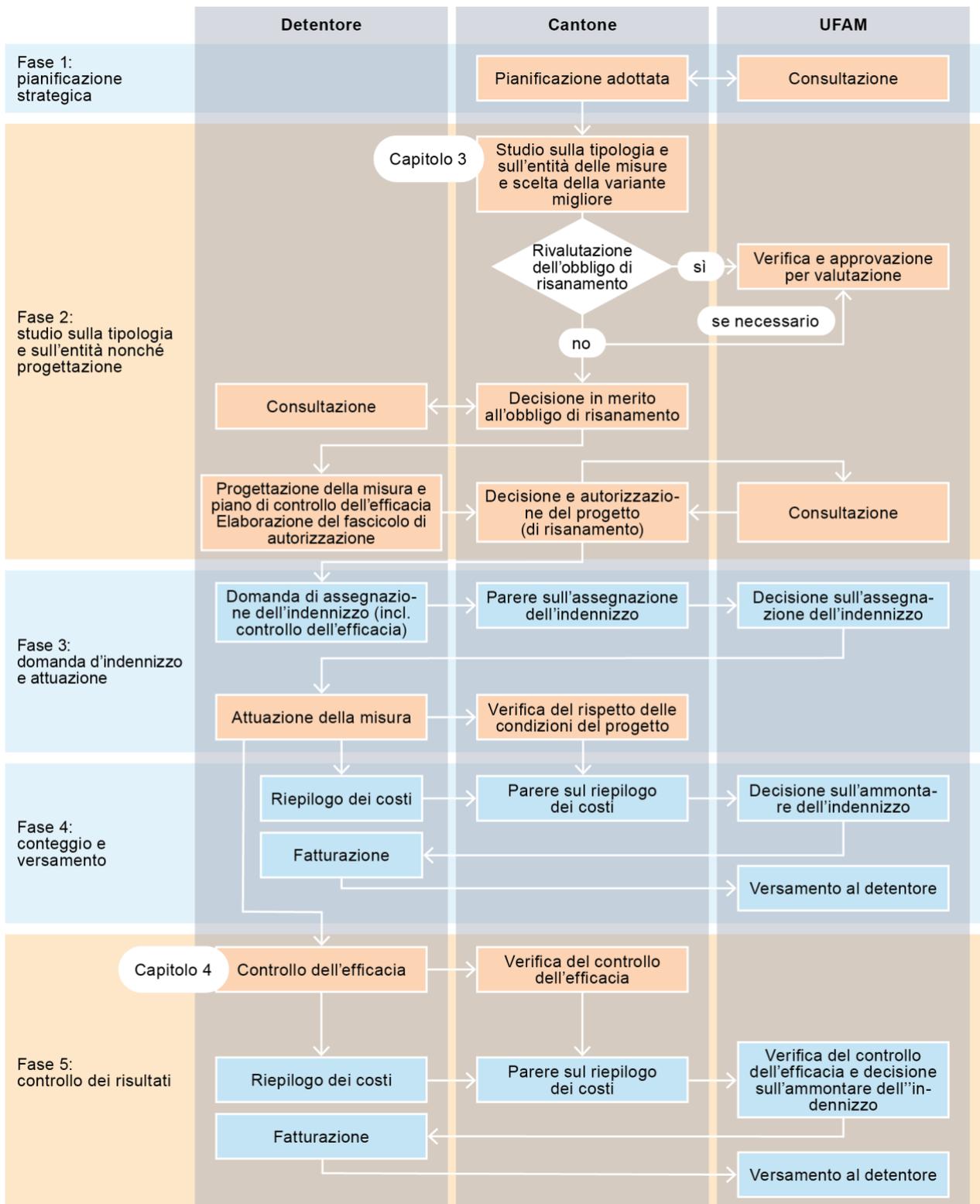
tale impianto può essere esonerato dall'obbligo di risanamento previa verifica dell'UFAM e non deve essere disposto alcun obbligo di risanamento. La procedura per a) è descritta nel paragrafo «Rivalutazione» alla fine di questo capitolo, per b) nelle FAQ² dell'UFAM (cfr. anche cap. 3.7 cpv. «Risanamento parziale»).

Dopo aver sentito il detentore dell'impianto, sulla base di questo studio il Cantone emana una decisione contenente l'obbligo di risanamento nonché la tipologia e la portata delle misure. Il detentore dell'impianto esegue la progettazione della misura disposta ed elabora il corrispondente fascicolo di autorizzazione. Infine, dopo aver consultato l'UFAM, il Cantone decide in merito al progetto di risanamento.

2 https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/it/dokumente/wasser/fachinfo-daten/oekologische-sanierung-wasserkraft-fragstellungen-zur-teilsanierung.pdf.download.pdf/%C3%96kologische_Sanierung_Wasserkraft_-_Fragstellungen_zur_Teilsanierung_-_Webversion.pdf

Fig. 3: Procedura generale di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo di impianti idroelettrici

Le caselle arancione indicano le fasi di risanamento relative ai contenuti, quelle blu al finanziamento delle misure.



Fase 3 Domanda d'indennizzo e attuazione

Dopo che il Cantone ha deciso la misura di risanamento e sono state ottenute tutte le autorizzazioni necessarie, il detentore dell'impianto idroelettrico presenta una domanda d'indennizzo dei costi, esaminata prima dal Cantone, che esprime un parere, e poi dall'UFAM. L'UFAM assegna al detentore l'indennizzo per i costi previsti mediante decisione. Non appena l'UFAM ha assegnato il finanziamento, il detentore dell'impianto può attuare la misura (UFAM 2016, cap. 7).

Fase 4 Conteggio e versamento

Una volta attuate le misure di risanamento o parti di esse, il detentore di un impianto idroelettrico può presentare al Cantone il riepilogo dei costi. Il Cantone verifica il rispetto delle condizioni del progetto e inoltra all'UFAM il riepilogo dei costi con il proprio parere. L'UFAM esamina a sua volta la documentazione, concorda la sua valutazione con il Cantone e dispone l'importo dell'indennizzo effettivo. Sulla base di tale decisione, il detentore può emettere una fattura (UFAM 2016, cap. 7).

Fase 5 Controllo dei risultati

Il controllo dei risultati si compone di un controllo dell'attuazione e di un controllo dell'efficacia.

Il controllo dell'attuazione serve a dimostrare che le misure disposte sono state attuate conformemente alle specifiche e alle condizioni. Il Cantone verifica se le misure disposte sono state attuate correttamente ed entro i termini previsti. In un caso semplice (ad es. soppressione di una camera di ritenuta), si verifica l'attuazione una volta sola, comprendendo l'esame della misura di risanamento ordinata. Nel caso di misure ricorrenti (ad es. riporti periodici di ghiaia), la verifica dell'attuazione avviene dopo ogni intervento. Ogni quattro anni (nel 2018 per la prima volta) i Cantoni presentano all'UFAM un rapporto riguardante le misure di risanamento attuate su tutti gli impianti (art. 83b cpv. 3 LPAc).

Con il controllo dell'efficacia, il detentore di un impianto verifica l'efficacia delle misure da lui attuate e presenta al Cantone il rapporto corrispondente. A sua volta il Cantone valuta l'efficacia in base agli obiettivi dello studio sulla tipologia e sull'entità delle misure, disponendo all'occorrenza eventuali misure correttive. Anche i costi del controllo dell'efficacia possono essere indennizzati, come previsto dall'articolo 34 LEne. Le relative procedure di conteggio e versamento sono le stesse di quelle previste per le misure (cfr. fase 4). I contenuti necessari per il controllo dell'efficacia sono riportati nel capitolo 4 del presente modulo di aiuto all'esecuzione.

Rivalutazione successiva del pregiudizio sensibile e obbligo di risanamento

In linea di principio, la pianificazione strategica dei Cantoni prevede la possibilità di rivalutare il pregiudizio sensibile e l'obbligo di risanamento di singoli impianti. Ciò richiede una giustificazione concreta del motivo per cui la valutazione si discosta dalla pianificazione strategica (ad es. nuovi elementi emersi dallo studio sulla tipologia e sull'entità delle misure). La procedura di rivalutazione si articola in tre fasi: 1) rivalutazione con motivazione scritta del Cantone all'UFAM, 2) valutazione dell'UFAM a sostegno del parere del Cantone e 3) conferma scritta della rivalutazione da parte dell'UFAM al Cantone (analoga al parere dell'UFAM per i rapporti finali dei Cantoni, anche per il singolo impianto).

2.2 Procedura di risanamento per impianti non idroelettrici

La procedura di risanamento per impianti non idroelettrici (Fig. 4) è sostanzialmente la stessa degli impianti idroelettrici, sebbene con alcune specificità:

Consultazione sui progetti di risanamento (fase 2)

Prima della decisione di risanamento, l'UFAM viene consultato solo in caso di progetti singoli³ riguardanti la protezione contro le piene o la rivitalizzazione.

Finanziamento (fasi 3, 4, 5)

I costi delle misure di risanamento per impianti non idroelettrici non possono essere finanziati in base all'articolo 34 LEne sul Fondo per il supplemento rete (art. 35 cpv. 2 lett. h LEne). Misure edili uniche come ristrutturazioni o smantellamenti sono tuttavia considerate rivitalizzazioni, dunque sovvenzionabili, se con esse vengono ripristinate le funzioni naturali di un corso d'acqua pregiudicato. Ciò nonostante, è possibile versare contributi per lo smantellamento di un impianto solo se il detentore non è tenuto a procedere (art. 62b cpv. 4 LPAc) oppure se la ristrutturazione o lo smantellamento non avvengono nell'ambito di un progetto di protezione contro le piene (ad es. nell'ambito di un intervento necessario di consolidamento costruttivo). La procedura di sovvenzionamento segue le regole dei progetti di rivitalizzazione stabilite nel manuale «Accordi programmatici nel settore ambientale» (UFAM 2018, parte 8). Se la ristrutturazione o lo smantellamento avvengono nell'ambito di un progetto di protezione contro le piene, l'eventuale indennizzo viene gestito attraverso il programma Opere di protezione. La procedura di sovvenzionamento segue le regole dei progetti di protezione contro le piene stabilite nel manuale «Accordi programmatici nel settore ambientale» (UFAM 2018, parte 6). Le misure di esercizio e le misure per i prelievi di ghiaia non sono sovvenzionabili.

2.3 Principi per la costruzione di nuovi impianti e l'ampliamento di quelli esistenti

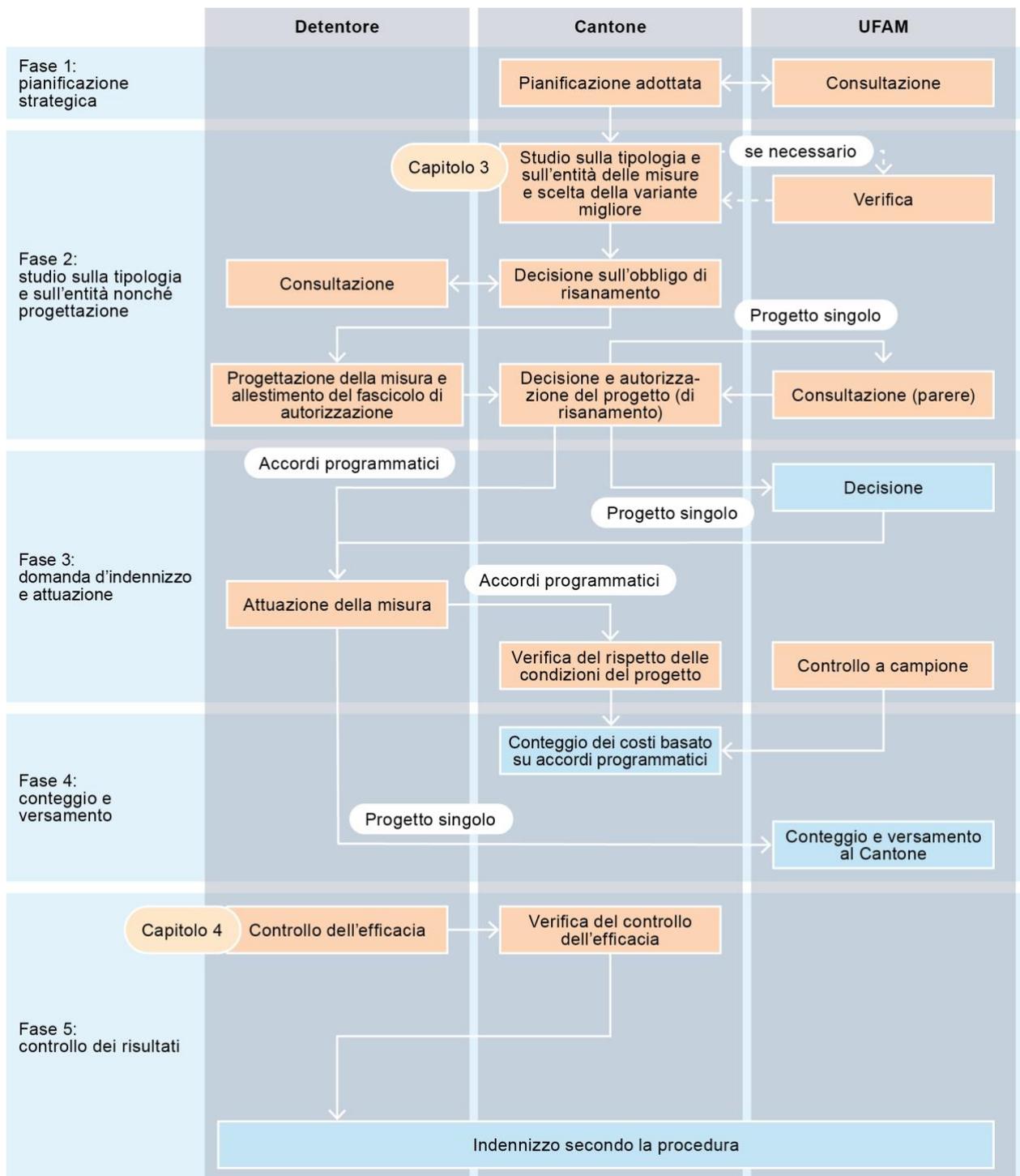
Rispetto al risanamento di impianti esistenti, i nuovi impianti (in cui rientrano anche progetti di protezione contro le piene e di rivitalizzazione), gli ampliamenti di impianti esistenti e le nuove concessioni devono soddisfare gli stessi requisiti in termini di bilancio in materiale solido di fondo. Si applicano i principi di seguito riportati.

- Non pregiudicare in maniera sensibile un corso d'acqua modificandone il bilancio in materiale solido di fondo.
- Progettare nuovi impianti in modo da garantire la continuità del trasporto solido.
- Nei progetti di protezione contro le piene, è possibile prelevare materiale solido di fondo solo nella misura assolutamente necessaria agli obiettivi di protezione. Gli abbassamenti del fondo, dai quali risulta una pendenza inferiore alla pendenza di valle, vanno evitati o devono avvenire solo in conformità alla legge, facendo sì che il bilancio in materiale solido di fondo nei corsi d'acqua a valle non venga pregiudicato in maniera sensibile.
- Nel caso di nuovi impianti o di ampliamenti di impianti esistenti, il detentore deve spiegarne gli effetti sul bilancio in materiale solido di fondo. Nell'ambito della progettazione o per gli impianti idroelettrici nell'ambito della procedura di concessione, si raccomanda al detentore dell'impianto di seguire le fasi di lavoro pertinenti dello studio sulla tipologia e sulla portata delle misure (cap. 3).
- In caso di progettazione o concessione di nuovi impianti, sono coinvolti il Cantone interessato e l'UFAM.
- In caso di ampliamento di un impianto idroelettrico, si corrisponde un indennizzo solo per la parte di misure volte a eliminare i pregiudizi già esistenti dovuti a una modifica del bilancio in materiale solido di fondo.

³ Progetto singolo ai sensi del manuale Accordi programmatici nel settore ambientale (UFAM 2018).

Fig. 4: Procedura generale di risanamento di impianti non idroelettrici

Il finanziamento di progetti singoli e di progetti nell'ambito di accordi programmatici è disciplinato nel manuale «Accordi programmatici nel settore ambientale».



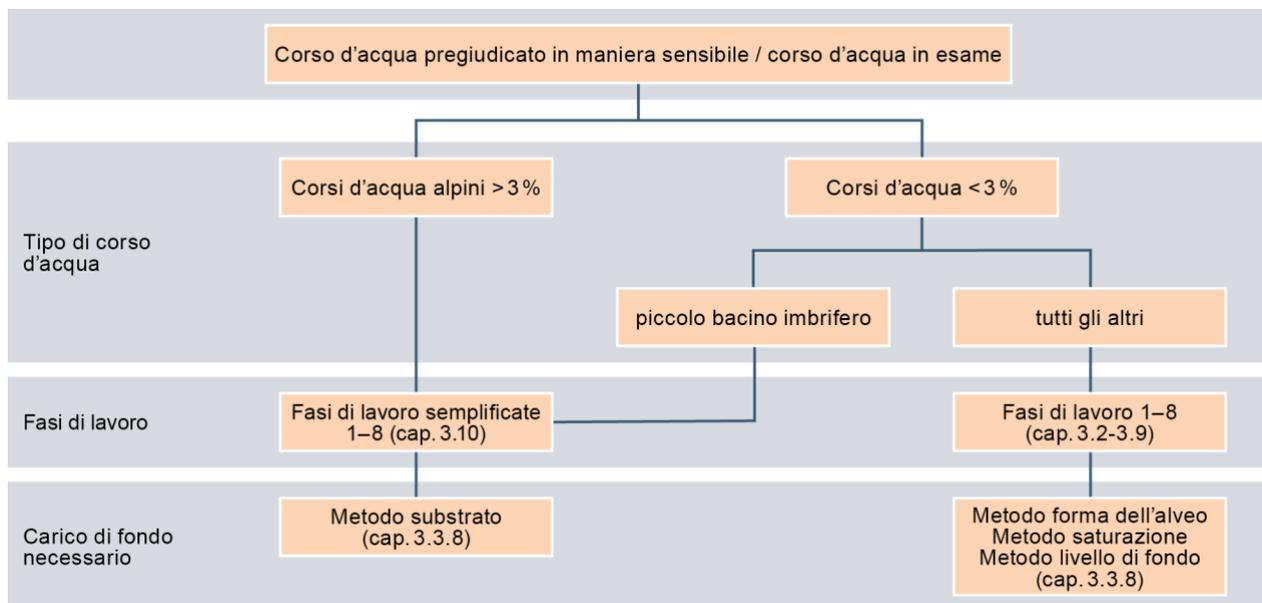
3 Studio sulla tipologia e sull'entità delle misure

3.1 Panoramica

3.1.1 Fasi di lavoro

Lo studio sulla tipologia e sull'entità delle misure prevede fasi di lavoro di diversa entità nonché vari metodi di determinazione del carico di fondo (Fig. 5), a seconda del tipo di corso d'acqua in esame. Per i corsi d'acqua con minore pendenza (< 3 %), si raccomanda di eseguire tutte le fasi e i metodi di lavoro secondo i capitoli 3.2–3.9. Per i ripidi corsi d'acqua alpini e nelle situazioni in cui l'onere richiesto per lo studio sulla tipologia e sull'entità è elevato rispetto alle misure possibili (ad es. per le ridotte dimensioni del corso d'acqua), è possibile pianificare e attuare le misure in modo semplificato. Le fasi di lavoro della procedura semplificata sono descritte nel capitolo 3.10.

Fig. 5: Fasi e metodi di lavoro consigliati a seconda del tipo di corso d'acqua



L'obiettivo dello studio è di determinare la tipologia e l'entità delle misure per tutti gli impianti rilevanti di un bacino imbrifero. Con queste informazioni, il Cantone può disporre l'obbligo di risanamento per i detentori degli impianti e disporre la progettazione delle misure stabilite secondo l'entità definita (all. C).

Lo studio sulla tipologia e sull'entità delle misure comprende otto fasi di lavoro (Fig. 6), utilizzate per determinare lo stato attuale, lo stato seminaturale e lo stato auspicato per le strutture morfologiche e il carico di fondo (Fig. 7).

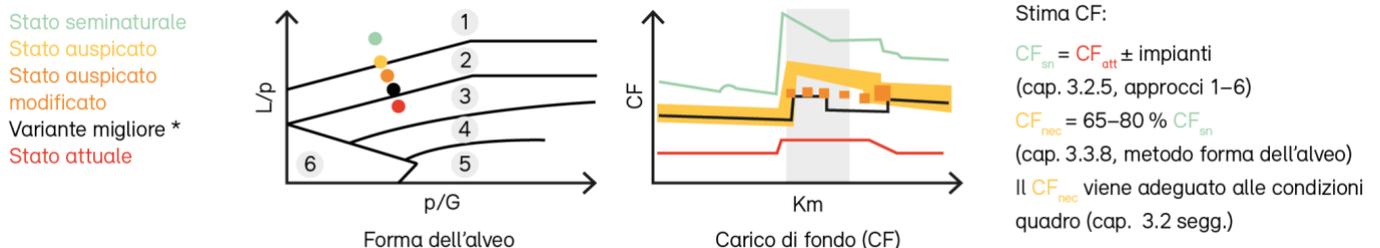
Fig. 6: Fasi di lavoro dello studio sulla tipologia e sull'entità delle misure

La freccia dalla fase 6 alla fase 3 indica che l'obiettivo di risanamento dell'impianto deve essere riconsiderato, se non è possibile trovare una misura proporzionata con cui raggiungere tale obiettivo.

Fasi di lavoro	Perimetro	Cap.
Analisi della situazione		
1) Analizzare lo stato attuale e seminaturale del corso d'acqua	Bacino imbrifero Corso d'acqua target Impianti	3.2
Definizione degli obiettivi		
2) Definire gli obiettivi morfologici per il corso d'acqua e il carico di fondo necessario	Corso d'acqua target	3.3
3) Definire l'obiettivo di risanamento per gli impianti	Impianti	3.4
Definizione delle misure		
4) Redigere un catalogo delle misure	Impianti	3.5
5) Elaborare e valutare varianti di misure	Impianti	3.6
6) Scegliere la variante migliore	Impianti	3.7
7) Coordinamento con altre misure riguardanti il corso d'acqua	Bacino imbrifero	3.8
Attuazione		
8) Stabilire il piano di controllo dell'efficacia	Corso d'acqua target Impianti	3.9

Fig. 7: Fasi di lavoro dello studio sulla tipologia e sull'entità delle misure

I risultati possono essere rappresentati attraverso la forma dell'alveo di un tratto di corso d'acqua e il carico di fondo (CF) lungo il corso (= diagramma del trasporto solido di fondo) nel rispettivo stato. Qui la forma dell'alveo viene delimitata con i parametri larghezza B, profondità di deflusso h e granulometria D (secondo Ahmari & da Silva, 2011). I numeri si riferiscono alle forme di alveo della figura 8. Il CF è stimato per vari stati: stato seminaturale CF_{sn} , stato attuale CF_{att} e carico di fondo necessario CF_{nec} .



* Variante migliore: in linea di principio si elaborano varianti che raggiungono lo stato auspicato e il CF_{nec} . È possibile ridurre l'obiettivo dello stato auspicato e del CF se sussiste un rischio per la protezione contro le piene o se la variante risulta sproporzionata.

Analisi della situazione

Fase di lavoro 1: tutte le fasi di pianificazione devono basarsi sulla conoscenza della rete idrografica. Ciò include una descrizione della morfologia e del bilancio in materiale solido di fondo dei corsi d'acqua nel loro stato attuale e allo stato seminaturale, focalizzandosi sui corsi d'acqua target individuati nella pianificazione strategica nonché su un'analisi quantitativa dell'impatto degli impianti su questi corsi d'acqua. A tal fine, nella fase di lavoro 1 si preparano le basi necessarie, a meno che non siano già state elaborate nella pianificazione strategica.

Definizione degli obiettivi

Fase di lavoro 2: le misure di risanamento devono orientarsi agli obiettivi definiti per il corso d'acqua e l'impianto, formulati in termini generali nel capitolo 3.3.2. Nella fase di lavoro 2 si procede alla quantificazione di tali obiettivi e alla determinazione del carico di fondo necessario al corso d'acqua in esame per consentire strutture morfologiche e una dinamica tipiche in condizioni di larghezza dell'alveo non ridotta nonché per non pregiudicare in maniera sensibile il regime delle acque sotterranee e la protezione contro le piene.

Fase di lavoro 3: partendo dal carico di fondo necessario in un corso d'acqua e dai deficit esistenti, è possibile derivare un obiettivo di risanamento per i singoli impianti presenti nel bacino imbrifero di tale corso.

Definizione delle misure

Fase di lavoro 4: basandosi su un catalogo delle misure, si definiscono quelle ritenute più idonee.

Fase di lavoro 5: nella maggior parte dei casi è necessario elaborare più varianti e valutarle in un apposito studio. In questa fase è particolarmente importante considerare nel loro insieme i vari impianti presenti lungo un corso d'acqua e nel suo bacino imbrifero, come pure armonizzare tra loro le misure destinate ai singoli impianti.

Fase di lavoro 6: tra le varianti proposte, si può infine scegliere la variante migliore da attuare.

Fase di lavoro 7: la variante migliore deve essere coordinata con altre misure di protezione delle acque, in particolare con le rivitalizzazioni. Può succedere che non sia possibile raggiungere l'obiettivo di risanamento definito per un impianto adottando misure proporzionate. In questo caso, tale obiettivo (fase di lavoro 3) deve essere riconsiderato, elaborando e valutando nuove varianti (freccia nella Fig. 6).

Fase di lavoro 8: l'ultimo passaggio prevede l'elaborazione di un piano per il controllo dell'efficacia.

3.1.2 Ponderazione degli interessi e considerazione della protezione contro le piene

La procedura di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo non può prescindere da una ponderazione degli interessi. Da un punto di vista formale l'obiettivo di risanamento è indipendente dalla ponderazione degli interessi (art. 43a cpv. 1 LPAc). Tale ponderazione è tuttavia parte della definizione di una misura (fasi di lavoro 4–7), in quanto l'entità della misura si basa anche sugli interessi legati alla protezione contro le piene, sugli obiettivi di politica energetica come pure sulla proporzionalità (art. 43a cpv. 2 LPAc; cfr. cap. 3.6).

Si tiene conto della protezione contro le piene da due punti di vista: definizione degli obiettivi nell'ottica di garantire una quantità adeguata di materiale solido, in modo da evitare erosioni del fondo che possano compromettere la sicurezza contro le piene (fase di lavoro 2); definizione delle misure in modo da prevenire sovralluvionamenti che possano compromettere la protezione contro le piene (fase di lavoro 5, cap. 3.5.4). Quest'ultimo aspetto viene garantito integrando nella valutazione delle misure e nella scelta della variante migliore i possibili effetti negativi

sulla protezione contro le piene, come pure, ove necessario, includendo nella pianificazione misure complementari di protezione contro le piene.

3.1.3 Sinergie con indagini esistenti

Ripresa di risultati derivanti dalla pianificazione strategica

Se per singole fasi di lavoro (Fig. 6) dello studio sulla tipologia e sull'entità delle misure sono già disponibili risultati con il grado di dettaglio di uno studio preliminare, derivanti, ad esempio, dalla pianificazione strategica dei Cantoni o da studi esistenti sul bilancio in materiale solido di fondo, questi possono essere utilizzati come base per la decisione sull'obbligo di risanamento, senza bisogno di ulteriore elaborazione. Per gli impianti per i quali sono già state eseguite tutte le fasi di lavoro dello studio o per i quali non tutte sono opportune, poiché solo una misura è fattibile e non vi è necessità di coordinamento, è possibile disporre direttamente la misura derivante dalla pianificazione strategica.

3.1.4 Studio sulle varianti nell'ambito della progettazione

In singoli casi è opportuno elaborare le fasi di lavoro per la definizione delle misure (studio delle varianti e scelta della variante migliore) al momento della progettazione. Questa procedura è indicata se la decisione su una variante richiede un grado di dettaglio nella pianificazione delle misure superiore a quello ottenibile con uno studio preliminare. In tal caso, il coordinamento delle misure nel bacino imbrifero deve essere garantito in fase di progetto. Se si sposta lo studio sulla variante in questa fase, il Cantone lo deve ordinare al detentore dell'impianto nella decisione di risanamento (cfr. anche Contenuti di decisione di risanamento nell'all. B). Anche in questi casi, tuttavia, la decisione sulla variante deve essere adottata e disposta dal Cantone.

3.2 Fase di lavoro 1: studio approfondito dello stato attuale e seminaturale del corso d'acqua

3.2.1 Introduzione

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

In questa fase di lavoro si devono acquisire conoscenze sulla morfologia e sul bilancio in materiale solido di fondo del corso d'acqua allo stato seminaturale e nello stato attuale, in modo da ricavare i deficit del carico di fondo.

I risultati attesi dalla fase di lavoro sono riportati qui di seguito:

- descrizione della morfologia e della dinamica del corso d'acqua allo stato seminaturale e nello stato attuale;
- elenco degli impianti che influenzano il carico di fondo nello stato attuale rispetto al carico allo stato seminaturale, con indicazioni sulla misura in cui tali impianti riducono il carico di fondo;
- profilo longitudinale del carico di fondo allo stato seminaturale e nello stato attuale;
- descrizione del deficit del carico di fondo nello stato attuale rispetto allo stato seminaturale.

3.2.2 Definizione di stato naturale, stato seminaturale, stato attuale e deficit

Stato naturale

Lo stato naturale corrisponde allo stato del corso d'acqua senza interventi antropici. La larghezza, la forma dell'alveo e l'andamento del corso d'acqua allo stato naturale sono approssimativamente rappresentati in carte storiche o altri documenti quali fotografie. Allo stato naturale, il bilancio in materiale solido di fondo non è influenzato da interventi antropici.

Stato seminaturale

Lo stato seminaturale è lo stato del corso d'acqua in termini di morfologia e larghezza, regime di deflusso, bilancio in materiale solido di fondo nelle condizioni climatiche attuali, ma senza utilizzazioni lungo il corso d'acqua e nelle sue immediate vicinanze. Lo stato seminaturale si differenzia da quello naturale solo per disboscamenti su larga scala, prosciugamento di zone umide e deviazioni di corsi d'acqua in un lago.

Lo stato seminaturale serve a riconoscere la morfologia e la dinamica prossime allo stato naturale come modello e a mostrare come il corso d'acqua potrebbe svilupparsi senza influssi negativi dovuti a utilizzazioni. Dal confronto tra lo stato seminaturale e lo stato attuale si ricava il deficit da colmare, almeno parzialmente, con opportune misure. Lo stato seminaturale costituisce la base per distinguere tra pregiudizi sensibili e non sensibili ed è il punto di partenza per l'elaborazione di misure relative al materiale solido di fondo.

Stato auspicato

Lo stato auspicato è quello in cui il corso d'acqua non è pregiudicato in maniera sensibile da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo. La morfologia e il carico di fondo tendono a uno stato seminaturale e sono il più possibile simili a esso. Lo stato seminaturale non rappresenta tuttavia l'obiettivo del risanamento del bilancio in materiale solido di fondo: le alterazioni sostanziali rispetto allo stato seminaturale devono essere eliminate.

Se l'alveo è arginato (larghezza ridotta) oppure il regime di deflusso o l'apporto di materiale solido di fondo sono modificati, non è possibile ripristinare una morfologia e una dinamica prossime allo stato naturale con le sole misure relative al materiale solido, che dipendono dalle condizioni quadro summenzionate. In questi casi gli obiettivi morfologici possono essere modificati (cap. 3.3.2 e segg.).

L'entità effettiva delle misure relative al materiale solido di fondo è determinata anche dalla gravità del pregiudizio e dal potenziale ecologico del corso d'acqua, dalla proporzionalità dell'onere, dagli interessi della protezione contro le piene e dagli obiettivi di politica energetica per la promozione di energie rinnovabili (cap. 3.6). Il capitolo 3.3 descrive in dettaglio come derivare gli obiettivi per i corsi d'acqua in situazioni diverse.

Stato attuale

Lo stato attuale descrive lo stato del momento dei corsi d'acqua, con tutti gli impianti e le opere di sistemazione. Nello stato attuale il bilancio in materiale solido di fondo del corso d'acqua è eventualmente modificato da impianti idroelettrici, camere di ritenuta, opere di sistemazione, prelievi di ghiaia e altri impianti.

Deficit

Il deficit deriva dalla differenza tra lo stato seminaturale e lo stato attuale, soprattutto per quel che riguarda la morfologia e il carico di fondo.

3.2.3 Caratterizzazione della morfologia

Caratteristiche morfologiche

La morfologia di un corso d'acqua può essere descritta attraverso caratteristiche tipiche: la forma dell'alveo, la presenza e l'estensione di depositi di materiale solido di fondo, in particolare banchi di ghiaia e substrato. Anche la larghezza e la pendenza longitudinale del corso d'acqua rientrano tra le caratteristiche morfologiche.

Forma dell'alveo

La forma dell'alveo corrisponde all'aspetto del corso d'acqua da una prospettiva aerea. Sulla base della classificazione degli alvei secondo Leopold e Wolman (1959) e Ahmari e daSilva (2011), i corsi d'acqua svizzeri possono essere facilmente differenziati attraverso le sei forme di alveo di seguito descritte (Fig. 8).

(1) *Alveo ramificato con più di 2 sottoalvei*: con portate medie, il corso d'acqua si divide in più bracci. Tra questi sono presenti banchi di ghiaia privi di alberatura di sponda che in caso di piena vengono inondati, con conseguente spostamento della loro posizione a ogni evento di piena. Il letto del fiume è ampio e la profondità di deflusso media è relativamente bassa anche durante le piene.

(2) *Alveo ramificato con 2 sottoalvei*: molto simile alla forma di alveo (1), la differenza sta nel numero di sottoalvei. Il letto del fiume è un po' meno ampio dell'alveo ramificato con più di 2 sottoalvei.

(3) *Alveo sinuoso con isole e banchi*: l'alveo può avere da uno a più sottoalvei, separati tra loro da isole boschive, le quali vengono modificate dalla migrazione dei sottoalvei solo in occasione di grandi eventi di piena. I banchi di ghiaia accompagnano le isole o si formano in siti adatti lungo le sponde.

(4) *Alveo sinuoso con banchi*: i banchi si formano in zone riparate dalle correnti, lungo le sponde o in corrispondenza di ampliamenti locali. Vengono inondati in caso di piena e, con poche eccezioni, non sono coperti da alberatura di sponda. Questo tipo di alveo può anche essere designato come alveo meandriforme con trasporto solido di fondo.

(5) *Alveo meandriforme senza portata solida di fondo*: in questo caso le portate di piena e quelle di magra scorrono nello stesso alveo. Il fondo è costituito principalmente da sabbia.

(6) *Alveo sinuoso o rettilineo*: negli alvei ripidi con pendenza superiore al 3 per cento, la forma dell'alveo dipende dalla geologia e dalla topografia, non dalla quantità di materiale solido.

La forma dell'alveo allo stato seminaturale può essersi modificata a seguito della storia delle piene. Spesso sono disponibili carte storiche di vari anni⁴, fotografie aeree storiche o piani delle prime correzioni fluviali. Su questa base è possibile determinare la forma dell'alveo di un corso d'acqua allo stato seminaturale. A volte la forma precedente di un alveo può essere dedotta da tracce sul terreno visibili ancora oggi in modelli altimetrici digitali ad alta risoluzione o da un tratto esistente e prossimo allo stato naturale. Con queste stesse basi è possibile determinare la larghezza del corso d'acqua, priva di alberatura di sponda. È possibile verificare la forma dell'alveo nello stato attuale utilizzando carte o fotografie aeree aggiornate o anche con un'ispezione sul terreno, adottando, se necessario, criteri di delimitazione (ad es. con Ahmari & da Silva 2011, cfr. allegato E).

⁴ Ad esempio per il Reno alpino CH/AT: carta Römer e Duile; per l'Argovia: carta Michaelis, per tutta la Svizzera: carte Siegfried.

Fig. 8: Forme di alveo

Esempi tratti da carte storiche e fotografie aeree aggiornate.

<p>1 Alveo ramificato con più di 2 sottoalvei</p> 		<p>Cartina: il Reno posteriore presso Rhäzüns Foto: il Rodano presso Leuk; la Sense presso Plaffeien</p>
<p>2 Alveo ramificato con 2 sottoalvei</p> 		<p>Cartina: il Reno alpino presso Kriessern Foto: lo Schwarzwasser presso Rüscheegg; l'Ärgera presso Giffers</p>
<p>3 Alveo sinuoso con isole e banchi</p> 		<p>Cartina: la Limmat presso Dietikon Foto: la Moesa presso Soazza; il Reno anteriore presso Disla</p>
<p>4 Alveo sinuoso con banchi</p> 		<p>Cartina: l'Aar presso Wynau Foto: la Sarine presso Rougemont; la Töss presso Dättikon</p>
<p>5 Alveo meandriforme senza portata solida di fondo</p> 		<p>Cartina: l'Aar presso Grenchen Foto: l'Aar presso Grenchen; la Biber presso Rothenthurm</p>
<p>6 Alveo rettilineo e sinuoso</p> 		<p>Cartina: il Chirel nella Diemtigtal Foto: la Schmadri-Lütschine presso Stechelberg; la Verzasca presso Sonogno</p>

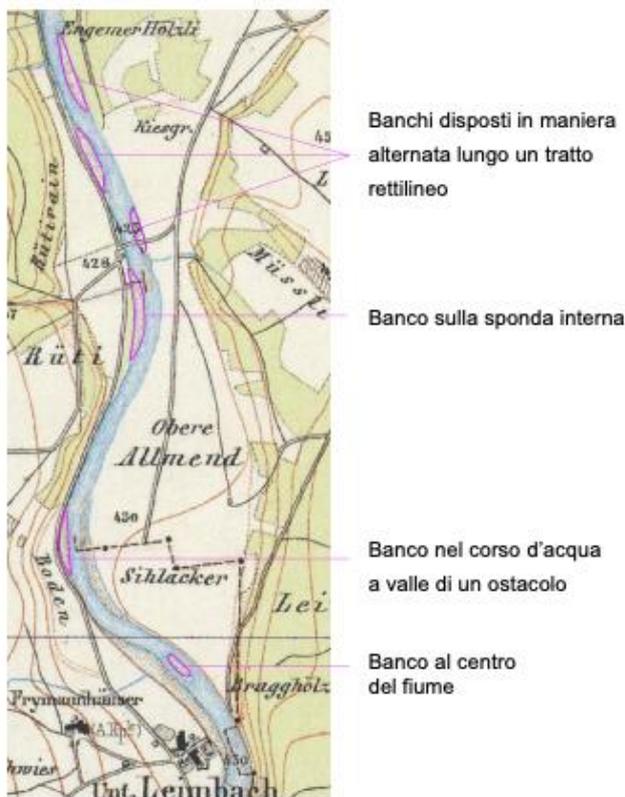
Depositi di materiale solido di fondo

In tutte le forme di alveo con trasporto solido di fondo, il materiale solido si deposita in zone del fondo riparate dalle correnti. La ghiaia può depositarsi o sotto forma di strati o di banchi. I depositi di materiale solido di fondo, in particolare i banchi di ghiaia, possono emergere dall'acqua in caso di portate medie o di magra. A seconda della posizione e della disposizione, si distinguono i seguenti tipi di depositi (Fig. 9):

- deposito sulla sponda interna di una curva
(banco di ghiaia stazionario; limitatamente mobile durante la migrazione del corso d'acqua);
- deposito sotto forma di isola in un ampliamento dell'alveo o un corso d'acqua ramificato
(banco di ghiaia stazionario o mobile);
- depositi disposti in maniera alternata sulle sponde lungo tratti rettilinei di corsi d'acqua
(banchi di ghiaia stazionari o mobili);
- depositi situati dietro ostacoli (banchi di ghiaia stazionari);
- depositi nel talweg di un alveo (durante piccole portate di piena).

Fig. 9: Strutture diverse di banchi di ghiaia nella Sihl presso Zurigo

Direzione della corrente da sud a nord. Cartina Wild 1843-51. Scala 1 : 15 000.



Larghezza

La larghezza è una caratteristica morfologica essenziale dei corsi d'acqua. Dipende dal regime di deflusso, dal carico di fondo, dalla granulometria e dalle proprietà geologiche. Rispetto alla profondità di deflusso, gli alvei ramificati sono generalmente più larghi degli alvei sinuosi o rettilinei. Le zone di transizione tra fondo, scarpate di sponda, boschi golenali a legno tenero e duro sono perlopiù fluide, per cui si può definire la larghezza a seconda della diversa utilizzazione. Per i confronti morfologici fra corsi d'acqua si usa spesso la larghezza in superficie con deflusso che determina l'alveo (ad es. HQ_2 ; «larghezza a piene rive» o «larghezza dell'alveo»). Altre definizioni, come la «larghezza naturale del fondo», sono rilevanti per determinare lo spazio riservato alle acque (DCPA et al. 2019, UFAM 2023).

A seconda dei casi e delle basi disponibili, la larghezza allo stato seminaturale può essere ricavata da carte storiche, piani di correzione, fotografie aeree e tratti di riferimento. In questi documenti la superficie bagnata corrisponde spesso a condizioni di portate medie, ma possono esservi rappresentate anche altre portate.

Talvolta la larghezza varia notevolmente in direzione della corrente e in funzione della storia delle piene. In genere si prende come riferimento un valore medio su un tratto fluviale dalla morfologia uniforme. Analizzando diverse carte storiche e fotografie aeree, è possibile individuare i cambiamenti avvenuti per effetto dei deflussi e degli interventi antropici.

Se non sono disponibili documenti di riferimento, la larghezza può essere approssimata utilizzando metodi e formule empirici (ad es. Parker 1979), tenendo conto della forma dell'alveo allo stato seminaturale.

La larghezza nello stato attuale può essere misurata sul terreno partendo da profili trasversali o utilizzando fotografie aeree.

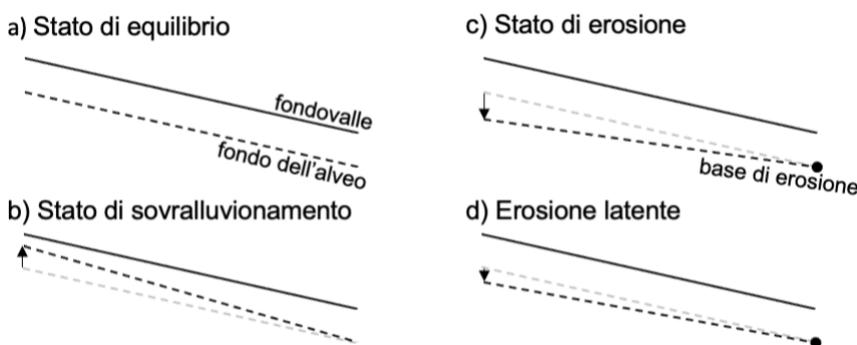
Pendenza longitudinale

È possibile determinare la pendenza longitudinale allo stato seminaturale sulla base di carte storiche (come le cartine Siegfried o Wild) o ricavarla dalla pendenza di valle. La pendenza longitudinale nello stato attuale è determinata mediante misurazioni aggiornate dei profili trasversali, carte topografiche o modelli altimetrici digitali.

La pendenza longitudinale e la pendenza di valle si differenziano nei corsi d'acqua soggetti a erosione o sovralluvionamento come di seguito indicato (cfr. Fig. 10):

- stato di equilibrio: pendenza longitudinale = pendenza di valle;
- sovralluvionamento: pendenza longitudinale tendenzialmente maggiore della pendenza di valle. Lungo il corso d'acqua sono presenti argini. Si previene l'aumento significativo della pendenza longitudinale oltre la pendenza di valle in caso di piena attraverso spostamenti del letto e deposizione di sedimenti grossolani;
- erosione: pendenza longitudinale generalmente inferiore alla pendenza di valle;
- erosione latente⁵: pendenza longitudinale spesso inferiore alla pendenza di valle. In genere il fondo dell'alveo è più basso rispetto al fondovalle laterale.

Fig. 10: Pendenza longitudinale del fondo dell'alveo e fondovalle in stati diversi



Substrato

Il substrato è descritto dalla presenza di vari tipi di substrato in superficie e dal grado di colmatazione interna (Fig. 11). La colmatazione interna è causata dall'infiltrazione di materiali in sospensione e viene nuovamente ridotta attraverso lo spostamento del fondo dell'alveo (decolmatazione). La procedura di valutazione delle proprietà del substrato è descritta nell'allegato H.

Nel valutare la colmatazione, occorre tenere conto delle condizioni geologiche e glaciologiche nonché della storia delle piene. Nei corsi d'acqua con torbidità naturalmente elevata (ad es. bacini imbriferi con flysch, marne, scisti, zone glaciali), il fondo tende a colmarsi più rapidamente. Una maggiore colmatazione è possibile anche nel caso in cui il fondo non sia stato mobilizzato da lungo tempo a causa dell'assenza di eventi di piena.

Per quanto riguarda lo stato seminaturale, si può presumere che negli alvei ramificati prevalga materiale solido di fondo trasportato (Fig. 11: substrato 2 e 3 prevalente) o che tutti i tipi siano presenti in ugual misura e che il fondo sia relativamente meno colmatato. Nel caso di alvei sinuosi, è probabile che lungo le sponde esterne si depositi soprattutto materiale solido di fondo (Fig. 11: tipi di substrato 2 e 3) e che nel talweg prevalga materiale di fondo miscelato a detriti o materiale di fondo ricoperto di pietrame (Fig. 11: tipi di substrato 4 e 5 prevalenti). Il fondo potrebbe essere relativamente poco o moderatamente colmatato (Fig. 11: grado di colmatazione da 1 a 3). I tratti paragonabili non influenzati da deficit di apporto solido, con caratteristiche di pendenza e deflusso simili (ad es. a monte degli impianti), possono fornire indicazioni sul substrato allo stato seminaturale.

⁵ Nel caso di un corso d'acqua in stato di erosione latente, il carico di fondo trasportato è inferiore a quello trasportabile. Si previene l'abbassamento del fondo con materiale grossolano.

Fig. 11: A sinistra: tipi di substrato. A destra: grado di colmatazione interna

Esempio a sinistra: la Kander a valle della confluenza con la Simme. La granulometria assoluta dei tipi di substrato è specifica del corso d'acqua. Le immagini da 2 a 5 hanno approssimativamente la stessa scala.



1. Depositi di materiale in sospensione
Sabbia, limo.



1. Nessuna colmatazione
Sotto lo strato di copertura si trovano soprattutto ghiaia e qualche deposito di sabbia.



2. Materiale detritico fine
Porzioni più fini del materiale solido regolarmente trasportato.



2. Poca colmatazione
Sotto lo strato di copertura si trovano pochi depositi di limo e argilla.



3. Materiale detritico grossolano
Porzioni più grossolane del materiale solido regolarmente trasportato.



3. Colmatazione media
Lo spazio poroso è riempito per circa un quarto con depositi di limo e argilla.



4. Materiale di fondo miscelato a detriti
Tra i grani più grossolani del materiale di fondo si sono depositati grani del materiale detritico.



4. Colmatazione forte
Lo spazio poroso è riempito per circa metà con depositi di limo e argilla.



5. Materiale di fondo grossolano
Predomina materiale di fondo a granulometria grossolana.



5. Colmatazione completa
Lo spazio poroso è riempito interamente con depositi di limo e argilla.

3.2.4 Caratterizzazione dei corsi d'acqua in base al bilancio in materiale solido di fondo

Con riferimento al bilancio in materiale solido di fondo, i corsi d'acqua possono essere classificati in quattro tipi (Tab. 1):

- tratti in sovralluvionamento;
- tratti in equilibrio (designati anche come tratti di trasferimento);
- tratti in erosione latente;
- tratti in erosione.

I tratti in sovralluvionamento sono presenti soprattutto a monte della confluenza in un lago (ad es. il Reno alpino) o di zone umide e paludi (ad es. Alte Aare, Minster). Il grado di saturazione⁶ è maggiore di 1. Nei tratti in sovralluvionamento la distribuzione granulometrica del materiale solido trasportato e del materiale di fondo è identica.

Nei tratti in equilibrio, l'apporto di materiale solido di fondo corrisponde al carico trasportabile e il grado di saturazione è pari a 1. Si tratta spesso di tratti in sovralluvionamento postglaciali, il cui processo di sedimentazione si è concluso da tempo. Nei tratti in equilibrio la distribuzione granulometrica del materiale solido trasportato e del materiale di fondo è identica.

Molti corsi d'acqua svizzeri si trovano in stato di erosione latente. L'apporto di materiale solido di fondo è inferiore al carico trasportabile (grado di saturazione minore di 1) e uno strato di copertura stabile di materiale di fondo relativamente grossolano previene l'erosione. Questo strato si forma quando le portate di piena trasportano una quantità proporzionalmente ridotta di materiale solido di fondo e le frazioni granulometriche fini vengono rimosse dallo strato inferiore. Lo strato di copertura si spacca solo in occasione di grandi portate di piena, mentre le piccole piene trasportano materiale solido di fondo più fine del materiale dello strato inferiore.

Nei tratti in erosione l'apporto di materiale solido di fondo è inferiore al carico trasportabile (grado di saturazione minore di 1) e il deflusso copre il deficit di apporto solido, con conseguente abbassamento del fondo. I tratti in erosione si trovano soprattutto nel bacino imbrifero superiore di una rete idrografica. La distribuzione granulometrica del materiale solido trasportato e del materiale di fondo è identica.

Fig. 12: Composizione del materiale di fondo e del materiale solido

A sinistra: materiale di fondo più grossolano del materiale solido, come nel Brenno; a destra: materiale di fondo e materiale solido identici, come nel Reno alpino. Foto Flussbau AG.



⁶ Per grado di saturazione (o trasporto solido di fondo relativo) s'intende il rapporto tra carico di fondo trasportato e trasportabile.

Tab. 1: Caratterizzazione dei corsi d'acqua in base al bilancio in materiale solido di fondo

Corso d'acqua / grado di saturazione	Processi	Distribuzione granulometrica materiale solido / materiale di fondo	Esempi allo stato naturale
Tratto in sovralluvionamento / Grado di saturazione > 1	Corso d'acqua con tendenza al sovralluvionamento a lungo termine. Innalzamento del fondo in parallelo o aumento della pendenza longitudinale.	Granulometria materiale solido = granulometria materiale di fondo	Corsi d'acqua che sfociano in un lago: Reno alpino a valle di Coira, Reuss urana a valle di Erstfeld, Ticino nel Piano di Magadino. Corsi d'acqua che sfociano in laghi interrati o in zone umide: Wyna a monte di Zetzwil, Aar da Aarberg a Büren; Rodano nel piano del Rodano. Alcune zone golenali alpine: Borgne d'Arolla.
Tratto in equilibrio / grado di saturazione = 1	Corso d'acqua con punto fisso a valle. Il livello di fondo oscilla intorno a un valore medio e risulta in equilibrio nel lungo termine. A differenza di quanto avviene nei tratti in erosione, la posizione e l'altezza del punto fisso non cambiano.	Granulometria materiale solido \leq granulometria materiale di fondo	Aar prima di Brugg, Limmat prima di Oetwil, Reuss prima di Bremgarten, Brenno nelle zone golenali presso Marogno e Loderio.
Tratto in erosione latente / grado di saturazione < 1	Corso d'acqua in cui il carico di fondo è inferiore al carico trasportabile, ma che, grazie allo strato di copertura grossolano, è soggetto a erosione solo in caso di grandi eventi di piena	Granulometria materiale solido < granulometria materiale di fondo	Sihl da Schindellegi ad Adliswil, Doubs nel tratto svizzero, Reuss urana da Göschenen ad Amsteg.
Tratto in erosione / Grado di saturazione < 1	Corso d'acqua soggetto a erosione progressiva durante le portate di piena.	Granulometria materiale solido \leq granulometria materiale di fondo	Molti tratti superiori di corsi d'acqua, soprattutto torrenti.

3.2.5 Quantificazione del carico di fondo

Importanza della stima del carico di fondo

I carichi di fondo allo stato seminaturale e in quello attuale costituiscono la base più importante per pianificare le misure relative al materiale solido di fondo e quindi per garantire la protezione contro le piene e gli obiettivi ecologici.

Approcci alla quantificazione del carico di fondo

Per caratterizzare il carico di fondo tipico per la morfologia dei corsi d'acqua si utilizza come parametro il carico di fondo annuo medio.

Per determinare i carichi di fondo lungo un corso d'acqua, si calcola l'apporto di materiale solido di tutti i torrenti laterali del bacino imbrifero con e senza impianti.

Sui tratti lunghi si deve tenere conto anche delle erosioni di fondo, dei depositi e dell'abrasione. Per quel che riguarda lo stato attuale, è possibile stimare queste alterazioni del fondo analizzando le misurazioni dei profili trasversali di vari anni o con l'aiuto di una simulazione numerica. Allo stato seminaturale sono determinanti i depositi individuati in tratti in sovralluvionamento. L'abrasione può essere calcolata secondo la legge di Sternberg e un coefficiente di abrasione in funzione del tipo di roccia (cfr. ad es. Bezzola 2019).

L'allegato D presenta sei approcci consolidati per la stima del carico di fondo nello stato attuale e seminaturale. Nel determinare il carico di fondo, si può andare incontro a grandi incertezze. Di conseguenza, è importante ridurre al minimo tali incertezze attraverso una combinazione di questi approcci.

Carico di fondo allo stato seminaturale

Il carico di fondo allo stato seminaturale CF_{sn} corrisponde al carico di fondo nello stato attuale CF_{att} più/meno la variazione del carico dovuta agli impianti I:

$$CF_{sn} = CF_{att} \pm I$$

Ne consegue che il carico di fondo allo stato seminaturale si basa sullo stato attuale del bacino imbrifero in termini di clima, forestazione, fonti di materiale solido di fondo ecc.

Deficit del bilancio in materiale solido di fondo

La differenza tra il carico di fondo nello stato attuale e il carico di fondo allo stato seminaturale indica i deficit del bilancio in materiale solido della rete idrografica.

Influenza degli impianti sul carico di fondo

Gli impianti situati lungo un corso d'acqua hanno effetti diversi sul carico di fondo. In genere laghi artificiali, sbarramenti fluviali o prelievi di ghiaia comportano una riduzione del carico di fondo, il che significa che per determinare il carico allo stato seminaturale, al carico di fondo nello stato attuale occorre aggiungere i valori di ritenzione o di prelievo.

L'influenza di camere di ritenuta e opere di sistemazione dei corsi d'acqua è talvolta più diversificata:

le camere di ritenuta comportano una riduzione del carico di fondo se vi si trattiene e si preleva una quantità di ghiaia maggiore di quella che potrebbe essere ulteriormente trasportata nel tratto a valle allo stato seminaturale.

Le briglie torrentizie comportano una riduzione del carico di fondo soprattutto durante i grandi eventi di piena. In caso di piccoli eventi di piena, in cui il fondo non subirebbe erosioni anche senza briglie, le differenze tra il carico di fondo allo stato seminaturale e quello nello stato attuale sono meno marcate.

Le opere di sistemazione dei corsi d'acqua su coni alluvionali (canalizzazione, selciati) impediscono il deposito di materiale solido di fondo, determinando così un aumento del carico rispetto allo stato seminaturale. In questo stato, durante grandi eventi di piena, si è arrivati a una deposizione di sedimenti grossolani sul cono alluvionale che ha causato una forte riduzione del carico di fondo e dell'apporto di materiale solido nel corpo idrico ricettore. In caso di piccoli eventi di piena, le differenze sono piuttosto minime.

Ne consegue che le opere di sistemazione dei torrenti e la canalizzazione dei corsi d'acqua sui coni alluvionali hanno effetti opposti. L'effetto combinato dei due impianti dipende molto dalle condizioni specifiche e può anche compensarsi a vicenda oppure può succedere che il carico nel corso d'acqua a valle possa aumentare o diminuire.

Il restringimento e la canalizzazione dei corsi d'acqua spesso comportano erosioni di fondo nonché un aumento del carico di fondo in direzione della corrente. Proteggendo il fondo con delle soglie, questo processo viene ridotto o impedito.

Con le protezioni di sponda si previene l'apporto di materiale solido di fondo causato dall'erosione delle sponde.

Profilo longitudinale del carico di fondo

Sulla base dei carichi di fondo determinati, dell'influenza degli impianti e dell'abrasione, si ricava un profilo longitudinale del carico di fondo annuo medio, schematizzandolo (Fig. 13).

Nel calcolare il profilo longitudinale del carico di fondo allo stato seminaturale e in quello attuale, si deve tenere conto della capacità di trasporto nei tratti intermedi tra due tributari laterali.

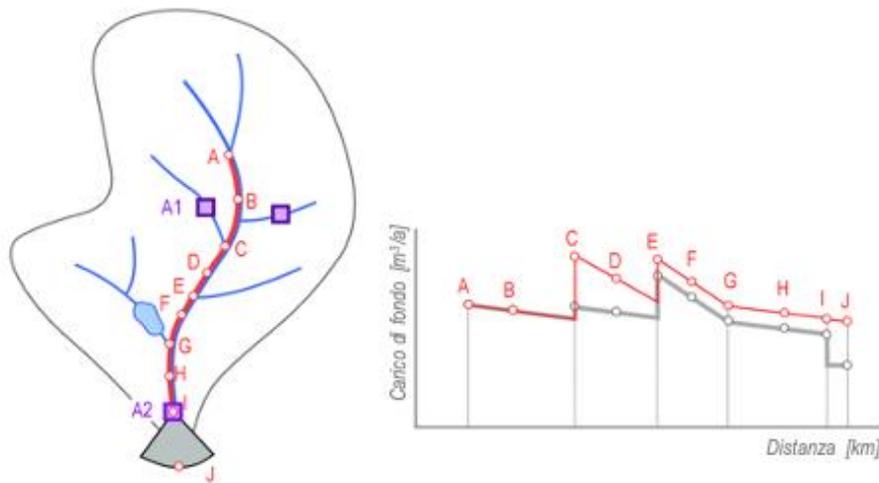
Nei tratti in equilibrio il carico di fondo viene trasportato a valle senza depositarsi, per cui diminuisce solo con l'abrasione.

Nei tratti in sovralluvionamento è necessario tenere conto di una riduzione del carico in direzione della corrente. Opportune modellazioni morfologiche possono aiutare a individuare tratti in sovralluvionamento allo stato seminaturale. Per quel che riguarda lo stato attuale, il sovralluvionamento può essere stimato analizzando le misurazioni dei profili trasversali di vari anni.

Nei tratti in erosione il carico di fondo aumenta, a meno che l'abrasione non superi i tassi di erosione.

Fig. 13: Rappresentazione schematica di un bacino imbrifero (a sinistra) e diagramma del carico di fondo lungo il corso del fiume (a destra) nello stato attuale (linea grigia) e allo stato seminaturale (linea rossa)

A1 e A2 sono impianti, le lettere A–J designano punti del bacino imbrifero per i quali è stato determinato un carico di fondo.



Profilo longitudinale del carico nello stato attuale (linea grigia): in questo esempio fittizio si sono utilizzati vari approcci per determinare il carico lungo il tratto fluviale nello stato attuale in corrispondenza dei punti da A a J.

- A:** Apporto di materiale solido di fondo dal tratto superiore: stima dei carichi durante le piene in sottobacini imbriferi e conversione nel carico annuale.
- B:** Il materiale solido viene trasportato in un tratto in equilibrio senza depositarsi; il carico di fondo diminuisce a causa dell'abrasione in direzione della corrente.
- C:** Apporto di materiale solido di fondo dal tributario laterale con camera di ritenuta (impianto A1): analisi dei dati provenienti dalla gestione della camera, valutazione della continuità del trasporto solido e stima del carico di fondo mobilizzato e trasportato a valle della camera in caso di piena.
- D:** Il materiale solido di fondo viene trasportato in un tratto in equilibrio senza depositarsi; il carico diminuisce a causa dell'abrasione in direzione della corrente.
- E:** Apporto di materiale solido di fondo dal tributario laterale: trasferimento del carico di fondo da corsi d'acqua paragonabili, ad esempio dal tributario del punto A e dai dati dell'impianto 1.
- F:** Tratto in sovralluvionamento: si calcola la riduzione del carico di fondo lungo il tratto fluviale a partire dalle alterazioni del fondo osservate. Il carico di fondo diminuisce anche a causa dell'abrasione in direzione della corrente.
- G:** Nessun apporto di materiale solido di fondo dal tributario laterale (sbocco di lago).
- H:** Si determina il carico di fondo calcolando il trasporto nel tratto chiave in piano.
- I:** Si ricava la riduzione del carico di fondo in un punto di escavazione (impianto A2) mediante statistiche dei prelievi di ghiaia.
- J:** Si verifica l'apporto di materiale solido di fondo risultante nel lago e si adegua eventualmente il profilo longitudinale, analizzando i dati sull'incremento in lunghezza del delta.

Carico allo stato seminaturale (linea rossa): determinato al netto dell'influenza degli impianti.

- C:** Il materiale solido trattenuto e prelevato nella camera viene in parte trasportato nel corpo idrico ricettore e in parte depositato sul cono alluvionale durante le piene. L'apporto di materiale solido di fondo dal tributario laterale aumenta.
- D:** Il carico di fondo allo stato seminaturale non può più essere trasportato senza depositarsi. Diminuisce a valle (gradiente maggiore, ma livello iniziale superiore).
- I:** Senza prelievi di ghiaia, aumenta il materiale solido di fondo trasportato nel lago e depositato nel delta (punto J).

3.3 Fase di lavoro 2: definire gli obiettivi morfologici per il corso d’acqua e il carico di fondo necessario

3.3.1 Introduzione

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

In questa fase di lavoro si definiscono gli obiettivi per il corso d’acqua nonché i requisiti per il carico di fondo necessario.

I risultati attesi dalla fase di lavoro sono riportati qui di seguito:

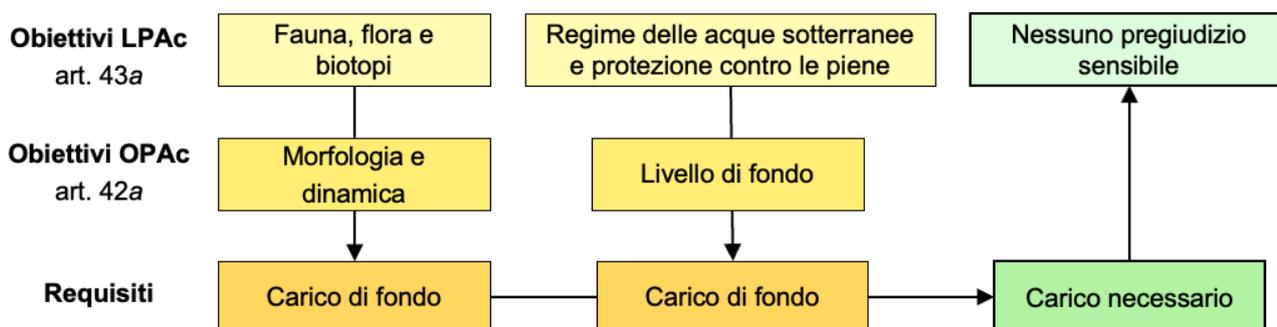
- descrizione delle strutture morfologiche che si vogliono ottenere nello stato auspicato;
- il carico di fondo necessario nei tratti di corsi d’acqua per raggiungere tali obiettivi;
- il carico di fondo necessario per non arrecare pregiudizio alla protezione contro le piene e al regime delle acque sotterranee.

3.3.2 Panoramica degli obiettivi di risanamento e dei requisiti del materiale solido di fondo

Obiettivi di cui all’articolo 43a LPaC

Secondo l’articolo 43a LPaC, l’obiettivo generale per un corso d’acqua consiste nel fare in modo che il suo bilancio in materiale detritico non venga modificato al punto da arrecare sensibile pregiudizio *alla fauna e alla flora indigene, ai loro biotopi, al regime delle acque sotterranee e alla protezione contro le piene*. Le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo sono finalizzate a raggiungere questo obiettivo (Fig. 14). Ciò dipende tuttavia anche da fattori indipendenti dal bilancio in materiale solido di fondo. Ad esempio, la popolazione ittica di un corso d’acqua può essere compromessa da parametri fisico-chimici come la qualità e la temperatura dell’acqua o da ostacoli alla migrazione, nonostante il bilancio in materiale solido di fondo non sia pregiudicato.

Fig. 14: Obiettivi generali della legge sulla protezione delle acque e obiettivi specifici dell’ordinanza sulla protezione delle acque
 Negli obiettivi specifici si stabiliscono i requisiti per il carico di fondo, che a loro volta orientano le relative misure. Nel momento in cui il carico di fondo di un corso d’acqua raggiunge la quantità necessaria, non sussiste più alcun pregiudizio sensibile arrecato da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo.



Obiettivi di cui all'articolo 42a OPAC e requisiti del materiale solido di fondo

L'obiettivo generale riguardante *fauna, flora e biotopi* viene quindi ulteriormente specificato nell'ordinanza sulla protezione delle acque. Le strutture o la dinamica morfologiche delle acque non devono essere alterate in modo pregiudizievole (art. 42a OPAC). Il materiale trasportato e la morfologia devono presentare condizioni prossime allo stato naturale (all. 1 n. 1 cpv. 2 OPAC). Gli obiettivi riguardanti il *regime delle acque sotterranee* e la *protezione contro le piene* sono specificati sulla base di un livello di fondo minimo e massimo.

Poiché le strutture morfologiche e il livello di fondo dipendono anche dalla quantità di materiale solido, è possibile raggiungere gli obiettivi morfologici specifici aumentando il carico e in alcuni casi, specie nei tratti con deflusso residuale e nelle zone golenali, intensificando la frequenza degli eventi di piena, i quali sono in grado di spostare il materiale solido di fondo. Dagli obiettivi specifici derivano pertanto i requisiti per il carico di fondo necessario.

Carico di fondo necessario

Il carico di fondo minimo per raggiungere gli obiettivi viene qui designato «carico di fondo necessario»: se nel corso d'acqua lo si raggiunge o lo si supera, si può presumere che gli obiettivi di cui all'articolo 43a LPAC siano stati raggiunti (Fig. 14).

Stato morfologico auspicato per tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale

In termini di morfologia, lo stato auspicato è il più possibile simile allo stato seminaturale. Tuttavia, la morfologia e il livello di fondo non devono corrispondere esattamente allo stato seminaturale. Pregiudizi non sensibili sono ammessi (Fig. 15).

Nello stato auspicato il tipo di forma dell'alveo deve corrispondere a quello dello stato seminaturale (Fig. 8), sebbene le forme possano essere meno caratterizzate. Una definizione quantitativa degli obiettivi per la forma dell'alveo in funzione della larghezza relativa (rapporto tra larghezza e profondità di deflusso) viene proposta in Schälchli & Hunzinger (2021).

Una morfologia e un livello di fondo simili allo stato seminaturale possono formarsi soltanto nelle seguenti condizioni:

- larghezza dell'alveo sufficiente e zone ripuali non consolidate;
- un regime di deflusso (soprattutto piene) simile allo stato seminaturale;
- un apporto di materiale solido di fondo simile allo stato seminaturale.

Stato morfologico auspicato nelle zone golenali d'importanza nazionale

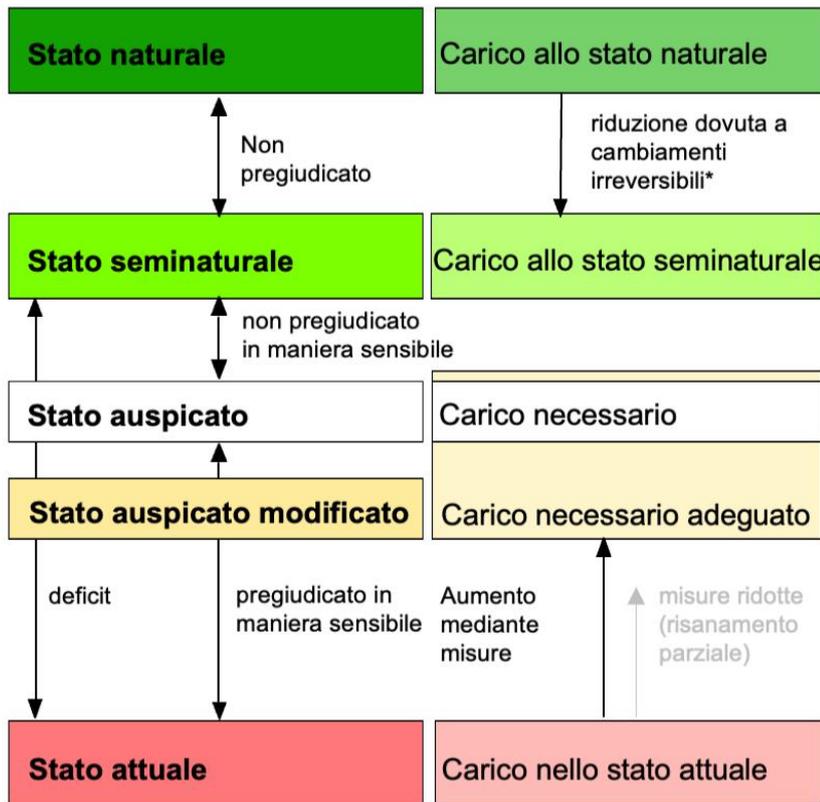
In termini di morfologia, lo stato auspicato corrisponde il più possibile allo stato seminaturale.

Ridimensionamento dello stato morfologico auspicato in caso di larghezza ridotta, regime di deflusso modificato o minore apporto di materiale solido di fondo

A seconda della situazione del corso d'acqua, è possibile che non siano presenti tratti sufficientemente larghi e che la dinamica di deflusso o l'apporto di materiale solido di fondo siano fortemente ridotti. Poiché tali condizioni quadro impediscono lo sviluppo di una morfologia e di un livello di fondo prossimi allo stato naturale, gli obiettivi morfologici summenzionati non possono essere pienamente raggiunti, per cui vengono ridimensionati (Fig. 15).

Nel formulare condizioni quadro speciali, si presume che vengano prese in considerazione misure di rinaturazione conformi alla pianificazione strategica dei Cantoni, ai progetti di protezione contro le piene e al risanamento dei deflussi residuali di cui agli articoli 31–33 e 80 LPAC.

Fig. 15: Rapporto tra stato naturale, seminaturale, auspicato, attuale e stato auspicato modificato, con relativi carichi di fondo
 Adattato da UFAM e EAWAG (2006). *Sono considerati cambiamenti irreversibili: disboscamenti su larga scala, prosciugamento di zone umide e deviazioni di corsi d'acqua in un lago.



Nel definire gli obiettivi, occorre prendere in considerazione cinque situazioni o condizioni quadro diverse (Tab. 2):

- risanamenti in corsi d'acqua prossimi allo stato naturale;
- risanamenti in zone golenali d'importanza nazionale;
- in corsi d'acqua con larghezza ridotta;
- in corsi d'acqua con regime di deflusso modificato;
- in corsi d'acqua con apporto di materiale solido di fondo modificato.

A seconda della situazione, è necessario precisare e adeguare gli obiettivi e i requisiti summenzionati, descritti nei successivi capitoli da 3.3.3 a 3.3.7.

Tab. 2: Panoramica delle condizioni quadro e degli obiettivi da definire

Immagini					
Situazione	Presenza di tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale o possibilità di rivitalizzazione	Zona golenale d'importanza nazionale	Larghezza dell'alveo ridotta	Regime di deflusso modificato	Apporto di materiale solido di fondo modificato a monte
Obiettivo Morfologia e dinamica	Morfologia e dinamica simili allo stato seminaturale	Morfologia e dinamica il più possibile simili allo stato seminaturale	Obiettivo ridotto. È determinante la larghezza specificata nel progetto di protezione contro le piene o di rivitalizzazione	Obiettivo ridotto, ridimensionato in funzione della situazione	Obiettivo ridotto, dipende dall'apporto di materiale solido di fondo
Obiettivo livello di fondo	La pendenza longitudinale del fondo è simile allo stato seminaturale. Nei tratti in sovralluvionamento, la pendenza longitudinale del fondo non è maggiore della pendenza di valle	Livello di fondo il più possibile simile allo stato seminaturale	Gli eventuali sovralluvionamenti non devono far sì che la pendenza longitudinale del fondo sia maggiore della pendenza di valle	La pendenza longitudinale del fondo è simile allo stato seminaturale. Gli eventuali sovralluvionamenti non devono far sì che la pendenza longitudinale del fondo sia maggiore della pendenza di valle	Gli eventuali sovralluvionamenti non devono far sì che la pendenza longitudinale del fondo sia maggiore della pendenza di valle
Carico di fondo necessario	Carico di fondo necessario secondo i metodi del cap. 3.3.8	Carico di fondo il più possibile simile allo stato seminaturale	Carico di fondo necessario secondo i metodi del cap. 3.3.8	Carico di fondo ridimensionato	Carico di fondo necessario = apporto di materiale solido di fondo
Capitolo	Error! Reference source not found.	Error! Reference source not found.	Error! Reference source not found.	Error! Reference source not found.	Error! Reference source not found.

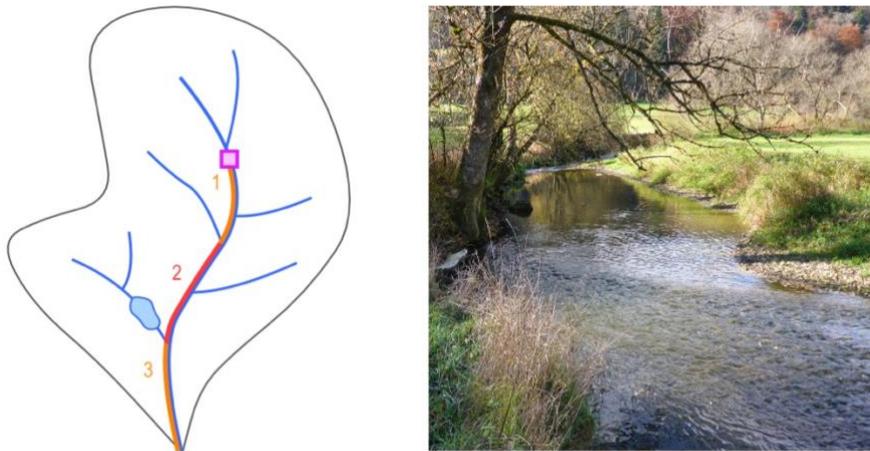
3.3.3 Obiettivi morfologici e carico di fondo necessario in tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale

Situazione

Un impianto arreca un pregiudizio sensibile in una rete idrografica in cui sono presenti tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale o tratti che potrebbero essere ripristinati in tal senso per mezzo di una rivitalizzazione (Fig. 16). I tratti in questione sono caratterizzati da una larghezza non ridotta, o che potenzialmente si può ampliare fino alla larghezza naturale del fondo con un onere proporzionato, da una portata prossima allo stato naturale e da un apporto di materiale solido influenzato unicamente dagli impianti soggetti all'obbligo di risanamento. Il tratto del corso d'acqua è sufficientemente lungo per i processi morfologici, vale a dire almeno 10 volte la larghezza dell'alveo allo stato seminaturale.

Fig. 16: Situazione con sezione quasi naturale

Dei tratti target da 1 a 3, il tratto 2 è prossimo allo stato naturale. Foto: esempio della Basse-Allaine



Obiettivi riguardanti la morfologia e il livello di fondo

Obiettivo 1. Morfologia e dinamica

- La forma dell'alveo del corso d'acqua è simile allo stato seminaturale (stesso tipo).
- I depositi di materiale solido di fondo hanno un'estensione e uno spessore simili allo stato seminaturale.
- In proporzione, la distribuzione locale dei tipi di substrato è simile allo stato seminaturale. I depositi di materiale solido di fondo si rinnovano più di una volta all'anno.

Obiettivo 2. Livello di fondo

- Il fondo e il livello della falda freatica corrispondente al corso d'acqua sono sufficientemente alti per non arrecare pregiudizio alle falde freatiche utilizzabili.
- La pendenza longitudinale del corso d'acqua è simile allo stato seminaturale.
- Per i corsi d'acqua che allo stato seminaturale tendono al sovralluvionamento: la pendenza longitudinale del corso d'acqua non è superiore alla pendenza di valle.

Carico di fondo necessario

La quantità di carico di fondo è tale da consentire nei tratti prossimi allo stato naturale una morfologia e una dinamica nonché un livello di fondo conformi a quanto sopra descritto. Il carico di fondo necessario può essere determinato con i metodi del capitolo 3.3.8.

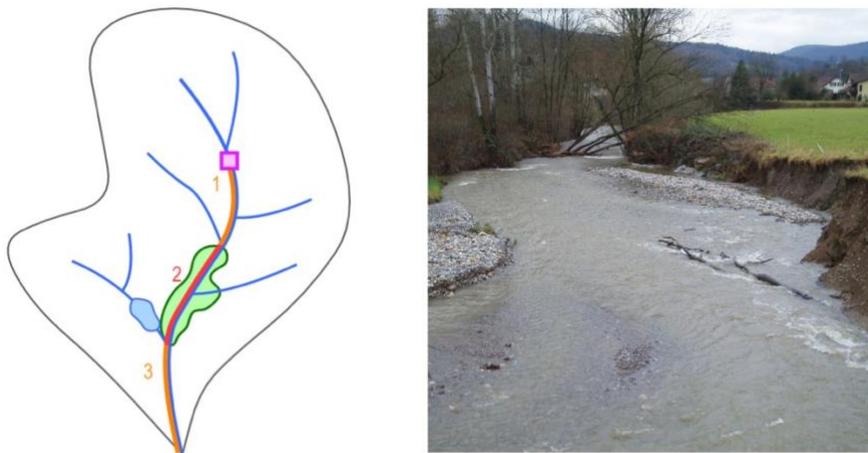
3.3.4 Obiettivi morfologici e carico di fondo necessario per le zone golenali d'importanza nazionale

Situazione

Un impianto arreca un pregiudizio sensibile in una zona golenale d'importanza nazionale.

Fig. 17: Situazione con zona alluvionale di importanza nazionale

Dei tratti target da 1 a 3, il tratto 2 si trova in una zona golenale d'importanza nazionale. Foto: esempio della Bünz presso Möriken-Wildegg.



Obiettivi per la morfologia e il livello di fondo

Gli obiettivi di protezione di cui all'articolo 4 dell'ordinanza sulle zone golenali prescrivono la conservazione «intatta» e, per quanto ragionevole e fattibile, il ristabilimento della dinamica naturale del regime delle acque e di quello dei detriti alluvionali, nonché la conservazione delle caratteristiche geomorfologiche.

Obiettivo 1. Morfologia e dinamica

- La forma dell'alveo del corso d'acqua corrisponde il più possibile allo stato seminaturale.
- I depositi di materiale solido di fondo hanno un'estensione e uno spessore il più possibile simili allo stato seminaturale.
- In proporzione, la distribuzione locale dei tipi di substrato è il più possibile simile allo stato seminaturale. I depositi di materiale solido di fondo si rinnovano più di una volta all'anno.
- Altre strutture tipiche delle zone golenali come terrazzamenti a secco, bracci morti, sorgenti limnocrine o depressioni paludose corrispondono il più possibile allo stato seminaturale.

Obiettivo 2. Livello di fondo

- Il fondo e il livello della falda freatica corrispondente al corso d'acqua sono sufficientemente alti da sommergere le zone umide e le sorgenti limnocrine tipiche delle golene, come allo stato seminaturale.
- Il fondo è sufficientemente alto da fare in modo che la zona golenale in prossimità del corso d'acqua venga regolarmente inondata durante le piene.

Carico di fondo necessario

Se ragionevole e fattibile, il carico di fondo dovrebbe corrispondere al carico allo stato seminaturale. In ogni caso, la quantità di materiale solido deve essere tale da consentire lo sviluppo di una morfologia e di una dinamica prossime allo stato naturale. È possibile determinare il carico di fondo minimo necessario con i metodi del capitolo 3.3.8.

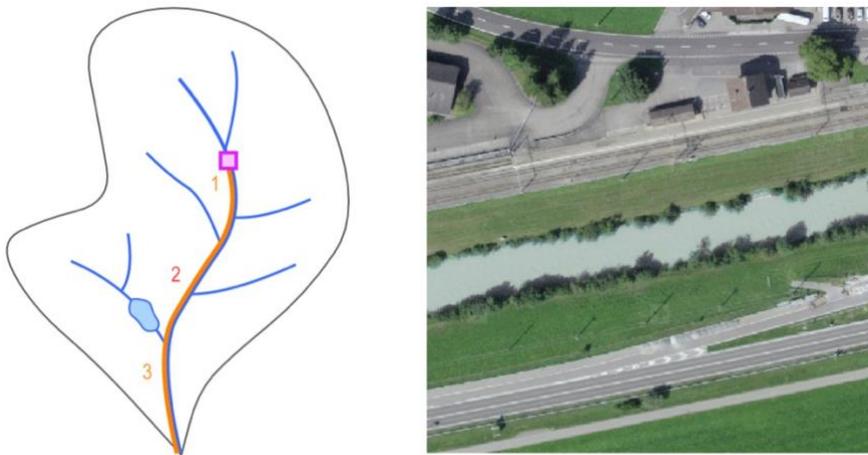
3.3.5 Obiettivi morfologici e carico di fondo necessario in caso di larghezza ridotta

Situazione

Un impianto arreca un pregiudizio sensibile in una rete idrografica in cui la larghezza è ridotta su tutta la lunghezza del corso d'acqua pregiudicato, senza più alcuna possibilità di ripristino della larghezza naturale del fondo con un onere proporzionato, ad esempio a causa di condizioni quadro difficili legate a insediamenti o importanti infrastrutture di trasporto (Fig. 18).

Fig. 18: Situazione con larghezza limitata

Dei tratti target da 1 a 3, per nessuno è possibile ripristinare una larghezza naturale del fondo. Foto: esempio dell'Hasliaare presso la stazione di Brienzwiler.



La larghezza ridotta non consente in alcun modo di ripristinare una forma dell'alveo simile allo stato seminaturale. Tuttavia, aumentando il carico di fondo, è possibile ridurre la tendenza all'erosione nonché migliorare l'estensione dei depositi di ghiaia e la qualità del substrato.

Obiettivi riguardanti la morfologia e il livello di fondo

Non è possibile raggiungere pienamente gli stessi obiettivi dei tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale (cap. 3.3.3), con conseguente adeguamento degli stessi.

Obiettivo 1. Morfologia e dinamica

- La forma dell'alveo, i depositi di materiale solido di fondo e la distribuzione locale dei tipi di substrato sono prossimi allo stato naturale nella misura consentita dalla larghezza dell'alveo ridotto. La larghezza dell'alveo determinante dipende da ciascuna situazione. Nell'ambito dei progetti di protezione contro le piene e di rivitalizzazione, è determinante la larghezza specificata nel progetto. Se sono previsti progetti di rivitalizzazione, si deve tenere conto della larghezza stabilita in tali progetti. Se non è previsto un ampliamento, si tiene conto della larghezza esistente.

Obiettivo 2. Livello di fondo

- La pendenza longitudinale del corso d'acqua non è maggiore della pendenza di valle.

Carico di fondo necessario

Il carico di fondo necessario è lo stesso dei tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale (cap. 3.3.3).

Se la capacità di trasporto del tratto ridotto di un corso d'acqua è superiore al carico di fondo necessario e di conseguenza si verificano problemi di erosione, occorre adottare ulteriori misure per contenere l'erosione nell'ambito di progetti di sistemazione idraulica.

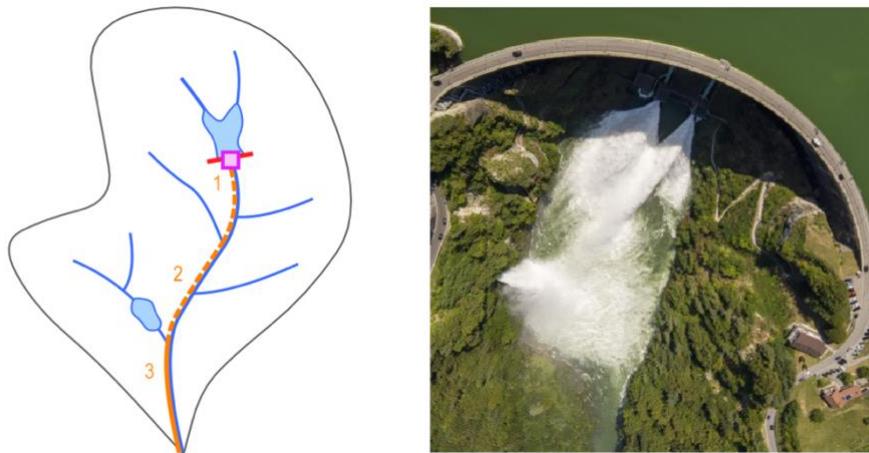
3.3.6 Obiettivi morfologici e carico di fondo necessario in caso di regime di deflusso modificato

Situazione

Un impianto arreca un pregiudizio sensibile a un corso d'acqua in cui, rispetto a un regime prossimo allo stato naturale, il regime di deflusso è stato fortemente modificato dallo sfruttamento idrico. L'influenza sulla morfologia e sulla dinamica di un corso d'acqua varia a seconda della situazione, per cui deve essere analizzata caso per caso. La procedura qui descritta fornisce indicazioni su come definire gli obiettivi morfologici e il carico di fondo necessario in caso di regime di deflusso modificato. Un regime di deflusso modificato è tale quando il deflusso che determina l'alveo (circa HQ_2) è stato ridotto di oltre il 10 per cento rispetto allo stato seminaturale.

Fig. 19: Situazione con deflusso ridotto che determina l'alveo

Nei tratti target 1 e 2 HQ_2 è ridotto di oltre il 10 % rispetto al valore senza sfruttamento idrico. A destra: esempio della diga di Rossens sulla Sarine (foto: Forschungsgruppe Ökohydrologie ZHAW).



Nota: dopo l'afflusso di uno o più tributari laterali, il deflusso che determina l'alveo si riavvicina al deflusso senza prelievi di acqua. Per questo caso il perimetro di osservazione è quindi limitato in lunghezza. Le misure di risanamento devono riguardare anche i tratti in cui il deflusso non è più modificato (tratto 3 nella Fig. 19).

Nel determinare gli obiettivi di risanamento, è opportuno tenere conto di situazioni diverse (Tab. 3).

Tab. 3: Situazioni e procedure in caso di regime di deflusso diversamente modificato

Situazione	A) Corso d'acqua target = tratto con deflusso residuale a valle di un bacino di accumulazione, con deflusso assente o occasionale attraverso lo scarico delle piene	B) Corso d'acqua target = tratto con deflusso residuale a valle di un bacino di accumulazione, con deflusso periodico attraverso lo scarico delle piene	C) Corso d'acqua target = tratto con deflusso residuale di una centrale ad acqua fluente	D) Corso d'acqua target a valle del punto di restituzione dell'acqua di grandi bacini di accumulazione
Esempio	Centrale idroelettrica di Rossens Lago di Lei	Centrale idroelettrica di Etzelwerk Lai dad Ova Spin	Centrale idroelettrica di Wildegg-Brugg, centrale idroelettrica di Felsenau	Reno alpino da Reichenau fino alla foce dell'III
Caratteristiche del regime di deflusso modificato	Tracimazione con portate rilevanti in termini di trasporto assente o rara (meno di una volta ogni tre anni)	Tracimazione con portate rilevanti in termini di trasporto da occasionale a regolare (ogni tre anni circa, da una a tre volte all'anno)	Portate rilevanti in termini di trasporto più volte all'anno	Frequenti portate rilevanti in termini di trasporto, ma picchi ridotti in estate. Passaggio da deflussi estivi a deflussi invernali
Obiettivi Morfologia	Considerazione caso per caso	Obiettivi morfologici «ridimensionati» ¹	Obiettivi morfologici «ridimensionati» ¹	Obiettivi morfologici «ridimensionati» ¹
Carico di fondo necessario	Considerazione caso per caso. CF_{nec} ridimensionato ^{1,2}	CF_{nec} ridimensionato ^{1,2}	CF_{nec} ridimensionato ^{1,3}	CF_{nec} ridimensionato ¹
Controllo dell'efficacia	Considerazione caso per caso	Nessuna specificità	Nessuna specificità	Nessuna specificità

1 Per il ridimensionamento si veda il paragrafo «Ridimensionamento del corso d'acqua» più avanti.

2 Se nel corso d'acqua a valle dell'impianto sono presenti tratti di valore ecologico, lo stato auspicato, il CF_{nec} ed eventualmente le piene artificiali devono essere determinati nel singolo caso.

3 La misura deve essere coordinata con i tratti del corso d'acqua a monte e a valle. Se la quantità di materiale solido di fondo proveniente dal corso d'acqua a monte è maggiore di quella trasportabile dal tratto con deflusso residuale e nel corso d'acqua a valle sono presenti tratti che necessitano di un carico di fondo più elevato, occorre garantire, ad esempio, che il carico necessario del tratto a valle possa essere trasportato dal tratto con deflusso residuale, adottando misure di esercizio.

Obiettivi riguardanti la morfologia e il livello di fondo

Non è possibile raggiungere pienamente gli stessi obiettivi dei tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale (cap. 3.3.3), con conseguente ridimensionamento degli stessi.

Obiettivo 1. Morfologia e dinamica

- La forma dell'alveo, i depositi di ghiaia e la distribuzione locale dei tipi di substrato sono prossimi allo stato naturale nella misura consentita dal regime di deflusso modificato.

Ridimensionamento del corso d'acqua

Con un regime delle piene modificato, cambia anche la capacità di trasporto solido di fondo, che può ridursi. Per consentire una morfologia simile allo stato seminaturale con un regime di deflusso modificato, anche il carico di fondo deve essere ridotto. In queste condizioni, si riducono le dimensioni del corso d'acqua. Il ridimensionamento è ammissibile qualora la granulometria (invariata) non influenzi in modo significativo la forma dell'alveo.

La larghezza dell'alveo che si può raggiungere con il regime di deflusso ridotto può essere approssimata come segue,

$$LA_{rid} = LG \sqrt{\frac{HQ_{rid}}{HQ_2}}$$

dove: LG_{rid} indica la larghezza dell'alveo in caso di deflusso ridotto, LG la larghezza dell'alveo con regime di deflusso invariato, HQ_2 è considerato il deflusso che determina l'alveo allo stato seminaturale, HQ_{rid} la portata di piena determinante nel regime di deflusso modificato. Per le situazioni C e D (Tab. 3), HQ_{rid} corrisponde ad deflusso HQ_2 del regime modificato. Per i tratti con deflusso residuale a valle di un bacino di accumulazione con deflusso periodico attraverso lo scarico delle piene (situazione B della Tab. 3), HQ_{rid} deve essere determinato nel singolo caso.

Obiettivo 2. Livello di fondo

- Il fondo e il livello della falda freatica corrispondente al corso d'acqua sono sufficientemente alti per non arrecare pregiudizio alle falde freatiche utilizzabili.
- La pendenza longitudinale del corso d'acqua è simile allo stato seminaturale.
- La pendenza longitudinale del corso d'acqua non è maggiore della pendenza di valle.

Carico di fondo necessario

Per determinare il carico di fondo necessario, si utilizza il metodo 1, applicando tuttavia la percentuale a un carico ridotto allo stato seminaturale $CF_{sn_{rid}}$, dove:

$$CF_{sn_{rid}} = CF_{sn} \frac{HQ_{rid}}{HQ_2}$$

In questo modo il rapporto tra carico di fondo e deflusso che modifica il letto non cambia rispetto a un regime di deflusso invariato.

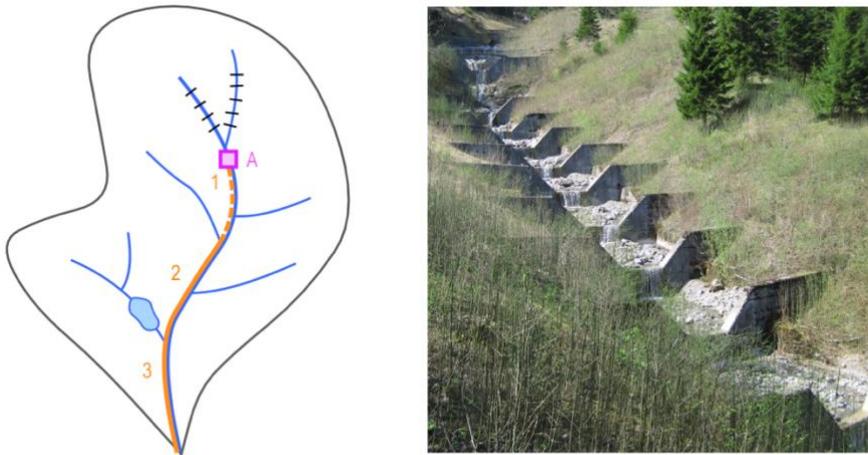
3.3.7 Obiettivi morfologici e carico di fondo necessario in caso di apporto di materiale solido di fondo modificato

Situazione

Un impianto arreca un pregiudizio sensibile in una rete idrografica in cui l'apporto di materiale solido di fondo dal bacino imbrifero risulta modificato rispetto allo stato seminaturale a causa di altri impianti non soggetti all'obbligo di risanamento o per cui il risanamento non è proporzionato (ad es. opere di sistemazione dei torrenti come sbarramenti e selciati sul cono alluvionale; Fig. 20). Se quindi l'apporto di materiale solido nella rete idrografica a valle di questi impianti è inferiore al carico necessario, occorre tenerne conto in termini di obiettivi morfologici e di carico di fondo necessario nel corso d'acqua target.

Fig. 20: Situazione con apporto di materiale solido di fondo ridotto

Apporto di materiale solido all'impianto A ridotto da impianti non soggetti all'obbligo di risanamento presenti nel bacino imbrifero, ad esempio a causa di opere di sistemazione dei torrenti. Foto: esempio dello Steinibach presso Dallenwil, Obvaldo.

**Obiettivi riguardanti la morfologia e il livello di fondo***Obiettivo 1. Morfologia e dinamica*

- È possibile che non si possano raggiungere pienamente gli stessi obiettivi dei tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale, con conseguente ridimensionamento degli stessi. La forma dell'alveo e la larghezza attesa devono essere stimate in funzione dell'apporto di materiale solido di fondo.

Obiettivo 2. Livello di fondo

- Per i corsi d'acqua che allo stato seminaturale tendono al sovralluvionamento: la pendenza longitudinale del corso d'acqua non è superiore alla pendenza di valle.

Carico di fondo necessario

Il carico necessario corrisponde all'apporto di materiale solido di fondo per l'impianto.

3.3.8 Metodi per determinare il carico di fondo necessario

I metodi e gli approcci presentati in questo capitolo servono a determinare il carico di fondo minimo ai sensi dell'articolo 43a LPAc, che nei tratti di corsi d'acqua prossimi allo stato naturale consenta la formazione di strutture morfologiche anch'esse prossime a tale stato. Partendo dal carico necessario determinato, si elaborano opportune misure. Con i controlli dell'efficacia si verifica se il carico di fondo è sufficiente per raggiungere gli obiettivi di risanamento o se deve essere adeguato. Nei tratti di corsi d'acqua che presentano restringimenti può rendersi necessario aumentare il carico di fondo allo scopo di preservare un bilancio equilibrato del materiale solido.

Tab. 4: Panoramica degli approcci per determinare il carico di fondo necessario

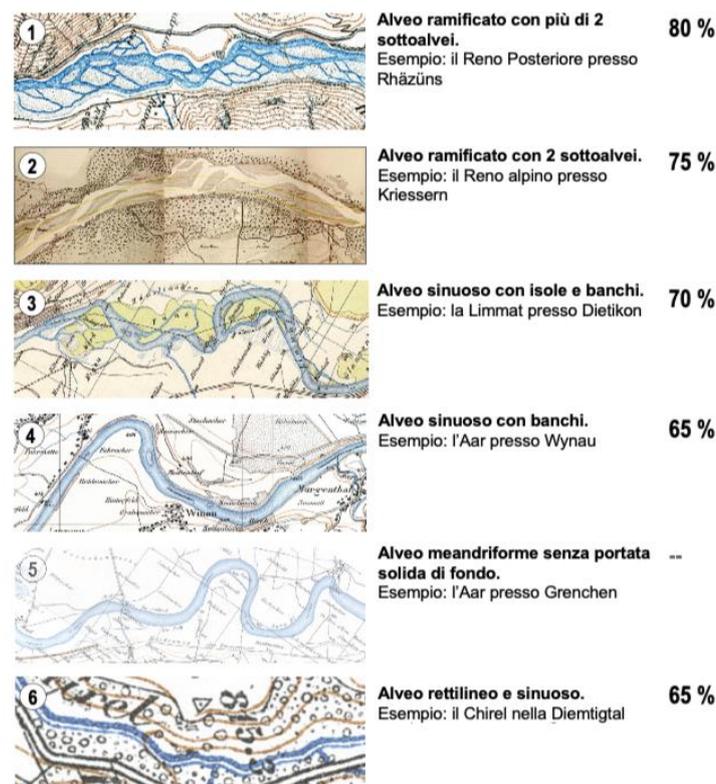
Corsi d'acqua < 3 %	Corsi d'acqua alpini > 3 %*
Metodo della «forma dell'alveo» (determinazione quantitativa) corrisponde al 65–80 % del carico allo stato seminaturale	Metodo del «substrato» (determinazione qualitativa)
Approccio «grado di saturazione 1» (determinazione quantitativa)	
Metodo del «livello di fondo» (determinazione qualitativa)	

* Il limite del 3 per cento è stato scelto perché a partire da questa pendenza la forma dell'alveo diventa sempre più rettilinea e il substrato è un buon indicatore dei processi morfologici in questi corsi d'acqua. Inoltre, da una pendenza del 3 per cento circa, i corsi d'acqua alpini sono piccoli e l'onere richiesto per i metodi quantitativi da applicare in questi tratti è piuttosto elevato rispetto alle misure possibili.

Metodo della «forma dell'alveo»

Il carico di fondo necessario corrisponde a una quota percentuale del carico allo stato seminaturale. Per gli alvei ramificati allo stato seminaturale, la quota è più alta rispetto agli alvei sinuosi.

Fig. 21: Il carico di fondo necessario è una percentuale del carico allo stato seminaturale in funzione della forma dell'alveo in tale stato



Il metodo della «forma dell'alveo» può essere applicato a tutti i corsi d'acqua in cui è possibile stimare il carico di fondo allo stato seminaturale. Sviluppato per attuare la legislazione sulla protezione delle acque, è messo a punto e documentato nel rapporto tecnico di Schälchli e Hunzinger (2021).

Limiti di applicazione

I valori percentuali sono soggetti alle incertezze tipiche dei processi morfologici. Si tratta tuttavia di incertezze minime rispetto a quelle che si incontrano nel determinare il carico allo stato seminaturale, che in definitiva sono più decisive per il risultato. Per questo motivo è importante stimare il carico di fondo allo stato seminaturale nel miglior modo possibile, ossia sulla base di principi o ipotesi differenziati e plausibili (cfr. cap. 3.2.5). L'applicazione del metodo è descritta nell'allegato E.

Tab. 5: Vantaggi e svantaggi del metodo «forma dell'alveo»

Vantaggi	Svantaggi
<p>Il metodo utilizza esplicitamente lo stato seminaturale quale parametro di riferimento per gli obiettivi, in linea con il mandato legale.</p> <p>Il metodo garantisce un carico minimo, che nei tratti con una larghezza prossima allo stato naturale consente di ottenere una morfologia ugualmente prossima a tale stato.</p>	<p>Incertezze nel determinare il carico di fondo allo stato seminaturale.</p>

Approccio del «grado di saturazione 1»

Quello del «grado di saturazione 1» è un approccio teorico che parte da un concetto di equilibrio tra carico di fondo trasportato e carico di fondo trasportabile, dove il rapporto tra i due valori, ossia il «grado di saturazione», è pari a 1 e contemporaneamente il materiale solido di fondo trasportato corrisponde al materiale di fondo.

Con questo approccio si può ad esempio determinare il carico necessario per raggiungere una morfologia dell'alveo naturale o prossima allo stato naturale nell'ambito di progetti di sistemazione idraulica con condizioni quadro prestabilite in termini di larghezza dell'alveo e livello di fondo.

Tuttavia, si parte dal presupposto che sia la larghezza dell'alveo sia il livello di fondo (soprattutto la pendenza) sono prossimi allo stato naturale. È inoltre importante che le variabili di input necessarie per calcolare il grado di saturazione (ad es. la granulometria del materiale di fondo o del materiale solido) e il carico di fondo risultante siano verificate mediante opportune osservazioni (ad es. volumi di deposito o di prelievo).

Ipotizzando un grado di saturazione pari a 1, senza rispettare i requisiti di cui sopra, è possibile produrre altri valori per il carico di fondo. Nonostante un grado di saturazione pari a 1, per i tratti di corsi d'acqua con abbassamento del fondo (piatto) è possibile che si determinino carichi di fondo sostanzialmente inferiori ai valori prossimi allo stato naturale, con la conseguenza di una forte riduzione e di un sensibile pregiudizio delle strutture morfologiche e della dinamica ai sensi dell'articolo 42a OPAC.

Limiti di applicazione

La metodologia può essere applicata solo nel caso in cui sia la larghezza dell'alveo sia il livello di fondo (soprattutto la pendenza) sono prossimi allo stato naturale. L'approccio non è applicabile a causa dell'elevata capacità di trasporto nel caso di corsi d'acqua arginati con larghezza ridotta e nei ripidi torrenti di montagna: i carichi calcolati sono molto elevati, ma non risultano comunque strutture prossime allo stato naturale.

Tab. 6: Vantaggi e svantaggi dell'approccio «grado di saturazione 1»

Vantaggi	Svantaggi
Adatto a determinare un carico necessario per raggiungere una morfologia dell'alveo prossima allo stato naturale nell'ambito di progetti di sistemazione idraulica con condizioni quadro prestabilite in termini di larghezza dell'alveo e livello di fondo.	Il carico di fondo è riferito a un tratto locale del corso d'acqua (perimetro del progetto). Di conseguenza, occorre riferire tale carico anche al corso d'acqua a valle, verificando gli effetti su questi tratti. Approccio di calcolo sensibile alla scelta delle variabili di input e delle condizioni quadro, da verificare mediante confronto con valori naturali del bacino imbrifero. Ad esempio, il carico può risultare troppo elevato in caso di larghezza ridotta o di materiale solido di fondo troppo fine o, al contrario, insufficiente per i corsi d'acqua con abbassamento del fondo (piatto).

Metodo del «substrato»

Per i corsi d'acqua rettilinei e sinuosi con pendenza maggiore del 3 per cento, consigliamo di stimare il carico di fondo necessario sul piano qualitativo mediante la distribuzione dei tipi di substrato e il grado di colmatazione. In funzione delle condizioni del fondo, si valuta se il carico di fondo del corso d'acqua è sufficiente o se deve essere aumentato. Il metodo è descritto nell'allegato E.

Metodo del «livello di fondo»

Il metodo del «livello di fondo» si applica per verificare gli effetti di un bilancio in materiale solido di fondo modificato sul regime delle acque sotterranee e sulla protezione contro le piene.

Gli effetti sul regime delle acque sotterranee vengono studiati solo in tratti di corsi d'acqua con falde freatiche utilizzabili e zone golenali inventariate. Si tratta di verificare se la modifica del bilancio in materiale solido di fondo ha alterato in maniera sensibile il livello della falda freatica. Gli indicatori utilizzati sono il livello del fondo dell'alveo e della falda freatica nello stato attuale e allo stato seminaturale. Nelle zone golenali si può prendere in considerazione anche lo stato della vegetazione golenale. Se il livello del fondo dell'alveo e della falda freatica si è notevolmente modificato tra lo stato attuale e quello seminaturale, si ha allora un pregiudizio sensibile del regime delle acque sotterranee.

Un pregiudizio sensibile della protezione contro le piene si ha quando il livello di fondo è stato alterato da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo. Gli indicatori utilizzati sono l'evoluzione del fondo nello stato attuale e allo stato seminaturale nonché l'andamento della pendenza di valle. Se a seguito di una modifica del bilancio in materiale solido l'evoluzione del fondo risulta notevolmente alterata tra lo stato attuale e quello seminaturale e la pendenza longitudinale è inferiore alla pendenza di valle, si presume allora un pregiudizio sensibile della protezione contro le piene arrecato da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo. Il metodo è descritto nell'allegato E.

Limiti di applicazione

Questo metodo, basato sulla comparazione tra livello di fondo, pendenza e livello della falda freatica, è applicabile solo nei tratti di corsi d'acqua non soggetti a restringimento, poiché nei tratti ridotti l'evoluzione del livello di fondo è condizionata dal restringimento.

Tuttavia, in linea generale si può presumere che, con carichi di fondo determinati secondo il metodo della «forma dell'alveo», la modifica del bilancio in materiale solido di fondo non influenzi più in modo significativo il regime delle acque sotterranee e la protezione contro le piene.

3.4 Fase di lavoro 3: definire obiettivi di risanamento per gli impianti

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

Partendo dagli obiettivi definiti per i corsi d'acqua e dal corrispondente carico di fondo necessario, in questa fase di lavoro si definiscono obiettivi di risanamento concreti per gli impianti.

I risultati attesi dalla fase di lavoro sono riportati qui di seguito:

- prescrizione concreta relativa al carico di fondo nel corso d'acqua a valle di un impianto, con indicazione del volume annuo di materiale solido in metri cubi da trasportare nel corso d'acqua a valle dell'impianto⁷, o
- prescrizione relativa alla frequenza degli eventi di trasporto solido di fondo, con indicazione del numero di eventi annui in cui il materiale solido deve essere trasportato nel corso d'acqua a valle dell'impianto.

Procedura per uno e più impianti della rete idrografica

Se lungo un corso d'acqua è presente un solo impianto soggetto all'obbligo di risanamento, l'obiettivo di risanamento per tale impianto corrisponde al carico di fondo necessario per il corso d'acqua.

Se in una rete idrografica sono presenti più impianti che modificano il bilancio in materiale solido di fondo, l'obiettivo di risanamento deve essere definito singolarmente per ogni impianto. L'esempio seguente mostra che al medesimo obiettivo definito per il bilancio in materiale solido di fondo del corso d'acqua possono corrispondere vari obiettivi di risanamento per un impianto. In alcuni casi l'obiettivo di risanamento per l'impianto può essere definito e disposto in via definitiva solo dopo che, nell'ambito di uno studio sulle varianti, si è individuata la combinazione ottimale di misure per l'intera rete idrografica.

3.5 Fase di lavoro 4: redigere un catalogo delle misure

3.5.1 Introduzione

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

In questa fase di lavoro si raccolgono e si descrivono tutte le misure utilizzabili per aumentare il carico di fondo a valle di un determinato impianto. Le misure devono essere descritte conformemente al livello di pianificazione, dettagliandole in modo da poterne valutare l'efficacia e i costi nelle fasi successive.

I risultati attesi dalla fase di lavoro sono riportati qui di seguito:

- elenco di misure edili e di esercizio per ciascuno degli impianti da risanare presenti nella rete idrografica;
- descrizione dell'efficacia delle misure in relazione ai criteri di valutazione formulati nel capitolo 3.6;
- stima dei costi delle misure.

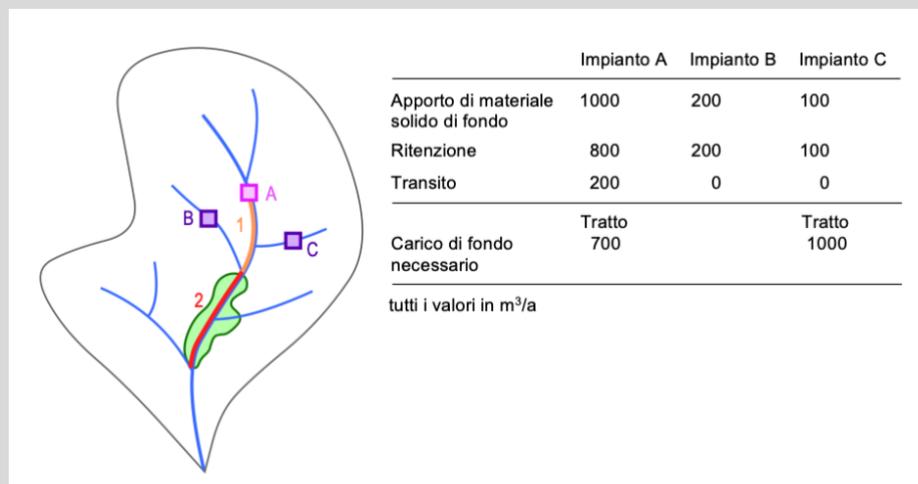
⁷ Valore medio su più anni.

Esempio: nella rete idrografica della figura 22 tre impianti (A, B e C) modificano il bilancio in materiale solido di fondo e devono essere risanati. Dell'apporto pari a 1000 m^3 di materiale solido di fondo, l'impianto A ne trattiene 800 m^3 e ne fa transitare 200 m^3 . Gli impianti B e C trattengono tutto il materiale solido di fondo, ossia rispettivamente $200 \text{ m}^3/\text{a}$ e $100 \text{ m}^3/\text{a}$.

I tratti di corsi d'acqua 1 e 2 sono corsi d'acqua target: per il tratto 1 il carico di fondo necessario è stato fissato a $700 \text{ m}^3/\text{a}$, per il tratto 2, situato in una zona golenale, a $1000 \text{ m}^3/\text{a}$.

Fig. 22: Coordinamento degli obiettivi di risanamento nel caso di una rete idrografica con più impianti

Esempio fittizio con gli impianti A, B e C e due tratti di corsi d'acqua con diverso carico di fondo necessario.



È possibile raggiungere i carichi di fondo necessari in due modi: 1) ora l'impianto A fa transitare il 70 per cento dell'apporto di materiale solido di fondo, pari a $700 \text{ m}^3/\text{a}$, mentre per gli impianti B e C tale quota è del 100 per cento; 2) l'impianto A fa transitare il 100 per cento dell'apporto di materiale solido di fondo, mentre gli impianti B e C non devono far transitare alcun materiale. Così facendo, nel tratto 1 il carico necessario viene superato, il che è ammissibile nella misura in cui l'apporto di materiale solido nel tratto non crei problemi di protezione contro le piene.

3.5.2 Possibili misure

Nel caso degli impianti idroelettrici sono preferibili le misure volte a far transitare il materiale solido di fondo piuttosto che le aggiunte di ghiaia. Una misura ipotizzabile per ogni tipo di impianto è anche il suo smantellamento completo, qualora tale misura sia proporzionata. Le informazioni sulle singole misure edili e di esercizio si trovano nelle indicazioni di pianificazione e progettazione (all. F).

Tab. 7: Mögliche Massnahmen

		Centrali ad acqua fluente / a derivazione	Centrali ad accumulazione (laghi artificiali)	Bacini di ritenzione delle piene	Camere di ritenuta	Prelievi di ghiaia a scopo di sistemazione delle acque	Prelievi di ghiaia a scopo commerciale	Opere di sistemazione dei corsi d' acqua
Misure edili								
M 1.1	Trasformazione dello sbarramento	x						
M 1.2	Trasformazione della galleria di deviazione		x					
M 1.3	Costruzione di una galleria di deviazione del materiale solido di fondo		x					
M 1.4	Trasformazione dell'opera di sbocco, in modo da riversare l'acqua solo durante rare portate di piena			x	x			
M 1.5	Costruzione di una cunetta di scarico per il transito del materiale solido di fondo in caso di eventi di piena minori				x			
M 1.6	Adeguamento della disposizione di briglie a pettine				x			
M 1.7	Misure edili di protezione contro le piene lungo i corsi d'acqua				x	x		
M 1.8	Smantellamento di opere trasversali, consentendo l'erosione di fondo					x		x
M 1.9	Smantellamento di protezioni di sponda, consentendo l'erosione laterale							x
M 1.10	Eliminazione di restringimenti dell'alveo					x		
M 1.11	Realizzazione di una zona di sedimentazione in un corso secondario					x		
M 1.12	Smantellamento	x	x	x	x	x	x	x
Misure di esercizio								
M 2.1	Abbassamento del livello di invaso in caso di piena	x						
M 2.2	Ottimizzazione di spurghi e svuotamenti del bacino di accumulazione	x	x					
M 2.3	Interramento del bacino di accumulazione con materiale solido di fondo, fino a ripristinare la continuità	x			x			
M 2.4	Riporti di ghiaia nei corsi d'acqua a valle	x	x	x	x	x		
M 2.5	Pienu artificiali	x	x					
M 2.6	Riduzione o sospensione completa dei prelievi						x	

3.5.3 Misure riguardanti progetti di protezione contro le piene e di rivitalizzazione

I progetti di protezione contro le piene e di rivitalizzazione costituiscono una base importante per la riuscita delle rinaturazioni. Allo scopo di garantire che soddisfino i requisiti del bilancio in materiale solido di fondo, tali progetti devono essere concepiti in modo da:

- evitare per quanto possibile qualunque prelievo (tranne nel caso di tratti in sovralluvionamento naturali);
- consentire depositi di materiale: gli interventi necessari, ad esempio, non devono essere effettuati in via preventiva, ma solo dopo che le strutture morfologiche auspiccate si sono potute formare grazie ai depositi, a condizione di preservare la sicurezza contro le piene;
- poter scegliere il luogo e il momento dei prelievi necessari anche in base ad aspetti ecologici e morfologici;
- non ridurre se possibile la pendenza longitudinale al di sotto di quella prossima allo stato naturale: nei tratti ulteriormente rettificati la pendenza longitudinale può diminuire se la capacità di trasporto non è inferiore rispetto ai tratti senza restringimento della larghezza dell'alveo;
- evitare per quanto possibile deficit di apporto solido a valle del perimetro del progetto.

3.5.4 Verificare e ridurre al minimo gli effetti sulla protezione contro le piene e sul regime delle acque sotterranee

Le misure relative al materiale solido di fondo sono mirate ad aumentare il carico di fondo a valle di un impianto rispetto allo stato attuale. Il carico di fondo necessario è stato determinato nella fase di lavoro 2 in modo da garantire che i tratti di corsi d'acqua senza restringimento della larghezza del fondo non tendano più all'erosione.

Occorre accertare gli effetti delle misure sulla protezione contro le piene in base alla variazione del carico di fondo (basso, medio, elevato), al potenziale di danno e al tipo di corso d'acqua. A seconda del possibile processo di deposito, una misura può produrre effetti diversi (Tab. 8), verificabili con vari metodi (Tab. 9).

Se il carico di fondo più elevato porta a depositi indesiderati che modificano la capacità di deflusso al punto da arrecare un pregiudizio inammissibile alla protezione contro le piene lungo questo tratto, il carico di fondo deve essere ridotto. Occorre esaminare anche se sono necessarie nonché possibili misure complementari di protezione contro le piene, come la rimozione di sbarramenti per aumentare la pendenza longitudinale o un adattamento moderato del terreno e dei cigli di scarpata, così da tenere conto sia degli obiettivi di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo sia degli interessi di protezione contro le piene. In questo caso, tali misure complementari diventano parte della misura di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo e devono essere incluse nella stima dei costi nonché nella valutazione delle possibili varianti. Se non è possibile adottare misure complementari di protezione contro le piene, il pregiudizio arrecato viene considerato come effetto negativo della misura nella valutazione delle varianti (cfr. Tab. 12).

Tab. 8: Impatto di possibili processi di deposito sulla protezione contro le piene

Processo di deposito	Pregiudizio della protezione contro le piene
Formazione locale di banchi	no
Innalzamento locale del fondo	da accertare
Innalzamento del fondo con aumento della pendenza longitudinale su un tratto più lungo ($\geq 10 \times$ larghezza del fondo)	da accertare (cfr. Tab. 9)

In assenza di misure proporzionate che consentano di raggiungere gli obiettivi definiti nella fase di lavoro 3 senza pregiudizio inammissibile per la protezione contro le piene, è necessario esaminare misure alternative che eventualmente consentano di raggiungere gli obiettivi solo in parte (cfr. anche la spiegazione del cap. 3.7).

Tab. 9: Possibili metodi di accertamento degli effetti sulla protezione contro le piene

Analisi dei processi e valutazione qualitativa	Si veda tabella 8
Modellazioni morfologiche	Sulla base di modellazioni morfologiche, si accerta se l'aumento del carico di fondo comporta un innalzamento significativo del fondo e del livello di piena.
Analisi delle misurazioni	Si misura il fondo dell'alveo prima e dopo l'aumento del carico nei tratti che limitano il trasporto solido, verificando se il fondo si innalza. A sua volta, l'innalzamento del livello di piena può essere determinato con calcoli idraulici. Se sono disponibili misurazioni precedenti, anche queste dovrebbero essere analizzate, così da dimostrare se in passato eventuali abbassamenti del letto (causati da deficit di apporto solido) sono stati compensati da un aumento del carico di fondo.

Al momento di scegliere le misure, si deve tenere conto anche dei loro effetti quantitativi e qualitativi sulle acque sotterranee. Tra questi figurano in particolare gli effetti sulle captazioni di interesse pubblico nonché sulle zone o sulle aree di protezione delle acque sotterranee in cui bisogna attenersi anche alle disposizioni di pianificazione della protezione delle acque sotterranee. Occorre inoltre tenere conto dei disturbi alla vegetazione dovuti alle variazioni del livello della falda freatica.

3.5.5 Stima dei costi

Per valutare le diverse varianti di misure, specialmente in termini di proporzionalità dell'onere, occorre determinare i costi di tali misure. La stima dei costi deve includere le seguenti voci con un'accuratezza pari a ± 30 per cento in linea con lo studio preliminare:

- Costi di investimento
 - costi di progettazione
 - costi di costruzione
 - acquisizione di terreni
 - costi legati ai rischi
- Costi ricorrenti
 - costi per misure di esercizio
 - costi per manutenzione di costruzioni e impianti⁸
 - perdite di guadagno dovute a minore produzione in caso di misure riguardanti impianti idroelettrici
- Costi per il controllo dell'efficacia

Per poter confrontare i costi delle misure edili e di esercizio, occorre convertire i costi di investimento in costi annuali oppure capitalizzare i costi annuali sulla durata di esercizio. Per le misure riguardanti impianti idroelettrici, la durata di esercizio è fissata a 40 anni, corrispondente alla durata prevista dal legislatore per il finanziamento delle misure di esercizio (all. 3 n. 1 OEn). In caso di misure riguardanti impianti non idroelettrici, la durata di esercizio considerata equivale alla durata di vita delle opere edili, calcolata sulla base di norme SIA.

⁸ Questi costi non sono tuttavia computabili e non vengono indennizzati.

3.6 Fase di lavoro 5: elaborare e valutare varianti di misure

3.6.1 Introduzione

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

Partendo dal catalogo delle misure, in questa fase di lavoro si selezionano quelle che soddisfano gli obiettivi definiti per il corso d'acqua e che sono fattibili nonché proporzionate. I risultati attesi dalla fase di lavoro sono riportati qui di seguito:

- elenco di varianti che riassumono le misure relative ai diversi impianti del bacino imbrifero;
- spiegazione dei criteri di valutazione delle varianti;
- matrice di valutazione delle varianti.

Il catalogo di misure elaborato nella fase di lavoro precedente consente di combinare le misure fattibili nelle diverse varianti. Una variante comprende misure relative ai diversi impianti di un bacino imbrifero o di una rete idrografica armonizzate tra loro.

Le varianti sono valutate secondo i criteri di cui all'articolo 43a capoverso 2 LPAc, che definiscono le misure in base a:

- gravità del pregiudizio arrecato al corso d'acqua,
- potenziale ecologico del corso d'acqua,
- proporzionalità dell'onere,
- interessi della protezione contro le piene,
- obiettivi di politica energetica in materia di promozione delle energie rinnovabili.

3.6.2 Proporzionalità dell'onere

Uno dei criteri di valutazione fondamentali per una misura è il rapporto tra i relativi costi e l'efficacia auspicata. Tale efficacia può essere valutata sulla base del carico di fondo. A tal fine si utilizzano i due criteri «carico di fondo e dinamica» e «lunghezza del tratto di corso d'acqua» con un bilancio in materiale solido di fondo migliorato.

Per entrambi i criteri, la tabella 10 propone uno schema di valutazione. Nel caso specifico è possibile assegnare punti alle valutazioni e ponderare i criteri, così da determinare il grado di raggiungimento dell'obiettivo. Contemporaneamente occorre fissare un parametro target per i due criteri, ovvero la valutazione minima che una misura deve ottenere (per ciascun criterio o in combinazione). Riguardo al criterio «carico di fondo e dinamica», l'obiettivo si considera raggiunto quando il carico di fondo corrisponde al carico necessario, mentre per il criterio «lunghezza del tratto di corso d'acqua» ciò avviene quando una grossa parte del tratto pregiudicato in maniera sensibile viene valorizzata. Le misure che ottengono una valutazione minima per uno dei criteri sono qualificate come inefficaci e non idonee; a prescindere dai costi, non sono proporzionate e non devono essere perseguite ulteriormente. I criteri vengono applicati al tratto della rete idrografica con il carico di fondo necessario più elevato o che riveste più importanza.

Tab. 10: Possibile valutazione dell'effetto delle misure e dello stato obiettivo

Critero di valutazione	Obiettivo	Valutazione possibile
Carico di fondo e dinamica	→	max Il carico di fondo raggiunge il livello del carico allo stato seminaturale o tutto il materiale solido viene fatto transitare attraverso l'impianto.
		... Il carico di fondo raggiunge il livello del carico necessario.
		... Il carico di fondo viene aumentato rispetto allo stato attuale, ma non si raggiunge il carico necessario.
		min Il carico di fondo non viene aumentato o la dinamica del corso d'acqua è contenuta da misure complementari (ad es. misure di protezione contro le piene).
Lunghezza del tratto di corso d'acqua con bilancio in materiale solido di fondo migliorato	→	max Il bilancio in materiale solido di fondo viene migliorato su tutto il tratto pregiudicato in maniera sensibile.
		... Il bilancio in materiale solido di fondo viene migliorato su gran parte del tratto pregiudicato in maniera sensibile.
		... Il bilancio in materiale solido di fondo viene migliorato su una piccola parte del tratto pregiudicato in maniera sensibile.
		min Il bilancio in materiale solido di fondo viene migliorato solo su una parte minima del tratto pregiudicato in maniera sensibile.

Esempio fittizio di analisi costi-efficacia con cinque varianti di misure per un piccolo impianto di accumulazione:

- **Variante 1:** abbassamento del livello di massimo invaso in caso di piena e transito di tutto il materiale solido di fondo attraverso l'impianto.
- **Variante 2:** prelievi di materiale solido di fondo all'imbocco del bacino di accumulazione e aggiunta di parte del materiale nel corso d'acqua a valle dell'impianto.
- **Variante 3:** costruzione di una galleria di deviazione del materiale solido di fondo attraverso la quale convogliare tutto il materiale intorno all'impianto in caso di piena.
- **Varianti 4 e 5:** non specificate in modo più dettagliato.

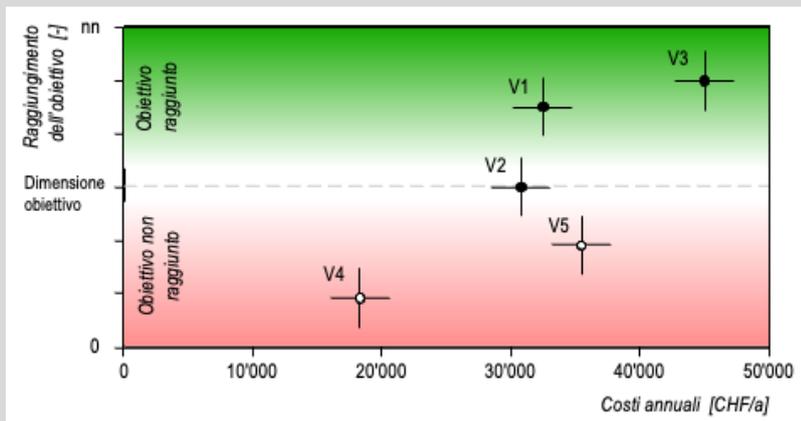
La figura 23 mette a confronto l'efficacia rispetto ai costi per le cinque varianti (cfr. anche Tab. 11). Con le varianti da V1 a V3 si raggiungono gli obiettivi prefissati, con le varianti V4 e V5 no, che quindi non vengono portate avanti.

Tab. 11: Analisi costi-efficacia

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Efficacia			
Grado di raggiungimento dell'obiettivo	buono	appena sufficiente	buono
Costi			
Costi di investimento [mio CHF]	0,6	0,3	1,2
Costi d'investimento annuali [CHF/a]	13 500	6750	27 000
Costi ricorrenti			
Misure di esercizio [CHF/a]	10 000	22 000	10 000
Manutenzione delle opere edili [CHF/a]	4000	2000	8000
Perdite di guadagno [CHF/a]	5000	0	0
Costi annuali totali [CHF/a]	32 500	30 750	45 000
Efficacia in relazione ai costi	elevata	media	media

Fig. 23: Confronto tra le varianti di misure: valutazione dei costi e dell'efficacia

Sull'asse delle ascisse sono rappresentati i costi annuali delle misure, sull'asse delle ordinate il grado di raggiungimento dell'obiettivo (efficacia). Con le varianti da V1 a V3 si raggiungono gli obiettivi prefissati, con le varianti 4 e 5 no.



3.6.3 Gravità del pregiudizio, potenziale ecologico, interessi della protezione contro le piene e obiettivi di politica energetica

Oltre alla proporzionalità dell'onere, le misure si basano anche sui seguenti criteri: la gravità del pregiudizio del corso d'acqua, il suo potenziale ecologico, gli interessi della protezione contro le piene e gli obiettivi di politica energetica in materia di promozione delle energie rinnovabili. Questi criteri devono pertanto essere valutati per ogni variante; le relative proposte di valutazione sono riportate nella tabella 12. In linea di principio le zone golenali d'importanza nazionale hanno un grande valore ecologico e quindi un elevato potenziale ecologico.

Tab. 12: Set di criteri per la valutazione delle misure

Criterio di valutazione	Valutazione possibile	
Pregiudizio della portata solida di fondo nello stato attuale	max ... min	Pregiudizio molto grave nello stato attuale. Pregiudizio grave nello stato attuale. Pregiudizio sensibile nello stato attuale.
Potenziale ecologico del corso d'acqua con portata solida di fondo migliorata	max min	Il corso d'acqua si trova in una zona golenale d'importanza nazionale. Sul piano ecomorfologico il corso d'acqua è poco degradato o prossimo allo stato naturale o una sua rivitalizzazione in un futuro prossimo apporta grande beneficio per la natura e il paesaggio. Sul piano ecomorfologico il corso d'acqua è degradato o non naturale e una sua rivitalizzazione apporta un beneficio medio per la natura e il paesaggio. Sul piano ecomorfologico il corso d'acqua è degradato o non naturale e una sua rivitalizzazione non apporta alcun beneficio per la natura e il paesaggio.
Effetti sulla sicurezza contro le piene (se non evitati con misure complementari)	nessuno gravi	La capacità di deflusso nell'alveo non è modificata o lo è solo in misura non rilevante né sono compromessi gli obiettivi di protezione contro le piene. Gli obiettivi di protezione contro le piene per la categoria di oggetti 2.2 sono compromessi dalla misura ⁹ . Gli obiettivi di protezione contro le piene per le categorie di oggetti 2.3 e 3.1 sono compromessi dalla misura. Gli obiettivi di protezione contro le piene per le categorie di oggetti 3.2 e 3.3 sono compromessi dalla misura.

⁹ Categorie di oggetti e obiettivi di protezione contro le piene secondo UFPT, UFAFP e UFAEG (2005): Pianificazione del territorio e pericoli naturali.

Criterio di valutazione	Valutazione possibile	
Impatto sulla produzione di energie rinnovabili (valutare solo in caso di misure con effetti sugli impianti idroelettrici)	nessuno	La produzione di elettricità dell'impianto è invariata.
	...	La produzione di elettricità dell'impianto è ridotta in misura non rilevante.
	...	La produzione di elettricità dell'impianto è ridotta in misura rilevante.
	elevato	La produzione di elettricità dell'impianto è impossibile.

Nel confrontare le varianti, altri aspetti possono assumere un ruolo nella valutazione, di cui bisogna tenere conto, quali: l'interesse nazionale nella produzione di energia¹⁰ (in particolare nel caso di zone golenali d'importanza nazionale), le emissioni (ad es. le emissioni di CO₂ e l'inquinamento fonico generato dai trasporti di ghiaia), il consumo di risorse (ad es. il fabbisogno di terreno per le misure edili), l'aumento della torbidità o l'impatto sulle acque sotterranee (ad es. nel caso di una misura riguardante la zona di protezione delle acque sotterranee di una captazione di interesse pubblico).

¹⁰ Secondo l'art. 8 cpv. 1 OEn, i nuovi impianti idroelettrici sono considerati di interesse nazionale se presentano una produzione media prevista di almeno 20 GWh all'anno oppure una produzione media prevista di almeno 10 GWh all'anno e una durata di invaso di almeno 800 ore a piena potenza, mentre gli impianti idroelettrici esistenti sono considerati di interesse nazionale se raggiungono una produzione media prevista di almeno 10 GWh all'anno oppure una produzione media prevista di almeno 5 GWh all'anno e una durata di invaso di almeno 400 ore a piena potenza.

Esempio fittizio. Le tre varianti rimaste tratte dall'esempio del capitolo precedente vengono valutate secondo la tabella 13.

Tab. 13: Matrice di valutazione

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Proporzionalità dell'onere	elevata	media	media
Gravità del pregiudizio nello stato attuale	grave	grave	grave
Potenziale ecologico	elevato	elevato	elevato
Impatto sulla sicurezza contro le piene	nessuno	nessuno	nessuno
Impatto sulla produzione di energie rinnovabili	minimo	nessuno	nessuno

3.7 Fase di lavoro 6: scegliere la variante migliore

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

In questa fase si deve scegliere la variante migliore,

- fornendo la motivazione;
- nonché una stima della sua proporzionalità, così da poter disporre la relativa decisione.

Valutazione complessiva

La scelta della misura più appropriata (variante migliore) richiede una valutazione complessiva rispetto ai criteri definiti nel capitolo 3.6. A tale proposito sono necessarie una visione generale della problematica, l'esperienza nonché le conoscenze di esperti, soprattutto per i casi più complessi.

Per quanto concerne la ponderazione degli interessi, si tratta di formulare un giudizio di valore per il singolo caso, quindi una sua schematizzazione è possibile solo in misura limitata. Tuttavia, la scelta della variante migliore deve essere sempre documentata e spiegata in modo comprensibile.

In linea di principio, la variante migliore deve 1) raggiungere gli obiettivi di risanamento, 2) essere proporzionata e 3) garantire per quanto possibile la continuità del trasporto solido dell'impianto.

Esempio fittizio. Nell'esempio del capitolo 3.6, su cinque varianti di misure, sono state valutate le varianti da V1 a V3. La variante V1 è ritenuta la migliore per i seguenti motivi:

- raggiunge l'obiettivo nel modo migliore, come la variante 3;
- presenta un beneficio equivalente alla variante 3, ma è notevolmente più conveniente;
- ha un costo simile a quello della variante 2, ma un beneficio nettamente superiore;
- la variante 1 soddisfa integralmente il principio di continuità del trasporto solido dell'impianto.

Proporzionalità

La variante migliore può essere attuata se ritenuta proporzionata, ossia se soddisfa i seguenti criteri:

- la misura è appropriata per raggiungere gli obiettivi di risanamento;
- la misura è necessaria, vale a dire che da un lato sussiste un pregiudizio sensibile ai sensi dell'articolo 43a LPAC, dall'altro l'obiettivo di risanamento non può essere raggiunto con una misura meno incisiva, ossia più economica;
- la misura ha un onere proporzionato rispetto all'efficacia auspicata;
- la misura è ragionevole, ossia l'ingerenza nella posizione giuridica del privato non risulta pesante rispetto all'interesse pubblico perseguito; inoltre, la misura non comporta altri effetti eccessivamente negativi.

Risanamento parziale e rinnovo della concessione

Le condizioni di ammissibilità e indennizzo dei risanamenti parziali e le modalità di rinnovo delle concessioni sono spiegate in una delle FAQ¹¹ dell'UFAM.

3.8 Fase di lavoro 7: coordinamento con altre misure riguardanti il corso d'acqua

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

In questa fase si spiega come armonizzare le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo con altre misure riguardanti il corso d'acqua.

- È prevista la redazione di un elenco di ulteriori misure nel bacino imbrifero e delle possibili sinergie e opportunità, o conflitti, con le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo.

Coordinamento con misure di rivitalizzazione

Il trasporto solido di fondo dispiega al meglio la sua efficacia ecologica in corsi d'acqua prossimi allo stato naturale o rivitalizzati. Viceversa, l'efficacia delle rivitalizzazioni è generalmente minima se il materiale solido di fondo che determina le strutture non viene convogliato nella quantità necessaria. Per questo motivo è importante che le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo e quelle di rivitalizzazione siano strettamente armonizzate tra loro nonché attuate tempestivamente.

Coordinamento con misure di protezione contro le piene

Nei progetti di sistemazione delle acque, sfruttare le sinergie e le opportunità per la protezione contro le piene e la rivitalizzazione dei corsi d'acqua è la regola. Di conseguenza, anche le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo devono essere combinate con le misure di protezione contro le piene e viceversa. I potenziali conflitti di obiettivi tra protezione contro le piene e risanamento del bilancio in materiale solido di fondo devono già essere stati risolti in fase di pianificazione delle misure.

Coordinamento con misure riguardanti impianti idroelettrici

Nel caso di impianti idroelettrici, è possibile che vengano adottate anche misure per il risanamento dei deflussi discontinui, per la libera migrazione dei pesci o misure per il risanamento dei deflussi residuali. Dal punto di vista del

detentore dell'impianto, può essere opportuno combinare queste misure con quelle volte a risanare il bilancio in materiale solido di fondo, soprattutto se sono previste modifiche costruttive dell'impianto.

Tempistica per l'attuazione delle misure

Le opzioni di coordinamento summenzionate non stanno a indicare che le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo devono essere adottate solo al momento di una rivitalizzazione o di un risanamento dei deflussi discontinui. Poiché le reti idrografiche più grandi reagiscono lentamente alle modifiche del bilancio dei sedimenti, occorre avviare le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo il più rapidamente possibile. Nella gran parte delle reti idrografiche sono presenti tratti di corsi d'acqua in cui un risanamento del bilancio in materiale solido può essere efficace anche senza rivitalizzazione. L'attuazione delle misure deve essere avviata al più tardi entro la fine del 2030.

3.9 Fase di lavoro 8: definire il piano di controllo dell'efficacia

Obiettivi della fase di lavoro e risultati attesi

In questa fase occorre definire come e in che misura controllare l'efficacia delle misure.

I risultati attesi dalla fase di lavoro sono riportati qui di seguito.

- giustificazione della relativa scelta.
- Designazione dei tratti da analizzare, compresi i tratti paragonabili.
- Calendario dei rilievi, compresa l'indagine sullo stato iniziale, prima dell'attuazione delle misure.
- Costi previsti per il controllo dell'efficacia.
- Coordinamento con il controllo dell'efficacia di altre misure.

I dettagli su scopo, procedura e ambito del controllo dell'efficacia sono riportati nel capitolo 4, mentre nell'allegato H sono descritti in dettaglio possibili indicatori.

3.10 Procedura semplificata

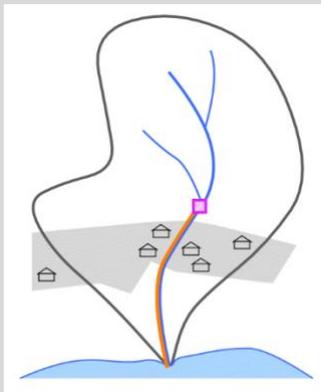
Nella procedura semplificata, le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo vengono attuate in modo graduale: si aumenta progressivamente il carico di fondo fino a quando, nella migliore delle ipotesi, tutto il materiale solido trattenuto nell'impianto non è disponibile per il corso d'acqua. Particolare attenzione viene rivolta al controllo dell'efficacia, il quale serve anzitutto a ottimizzare le misure nonché a comprendere i limiti del carico di fondo possibile. In questo modo risulta molto più facile eseguire le fasi di lavoro.

- Fase di lavoro 1: L'analisi della situazione si limita a mostrare in quale misura il carico di fondo viene ridotto dagli impianti. Non è necessario descrivere la morfologia allo stato seminaturale e in quello attuale.
- Fase di lavoro 2: Il carico di fondo necessario per il corso d'acqua corrisponde al carico più elevato possibile che può essere trasportato senza la necessità di adottare misure di protezione contro le piene non proporzionate. Il carico non è definito a priori, ma determinato empiricamente durante l'attuazione delle misure.
- Fase di lavoro 3: L'obiettivo di risanamento per l'impianto è la massima continuità di trasporto solido possibile.
- Fase di lavoro 4: In linea di principio il catalogo delle misure è lo stesso del capitolo 3.5. Nei piccoli bacini imbriferi con un solo impianto, tuttavia, la gamma di misure possibili è spesso ristretta.
- Fase di lavoro 5: Il criterio più importante per valutare l'efficacia della variante è la lunghezza del tratto di corso d'acqua con bilancio in materiale solido di fondo migliorato.
- Fase di lavoro 6: Due aspetti determinano la scelta della variante migliore, ossia i costi e la possibilità di ampliare gradualmente le misure.
- Fase di lavoro 7: Il coordinamento con altre misure nel bacino imbrifero spesso non è necessario.
- Fase di lavoro 8: Il controllo dell'efficacia serve anzitutto a mostrare se la misura sta funzionando (il materiale solido di fondo viene mobilizzato negli impianti o nei punti di aggiunta?) e, se del caso, ad aumentare o ridimensionare la portata solida di fondo. Potrebbe essere necessario monitorare la variazione del livello medio di fondo per individuare e minimizzare i rischi in caso di piena.

Esempio fittizio di procedura semplificata

Nell'esempio fittizio si ha un piccolo torrente che sfocia in un lago, dove sono presenti popolazioni di pesci. L'unico impianto soggetto all'obbligo di risanamento è una camera di ritenuta a monte del compressorio insediativo.

Fig. 24: Esempio fittizio: piccolo bacino imbrifero con una camera di ritenuta (quadrato rosa) a monte del compressorio insediativo (area grigia)



- Fase di lavoro 1: Dai dati raccolti nel corso della gestione periodica si evince che la camera trattiene 25 m³ di materiale solido di fondo (media pluriennale).
- Fase di lavoro 4: Si possono ipotizzare le seguenti misure: trasformare l'opera di sbocco della camera di ritenuta (M 1.4); smantellare la camera di ritenuta (M 1.12); aggiungere ghiaia dalla camera a valle del compressorio insediativo (M 2.4) o una combinazione di M 1.4 e M 2.4.
- Fase di lavoro 5: Lo smantellamento della camera di ritenuta (M 1.12) comporta che nel compressorio insediativo siano adottate misure complementari di protezione contro le piene onerose e non proporzionate, che quindi vengono sconsigliate. Poiché un punto idoneo di restituzione della ghiaia si trova solo a valle del compressorio insediativo, la misura M 2.4 può essere efficace solo per un breve tratto del corso d'acqua.
- Fase di lavoro 6: La variante migliore ritenuta è una combinazione di misure: trasformare l'opera di sbocco (M 1.4) e aggiungere ghiaia nel corso d'acqua a valle (M 2.4), attuando inizialmente la misura edile M 1.4 e integrandola con la misura di esercizio M 2.4 dopo alcuni anni. Le aggiunte di ghiaia vengono incrementate a condizione che i depositi sul fondo non compromettano la sicurezza contro le piene.
- Fase di lavoro 8: Nel controllo dell'efficacia si utilizza l'indicatore A1 (depositi di materiale solido di fondo, Tab. 14) per mostrare il funzionamento della misura, mentre l'indicatore A7 (Tab. 14) serve a misurare il livello medio di fondo nei tratti di corsi d'acqua critici per le piene. Gli indicatori vengono rilevati ogni due anni.

4 Controllo dell'efficacia

4.1 Introduzione

Scopo del controllo dell'efficacia

Insieme al controllo dell'attuazione (cfr. cap. 2.1), il controllo dell'efficacia serve a verificare i risultati. Con il controllo dell'efficacia s'intende dimostrare che, nel caso di impianti esistenti, le misure hanno consentito di rimuovere i pregiudizi sensibili arrecati al corso d'acqua da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo, nonché di prevenire tali pregiudizi nel caso di nuovi impianti.

Il controllo dell'efficacia serve anche a ottimizzare le misure, soprattutto quelle di esercizio, in modo da contrastare le incertezze legate alla determinazione dei requisiti, al dimensionamento delle misure e alla previsione degli effetti, ad esempio sulla protezione contro le piene. Ciò è particolarmente importante quando si attuano misure per la prima volta.

Infine, con il controllo dell'efficacia si rende conto all'opinione pubblica dell'impiego razionale delle risorse. Affinché ulteriori progetti di risanamento in altri corsi d'acqua possano beneficiare delle esperienze acquisite con le singole misure, è necessario che procedure, indicatori e ambito dei controlli dell'efficacia siano il più possibile standardizzati nonché conformi alle prescrizioni qui raccomandate.

Fasi di lavoro

La procedura di controllo dell'efficacia si articola in quattro fasi di lavoro (Fig. 25). Anzitutto si rileva lo stato attuale del corso d'acqua prima di attuare la misura iniziale (fase 1). Dopo l'attuazione, si verifica sul campo se la misura funziona (ad es. se la ghiaia versata viene mobilizzata) e come evolve nel tempo lo stato del corso d'acqua in base agli indicatori abiotici e biotici selezionati (fase 2). I risultati di queste misurazioni servono a verificare se gli obiettivi sono stati raggiunti (fase 3) e se vi è necessità di adeguare le misure (fase 4).

Fig. 25: Fasi di lavoro del controllo dell'efficacia

A seconda dell'indicatore, sono necessarie diverse misurazioni per poter dimostrare l'efficacia.

Fasi di lavoro	Cap.
1) Rilevare lo stato attuale prima dell'attuazione delle misure	4.2–4.3
2) Rilevare lo stato dopo l'attuazione delle misure	4.2–4.3
3) Verificare il raggiungimento dell'obiettivo	4.4
4) Adeguamento della misura	4.5

n misurazioni

Coordinamento

Il controllo dell'efficacia dovrebbe essere coordinato con quello di altre misure di protezione delle acque, in primo luogo le rivitalizzazioni e il risanamento della migrazione dei pesci. In questo modo è possibile evitare doppioni in fase di misurazione, come pure sfruttare le sinergie, ad esempio nella rilevazione di indicatori biotici. Alcuni degli indicatori elencati di seguito sono raccomandati anche nel controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni a livello nazionale (UFAM 2021).

Onere del controllo dell'efficacia

L'onere per il controllo dell'efficacia deve essere ragionevolmente proporzionato a:

- onere e importanza della misura di risanamento;
- importanza ecologica del corso d'acqua.

Per questo motivo, a seconda dell'entità della misura e dell'importanza ecologica del corso d'acqua, si utilizzano indicatori diversi per il controllo dell'efficacia.

4.2 Indicatori

Per mezzo degli indicatori, si verifica se gli obiettivi prefissati vengono raggiunti, cioè se le misure adottate producono gli effetti auspicati. Gli indicatori biotici e abiotici qui proposti (Tab. 14 e 15) servono a dimostrare se le misure funzionano, se il carico di fondo è stato raggiunto, come pure se gli obiettivi specifici per la morfologia e il livello di fondo nonché l'obiettivo generale per *la fauna, la flora e i loro biotopi* sono stati raggiunti.

Gli indicatori sono considerati rappresentativi e appropriati se:

- sono misurabili;
- reagiscono con decisione alle misure;
- reagiscono tempestivamente;
- sono il più possibile indipendenti da altri fattori di influenza;
- non sono correlati con altri indicatori rilevati nello stesso periodo o lo sono solo in misura ridotta.

Tab. 14: Indicatori abiotici

Indicatore	Qual è l'oggetto del controllo?
• A1 Depositi di materiale solido di fondo negli impianti o nei punti di aggiunta	Funzionamento di una misura
• A2 Carico di fondo	Raggiungimento del carico di fondo necessario
• A3 Forma dell'alveo • A4 Estensione dei depositi di materiale solido di fondo • A5 Tipi di substrato • A6 Colmatazione interna • A7 Variazione del livello medio di fondo • A8 Variazione della quota del talweg	Raggiungimento degli obiettivi di risanamento (morfologia e dinamica, protezione contro le piene, regime delle acque sotterranee)

Tab. 15: Indicatori biotici

Indicatore	Qual è l'oggetto del controllo?
<ul style="list-style-type: none"> • B1 Presenza di avannotti di trota • B2 Presenza di giuvenili di trote fario • B3 Numero di zone di riproduzione nei corsi d'acqua della zona della trota o del temolo • B4 Numero e densità di avannotti e larve di temolo • B5 Quantità di giuvenili di specie reofile e litofile (deposizione di uova su strati ghiaiosi) 	Raggiungimento degli obiettivi di risanamento (fauna, flora, biotopi)

A seconda del tratto di corso d'acqua da risanare, in particolare per quel che riguarda le zone golenali, occorre studiare ulteriori indicatori biotici, che descrivano anche habitat e organismi anfibi e terrestri. Tuttavia, poiché la rilevazione e l'analisi di questi indicatori è notevolmente più onerosa rispetto agli indicatori biotici della tabella 15, bisognerebbe prenderli in considerazione solo caso per caso e coordinare eventualmente il loro impiego con il controllo dei risultati delle rivitalizzazioni¹²:

- composizione e abbondanza di macroinvertebrati bentonici;
- successione di associazioni o formazioni vegetali;
- composizione della fauna di carabidi;
- composizione della fauna di micromammiferi;
- nidificazione del corriere piccolo.

Gli indicatori e i metodi di rilevazione nonché le specificità di cui tenere conto sono descritti nell'allegato H.

Intervalli di misurazione e durata

Misurazione prima dell'attuazione: è necessario rilevare lo stato attuale prima di attuare la misura, in modo da poter determinare l'efficacia assoluta della misura sia sul piano qualitativo che quantitativo.

Intervalli: l'intervallo di misurazione dipende dal tipo di indicatore. Oltre a intervalli di misurazione regolari, si deve prendere in considerazione un monitoraggio basato sugli eventi, ad esempio dopo eventi di piena o prima e dopo piene artificiali.

Stagionalità degli indicatori biotici: poiché gli indicatori biotici sono altamente stagionali, occorre pianificare per tempo il controllo dell'efficacia. Nell'ottica del riscaldamento climatico, sono possibili, ad esempio, spostamenti dei periodi di deposizione delle uova, di cui bisogna tenere conto nella pianificazione.

Compensare le oscillazioni attraverso rilievi effettuati su più anni: va inoltre ricordato che i parametri biologici presentano spesso forti oscillazioni da un anno all'altro, riconducibili ai fattori più diversi. Ciò significa che, per poter formulare considerazioni sufficientemente affidabili, gli indicatori corrispondenti devono essere rilevati più volte e per periodi prolungati (cfr. cap. 4.3).

Durata: la durata del controllo dell'efficacia dipende dal tempo di reazione dei processi rilevanti. Poiché il bilancio in materiale solido di fondo si modifica solo con le piene, la durata di questo processo varia. Inoltre, il bilancio in materiale solido di fondo di grandi corsi d'acqua reagisce lentamente ai cambiamenti. Può essere necessario

¹² In questo caso il coordinamento presuppone anche l'uso di dati rilevati per altre misure relative al corso d'acqua, in modo da formulare considerazioni approfondite sull'efficacia del risanamento del bilancio in materiale solido di fondo.

attendere diversi eventi di piena con trasporto solido di fondo prima che per alcuni indicatori si possano rilevare variazioni (cfr. cap. 4.3).

Tratti da misurare e controllare

Si esaminano i tratti per i quali sono stati definiti obiettivi, ossia quei tratti in cui la larghezza del corso d'acqua o la situazione idraulica consentono di prevedere un'efficacia particolarmente elevata. Il numero di tratti da misurare dipende dalla lunghezza del tratto di corso d'acqua interessato dalla misura di risanamento.

Occorre riflettere anche sull'eventuale necessità di includere nelle indagini un tratto di controllo non interessato dalle misure di risanamento, perlomeno per gli indicatori biotici, che in genere si trova a monte dell'impianto da risanare. In questo modo è possibile stimare fattori d'influenza generali sulla biocenosi non correlati al risanamento del bilancio in materiale solido di fondo, tra cui in particolare: il cambiamento climatico, la frequenza e l'intensità delle piene, la quantità di parassiti e predatori, l'utilizzo dell'acqua (deflussi discontinui, deflussi residuali) e altri fattori di natura antropica.

4.3 Ambito del controllo dell'efficacia

Sulla base delle esperienze acquisite in merito a onere, costi e rappresentatività dei vari indicatori, si propone di utilizzare sempre gli indicatori abiotici A1–A8 (Tab. 14), ove opportuno. Tra gli indicatori biotici, bisogna includere nel controllo dell'efficacia soprattutto quelli relativi alla fauna ittica a seconda della regione (B1–B5, Tab. 15). L'ambito specifico del controllo dell'efficacia dipende dalle dimensioni del corso d'acqua, in genere fortemente correlate:

- alla dinamica degli eventi e quindi al tempo di reazione del corso d'acqua;
- all'importanza ecologica del corso d'acqua;
- all'entità e all'onere della misura di risanamento.

Di seguito vengono pertanto proposti gli indicatori da rilevare, gli intervalli di misurazione e la durata del controllo dei risultati per quattro dimensioni tipiche di un corso d'acqua (Tab. 16).

Piccoli corsi d'acqua

Per gli impianti presenti lungo piccoli corsi d'acqua, in genere un controllo completo dell'efficacia non è proporzionato: basta procedere a un controllo dell'efficacia semplice basato sugli indicatori A5 «Tipi di substrato» e A6 «Colmatazione interna del fondo dell'alveo» e «Variazione del livello medio di fondo».

In caso di procedura semplificata in bacini imbriferi di piccole dimensioni, è sufficiente dimostrare il funzionamento della misura (indicatori A1 «Depositi nell'impianto o nei punti di aggiunta» o A2 «Carico di fondo») e verificare che le misure non riducano indebitamente la sicurezza contro le piene (indicatore A7 «Variazione del livello medio di fondo»).

Corsi d'acqua medi

Nei corsi d'acqua di medie dimensioni (come Ergolz, Gürbe, Reppisch), il progetto di risanamento deve essere considerato nel contesto dell'intero tratto interessato e del suo potenziale ecologico. Se il potenziale ecologico di tale tratto è scarso, è sufficiente includere indicatori abiotici, mentre se il potenziale ecologico è maggiore, occorre rilevare più volte anche gli indicatori biotici sulla fauna ittica, in particolare quelli che descrivono la riproduzione della trota (B1-3). La durata minima considerata in tal caso è un periodo di cinque anni.

Grandi corsi d'acqua

Nei corsi d'acqua di grandi dimensioni (come Areuse, Emme, Simme, Thur), occorre considerare il progetto di risanamento in relazione al potenziale ecologico dell'intero tratto interessato. Se non sono previste ulteriori misure di rivitalizzazione o di protezione delle acque in un futuro prossimo (< 10 anni) o se gli effetti del risanamento del bilancio in materiale solido di fondo si limitano a un breve tratto di corso d'acqua (< 3 km) con scarso potenziale ecologico, il controllo dell'efficacia può essere ridotto a due o tre rilevamenti di indicatori abiotici. Se invece sono previste ulteriori misure di rivitalizzazione o se il potenziale ecologico è elevato, bisogna prevedere un controllo dell'efficacia con indicatori abiotici e biotici. A seconda della misura (una tantum o ripetuta su più anni), il periodo di indagine dovrebbe estendersi su cinque-sette o più anni. Per poter riconoscere con certezza gli effetti delle misure sui pesci litofili, gli indicatori biotici devono essere rilevati annualmente.

Corsi d'acqua molto grandi

Per i grandi fiumi (come l'Aar da Thun, il Reno alpino e il Reno superiore, la Limmat da Zurigo, la Reuss da Lucerna, il Rodano da Visp, il Ticino da Bellinzona), il controllo dell'efficacia deve coprire un periodo di almeno 5–10 anni dopo la realizzazione delle misure di risanamento. Gli indicatori abiotici devono essere rilevati ogni due anni o in base agli eventi dopo le grandi piene, mentre gli indicatori biotici vanno rilevati annualmente. Nell'interpretare i dati biologici, occorre tenere conto anche delle rispettive condizioni di deflusso e dell'andamento della temperatura, così da poter riconoscere fattori d'influenza generali sullo sviluppo delle popolazioni di pesci litofili. Per verificare la tipologia e l'entità delle misure di risanamento e controllarne l'efficacia, bisogna redigere un bilancio provvisorio ogni due–tre anni basato sui risultati intermedi, adeguando le misure se necessario.

Tab. 16: Tipi di indicatori per dimensioni del corso d'acqua e potenziale ecologico

Dimensioni del corso d'acqua	Dimensioni del bacino imbrifero, portata media	Potenziale ecologico	Indicatori abiotici	Indicatori biotici
Piccolo	< 20 km ² < 0,5 m ³ /s	Scarso–medio	×*	–
Medio	20–200 km ² 0,5–5,0 m ³ /s	Scarso–medio	×	–
		Grande	×	×
Grande	200–2000 km ² 5,0–50 m ³ /s	Scarso–medio (nessuna rivitalizzazione prevedibile o tratto risanato < 3 km)	×	–
		Grande (rivitalizzazione prevedibile o tratto risanato ≥ 3 km)	×	×
Molto grande	> 2000 km ² > 50 m ³ /s	Grande	×	×

* con un numero limitato di indicatori, cfr. testo principale.

4.4 Verificare il raggiungimento dell’obiettivo

Analizzando le grandezze di misura dei vari indicatori, è possibile verificare il grado di raggiungimento dell’obiettivo. A tal fine si confronta lo stato auspicato con lo stato prima dell’attuazione delle misure (stato attuale) e lo stato dopo l’attuazione.

In linea di principio, l’obiettivo si considera raggiunto quando gli indicatori determinanti si attestano sul valore «buono». Per alcuni indicatori sono consentiti scostamenti da questo livello. Il confronto sistematico degli stati (cfr. l’esempio fittizio della Fig. 26) serve come aiuto all’interpretazione. In singoli casi specifici, tuttavia, il risultato deve essere convalidato con il giudizio di esperti.

Fig. 26: Raggiungimento dell’obiettivo della misura

Esempio fittizio.

Indicatore	Stato attuale prima delle misure			Stato dopo le misure			Valutazione
	Tratto da misurare			Tratto da misurare			
	a	b	c	a	b	c	
A2 Carico di fondo	2	2	1	5	4	3	
A3 Forma dell'alveo	3	3	2	4	3	3	
A4 Depositi di materiale solido di fondo	2	1	1	4	4	3	
A5 Tipi di substrato	2	1	1	4	4	4	
A6 Colmatazione interna	1	2	1	4	4	4	
B1 Presenza di avannotti di trota	2	2	2	4	4	2	
B3 Numero di zone di riproduzione	2	2	1	4	4	3	

4.5 Correzione della misura

Dal controllo dell’efficacia possono derivare conseguenze per la misura, considerato che il controllo è parte di un processo di ottimizzazione (Fig. 27). Sono ipotizzabili i seguenti scenari:

- tutti gli indicatori ottengono una valutazione positiva (per gli scostamenti di singoli indicatori cfr. cap. 4.4): la misura continua a essere applicata senza correzioni;
- né l’indicatore del carico di fondo né gli altri indicatori abiotici e biotici ottengono una valutazione positiva: la misura è inappropriata o insufficiente e deve essere adeguata;
- l’indicatore del carico di fondo ottiene una valutazione positiva, a differenza degli altri indicatori abiotici e biotici: la durata della misura è ancora insufficiente per raggiungere l’obiettivo, nel qual caso la misura continua a essere applicata, oppure il carico di fondo necessario deve essere aumentato e la misura adeguata;
- l’indicatore del carico di fondo ottiene al massimo una valutazione media, mentre la valutazione degli altri indicatori abiotici e biotici è buona: la misura continua a essere applicata senza adeguamenti, il carico di fondo necessario può essere diminuito.

Qualora dal controllo dell'efficacia dovesse emergere che le misure attuate non raggiungono gli obiettivi di risanamento, il Cantone può disporre ulteriori misure. Nel caso di impianti idroelettrici, il detentore può a sua volta presentare una domanda di rimborso dei costi secondo l'articolo 28 OEn.

Fig. 27: Controllo dell'efficacia come parte del processo di ottimizzazione della misura

Se gli obiettivi non vengono raggiunti, la misura deve essere adeguata.





Allegato

Bilancio in materiale solido di fondo – Misure

Un modulo dell'aiuto all'esecuzione
Rinaturazione delle acque

Allegato A – Basi legali

A.1 Legge del 24 gennaio 1991 sulla protezione delle acque (LPAc, RS 814.20)

Art. 43a Bilancio in materiale detritico

- 1 Il bilancio in materiale detritico di un corso d'acqua non può essere modificato da impianti al punto da arrecare sensibile pregiudizio alla fauna e alla flora indigene, ai loro biotopi, al regime delle acque sotterranee e alla protezione contro le piene. I detentori degli impianti prendono le misure del caso.
- 2 Le misure sono definite in base ai seguenti criteri:
 - a. gravità del pregiudizio arrecato al corso d'acqua;
 - b. potenziale ecologico del corso d'acqua;
 - c. proporzionalità dei costi;
 - d. interessi della protezione contro le piene;
 - e. obiettivi di politica energetica in materia di promozione delle energie rinnovabili.
- 3 Nel bacino imbrifero del corso d'acqua interessato le misure sono armonizzate previa consultazione dei detentori degli impianti in questione.

Art. 44 Estrazione di ghiaia, sabbia o altri materiali

- 1 Chiunque intende estrarre ghiaia, sabbia o altri materiali o eseguire scavi a tale scopo, deve ottenere un'autorizzazione.
- 2 L'autorizzazione non può essere concessa se i lavori sono eseguiti:
 - a. in zone di protezione delle acque sotterranee;
 - b. sotto il livello della falda freatica che, per quantità e qualità dell'acqua, si presta alla captazione;
 - c. in un corso d'acqua, qualora il suo bilancio in materiale detritico ne sia negativamente influenzato.

Art. 50 Informazione e consulenza

- 1 La Confederazione e i Cantoni vagliano i risultati ottenuti con le misure attuate in virtù della presente legge e informano il pubblico sulla protezione delle acque e sullo stato di queste; in particolare:
 - a. pubblicano i rilevamenti sull'esito delle misure attuate in virtù della presente legge;
 - b. sentiti gli interessati, possono pubblicare i risultati dei rilevamenti e dei controlli sulle acque private e pubbliche (art. 52), per quanto tali informazioni siano di interesse generale.

Art. 62b Rivitalizzazione delle acque

- 1 Entro i limiti dei crediti stanziati e sulla base di accordi di programma, la Confederazione accorda ai Cantoni, sotto forma di contributi globali, indennità per la pianificazione e l'attuazione di misure di rivitalizzazione delle acque.
- 2 Per progetti particolarmente onerosi, le indennità possono essere accordate singolarmente.
- 3 Le indennità sono stabilite in funzione dell'importanza delle misure ai fini del ripristino delle funzioni naturali delle acque, nonché dell'efficacia delle misure stesse.
- 4 Non sono versati contributi per lo smantellamento di impianti al quale il detentore è tenuto a procedere.
- 5 Chi sfrutta lo spazio riservato alle acque è indennizzato secondo la legge del 29 aprile 1998 sull'agricoltura per lo sfruttamento estensivo delle proprie superfici. Il preventivo agricolo e il relativo limite di spesa sono aumentati a tal fine.

Art. 83a Misure di risanamento

I detentori delle centrali idroelettriche esistenti e degli altri impianti esistenti situati lungo corsi d'acqua sono tenuti a prendere le misure di risanamento adeguate secondo le prescrizioni di cui agli articoli 39a e 43a entro 20 anni dall'entrata in vigore della presente disposizione.

Art. 83b Pianificazione e rapporto

1 I Cantoni pianificano le misure di cui all'articolo 83a e stabiliscono i termini per la loro attuazione. Tale pianificazione comprende anche i provvedimenti che i detentori di centrali idroelettriche devono prendere in virtù dell'articolo 10 della legge federale del 21 giugno 1991 sulla pesca.

2 I Cantoni presentano la pianificazione alla Confederazione entro il 31 dicembre 2014.

3 Ogni quattro anni presentano alla Confederazione un rapporto sulle misure attuate.

A.2 Ordinanza del 28 ottobre 1998 sulla protezione delle acque (OPAc, RS 814.201)

Art. 42a Pregiudizio sensibile arrecato da una modifica del bilancio in materiale detritico

Un pregiudizio arrecato dalla modifica del bilancio in materiale detritico alla fauna e alla flora indigene nonché ai loro biotopi è considerato sensibile quando le strutture o la dinamica morfologiche delle acque sono alterate in modo pregiudizievole da impianti quali centrali idroelettriche, prelievi di ghiaia, piazze di deposito o opere di sistemazione dei corsi d'acqua.

Art. 42c Misure di risanamento del bilancio in materiale detritico

1 Per gli impianti che secondo la pianificazione richiedono l'adozione di misure di risanamento del bilancio in materiale detritico, i Cantoni elaborano uno studio sulla tipologia e sull'entità delle misure necessarie.

2 Sulla base dello studio di cui al capoverso 1, l'autorità cantonale ordina i risanamenti da attuare. Nel caso delle centrali idroelettriche, il materiale detritico deve essere fatto transitare nella misura del possibile attraverso l'impianto.

3 Prima di prendere una decisione in merito al progetto di risanamento di centrali idroelettriche, l'autorità consulta l'UFAM. In vista della domanda di cui all'articolo 30 capoverso 1 OEn, l'UFAM verifica l'adempimento dei requisiti di cui all'allegato 3 numero 2 OEn.

4 Su richiesta dell'autorità, i detentori di centrali idroelettriche esaminano l'efficacia delle misure adottate.

Art. 49 Informazione

1 L'UFAM informa sullo stato delle acque e sulla loro protezione, nella misura in cui ciò interessi l'intera Svizzera; in particolare, pubblica rapporti sullo stato della protezione delle acque in Svizzera. I Cantoni gli mettono a disposizione i dati necessari.

2 I Cantoni informano sullo stato e sulla protezione delle acque nel loro territorio; a tal fine danno indicazioni sulle misure adottate e la relativa efficacia nonché sui luoghi di balneazione che non adempiono le condizioni richieste per la balneazione (all. 2 n. 11 cpv. 1 lett. e).

A.3 Legge federale del 30 settembre 2016 sull'energia (LEne, RS 730.0)

Art. 34 Indennizzo secondo le legislazioni sulla protezione delle acque e della pesca

Al proprietario di un impianto idroelettrico (centrale idroelettrica secondo la legislazione sulla protezione delle acque) sono rimborsati i costi globali delle misure di cui all'articolo 83a della legge federale del 24 gennaio 1991 sulla protezione delle acque o all'articolo 10 della legge federale del 21 giugno 1991 sulla pesca.

A.4 Ordinanza del 28 ottobre 1992 concernente la protezione delle zone golenali d'importanza nazionale (Ordinanza sulle zone golenali, RS 451.31)

Art. 4 Scopo della protezione

Gli oggetti devono essere conservati intatti. Le finalità di protezione includono segnatamente:

- a. la conservazione e lo sviluppo della flora e della fauna indigene tipiche delle zone golenali e degli elementi ecologici indispensabili alla loro esistenza;
- b. la conservazione e, per quanto sia ragionevole e fattibile, il ristabilimento della dinamica naturale del regime delle acque e di quello dei detriti alluvionali;
- c. la conservazione delle caratteristiche geomorfologiche.

Art. 8 Eliminazione dei danni

I Cantoni vigilano affinché i danni arrecati in particolare alla dinamica naturale del regime delle acque e dei detriti degli oggetti siano eliminati, per quanto possibile, non appena se ne presenti l'occasione.

Allegato B – Bibliografia

Abegg J., Kirchhofer A. & Rutschmann P. (2013). Masterplan – Massnahmen zur Geschiebereaktivierung im Hochrhein. Ufficio federale dell'energia, Berna, e Regierungspräsidium di Friburgo. 115 pagg. ([PDF](#))

Ahmari H. & da Silva A.M.F. (2011): Regions of bars, meandering and braiding in da Silva and Yalin's plan. *Journal of Hydraulic Research*, 49:6, 718-727. <https://doi.org/10.1080/00221686.2011.614518>. ([PDF](#))

Bezzola, Gian Reto (2019): Flussbau. Vorlesungsmanuskript. PF Zurigo.

Church, Michael (2006): «Bed Material Transport and the Morphology of Alluvial River Channels». *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 34(1): 325-354.

DCPA, CDCA, UFAM, ARE, UFAG (ed. 2019): Spazio dei corsi d'acqua. Ausilio di lavoro modulare per la definizione e l'utilizzo dello spazio dei corsi d'acqua in Svizzera. ([PDF](#))

Dietrich, W. E., Kirchner J. W., Ikeda H. & Iseya F. (1989). Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers. *Nature* 340(6230): 215-217. <https://doi.org/10.1038/340215a0>.

Friedl F., Kammerer S. Vanzo D., Weitbrecht V., Vetsch D., Boes R. (2017). Grundlagenversuche zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Geschiebefracht und Morphodynamik in Kiesflüssen. Su incarico dell'Ufficio dell'ambiente (UFAM). Rapporto VAW 4348. VAW-PF Zurigo, 89 pagg.

Gessler J. (1965). Der Geschiebetriebbeginn bei Mischungen untersucht an natürlichen Abpflästerungserscheinungen in Kanälen. *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau der ETH Zürich, Hydrologie und Glaziologie*, **69**.

Günter A. (1971). Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen. *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*, **3**. ([PDF](#))

Hanus E., Roulier C., Paccaud G., Bonnard L. & Fragnière Y. (2014): Besoins de valorisation des zones alluviales d'importance nationale. Assainissement du charriage, des débits résiduels, des éclusées. Revitalisation. – Aufwertungsbedarf in den Auen von nationaler Bedeutung - Sanierung von Geschiebehaushalt, Restwasser und Schwall-Sunk. Revitalisierung. Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), Berna. 28 pagg. + allegati. ([PDF](#))

Hunziker R., Niedermayer A., Irrniger A., Lehmann C., Gertsch E. & Heim, G. (2014): Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter. Praxishilfe. Rapporto su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). ([PDF](#))

Leopold, L. B., & Wolman, M. G. (1957). *River channel patterns: braided, meandering, and straight*. US Government Printing Office.

Marti C. (2006): Morphologie von verzweigten Gerinnen. Ansätze zur Abfluss-, Geschiebetransport- und Kolkiefenberechnung. *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*, **199**, 282 pagg. ([PDF](#))

Métivier, F. & L. Barrier (2012). Alluvial Landscape Evolution: What Do We Know About Metamorphosis of Gravel-Bed Meandering and Braided Streams? 474-501.

Montgomery, D. R., & Buffington J. M. (1997): Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* **109.5**, 596-611. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1997\)109%3C0596:CRMIMD%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1997)109%3C0596:CRMIMD%3E2.3.CO;2).

Parker G. (1979). Hydraulic Geometry of Active Gravel Rivers. *Proc. ASCE, J. of Hydr. Div.*, **105(HY9)**, 1185-1201.

Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *CATENA* 22(3), 169- 199.

Schager, E. & Peter A. (2001): Bachforellensömmerlinge Phase I. *Netzwerk Fischrückgang Schweiz Teilprojekt 00/12*: 321 pagg.

Schager, E. & Peter A. (2002): Bachforellensömmerlinge Phase II. *Netzwerk Fischrückgang Schweiz Teilprojekt 01/12*: 224 pagg.

Schager, E. & Peter A. (2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer - Fische Stufe F (flächendeckend). (in tedesco e francese) *BAFU Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz*, **44**: 63 pagg. ([PDF](#))

Schälchli, U. (1992). The clogging of coarse gravel river beds by fine sediment. *Sediment/Water Interactions: Proceedings of the Fifth International Symposium*. B. T.K Hart and P. G. Sly. Dordrecht, Springer Netherlands: 189-197. <https://doi.org/10.1007/BF00026211>.

Schälchli U. (2005): Mathematische Modellierung des Geschiebehaushalts der Thur und des Sitter-Unterlaufs. *VAW 75 JAHRE, Festkolloquium 7. Oktober 2005. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*, **190**, 121-135. ([PDF](#))

Schälchli, U., Breitenstein M. & Kirchhofer A. (2010). Kiesschüttungen zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare – die kieslaichenden Fische freut's. *Wasser Energie Luft* 102/3: 209-213.

Schälchli, U. & Hunzinger, L. (2021): Die erforderliche Geschiebefracht. Fachbericht zum Modul «Geschiebehaushalt – Massnahmen» der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. *Rapporto su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM), divisione Acque*. ([PDF](#))

Schälchli U. & Kirchhofer A. (2012). Risanamento del bilancio in materiale solido di fondo. Pianificazione strategica. Un modulo dell'aiuto all'esecuzione Rinaturazione delle acque Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Pratica ambientale n. 1226: 75 pagg. ([PDF](#))

Schumm, S. A. (1985). Patterns of Alluvial Rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **13**, 5-27.

Schwindt S., Franca M. J., De Cesare G. & Schleiss A. (2016). Gestaltung effizienter Geschiebesammler anhand physikalischer Modellversuche mit Fallbeispiel. 18. *Wasserbausymposium*, Wallgau, Germany, 275-284. ([PDF](#))

Thomas, G., Baumgartner, S., Haertel-Borer, S. (2019): Finanziamento. Scheda 6, V1.02. In: Controllo dell'efficacia delle rivalitizzazioni – Impariamo insieme per il futuro. Ufficio federale dell'ambiente UFAM, Berna, 2020.

UFAM (2014): Adattamento ai cambiamenti climatici in Svizzera. Piano d'azione 2014–2019. Seconda parte della strategia del Consiglio federale del 9 aprile 2014. ([PDF](#))

UFAM (2016): Risanamento ecologico degli impianti idroelettrici esistenti. Finanziamento delle misure. Un modulo dell'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque». Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Pratica ambientale n. 1634: 51 pagg. ([PDF](#))

UFAM (2018): Manuale Accordi programmatici nel settore ambientale 2020-2024. Comunicazione dell'UFAM quale autorità esecutiva ai richiedenti. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Pratica ambientale n. 1817: 294 pagg. ([PDF](#))

UFAM (ed.) (2020): Controllo dell'efficacia delle rivitalizzazioni – Imparare insieme per il futuro. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. ([PDF](#))

UFAM (ed.) (2023): Determinazione della larghezza del letto naturale dei corsi d'acqua. Ufficio federale dell'ambiente, Berna ([PDF](#))

UFAM ed EAWAG (ed.) 2006: Ökomorphologie Stufe S (systembezogen). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer gemäss dem Modul-Stufen-Konzept. Entwurf. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. 72 pagg. ([PDF](#)) (in tedesco e francese)

UFPT, UFAPP e UFAEG (2005): Raccomandazioni concernenti la pianificazione del territorio e i pericoli naturali. ([PDF](#)) (in tedesco e francese, con riassunto in italiano)

VAW (2011, non pubblicato): Alpenrhein Internationale Strecke. Nachhaltiger Hochwasserschutz auf der Flussstrecke der Internationalen Rheinregulierung. Machbarkeitsuntersuchung (11.7.2011). Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. VAW 4262-4. *Im Auftrag der Internationalen Rheinregulierung.*

Yalin S. & da Silva A.M.F. (2001): Fluvial processes. *IAHR Monograph, IAHR International Association of Hydraulic Engineering and Research*, Delft, The Netherlands.

Zurwerra A, Meile T. & Käser S. (2016): Künstliche Hochwasser. Massnahme zur Beseitigung ökologischer Beeinträchtigungen in Restwasserstrecken unterhalb von Speicherseen. Auslegeordnung Grundlagen & Handlungsbedarf. Su incarico dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM). ([PDF](#))

Allegato C – Contenuto di una decisione di risanamento

Per le decisioni di risanamento emanate dall'autorità cantonale e destinate ai detentori di impianti, si raccomandano i seguenti requisiti minimi:

- ordine di risanamento, ossia definire chiaramente l'obbligo di risanamento (art. 42c cpv. 2 OPAC), con riferimento alle pianificazioni strategiche decise;
- obbligo di elaborare un progetto di risanamento che preveda obiettivi di risanamento possibilmente concreti (tipo ed entità);
- scadenze entro le quali pianificare e attuare le misure (ossia presentazione di un dossier soggetto ad autorizzazione);
- invito a elaborare un piano di controllo dell'efficacia; poiché occorre documentare lo stato iniziale dei corsi d'acqua ancora prima dell'attuazione delle misure, è opportuno elaborare tale controllo già nel quadro della progettazione;
- indicazioni sulla necessità di coordinamento delle misure nel bacino imbrifero.

Se lo studio eseguito dal Cantone sulla tipologia e sull'entità delle misure non propone una decisione sulla variante da adottare, ma prevede che sia il detentore dell'impianto idroelettrico a dover condurre lo studio della variante, la decisione deve inoltre contenere:

- il termine ultimo per presentare la proposta di variante migliore;
- la regolamentazione relativa alla decisione della variante migliore.

Allegato D – Approcci per la determinazione del carico di fondo nello stato attuale e allo stato seminaturale

Di seguito vengono presentate sei procedure di determinazione del carico di fondo (tab. Tabella 0-1). La qualità delle basi deve essere sempre controllata per verificarne la plausibilità. I parametri a cui il carico di fondo reagisce in modo molto sensibile (ad es. la granulometria del materiale solido di fondo) devono essere rilevati con la massima cura e precisione possibile.

Approccio 1 «Statistiche dei prelievi»: prevede l'analisi dei dati disponibili su prelievi di ghiaia (da corsi d'acqua, camere di ritenuta ecc.) e depositi nei laghi (incremento del delta). Attraverso i prelievi di ghiaia è spesso possibile stimare il carico dei sottobacini imbriferi con un alto grado di precisione. Questi carichi possono anche fungere da valori di calibrazione per bacini imbriferi limitrofi con caratteristiche simili (approccio 3). Basandosi sull'incremento del delta o sui prelievi di ghiaia nei laghi presso le foci (Reno alpino, Linth), è possibile determinare il carico di fondo di intere reti idrografiche.

Approccio 2 «Analisi dei processi»: prevede la stima del volume solido mobilizzabile sul campo. In questo caso si determinano i carichi degli eventi (con HQ_{300} , HQ_{100} , HQ_{30} , HQ_{10} , HQ_2) nei tributari laterali, per convertirli successivamente in carichi medi annuali. In presenza di corsi d'acqua più lunghi, occorre tenere conto dell'abrasione. Il metodo fornisce risultati consolidati. La procedura è descritta in Hunziker *et al.* (2014). Se sono disponibili prelievi di ghiaia in sottobacini imbriferi (approccio 1), i risultati dell'approccio 2 possono essere controllati per verificarne la plausibilità e aumentarne così la precisione.

Approccio 3 «Corsi d'acqua paragonabili»: prevede il trasferimento del carico di fondo di corsi d'acqua paragonabili al (sotto)bacino imbrifero da esaminare o la verifica della plausibilità del carico di fondo determinato nel perimetro di indagine. Si tratta di confrontare e valutare le caratteristiche dei bacini imbriferi determinanti per il volume solido mobilizzabile (rilievo, geologia, geomorfologia, vegetazione, percentuale di materiale sciolto, connettività con l'alveo ecc.). In genere si stima il carico di fondo specifico tenendo conto delle dimensioni del bacino imbrifero.

Approccio 4 «Tratti chiave»: prevede il calcolo del carico di fondo in tratti chiave, ossia tratti di corsi d'acqua con la minore capacità di trasporto solido all'interno di un perimetro di osservazione. In questo caso si calcola il carico di fondo trasportabile per un profilo trasversale o un tratto. Per i corsi d'acqua che si trovano in uno stato di equilibrio rispetto al trasporto solido, il carico calcolato corrisponde al carico di fondo effettivo. Per i corsi d'acqua in stato di erosione latente, i carichi calcolati rappresentano solo un valore limite superiore. Il calcolo del carico di fondo trasportabile è soggetto a grandi incertezze. Di conseguenza, si raccomanda di adottare l'approccio 4 solo se un corso d'acqua si trova in evidente stato di equilibrio e i parametri sensibili possono essere determinati in modo affidabile.

Approccio 5 «Alterazioni del fondo»: prevede l'analisi delle alterazioni del fondo nel corso di vari anni. Con questo metodo si determina la variazione del carico di fondo in direzione della corrente e non il carico assoluto. Il metodo si presta a determinare il profilo longitudinale del carico di fondo in lunghi tratti in sovralluvionamento o in erosione, partendo da un carico noto nei corsi d'acqua a monte o a valle. Va osservato che il carico di fondo che ne risulta caratterizza solo lo stato del corso d'acqua nel periodo tra le misurazioni considerate, ossia perlopiù nello stato in cui sono presenti impianti quali opere di sistemazione dei corsi d'acqua, centrali elettriche, prelievi di ghiaia ecc., e non allo stato seminaturale.

Approccio 6 «Modellazioni matematiche»: prevede la derivazione del profilo longitudinale del carico di fondo sulla base di modellazioni morfologiche. Gli apporti di materiale solido nel modello sono selezionati in modo da riprodurre le alterazioni del fondo tra due misurazioni il più accuratamente possibile. Oltre ai dati di base (profili trasversali, idrogramma), spesso disponibili con un alto grado di precisione, occorre prestare grande attenzione al parametro sensibile della granulometria. Inoltre, in presenza di modelli con diversi approcci di calcolo (formula di trasporto, tensione di trascinamento), il carico di fondo che ne risulta può variare notevolmente. È consigliabile utilizzare modelli con impostazioni già calibrate e testate su corsi d'acqua con carico noto (ad es. prelievo completo di ghiaia, deposito nel delta).

In linea di principio, per determinare il carico di fondo si dovrebbe adottare una combinazione di più approcci, poiché ciò consente di ottenere una maggiore precisione. A seconda delle dimensioni del bacino imbrifero e dell'onere richiesto, si può ad esempio adottare la seguente combinazione:

- stima approssimativa del carico di fondo con metodo rapido: approcci 1 e 3 (combinazione consigliata solo per bacini imbriferi di piccole e medie dimensioni di scarsa rilevanza);
- determinazione consolidata del carico di fondo con onere medio: approcci 1, 2 e 3 (combinazione consigliata per bacini imbriferi di qualsiasi dimensione);
- determinazione affidabile e ridondante del carico di fondo con onere rilevante: approcci 1, 2, 3 e 6, eventualmente integrati con gli approcci 4 e 5.

Tabella 0-1: Approcci per la determinazione del carico di fondo. Le percentuali indicano lo scostamento ottenibile (+/-) rispetto al valore probabile.

N.	Approccio	Basi	Parametri sensibili (e accuratezza della determinazione)	Onere, valutazione e vantaggi dell'approccio	Precisione del carico di fondo ¹
1	Statistiche di prelievo	Volumi prelevati nel corso di più anni Misurazioni, fotografie aeree ecc.	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilità (anni) e affidabilità (10-40 %) dei dati • Stima della percentuale di carico totale / Continuità del trasporto solido (10-40 %) • Percentuale di sedimenti fini (10-30 %) 	Onere basso Se i dati sono disponibili, l'analisi è obbligatoria	buona
2	Analisi dei processi	Rilevamenti sul campo, cartine, fotografie aeree ecc.	<ul style="list-style-type: none"> • Riconoscimento dei processi rilevanti • Stima del volume delle fonti di materiale solido di fondo (20-40 %) • Percentuale di sedimenti fini (10-30 %) • Abrasione (10-30 %) 	Onere medio Fornisce risultati consolidati Applicazione altamente consigliata	buona
3	Corsi d'acqua paragonabili	Dati provenienti da bacini imbriferi con caratteristiche simili a quelle del bacino in esame, per il quale sono disponibili dati consolidati e verificati sul carico di fondo	<ul style="list-style-type: none"> • Caratterizzazione del bacino imbrifero • Trasferibilità 	<ul style="list-style-type: none"> • Onere basso • Applicazione altamente consigliata • Consente di verificare la plausibilità degli altri metodi 	media
4	Tratti chiave	<ul style="list-style-type: none"> • Profili trasversali • Pendenza • Curva di durata • Granulometria • Rugosità 	<ul style="list-style-type: none"> • Curva di durata delle portate • Granulometria • Pendenza • Formula di trasporto 	Onere da basso a medio Fornisce solo il valore limite superiore (capacità di trasporto) -> Il carico può essere limitato L'applicazione è consigliata solo per tratti in stato di equilibrio o in sovralluvionamento	media
5	Alterazioni del fondo	<ul style="list-style-type: none"> • Profili trasversali • Misurazioni di almeno due anni diversi 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparabilità dei profili (larghezza ecc.) • Portate nel periodo che intercorre tra le misurazioni del profilo trasversale 	Onere da basso a medio Non determina un carico assoluto, ma solo una sua variazione in direzione della corrente Può essere utile nei tratti di grandi corsi d'acqua in sovralluvionamento o in erosione	buona
6	Modellazioni matematiche	<ul style="list-style-type: none"> • Profili trasversali di almeno 2 misurazioni • Idrogramma del periodo di calcolo • Granulometria • Rugosità • Prelievi di ghiaia 	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometria materiale solido di fondo (5-20 %) • Granulometria del fondo (5-20 %) • Formula di trasporto (fino al 50 %) • Idraulica, tensioni di trascinamento (fino al 30 %) • Qualità della calibrazione, scostamenti situazione teorica / effettiva (fino al 20 %) 	Onere elevato Con carico di fondo noto (prelievi di ghiaia, bacino di accumulazione, delta ecc.), possibilità di buona calibrazione In caso contrario, è obbligatorio determinare in modo affidabile la granulometria rilevante -> poiché le varianti per il calcolo del carico di fondo sono molte, bisogna prevedere notevoli differenze a seconda degli utenti e dei modelli	da media a buona

¹ La precisione assoluta dipende in larga misura dall'affidabilità delle informazioni di base e dalla possibilità più o meno buona di determinare i parametri sensibili.

Allegato E – Procedura di determinazione del carico di fondo necessario

E.1 Introduzione

Il presente allegato spiega la procedura volta a determinare il carico di fondo necessario per raggiungere gli obiettivi fissati per il corso d'acqua. I metodi sono stati sviluppati nel quadro dell'elaborazione del modulo di aiuto all'esecuzione. Sono descritti in dettaglio con la relativa derivazione in Schälchli e Hunzinger (2021), mentre nel presente allegato vengono illustrati solo nella misura necessaria a comprenderne l'applicazione.

E.2 Metodo della «forma dell'alveo»

E.2.1 Concezione del metodo

Quello della «forma dell'alveo» è il metodo principale utilizzato per determinare il carico di fondo necessario a raggiungere gli obiettivi morfologici. Si basa sulla correlazione tra il carico di fondo e la larghezza, quindi la forma dell'alveo di un corso d'acqua con trasporto solido. Maggiore è il carico di fondo, più è largo un corso d'acqua¹, con conseguente maggiore ramificazione a parità di portata e di pendenza.

Si tratta quindi di individuare il carico di fondo con cui un corso d'acqua può raggiungere una larghezza e una forma dell'alveo simili allo stato naturale. Il presente metodo indica il carico di fondo necessario come percentuale del carico allo stato seminaturale. La derivazione dei valori percentuali si basa sulle formule ricavate in Schälchli e Hunzinger (2021) e sulla loro applicazione a più di 30 corsi d'acqua campione (fig. Figura 01).

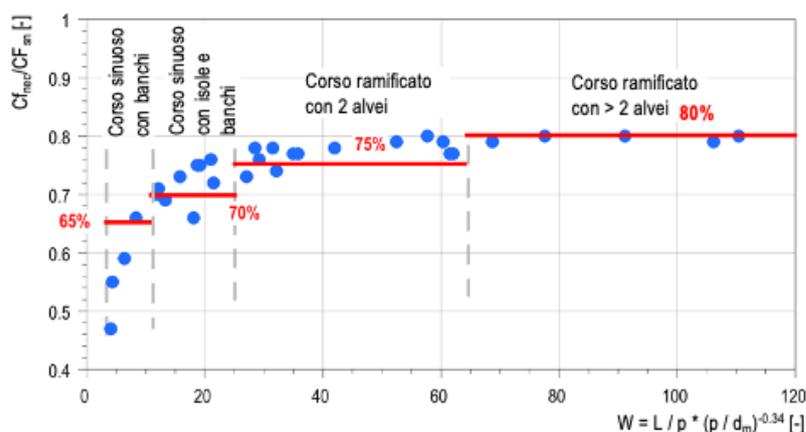


Figura 01 > Rapporto tra il carico di fondo necessario e il carico di fondo allo stato seminaturale in funzione della forma dell'alveo per 30 corsi d'acqua secondo Schälchli e Hunzinger (2021).

¹ Se lo sviluppo in larghezza non è limitato da versanti delle valli o da opere di sistemazione dei corsi d'acqua.

E.2.2 Procedura

Per la valutazione sono necessarie le seguenti informazioni di base:

- cartine storiche (prime cartine in scala) e piani di correzione, prime fotografie aeree;
- carico di fondo nello stato attuale (derivato da studi sul bilancio in materiale solido di fondo, pianificazione del risanamento del bilancio in materiale solido di fondo fase I, rilievi sul campo);
- carico di fondo allo stato seminaturale (carico di fondo nello stato attuale con relativa modifica dovuta agli impianti esistenti).

Fase 1 – Forma dell'alveo

Le cartine storiche, i piani di correzione e le prime fotografie aeree sono utilizzati per determinare visivamente la forma dell'alveo allo stato seminaturale. Si distingue tra le forme dell'alveo della figura **Error! Reference source not found.**

Classificazione critica delle cartine storiche

Le cartine storiche mostrano lo stato di un corso d'acqua al momento della ripresa. Nell'utilizzare tali cartine, occorre fare attenzione ai seguenti punti:

- La cartina mostra uno stato del corso d'acqua con larghezza non ridotta oppure la larghezza e la forma dell'alveo sono già state modificate da opere di sistemazione?
- La zona dinamica (zona bagnata, banchi di ghiaia senza/con vegetazione pioniera) può essere facilmente distinta dalla zona limitrofa (bosco, prati da strame, zone umide)? La distinzione è plausibile?
- Quali modifiche della larghezza e della forma dell'alveo mostrano le cartine storiche di vari anni? Le differenze sono dovute a interventi antropici o alla storia delle piene?
- Sono riconoscibili segni di migrazione negli alvei sinuosi?
- Qual è l'oscillazione della larghezza dell'alveo in direzione della corrente? La larghezza è ridotta da forme geomorfologiche (coni alluvionali, coni di frana, versanti delle valli)?

Grazie alla corrispondente analisi delle cartine storiche, è possibile ricavare lo stato seminaturale ed evitare interpretazioni errate.

Se necessario, si può verificare la plausibilità della forma dell'alveo utilizzando il diagramma di Ahmari & Da Silva modificato (fig. Figura 0-2) e classificarla nell'area di transizione tra due forme. A tal fine sono necessarie le seguenti variabili di input: larghezza dell'alveo B allo stato seminaturale, pendenza del fondo, deflusso che determina l'alveo HQ_2 e granulometria caratteristica (d_{90} , d_m) del materiale di fondo. Mediante un calcolo di portata usuale in un alveo rettangolare con rugosità delle sponde $k_{St(sponde)} = 21 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ e del fondo $k_{St(fondo)} = 21/d_{90}^{1/6}$, si determinano la profondità di deflusso h e successivamente la larghezza relativa L/h come pure la profondità di deflusso relativa h/d_m .

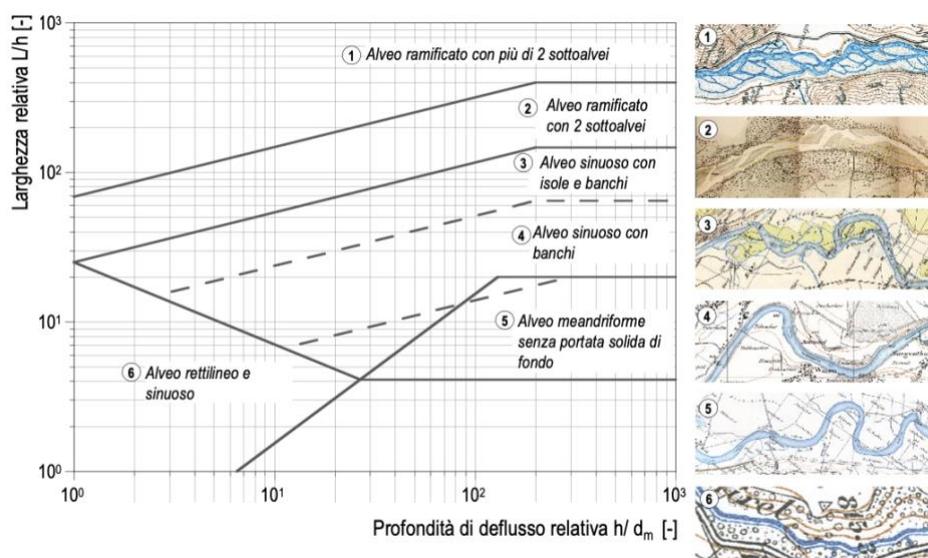


Figura 0-2 > Diagramma Ahmari & da Silva modificato per delimitare varie forme di alveo in funzione della profondità di deflusso e della larghezza relative.

Fase 2 – Carico di fondo necessario

Il carico di fondo necessario CF_{nec} viene determinato come percentuale del carico di fondo allo stato seminaturale CF_{nn} . Si applicano i valori della tabella Tabella 0-1 in funzione della forma dell'alveo.

Tabella 0-1 > Approccio semplificato. Rapporto tra il carico di fondo necessario (CF_{nec}) e il carico di fondo allo stato seminaturale (CF_{nn}).

Forma dell'alveo allo stato seminaturale	CF_{nec} / CF_{nn}
Corsi d'acqua ramificati con più di 2 alvei	0,80
Corsi d'acqua ramificati con 2 alvei	0,75
Corsi d'acqua sinuosi con isole e banchi	0,70
Corsi d'acqua sinuosi con banchi	0,65
Corsi d'acqua da rettilinei a sinuosi ($J > 3\%$)	0,65

Per i corsi d'acqua con più ramificazioni ciò equivale all'80 per cento del carico allo stato seminaturale, per i corsi d'acqua ramificati al 75 per cento, per i corsi d'acqua sinuosi con isole e banchi al 70 per cento, per i corsi d'acqua sinuosi con banchi nonché per i corsi d'acqua da rettilinei a sinuosi al 65 per cento. Questo dimostra che la forma dell'alveo di sistemi ramificati è più sensibile all'estrazione di materiale solido di fondo rispetto alla forma dell'alveo di corsi d'acqua sinuosi e rettilinei.

Negli alvei con pendenza superiore al 3 per cento, la forma dell'alveo non dipende tanto dal livello del carico di fondo quanto dalle condizioni topografiche (forte pendenza, versanti delle valli geologicamente predeterminati). La forma dell'alveo va da sinuosa a rettilinea. Ciò che cambia in caso di deficit di apporto solido è soprattutto la composizione del substrato e le forme locali del fondo nel profilo longitudinale. Secondo un approccio pragmatico, si può presumere che la composizione del substrato e i depositi di ghiaia non abbiano subito un pregiudizio sensibile se il carico di fondo è ≥ 65 per cento del carico allo stato seminaturale.

E.3 Metodo del «substrato»

E.3.1 Distribuzione dei tipi di substrato e colmatazione

Il substrato è descritto dalla variabilità dei tipi di substrato sulla superficie e dalla colmatazione interna (cfr. cap. 3.2.3). La variabilità dei tipi di substrato sulla superficie del fondo è il risultato dei processi di trasporto e deposito. Si valutano i tipi di substrato presenti e il grado di colmatazione del fondo. La colmatazione interna è causata dall'infiltrazione di sedimenti fini e viene nuovamente ridotta attraverso lo spostamento del fondo dell'alveo (decolmatazione). Nella valutazione occorre tenere conto delle caratteristiche geologiche, glaciali e idrologiche del bacino imbrifero, poiché influenzano significativamente il substrato e la colmatazione.



Figura 0-3 > Strutture morfologiche di piccole dimensioni con vari tipi di substrato. A sinistra: stato seminaturale (il Brenno presso Castro). A destra: stato con deficit di apporto solido (la Sihl presso Finsterseebrugg). Foto Flussbau AG SAH.

Dinamica del substrato

La dinamica delle microstrutture si manifesta con una decolmatazione del fondo dell'alveo e una modifica nella composizione locale del substrato. Quando lo strato di copertura si mobilizza, si ha una decolmatazione del fondo dell'alveo e la permeabilità del substrato raggiunge un valore massimo; di conseguenza, la colmatazione interna del fondo è un parametro idoneo a valutare la dinamica del substrato. Una variazione significativa nella composizione del substrato a livello locale richiede in genere una migrazione dell'alveo o uno spostamento dei banchi.

E.3.2 Procedura

Per la valutazione sono necessarie le seguenti informazioni di base:

- mappatura dei tipi di substrato e del grado di colmatazione interna;
- modello di valutazione per la distribuzione dei tipi di substrato e delle classi di colmatazione interna (fig. E-4).

Fase 1 – Tipi di substrato

Rilevare la quota di superficie dei cinque tipi di substrato sul campo, mappando l'intera area o effettuando i rilievi in più transetti. I rilievi avvengono in condizioni di portata ridotta e comprendono anche zone bagnate visibili del fondo. Per ogni tipo di substrato si determinano le quote di superficie in percentuale, riportandole nell'istogramma. Si valuta la distribuzione della presenza dei cinque tipi di substrato sulla base dei modelli della figura E-5.

Fase 2 – Colmatazione interna del fondo

Rilevare la quota di superficie dei cinque gradi di colmatazione sul campo in più transetti. I rilievi avvengono in condizioni di portata ridotta e comprendono zone asciutte del fondo. Per ogni grado di colmatazione si determinano le quote di superficie in percentuale, riportandole nell'istogramma. Si valuta la distribuzione della presenza dei cinque gradi sulla base dei modelli della figura E-5.

Fase 3 – Valutazione della necessità di aumentare il carico di fondo

Le distribuzioni dei tipi di substrato e dei gradi di colmatazione classificate nelle fasi 1 e 2 vengono riportate nella matrice della figura E-5, determinando così il relativo campo di intersezione. Se si ottengono campi di intersezione blu o verdi, il carico e la dinamica di fondo sono sufficienti. Nel caso i campi siano gialli, il carico di fondo dovrebbe essere possibilmente incrementato, mentre tale incremento diventa obbligatorio se i campi sono rossi. Adeguando il carico di fondo, la valutazione del substrato si sposta in alto a sinistra.

Le aree E e F di colore rosa e viola rappresentano tratti di corsi d'acqua generalmente caratterizzati da altri processi. Ad esempio, le aree E possono riferirsi a tratti interessati da fenomeni di erosione, le aree F a tratti in sovralluvionamento. Le cause possono essere di origine naturale o antropica ed è necessario accertarle.

Fase 4 – Aumento necessario del carico di fondo

In base alla valutazione della fase 3, è possibile esaminare la modifica del bilancio in materiale solido di fondo sul piano qualitativo e delimitare l'entità delle misure di risanamento. Se nella matrice di valutazione il tratto di un corso d'acqua si trova in basso a destra, la portata solida di fondo deve essere aumentata in modo consistente. Più il tratto del corso d'acqua si situa in alto a sinistra, maggiore è la possibilità che il piano di misure si limiti a un aumento moderato della portata solida di fondo.

Poiché non si conosce la distribuzione dei tipi di substrato e la colmatazione interna del fondo allo stato seminaturale, questo metodo non consente di quantificare il carico di fondo necessario.

Colmatazione \ Tipi di substrato	Tipi di substrato				
	molto buono	buono	mediocre	insoddisfacente	cattiva
molto buona	A	B	C	E	F
buona	D	E	F	G	H
mediocre	I	J	K	L	M
insoddisfacente	N	O	P	Q	R
cattiva	S	T	U	V	W

- A Portata solida di fondo elevata, dinamica elevata
- B Portata solida di fondo ridotta, dinamica elevata
- C Portata solida di fondo elevata, dinamica ridotta
- D Deficit di apporto solido
- E Accertamento cause, ad es. corsi d'acqua ad azione erosiva
- F Accertamento cause, ad es. zona di ristagno

Figura 0-4 > Matrice di valutazione del bilancio in materiale solido di fondo fase 3: substrato. Blu e verde: nessuna misura. Giallo: possibili misure. Rosso: misure obbligatorie. E e F: necessità di accertamento delle cause.

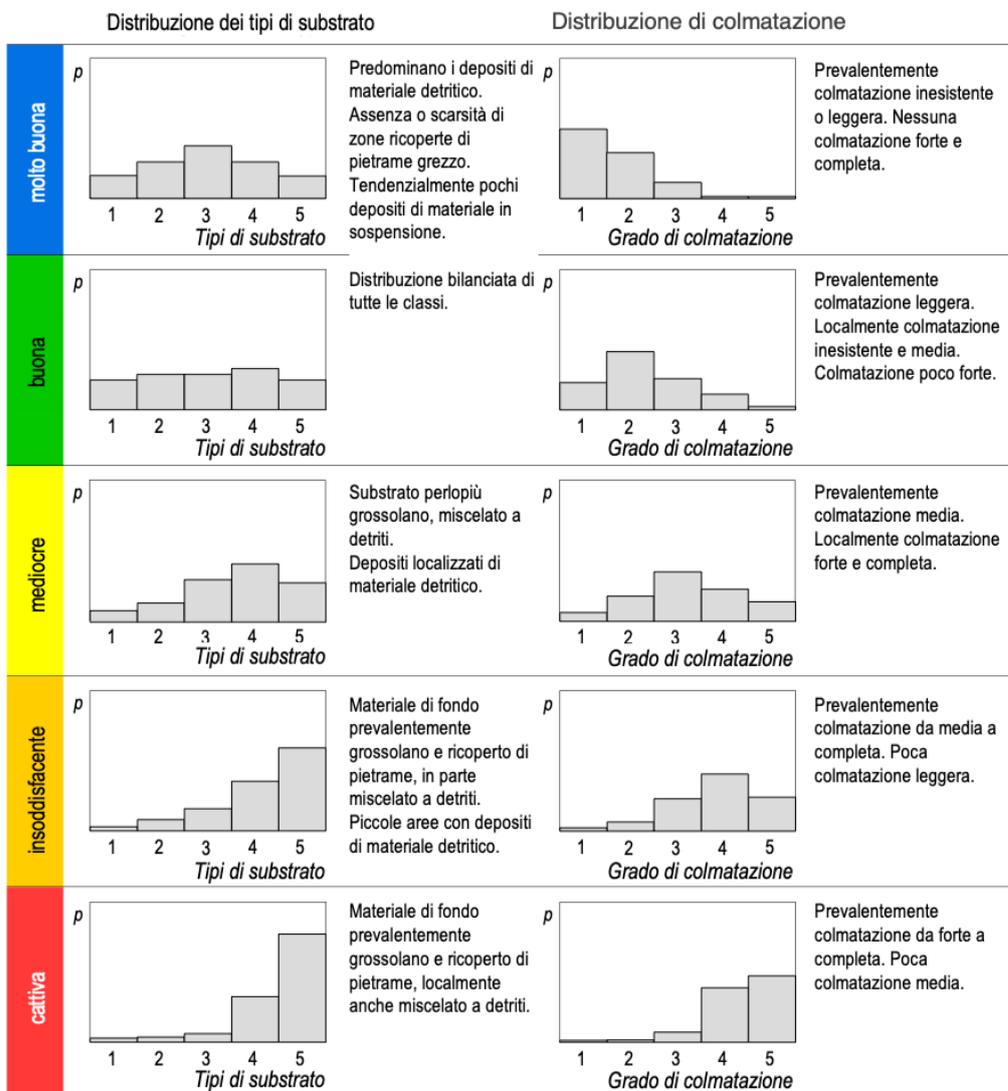


Figura 0-5 > Valutazione della distribuzione dei tipi di substrato e del grado di colmatazione. Le curve di distribuzione sono rappresentate schematicamente; le distribuzioni assolute dipendono naturalmente dalle caratteristiche del bacino imbrifero.

E.4 Metodo del «livello di fondo»

E.4.1 Nota preliminare

Se si raggiunge il carico necessario determinato con il metodo della «forma dell'alveo», si può presumere che il regime delle acque sotterranee e la protezione contro le piene non siano significativamente influenzati dalla modifica del bilancio in materiale solido di fondo, per cui è inutile applicare il metodo del «livello di fondo».

E.4.2 Metodo del «livello di fondo» per l'obiettivo del regime delle acque sotterranee

Rilevanza sul piano idrogeologico

Per le falde freatiche, collegate ai corsi d'acqua dal punto di vista idraulico, il livello dell'acqua di tali corsi e la permeabilità del fondo rivestono grande importanza. Le correzioni e le opere di sistemazione dei corsi d'acqua hanno modificato notevolmente questi due aspetti, influenzando così anche il livello delle falde freatiche e il regime delle acque sotterranee. Nella gran parte dei casi, a seguito dell'aumento dell'erosione e della colmatazione del fondo, il livello delle falde si è abbassato, comportando il prosciugamento di sorgenti limnocene e prati umidi nonché l'abbassamento di suoli torbosi. Nell'ambito degli usi di acque sotterranee, delle costruzioni e delle infrastrutture, l'orientamento frequente si è basato su questo stato influenzato da interventi antropici, ragione per cui il ripristino di condizioni prossime allo stato naturale è spesso possibile solo in misura limitata.

Procedura

Per la valutazione sono necessarie le seguenti informazioni di base:

- cartine delle acque sotterranee;
- cartine degli inventari delle zone golenali;
- osservazioni sul campo delle alterazioni del fondo (tracce di erosione o di sovralluvionamento del fondo);
- profilo longitudinale del talweg del fondo dell'alveo prima e dopo la realizzazione di impianti che possono aver modificato in maniera sensibile il bilancio in materiale solido di fondo;
- osservazioni del livello delle falde freatiche prima e dopo la realizzazione di impianti che possono aver modificato in maniera sensibile il bilancio in materiale solido di fondo.

Fase 1 – Falde freatiche

Si accerta se nel tratto del corso d'acqua sono presenti falde freatiche rilevanti o zone golenali inventariate. In caso contrario, il criterio non si applica.

Fase 2 – Pregiudizio del bilancio in materiale solido di fondo

Si valuta se nei tratti di corsi d'acqua non soggetti a restringimento della larghezza dell'alveo la quota del talweg sia variata in modo significativo a seguito di una modifica del bilancio in materiale solido di fondo. Se l'ispezione sul campo e l'analisi di eventuali misurazioni del fondo disponibili rimandano a processi corrispondenti, è necessario accertare i seguenti aspetti di natura idrogeologica:

- Il livello della falda freatica è cambiato in modo significativo a seguito della variazione del livello di fondo?
- Tale cambiamento ha comportato un pregiudizio sensibile del regime delle acque sotterranee²?

Se la risposta è affermativa in entrambi i casi, è necessario un intervento di risanamento.

Fase 3 – Determinazione del carico di fondo necessario

Qualora il regime delle acque sotterranee sia pregiudicato in maniera sensibile da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo, occorre eseguire modellazioni morfologiche con vari carichi di fondo in lunghi tratti fluviali. Basandosi sui risultati di calcolo, è possibile specificare il carico necessario a stabilizzare il fondo, il quale viene limitato (verso l'alto) dal carico allo stato seminaturale.

² In assenza di modellazioni complete, valutare se il regime delle acque sotterranee sia pregiudicato in maniera sensibile da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo è possibile solo per tratti di corsi d'acqua non soggetti a restringimento della larghezza dell'alveo.

E.4.3 Metodo del «livello di fondo» per l'obiettivo di protezione contro le piene

Rilevanza

Un livello di fondo stabile, con un margine di oscillazione accettabile, ma senza tendenza al sovralluvionamento o all'erosione, riveste grande importanza per la protezione contro le piene, poiché consente di evitare sia erosioni di fondo, con conseguente pericolo per impianti quali protezioni di sponda e ponti, sia sovralluvionamenti, che riducono eccessivamente la capacità di deflusso.

Procedura

Fase 1 – Rappresentazione dei profili longitudinali

Rappresentare il profilo longitudinale del fondo nello stato attuale e allo stato seminaturale, come pure il profilo longitudinale del fondovalle.

Fase 2 – Confronto dei profili longitudinali

Si valuta la necessità di aumentare il carico di fondo, mettendo a confronto la pendenza longitudinale dei profili nello stato attuale e allo stato seminaturale con la pendenza di valle. Se la pendenza del fondo nello stato attuale è notevolmente inferiore rispetto allo stato seminaturale nonché alla pendenza di valle, sussiste un pregiudizio sensibile della protezione contro le piene dovuta alla riduzione del carico di fondo. Poiché il trasporto solido di fondo reagisce maggiormente alle variazioni di pendenza, anche scostamenti minimi possono essere significativi.

Fase 3 – Determinazione del carico di fondo necessario

Qualora la protezione contro le piene sia pregiudicata in maniera sensibile da una modifica del bilancio in materiale solido di fondo, occorre eseguire modellazioni morfologiche con vari carichi di fondo in tratti fluviali che siano più lunghi possibile. Basandosi sui risultati, è possibile specificare il carico necessario a stabilizzare il fondo, il quale viene limitato (verso l'alto) dal carico allo stato seminaturale.

Allegato F – Note sulla pianificazione, progettazione e attuazione dei singoli tipi di misure

Di seguito si forniscono indicazioni di pianificazione e progettazione in merito a singole misure edili (da M 1.1 a M 1.12) e di esercizio (da M 2.1 a M 2.6).

- M 1.1 **Trasformazione dello sbarramento** in modo che, in caso di piena, il materiale solido di fondo possa essere trasportato attraverso la soglia dello sbarramento. Il trasporto solido di fondo attraverso tale soglia può causarne l'abrasione. Occorre tenere conto del rischio di ostruzioni causate da materiale galleggiante.
- M 1.2 **Trasformazione dello scaricatore di fondo** in modo che, in caso di piena, con l'abbassamento del livello di invaso, il materiale solido possa essere trasportato attraverso lo scaricatore. Questa misura è possibile nonché opportuna solo per altezze di invaso molto contenute, mentre in presenza di grandi impianti di accumulazione, il bacino dovrebbe essere completamente svuotato. Di conseguenza, questa misura deve essere applicata in combinazione con la misura di esercizio «Prosciugamento e spurgo», tenendo conto dell'effetto di una maggiore concentrazione di materiale in sospensione nei corsi d'acqua a valle (torbidità, colmatazione). Il trasporto solido attraverso lo scaricatore di fondo può causare un'abrasione dell'impianto.
- M 1.3 Costruzione di un'**opera di deviazione** (galleria, alveo) del materiale solido di fondo. Il trasporto solido di fondo attraverso una galleria può causarne l'abrasione. Occorre tenere conto del rischio di ostruzioni causate da materiale galleggiante.
- M 1.4 **Trasformazione dell'opera di sbocco** in modo che le acque del bacino vengano riversate solo durante rare portate di piena. Le piene minori ricorrenti devono poter fluire attraverso il bacino senza ritenzione. Il PF di Losanna ha condotto ricerche sulla continuità del trasporto solido delle camere di ritenuta, pubblicando le relative basi di misurazione (ad es. Schwindt *et al.*, 2016).
- M 1.5 **Costruzione di una cunetta di scarico nella camera di ritenuta** con sufficiente capacità di trasporto solido di fondo in caso di eventi di piena minori. In questo modo, il materiale solido si deposita solo in caso di grandi portate di piena, quando la cunetta trabocca. Nel corso dell'esercizio bisogna fare attenzione a pulire eventualmente la cunetta di scarico dai depositi accumulatisi dopo eventi di piena di media intensità, anche se nella camera vi è ancora spazio sufficiente di deposito per i grandi eventi di piena. La misura può essere attuata in combinazione con M 1.4. Il PF di Losanna ha condotto ricerche sulla continuità del trasporto solido delle camere di ritenuta, pubblicando le relative basi di misurazione (ad es. Schwindt *et al.*, 2016).
- M 1.6 **Adeguamento della disposizione di briglie a pettine.** In un'opera di ritenuta del materiale solido di fondo o del legname galleggiante è possibile disporre le briglie a pettine solo in una parte della sezione di deflusso, in modo che il materiale possa transitare nella sezione libera.
- M 1.7 **Misure edili di protezione contro le piene** lungo i corsi d'acqua. Le misure edili di protezione contro le piene (come gli argini) rappresentano un'alternativa permanente ai prelievi di ghiaia.

- M 1.8 **Smantellamento di opere trasversali**, consentendo l'erosione di fondo. Con la rimozione delle soglie, il livello di fondo si abbassa. È possibile tollerare una pendenza longitudinale più elevata, che consente un transito maggiore di materiale solido di fondo. Non è più necessario prelevare ghiaia per la protezione contro le piene o lo è solo in misura minore. Questa misura è adatta al tratto superiore dei corsi d'acqua dell'Altopiano o delle Prealpi. Per i torrenti alpini spesso non esiste un'alternativa adeguata alla stabilizzazione del fondo mediante opere trasversali. A titolo di misura edile complementare, si dovrebbero eventualmente adeguare le fondazioni delle protezioni di sponda.
- M 1.9 **Smantellamento di protezioni di sponda**, consentendo l'erosione laterale. A seguito di un'erosione laterale, la portata solida di fondo in un corso d'acqua aumenta solo laddove l'erosione riesce a mobilitare ghiaia proveniente da una terrazza ghiaiosa alta, un cono alluvionale o una parete di puddinga. In caso di erosione di una scarpata di sponda bassa di tipo alluvionale, il materiale solido di fondo si deposita sulla sponda opposta al punto di erosione, in modo da bilanciare l'equilibrio complessivo.
- M 1.10 **Eliminazione di restringimenti dell'alveo**. I restringimenti che causano il deposito di materiale solido di fondo a seguito di ritenzione durante le piene, possono essere eventualmente eliminati.
- M 1.11 **Realizzazione di una zona di sedimentazione in un corso secondario**. Con il deposito mirato di materiale solido di fondo a monte del punto di prelievo, ad esempio in una zona di sedimentazione realizzata in un corso secondario, è possibile ridurre il carico di materiale di un tratto di corso d'acqua in caso di grandi portate di piena.
- M 1.12 **Smantellamento dell'impianto**. Una misura ipotizzabile per ogni tipo di impianto è anche il suo smantellamento, qualora tale misura sia proporzionata.
- M 2.1 **Abbassamento del livello di invaso in caso di piena**. Questa misura è adatta a opere di sbarramento in cui il materiale solido di fondo può essere trasportato attraverso la soglia. All'occorrenza, l'impianto deve essere smantellato (M 1.1). Il trasporto solido di fondo attraverso tale soglia può causarne l'abrasione. Occorre tenere conto del rischio di ostruzioni causate da materiale galleggiante.

La pianificazione può prevedere i passaggi di seguito indicati:

- 1) verificare la fattibilità tecnica;
- 2) determinare le condizioni quadro per gli abbassamenti del livello di invaso;
- 3) determinare l'efficacia degli scenari di abbassamento;
- 4) eseguire test pilota.

Le condizioni quadro suscettibili di influenzare gli abbassamenti del livello di invaso sono: il regolamento di manovra delle paratoie in vigore, la stabilità delle scarpate di sponda, la mobilitazione di inquinanti provenienti dal bacino di accumulazione, il prosciugamento di zone di acqua stagnante, la torbidità dei corsi d'acqua a valle, gli usi ricreativi in essere.

- M 2.2 **Ottimizzazione di spurghi e svuotamenti del bacino di accumulazione**. In caso di piena, il bacino di accumulazione deve essere abbassato, in modo che il materiale solido possa essere trasportato dall'imbocco del bacino allo scaricatore di fondo. Lo spurgo deve avvenire d'intesa con gli impianti a valle (centrali elettriche, strutture per il tempo libero ecc.). Occorre attenersi alle prescrizioni in vigore per lo spurgo dei bacini di accumulazione, in particolare per contenere gli effetti della concentrazione di materiale in sospensione nei corsi d'acqua a valle dell'impianto (torbidità, colmatazione).
- La misura può essere attuata in combinazione con la misura edile di trasformazione dello scaricatore di fondo (M 1.2).

- M 2.3 Interramento del bacino di accumulazione o della camera di ritenuta con materiale solido di fondo**, fino a ripristinare la continuità. Nel caso di bacini di accumulazione più grandi, il riempimento richiede molto tempo. Occorre verificare i potenziali effetti sulla sicurezza contro le piene. La misura può quindi essere attuata in combinazione con riporti di ghiaia temporanei nelle acque a valle dell'impianto di accumulazione (M 2.4).
- M 2.4 Riporto di ghiaia nei corsi d'acqua a valle.** La ghiaia dovrebbe essere aggiunta solo nei corsi d'acqua a valle, quando le misure volte a far transitare il materiale solido di fondo attraverso l'impianto non sono fattibili o proporzionate. La ghiaia deve essere idonea all'aggiunta, ossia la sua distribuzione granulometrica deve corrispondere alla distribuzione naturale del materiale solido di fondo. La ghiaia propria del corso d'acqua o proveniente da corsi d'acqua vicini è preferibile a quella proveniente da cave di ghiaia. Occorre accertare se sussiste un rischio di propagazione di specie invasive. Il momento dell'aggiunta deve essere coordinato con i periodi di protezione dei pesci. L'intervallo tra i riporti deve essere ottimizzato in modo che il materiale solido di fondo sia sempre disponibile per l'ulteriore trasporto, contemporaneamente limitando al minimo i disturbi causati dai riporti. Gli anni e le quantità dei riporti possono essere stabiliti in maniera flessibile anche in funzione delle quantità di materiale solido disponibile, così da ottenere in media il carico di fondo necessario. A titolo di misura edile complementare, si potrebbe costruire una strada di accesso permanente ai punti di prelievo e di aggiunta.
- M 2.5 Piene artificiali.** Nei tratti con deflusso residuale si possono prevedere piene artificiali per lo spostamento di materiale solido e la decolmatazione del fondo. Se l'apporto di materiale solido è insufficiente, si rendono necessarie aggiunte di ghiaia per evitare il consolidamento e l'erosione del fondo. Ove possibile, si dovrebbero sfruttare le sinergie con lo spurgo del bacino di accumulazione. Per informazioni sulla pianificazione di piene artificiali si rimanda all'analisi sistematica sull'argomento di Zurwerra *et al.* (2016).
- M 2.6 Riduzione o sospensione completa dei prelievi.** Le installazioni di prelievo devono essere smantellate contemporaneamente (M 1.12).

Allegato G – Lista di controllo: studio sul tipo e sull'entità delle misure

Il seguente elenco riporta i requisiti di contenuto per lo studio sulla tipologia e sull'entità delle misure.

Stato attuale e seminaturale del corso d'acqua (fase di lavoro 1)

- Descrizione della morfologia (forma dell'alveo, forma del fondo e substrato) del corso d'acqua nello stato attuale e allo stato seminaturale.
- Elenco degli impianti che influenzano il carico di fondo nello stato attuale rispetto al carico allo stato seminaturale, con indicazioni sull'entità in cui tali impianti riducono il carico di fondo.
- Profilo longitudinale del carico di fondo nello stato attuale e seminaturale (diagramma del trasporto solido di fondo).
- Descrizione del deficit relativo alla portata solida di fondo nello stato attuale rispetto allo stato seminaturale.

Obiettivi per il corso d'acqua e il carico di fondo necessario (fase di lavoro 2)

- Descrizione delle strutture morfologiche nello stato auspicato (forma dell'alveo, depositi di ghiaia e substrato).
- Carico di fondo necessario nei tratti di corsi d'acqua per raggiungere gli obiettivi (rappresentazione nel diagramma del trasporto solido di fondo).
- Carico di fondo necessario per non arrecare pregiudizio alla protezione contro le piene e al regime delle acque sotterranee (rappresentazione nel diagramma del trasporto solido di fondo).

Obiettivo di risanamento per impianti (fase di lavoro 3)

- Prescrizione concreta relativa al carico di fondo nel corso d'acqua a valle di un impianto, con indicazione del volume annuo di materiale solido in metri cubi da trasportare nel corso d'acqua a valle dell'impianto o
- prescrizione relativa alla frequenza degli eventi di trasporto solido di fondo, con indicazione del numero di eventi annui in cui il materiale solido deve essere trasportato nel corso d'acqua a valle dell'impianto.

Catalogo delle misure (fase di lavoro 4)

- Elenco di misure edili e di esercizio per ciascuno degli impianti da risanare presenti nella rete idrografica.
- Descrizione dell'efficacia delle misure in relazione ai criteri di valutazione.
- Stima dei costi delle misure.

Valutazione di varianti di misure (fase di lavoro 5)

- Elenco di varianti con testo esplicativo.
- Spiegazione dei criteri di valutazione.
- Matrice di valutazione compilata.

Variante migliore (fase di lavoro 6)

- Giustificazione per la scelta della variante migliore.
- Stima della proporzionalità assoluta della variante migliore.

Coordinamento con altre misure riguardanti il corso d'acqua (fase di lavoro 7)

- Elenco di ulteriori misure nel bacino imbrifero e delle possibili sinergie e opportunità con le misure di risanamento del bilancio in materiale solido di fondo.

Piano di controllo dell'efficacia (fase di lavoro 8)

- Procedura relativa al controllo di funzionamento.
- Elenco degli indicatori selezionati e giustificazione della relativa scelta.
- Designazione dei tratti da analizzare, compresi i tratti paragonabili.
- Calendario dei rilievi, compresa la misurazione iniziale.
- Costi previsti per il controllo dell'efficacia.
- Coordinamento con il controllo dell'efficacia di altre misure.

Allegato H – Indicatori per il controllo dell'efficacia

A.5 Indicatori

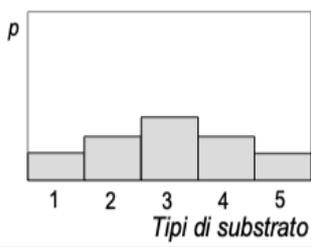
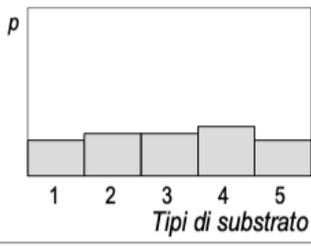
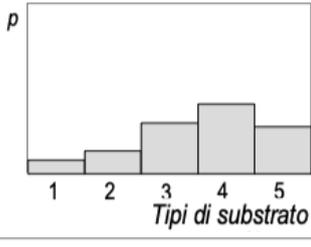
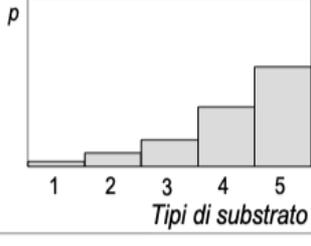
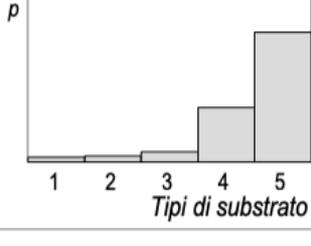
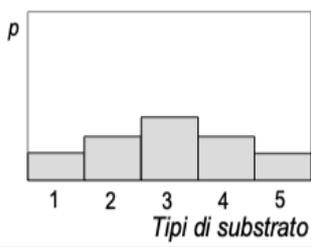
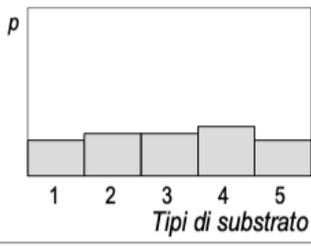
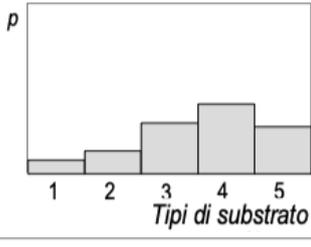
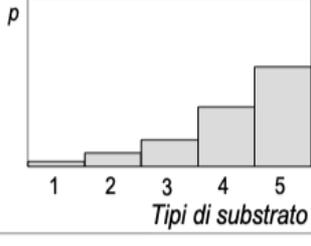
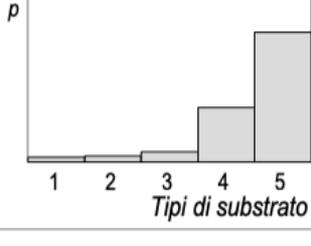
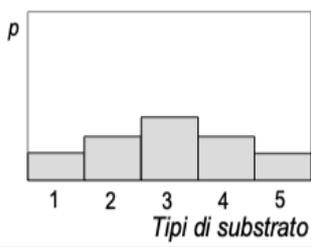
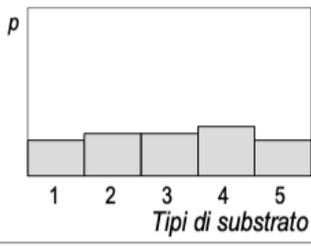
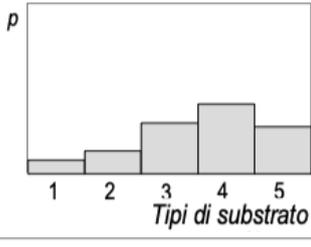
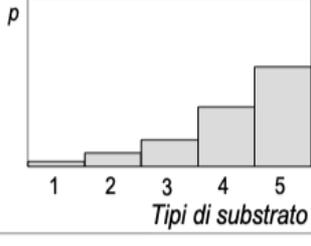
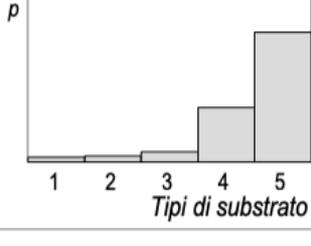
A.5.1 Indicatori abiotici

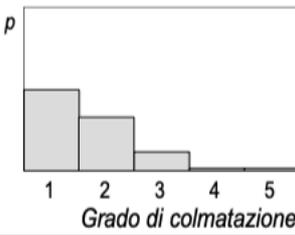
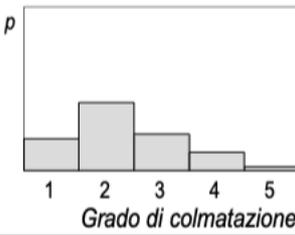
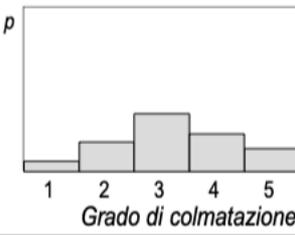
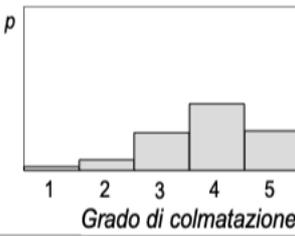
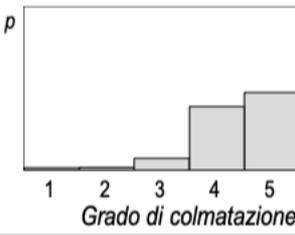
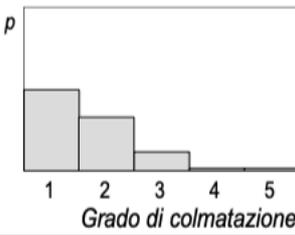
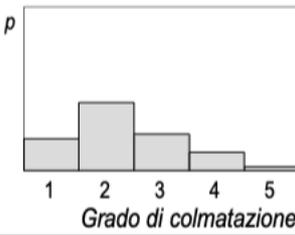
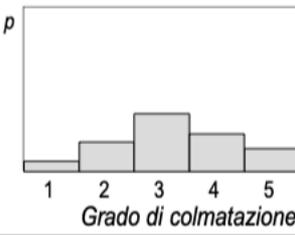
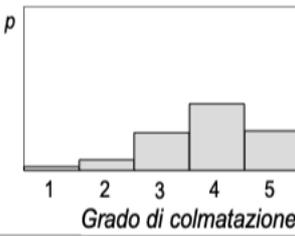
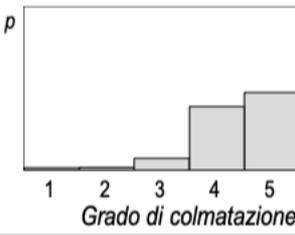
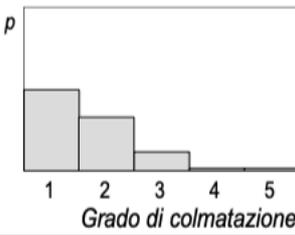
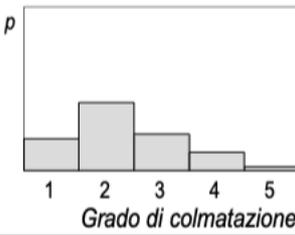
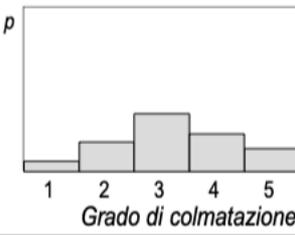
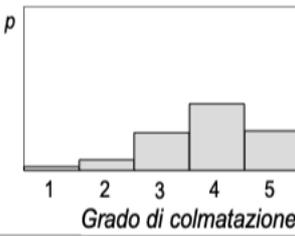
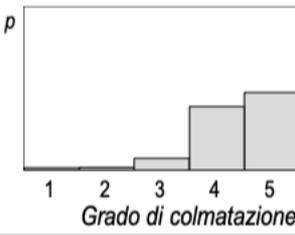
Indicatore	A1 Depositi nell'impianto o nei punti di aggiunta	
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> Misurazione di profili trasversali nella zona di efficacia immediata della misura (punto di aggiunta o simile) Verificare se il materiale solido di fondo non viene più trattenuto o se il materiale aggiunto è stato ulteriormente trasportato. 	
Periodo di rilievo	Durante portate di magra	
Specificità	<p>A seconda della misura, si fornisce la prova in corrispondenza di punti diversi del corso d'acqua:</p> <ul style="list-style-type: none"> transito del materiale solido di fondo attraverso lo sbarramento (M 1.1, M 1.2, M 2.1, M 2.2): all'imbocco del bacino di accumulazione costruzione di una galleria di deviazione del materiale solido di fondo: (M 1.3): all'imbocco del bacino di accumulazione riporto di ghiaia nel corso d'acqua a valle (M 2.4): nel punto di aggiunta trasformazione della camera di ritenuta (M 1.4, M 1.5, M 1.6): nella camera di ritenuta piene artificiali nei tratti di derivazione (M 2.5): in corrispondenza del fondo e delle sponde del tratto di derivazione 	
Valutazione	Stato	carico di fondo effettivo [m ³ /a]
	buono	non sono più presenti depositi o tutto il materiale solido di fondo è stato ulteriormente spostato
	mediocre	continuano a essere presenti depositi ma in misura minore o solo una parte del materiale solido di fondo è stata ulteriormente spostata
	cattivo	i depositi sono rimasti invariati o il materiale solido di fondo non è stato spostato ulteriormente

Indicatore	A2 Carico di fondo	
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> Misurazione di profili trasversali in punti nevralgici Determinazione del carico di fondo effettivo (media pluriennale) mediante bilanciamento tra alterazioni del fondo e aggiunte di materiale solido Misurazioni indirette del materiale solido di fondo (ad es. geofoni) 	
Periodo di rilievo	Durante portate di magra, in modo continuo in caso di misurazioni indirette del materiale solido di fondo	
Specificità	L'alterazione del fondo nei profili trasversali dovrebbe essere verificata anche visivamente sul campo.	
Valutazione	Stato	carico di fondo effettivo [m ³ /a]
	molto buono	≥ carico di fondo allo stato seminaturale
	buono	= carico di fondo necessario
	mediocre	< carico di fondo necessario
	insoddisfacente	< 50 % del carico di fondo necessario
	cattivo	≈ 0

Indicatore	A3 Forma dell'alveo	
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinare visivamente la forma dell'alveo mediante sopralluogo o fotografie aeree aggiornate. ▪ Determinare la larghezza del fondo mediante sopralluogo o fotografie aeree aggiornate. ▪ Determinare la distribuzione granulometrica o la granulometria d_m con l'aiuto di campionature in linea. ▪ Calcolare la profondità di deflusso con HQ_2 e determinare la larghezza in superficie Bw (in prima approssimazione pari alla larghezza del fondo). ▪ Verificare la forma dell'alveo determinata visivamente con l'aiuto della coppia di valori (Bw/h; h/d_m) nel diagramma di Ahmari & da Silva e confrontarla con la forma dell'alveo allo stato seminaturale. 	
Periodo di rilievo	Rilievi sul campo e fotografie aeree durante portate di magra	
Specificità	Nello stato attuale è possibile definire la sezione trasversale determinante per calcolare la larghezza e la profondità di deflusso dei profili trasversali misurate.	
Valutazione	Stato	Forma dell'alveo (tipi secondo cap. 3.2.3)
	molto buono	Forma dell'alveo identica allo stato seminaturale $Bw/h = Bw/h_{nn}$
	buono	Forma dell'alveo identica allo stato seminaturale o dell'area di transizione verso la forma dell'alveo successiva ($Bw/h \leq Bw/h_{nn}$)
	mediocre	–
	insoddisfacente	Forma dell'alveo notevolmente diversa rispetto allo stato seminaturale ($Bw/h \ll Bw/h_{nn}$)
	cattivo	Alveo meandriforme senza portata solida di fondo

Indicatore	A4 Estensione e spessore dei depositi di materiale solido di fondo	
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Misurare l'estensione dei banchi di ghiaia in m^2 mediante profili o fotografie aeree aggiornate e confrontarla con l'area allo stato seminaturale. ▪ Determinare lo spessore dei banchi di ghiaia confrontando le immagini dei profili trasversali di vari anni. 	
Periodo di rilievo	Durante portate di magra	
Specificità	La valutazione è qualitativa e dipende anche dalla precisione con cui è possibile determinare l'estensione allo stato seminaturale.	
Valutazione	Stato	Estensione dei banchi di ghiaia
	molto buono	Uguale allo stato seminaturale
	buono	Estensione simile allo stato naturale (> 60 %)
	mediocre	Estensione significativamente inferiore rispetto allo stato seminaturale (< 60 %)
	insoddisfacente	Estensione molto inferiore rispetto allo stato seminaturale (< 30 %)
	cattivo	≈ 0

Indicatore	A5 Tipi di substrato																		
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rilevare la presenza dei tipi di substrato sul campo, mappando l'intera area o effettuando i rilievi in più transeetti. Vengono rilevate anche zone bagnate visibili del fondo. ▪ Determinare le quote di superficie dei tipi di substrato e rappresentarle nell'istogramma. 																		
Periodo di rilievo	Durante portate di magra																		
Valutazione	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 45%; text-align: center;">Distribuzione dei tipi</th> <th style="width: 45%; text-align: center;">Livello qualitativo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #0070C0; color: white; text-align: center; vertical-align: middle;">molto buona</td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Predominano i depositi di materiale detritico. Assenza o scarsità di zone ricoperte di pietrame grezzo. Tendenzialmente pochi depositi di materiale in sospensione.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #00B050; color: white; text-align: center; vertical-align: middle;">buona</td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Distribuzione bilanciata di tutte le classi.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFD700; color: black; text-align: center; vertical-align: middle;">mediocre</td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Substrato perlopiù grossolano, miscelato a detriti. Depositi localizzati di materiale detritico.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFA500; color: black; text-align: center; vertical-align: middle;">insoddisfacente</td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Materiale di fondo prevalentemente grossolano e ricoperto di pietrame, in parte miscelato a detriti. Piccole aree con depositi di materiale detritico.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FF0000; color: white; text-align: center; vertical-align: middle;">cattiva</td> <td style="text-align: center;">  </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Materiale di fondo prevalentemente grossolano e ricoperto di pietrame, localmente anche miscelato a detriti.</p> </td> </tr> </tbody> </table>		Distribuzione dei tipi	Livello qualitativo	molto buona		<p>Predominano i depositi di materiale detritico. Assenza o scarsità di zone ricoperte di pietrame grezzo. Tendenzialmente pochi depositi di materiale in sospensione.</p>	buona		<p>Distribuzione bilanciata di tutte le classi.</p>	mediocre		<p>Substrato perlopiù grossolano, miscelato a detriti. Depositi localizzati di materiale detritico.</p>	insoddisfacente		<p>Materiale di fondo prevalentemente grossolano e ricoperto di pietrame, in parte miscelato a detriti. Piccole aree con depositi di materiale detritico.</p>	cattiva		<p>Materiale di fondo prevalentemente grossolano e ricoperto di pietrame, localmente anche miscelato a detriti.</p>
	Distribuzione dei tipi	Livello qualitativo																	
molto buona		<p>Predominano i depositi di materiale detritico. Assenza o scarsità di zone ricoperte di pietrame grezzo. Tendenzialmente pochi depositi di materiale in sospensione.</p>																	
buona		<p>Distribuzione bilanciata di tutte le classi.</p>																	
mediocre		<p>Substrato perlopiù grossolano, miscelato a detriti. Depositi localizzati di materiale detritico.</p>																	
insoddisfacente		<p>Materiale di fondo prevalentemente grossolano e ricoperto di pietrame, in parte miscelato a detriti. Piccole aree con depositi di materiale detritico.</p>																	
cattiva		<p>Materiale di fondo prevalentemente grossolano e ricoperto di pietrame, localmente anche miscelato a detriti.</p>																	

Indicatore	A6 Colmatazione interna del fondo dell'alveo																		
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinare la colmatazione interna sul campo in più transetti. ▪ Rappresentare le quote di superficie percentuale delle cinque classi di colmatazione nell'istogramma. 																		
Periodo di rilievo	Durante portate di magra																		
Valutazione	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 40%; text-align: center;">Distribuzione delle classi</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Livello qualitativo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #0070C0; color: white; text-align: center; vertical-align: middle;">molto buona</td> <td style="text-align: center;">  <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Prevalentemente colmatazione inesistente o leggera. Nessuna colmatazione forte e completa.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #00B050; color: white; text-align: center; vertical-align: middle;">buona</td> <td style="text-align: center;">  <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Prevalentemente colmatazione leggera. Localmente colmatazione inesistente e media. Colmatazione poco forte.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFD700; color: black; text-align: center; vertical-align: middle;">mediocre</td> <td style="text-align: center;">  <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Prevalentemente colmatazione media. Localmente colmatazione forte e completa.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFA500; color: black; text-align: center; vertical-align: middle;">insoddisfacente</td> <td style="text-align: center;">  <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Prevalentemente colmatazione da media a completa. Poca colmatazione leggera.</p> </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FF0000; color: white; text-align: center; vertical-align: middle;">cattiva</td> <td style="text-align: center;">  <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p> </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>Prevalentemente colmatazione da forte a completa. Poca colmatazione media.</p> </td> </tr> </tbody> </table>		Distribuzione delle classi	Livello qualitativo	molto buona	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione inesistente o leggera. Nessuna colmatazione forte e completa.</p>	buona	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione leggera. Localmente colmatazione inesistente e media. Colmatazione poco forte.</p>	mediocre	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione media. Localmente colmatazione forte e completa.</p>	insoddisfacente	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione da media a completa. Poca colmatazione leggera.</p>	cattiva	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione da forte a completa. Poca colmatazione media.</p>
	Distribuzione delle classi	Livello qualitativo																	
molto buona	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione inesistente o leggera. Nessuna colmatazione forte e completa.</p>																	
buona	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione leggera. Localmente colmatazione inesistente e media. Colmatazione poco forte.</p>																	
mediocre	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione media. Localmente colmatazione forte e completa.</p>																	
insoddisfacente	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione da media a completa. Poca colmatazione leggera.</p>																	
cattiva	 <p style="font-size: small;">p</p> <p style="font-size: x-small;">1 2 3 4 5</p> <p style="font-size: x-small;"><i>Grado di colmatazione</i></p>	<p>Prevalentemente colmatazione da forte a completa. Poca colmatazione media.</p>																	

Indicatore	A7 Variazione del livello medio di fondo		
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Misurare i profili trasversali. ▪ Determinare il livello del fondo medio e rappresentarne il profilo longitudinale. ▪ Confronto con il profilo longitudinale nello stato iniziale, con il profilo longitudinale allo stato seminaturale e con il profilo longitudinale di valle. 		
Periodo di rilievo	Durante portate di magra		
Specificità	Si distingue tra la valutazione in tratti non soggetti a restringimento della larghezza dell'alveo né potenziali deficit di protezione e tratti canalizzati con larghezza del fondo ridotta e potenziali deficit di protezione contro le piene.		
Valutazione	Stato	Pendenza longitudinale	
		senza restringimento della larghezza dell'alveo	con restringimento della larghezza dell'alveo
	molto buono	–	–
	buono	≈ pendenza longitudinale allo stato seminaturale	< pendenza di valle
	mediocre	< pendenza longitudinale allo stato seminaturale	≈ pendenza di valle
	insoddisfacente	<< pendenza longitudinale allo stato seminaturale	> pendenza di valle
	cattivo		

Indicatore	A8 Variazione della quota del talweg	
Metodo di rilievo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Misurare i profili trasversali. ▪ Determinare la quota del talweg e rappresentarla nel profilo longitudinale. ▪ Confrontare il profilo longitudinale con quello dello stato iniziale. 	
Periodo di rilievo	Durante portate di magra	
Specificità	<p>Si utilizza il talweg come indicatore proxy per illustrare l'influenza della portata solida di fondo sul livello della falda freatica. L'indicatore proxy può essere applicato laddove il livello della falda freatica corrisponde direttamente alla superficie del corso d'acqua.</p> <p>Il talweg è rilevante per tratti fluviali che scorrono liberamente, senza restringimento della larghezza del fondo dovuta a protezioni di sponda.</p>	
Valutazione	Stato	Quota del talweg
	molto buono	–
	buono	Quota del talweg più alta rispetto allo stato iniziale
	mediocre	Quota del talweg invariata rispetto allo stato iniziale
	insoddisfacente	Quota del talweg più bassa rispetto allo stato iniziale
		cattivo

A.5.2 Indicatori biotici

Sono in particolare le specie ittiche litofile, ossia quelle che depongono le uova su fondi ghiaiosi, a essere direttamente interessate dal bilancio in materiale solido di fondo. Affinché le uova e gli embrioni si sviluppino correttamente, il fondo ghiaioso deve essere sciolto e bene irrigato per garantire un costante apporto di ossigeno. Rilevare direttamente la dimensione della popolazione della fauna ittica è difficile nei grandi fiumi. Inoltre, la popolazione totale di specie ittiche presente nel tratto di un corso d'acqua dipende da molti fattori diversi (deflussi, pressione di pesca, misure di ripopolamento, condizioni di temperatura, abbondanza di predatori ecc.). Per questo motivo, nell'ambito del controllo dell'efficacia, occorre anzitutto analizzare il successo riproduttivo delle specie litofile. Tale aspetto dipende direttamente anche dallo stato del fondo di un fiume e dal bilancio in materiale solido. A seconda della zona ittiologica, per il controllo dell'efficacia si utilizzano uno o più degli indicatori di seguito elencati.

Nei corsi d'acqua della zona dell'abramide comune, il bilancio in materiale solido di fondo è meno rilevante, poiché il substrato è sabbioso e le specie ittiche che depongono le uova su fondi ghiaiosi sono scarsamente presenti. Di conseguenza, non è necessario rilevare indicatori sulla fauna ittica.

Indicatore	B1 Presenza di avannotti di trota	
Zona ittiologica	Corsi d'acqua nella zona delle trote	
Metodo di rilievo	Campionamenti puntuali	
Periodo di rilievo	Poco dopo l'emersione (abbandono del fondo ghiaioso) degli avannotti, da inizio aprile a inizio giugno, a seconda dell'altitudine.	
Specificità	-	
Valutazione	Stato	CPUE* avannotti
	molto buono	>1
	buono	0,6-1,0
	mediocre	0,4-0,6
	insoddisfacente	0,1-0,4
	cattivo	<0,1

* CPUE = Catch per unit effort = numero di individui catturati per ciascun sito

Indicatore	B2 Presenza di giuvenili di trote fario, percentuale sulla popolazione totale			
Zona ittiologica	Corsi d'acqua ad alta quota nella zona della trota con forte influenza dello scioglimento della neve			
Metodo di rilievo	Pesca e conteggio dei giuvenili			
Periodo di rilievo	Nei mesi estivi e autunnali prima dell'inizio dell'inverno			
Specificità	Rilievo alternativo al campionamento puntuale di avannotti di trota, il quale fornisce anche informazioni sul successo riproduttivo, che secondo l'esperienza dipende fortemente dal bilancio in materiale solido di fondo.			
Valutazione	Stato	Densità di estivali n/ha		
		Alpi	Prealpi	Altopiano / Giura
	molto buono	> 400	> 2000	> 2500
	buono	300-400	1000-2000	1500-2500
	mediocre	200-300	500-1000	1000-1500
	insoddisfacente	100-200	250-500	250-1000
	cattivo	< 100	< 250	< 250
Indicatore	B3 Numero di zone di riproduzione nei corsi d'acqua della zona della trota o del temolo			
Zona ittiologica	Corsi d'acqua nella zona della trota o del temolo			
Metodo di rilievo	Cartografia delle zone e dei siti potenziali di riproduzione.			
Periodo di rilievo	Autunno / inizio inverno (preferibilmente subito dopo la stagione riproduttiva della trota fario e della trota lacustre)			

Specificità	Il rilievo fornisce un'indicazione sulla consistenza della popolazione di trote esistente e sulla sua attività riproduttiva nonché una valutazione della presenza di avannotti dopo l'emersione in primavera. L'indicatore deve essere incluso in aggiunta alla pesca degli avannotti. Il fiume deve avere una larghezza massima di 40 m e si devono mappare tratti per una lunghezza di almeno 1000 m.	
Valutazione	Stato	Numero di zone di riproduzione / km
	molto buono	≥ 20
	buono	12-19
	mediocre	6-11
	insoddisfacente	1-5
cattivo	0	

Indicatore	B4 Numero e densità di avannotti e larve di temolo	
Zona ittiologica	Corsi d'acqua nella zona del temolo e del barbo	
Metodo di rilievo	Conteggio (visivo) del numero di larve di temolo lungo tratti di 100-200 m di lunghezza vicino alle rive e determinazione della densità (numero di larve ogni 100 m)	
Periodo di rilievo	Primavera (aprile-maggio).	
Specificità	La registrazione simultanea dei piccoli habitat vicini alle rive potenzialmente adatti alle larve di temolo consente di trarre conclusioni sull'habitat disponibile per questo stadio della vita del temolo, determinante per la popolazione.	
Valutazione	Densità	Larve di temolo / 100 m
	molto elevata	>250
	elevata	100-250
	Media	10-100
	bassa	< 10
nessuna osservazione	0	

Indicatore	B5 Quantità di giovanili di specie reofile e litofile	
Zona ittiologica	Corsi d'acqua ricchi di specie nella zona del temolo e del barbo	
Metodo di rilievo	Pesca puntuale nella zona riparia e conteggio dei giovanili di specie reofile e litofile (barbo, nasò, alborno di fiume, leucisco, trota fario, scazzone ecc.)	
Periodo di rilievo	Fine estate / autunno	
Specificità	-	
Valutazione	Stato	CPUE specie reofile e litofile (lunghezza 1-5 cm)
	molto buono	> 2
	buono	1-2
	mediocre	0.5-1
	insoddisfacente	0.25-0.5
cattivo	< 0.25	