

7 Impatto della colmatazione del substrato sulla connettività verticale

La connettività tra la zona iporreica e il deflusso è essenziale per lo sviluppo dei macroinvertebrati e per il successo riproduttivo dei pesci. L'infiltrazione di sedimenti fini porta alla colmatazione dell'alveo, riducendo la porosità e gli scambi verticali di acqua. Il ciclo naturale di colmatazione è alterato dalle infrastrutture e dall'uso del suolo. Il presente capitolo comprende una breve descrizione del processo e dei fattori che lo influenzano, illustrati con alcuni risultati sperimentali. Questi principi sono poi applicati a una selezione di casi comuni.

Romain Dubuis, Robin Schroff e Giovanni De Cesare

7.1 Colmatazione

Nei corsi d'acqua naturali che trasportano materiale solido di fondo, l'alveo poroso ospita una ricca comunità ecologica. Lo strato di substrato dell'alveo che collega le acque superficiali a quelle sotterranee, chiamato zona iporreica (Brunke e Gonser 1997), è solitamente dominato da ghiaia, pietre e massi. Come mostrato nella figura 40, gli interstizi tra i grani del substrato costituiscono l'habitat primario di molti organismi. La connettività verticale funzionale, che consente scambi attivi tra l'acqua superficiale che scorre liberamente, l'acqua contenuta nei pori della zona iporreica e le acque sotterranee, può favorire la capacità di autodepurazione del corso d'acqua e contribuire a regolare il bilancio idrico sotterraneo delle zone golenali. Flussi indisturbati di

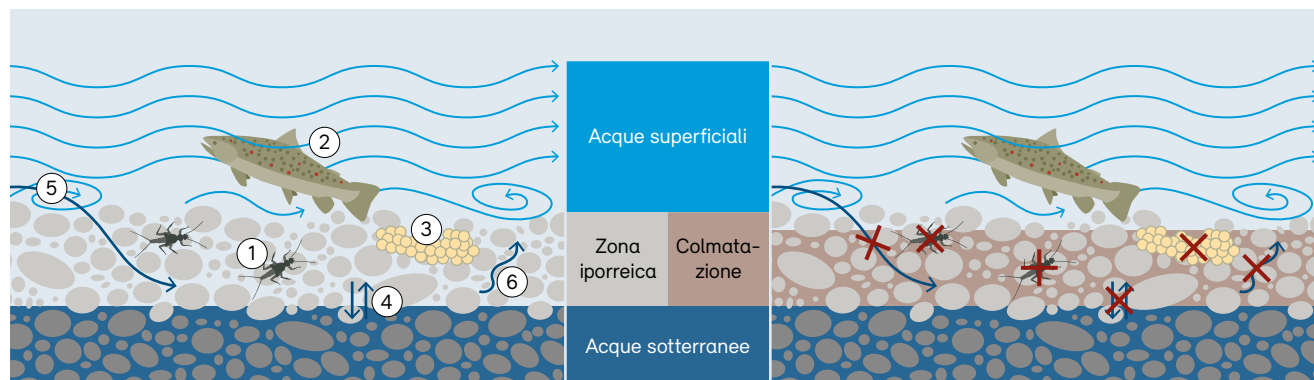
acqua, particelle, nutrienti, ossigeno e altri composti disciolti assicurano le condizioni di habitat richieste dalla comunità ecologica autoctona. Se lo spazio interstiziale viene ostruito da sedimenti fini, l'idoneità della zona iporreica come habitat è compromessa (Bo *et al.* 2007).

7.1.1 Effetti dell'intasamento

La colmatazione designa il graduale riempimento degli spazi interstiziali dell'alveo con sedimenti fini (Wharton *et al.* 2017). Si tratta di un fenomeno naturale intrinseco, che spesso è però intensificato dall'attività umana. Nella maggior parte dei casi prevalgono gli effetti ecologici dannosi di un intasamento eccessivo. La colmatazione degrada l'habitat dell'alveo alterandone la composizione e disturbando i deflussi (Pulg *et al.* 2013). I cambiamenti

Figura 40

La zona iporreica funge da habitat primario per organismi interstiziali, tra cui i macroinvertebrati (1). I pesci (2) che depongono le uova (3) nella ghiaia le sotterrano nel substrato, dove le condizioni sono adatte (Kondolf 2000). Si verificano scambi tra le acque sotterranee e il corso d'acqua (4) e tra la zona iporreica e il deflusso superficiale (5, 6). A destra sono illustrati i cambiamenti che si verificano in caso di zona iporreica intasata.



nella composizione hanno effetti negativi diretti sui macroinvertebrati e sui pesci (fig. 40; Sternecker *et al.* 2013). I macroinvertebrati dipendono direttamente dagli spazi interstiziali come habitat e dalla superficie rugosa dei grani per evitare la deriva. I pesci hanno bisogno di un substrato sciolto per costruire le loro tane. La perturbazione dei deflussi priva i macroinvertebrati, le uova e le larve di pesce di nutrienti e ossigeno e ostacola la rimozione dei rifiuti metabolici durante il periodo d'incubazione (sviluppo delle uova). L'interruzione degli scambi con le acque sotterranee, solitamente più calde o più fredde, disturba inoltre la regolazione della temperatura nel substrato, importante dal punto di vista ecologico.

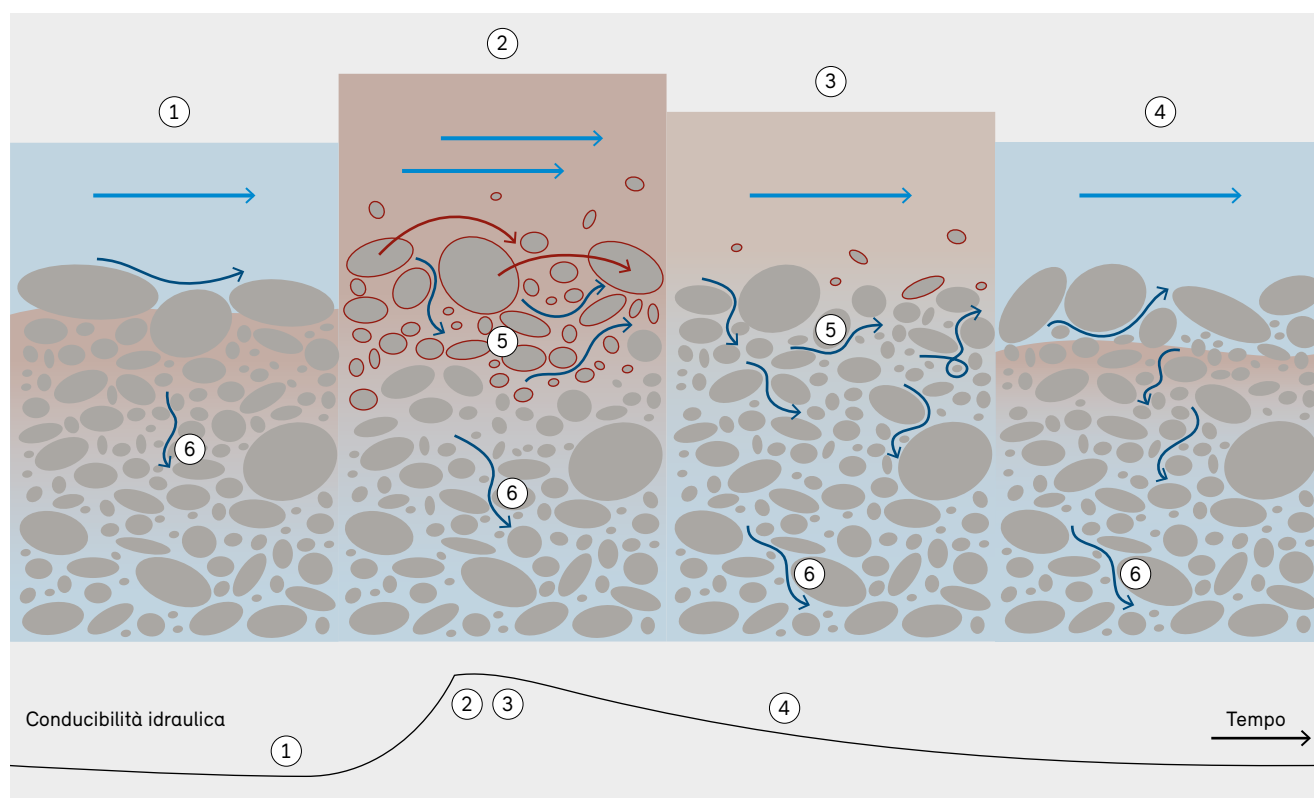
7.1.2 Il processo di colmatazione

I tre principali processi che portano alla colmatazione dell'alveo, generalmente distinti, sono l'intasamento fisico, l'intasamento biologico e l'intasamento chimico. L'intasamento

fisico (o colmatazione fisica), designa l'intrusione di sedimenti fini in sospensione nel substrato dell'alveo e la formazione di uno strato con bassa conducibilità idraulica, bassa porosità e spesso un elevato grado di costipazione. Ne consegue una scarsa connettività verticale. La presenza di materiale fine, l'acqua più calda e la luce solare nonché l'assenza di eventi perturbatori favoriscono lo sviluppo di vari organismi, come alghe, diatomee e batteri, che riempiono i pori e costipano il substrato (intasamento biologico o colmatazione biologica). La riduzione della connettività verticale e la costipazione del substrato possono avvenire anche attraverso reazioni chimiche di soluti, come il calcio, che precipitano e creano legami (colmatazione chimica). Il presente capitolo si concentra sulla colmatazione fisica, ma gli effetti di rinforzo delle colmatazioni biologica e chimica non devono essere trascurati nell'analisi complessiva del grado di colmatazione di un alveo.

Figura 41

Processo e ciclo di colmatazione. (1) Substrato intasato con bassa conducibilità idraulica; (2) evento di piena con decolmatazione (il flusso penetra al di sotto della ghiaia e rilascia particelle fini); (3) curva discendente (il substrato ha un basso contenuto di sedimenti fini e la connettività verticale è massimizzata); (4) creazione di un nuovo strato intasato; (5) pompaggio advettivo; (6) discesa delle acque superficiali.



Il processo di colmatazione e decolmatazione è ciclico e naturale. Dipende dalla frequenza delle piene in grado di mobilitare l'alveo e rompere lo strato intasato, parzialmente o completamente. Non appena la ghiaia che forma l'alveo torna in condizioni stabili, inizia una nuova fase di colmatazione (Park *et al.* 2019). La figura 41 illustra l'intero ciclo. Di solito si distinguono due diversi tipi di colmatazione fisica. La colmatazione superficiale (fig. 43a) si riferisce al deposito naturale sopra il substrato in caso di bassa velocità di flusso e sedimentazione naturale (Schälchli, Abegg + Hunzinger, 2001). La colmatazione interna (fig. 41, 43b) corrisponde alla formazione di uno strato di sedimenti fini all'interno della zona iporreica e coinvolge una fonte di sedimenti fini, una matrice di substrato come supporto e l'infiltrazione come catalizzatore.

La concentrazione di sedimenti fini nel deflusso dipende dalle condizioni idrogeologiche. Durante le piene e il successivo periodo di ritiro o nei bacini idrografici con un ghiacciaio, la concentrazione di sedimenti fini è molto più elevata (fig. 41.2, 41.3) a causa dell'erosione del suolo e del rilascio di sedimenti fini intrappolati nell'alveo. Il substrato agisce da filtro, intrappolando almeno una parte dei sedimenti fini che entrano nella zona iporreica. La connettività verticale funzionale presuppone un alto grado di permeabilità. Man mano che si deposita un maggior numero di particelle, gli interstizi diventano più piccoli e solo le particelle più fini possono raggiungere la matrice del substrato (fig. 41.1, 41.4). Attraverso questo «filtro» passa una quantità ridotta di acqua, potenzialmente carica di sedimenti in sospensione e lo strato intasato raggiunge infine un livello stabile (fig. 41.1). Questo processo di filtraggio è influenzato da molteplici meccanismi. Il deflusso superficiale può penetrare attraverso la zona iporreica mediante pompaggio advettivo (fig. 41.5), un processo innescato da piccole pressioni differenziali a livello locale (Fries e Taghon 2010). Gli scambi tra il deflusso superficiale e le acque sotterranee svolgono un ruolo importante nel processo di colmatazione, poiché forzano o ostacolano la penetrazione del deflusso superficiale carico di particelle fini (Boano *et al.* 2014; Fox *et al.* 2018). La risalita e la discesa dell'acqua (fig. 41.6) dipendono dal gradiente di pressione tra le acque sotterranee e il deflusso superficiale oppure dalla morfologia del corso d'acqua, ad esempio in presenza di rapide o gradini.

Figura 42

Setup sperimentale utilizzato per studiare la colmatazione del substrato dell'alveo presso la piattaforma PL-LCH dell'EPFL. Il canale è composto da uno strato di ghiaia di 30 cm di spessore e negli esperimenti è possibile controllare sia la direzione e l'intensità del flusso attraverso la ghiaia sia le condizioni del deflusso superficiale.



Foto: R. Dubuis

7.1.3 Fattori d'influenza ed esperimenti di laboratorio

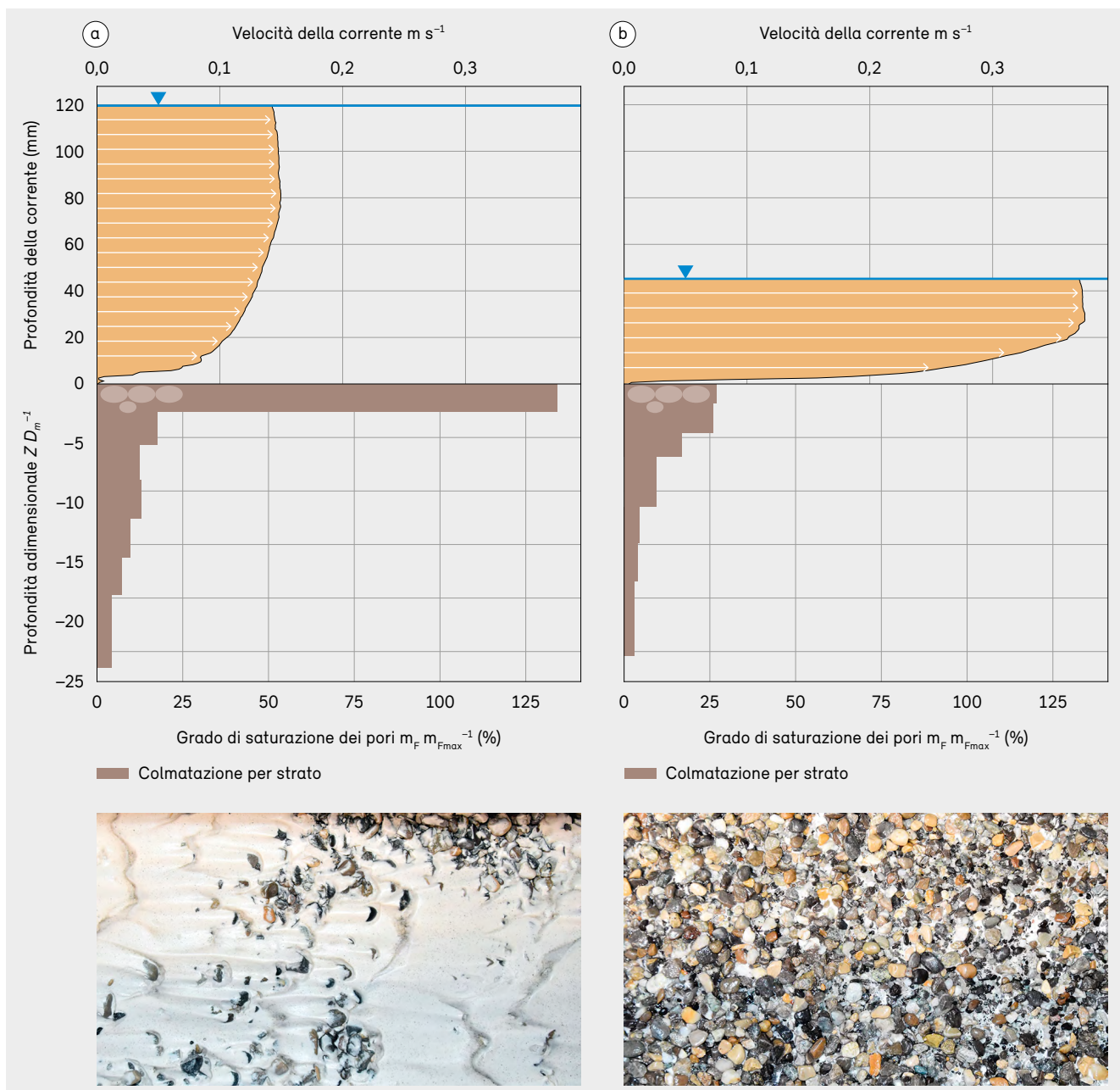
Il deposito di sedimenti fini e la formazione di uno strato intasato dipendono da diversi fattori quali: (i) il rapporto granulometrico tra il materiale in sospensione e il substrato dell'alveo, (ii) le condizioni di deflusso, (iii) gli scambi tra acque sotterranee e deflusso superficiale e (iv) la concentrazione di sedimenti fini. Questi fattori e le relative interazioni sono comuni sia nei corsi d'acqua naturali che in quelli alterati.

Sono stati condotti esperimenti di laboratorio utilizzando un canale presso la piattaforma PL-LCH dell'EPFL (fig. 42) per riprodurre il processo di colmatazione fisica in presenza di diverse serie di parametri. Lo scopo dello studio era analizzare come il gradiente d'infiltrazione e le condizioni di deflusso influenzano la conducibilità idraulica e la distribuzione verticale del materiale depositato. Alcuni dei risultati sono presentati nelle figure 43–45.

(i) I parametri principali che definiscono la profondità con cui i sedimenti fini possono penetrare nella matrice del substrato sono il rapporto granulometrico tra il materiale in sospensione e il substrato dell'alveo così come il grado di uniformità (cioè la deviazione standard della distribuzione granulometrica). Un substrato più grossolano e uniforme porta a una maggiore

Figura 43

Confronto tra due esperimenti presso la piattaforma PL-LCH con la stessa portata, ma diverse pendenze e profondità della corrente, con conseguente colmatazione superficiale (a) e interna (b). I grafici superiori mostrano i profili di velocità della corrente e quelli inferiori il corrispondente contenuto di sedimenti fini nel substrato al termine degli esperimenti, espresso in $m_F m_{Fmax}^{-1}$, la massa di sedimenti fini divisa per la massa massima a saturazione; Z = profondità verticale, D_m = diametro medio geometrico del substrato. Velocità della corrente più basse corrispondono a un minore sforzo tangenziale (a), come spesso osservato nelle pozze o sui banchi di ghiaia, determinano una colmatazione superficiale, visibile nella foto, in cui la maggior parte del substrato è coperta da sedimenti fini. A velocità della corrente più elevate corrisponde un maggiore sforzo tangenziale (b), i sedimenti fini si depositano solo al di sotto dello strato di armatura.



percolazione libera attraverso la matrice, fino a raggiungere uno strato impermeabile o più fine. Un substrato contenente grani sia grossolani sia fini determina uno strato più sottile e intasato, a causa dell'effetto filtrante della sabbia. La concentrazione di sedimenti fini nel substrato segue solitamente un profilo esponenzialmente decrescente: la concentrazione massima, corrispondente alla saturazione dei pori, si registra in prossimità della sommità dello strato intasato (fig. 43, 44; Cui *et al.* 2008; Gibson *et al.* 2009). La parte più fine del materiale in sospensione può tuttavia raggiungere strati più profondi dell'alveo.

Pori più grandi consentono una maggiore avvezione all'interno dell'alveo, portando le particelle in zone a basso sforzo tangenziale, dove possono facilmente depositarsi. Gli esperimenti hanno dimostrato che la ghiaia più grossolana aumenta il deposito di argilla rispetto al substrato sabbioso (Mooneyham e Strom 2018). Formando uno «strato di armatura», la ghiaia più grossolana sopra il substrato più fine può così aumentare il deposito e la formazione di uno strato intasato sotto quello superiore.

(ii) Le condizioni di deflusso influenzano l'avvezione all'interno della zona iporreica e il tasso di deposito. Il deposito di sedimenti fini per avvezione sembra causare una minor costipazione rispetto all'infiltrazione (Cunningham *et al.* 1987), visti la minore forzatura e il minore differenziale di pressione in assenza di percolazione. Le condizioni di deflusso influenzano la distribuzione granulometrica del substrato a lungo termine. A bassa velocità e quindi a basso sforzo tangenziale, i sedimenti fini possono depositarsi per gravità e causare una colmatazione superficiale (fig. 43). In presenza di elevati sforzi tangenziali, la parte superiore dello strato intasato si trova al di sotto della superficie dell'alveo, a una profondità che impedisce la risospensione. Ciò limita l'aumento del grado di colmatazione: la conducibilità idraulica raggiunge quindi un livello minimo (Schälchli 1993).

(iii) Gli scambi tra le acque sotterranee e il deflusso superficiale hanno un effetto considerevole sulla colmatazione, attraverso l'infiltrazione e l'esfiltrazione. In caso di esfiltrazione (o risalita delle acque profonde), il deflusso medio si dirige verso la superficie, impedendo la penetrazione del deflusso superficiale e il deposito di particelle fini. La colmatazione è in tal caso limitata ad aree locali, a causa della non uniformità del flusso iporreico. In caso d'infiltrazione (o discesa delle acque superficiali), parte del deflusso superficiale carico di particelle

sospese è diretto verso le acque sotterranee e il substrato dell'alveo funge da filtro. Il flusso dipende dal gradiente di percolazione (perdita di carico idrico su una certa distanza) e dalla conducibilità idraulica. In genere un elevato gradiente di percolazione aumenta la profondità dello strato intasato (Schälchli 1993; cfr. anche fig. 44). La risalita e la discesa delle acque possono dipendere da meccanismi diversi, dagli alvei a forma di duna agli scambi regionali tra le acque sotterranee e il deflusso superficiale (Tonina e Buffington 2009).

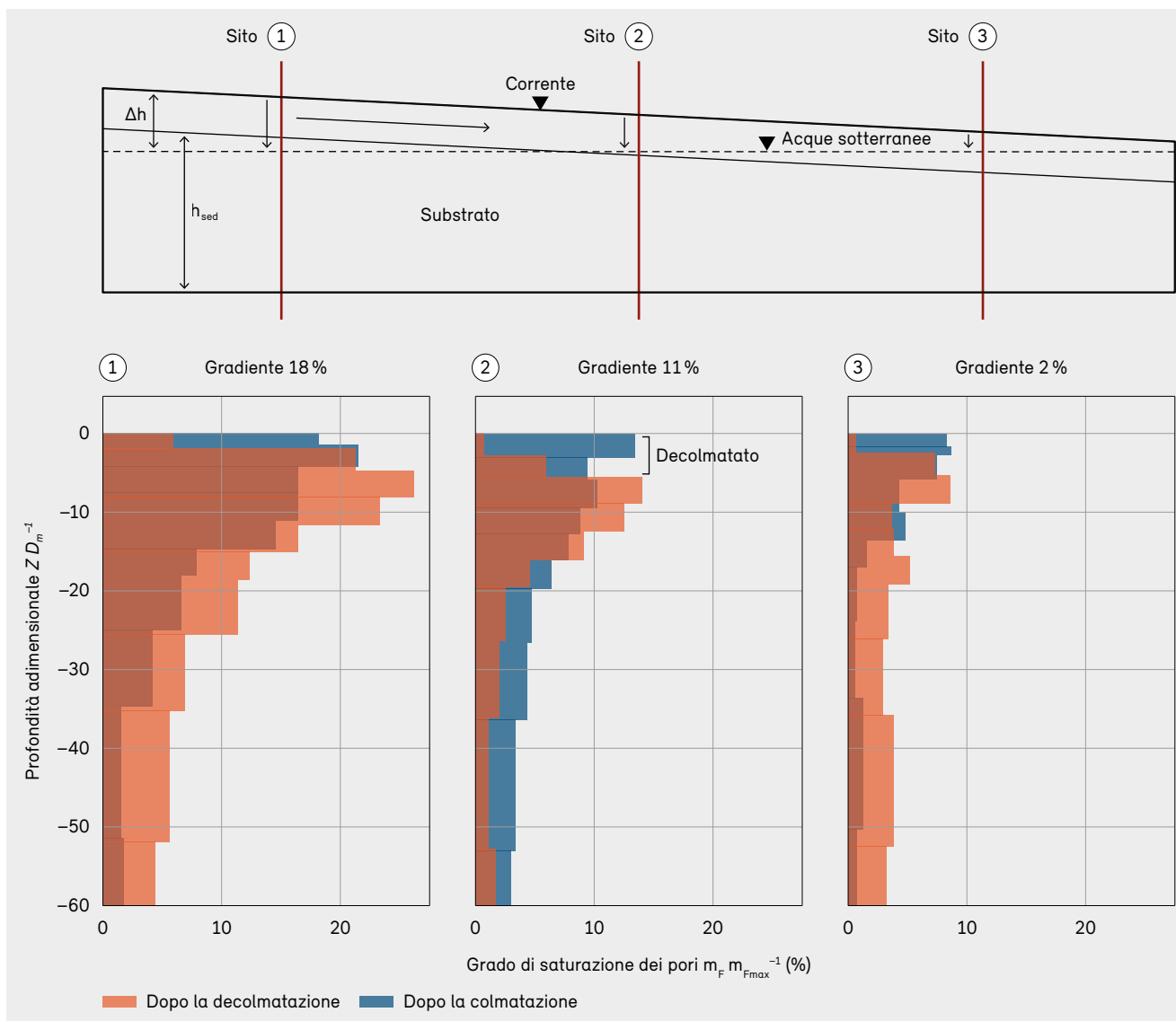
(iv) I risultati di vari studi indicano che concentrazioni più elevate di sedimenti fini aumentano il tasso di deposito accelerando il processo di colmatazione (Schälchli 1993; Mooneyham e Strom 2018). La quantità di materiale depositato e la conseguente riduzione della conducibilità idraulica dipendono dalla concentrazione di sedimenti fini (fig. 45). Quando le particelle si accumulano lentamente, tende a formarsi uno strato intasato più costipato e più spesso, poiché un numero maggiore di particelle è in grado di riempire i pori (Fetzer *et al.* 2017)

7.1.4 Distribuzione spaziale e dinamica dell'alveo

Gli alvei naturali possono essere visti come un mosaico di condizioni idromorfologiche localmente variabili a livello della larghezza del fiume, che portano a forme e gradi di colmatazione differenti all'interno dello stesso corso d'acqua. Il grado di colmatazione in una sezione fluviale deve essere analizzato sia nello spazio sia nel tempo, includendo le variazioni stagionali del deflusso e della concentrazione di sedimenti fini. Di norma viene definito in termini di conducibilità idraulica, porosità e grado di costipazione della zona iporreica. La colmatazione superficiale avviene in aree a bassa velocità di deflusso, cioè in acque poco profonde su banchi di ghiaia e vicino alle sponde, eventualmente anche in pozze. I sedimenti trasportati dal corso d'acqua influenzano il tipo e il grado di colmatazione. Alcuni corsi d'acqua sono caratterizzati da un trasporto considerevole di sedimenti limitato agli eventi di piena che mobilitano l'alveo, consentendo il disintasamento (o la decolmatazione). In altre situazioni, ad esempio nel Rodano canalizzato nelle Alpi, si osserva il transito di materiale più fine su ghiaia più grossolana anche in presenza di un basso sforzo tangenziale. Il trasporto di materiale solido di fondo non provoca la distruzione dello strato di armatura o il rilascio di sedimenti fini intrappolati, poiché la capacità di trasporto non è in grado di mobilitare più del materiale fine dell'alveo.

Figura 44

Effetto della decolmatazione sul grado di saturazione dei pori in tre punti lungo il canale presso la piattaforma PL-LCH, corrispondenti a diverse intensità d'infiltrazione indotte dalla forte pendenza e dal livello orizzontale delle acque sotterranee. L'ampio gradiente locale di percolazione ($\Delta h h_{sed}^{-1}$) determina una maggiore colmatazione, come suggerito dall'elevato grado di saturazione dei pori. Nel sito 3, il basso gradiente di percolazione determina una minore quantità di sedimenti fini intrappolati nei pori, mentre il sito 2 mostra una situazione intermedia. La decolmatazione avviene solo nella parte superiore del substrato, dove si osserva una diminuzione della saturazione dei pori da 1 a $4 D_m$ (diametro medio geometrico del substrato) nei tre punti.



Fonte: EPFL

7.2 Decolmatazione

7.2.1 Efficienza della decolmatazione

L'efficienza del processo di decolmatazione dipende dallo spessore dello strato mobilizzato durante l'evento di piena. Negli esperimenti nella piattaforma PL-LCH sono stati mobilizzati fino a circa $3 D_m$ (diametro medio geometrico del substrato) (fig. 44). La conducibilità idraulica aumenta di conseguenza, con un balzo netto quando l'alveo inizia a essere mobilizzato (fig. 45). Gli strati superiori del substrato sono di solito i più intasati, ma anche i primi a essere disintasi. Tuttavia, una decolmatazione visibile non significa che tutti i sedimenti fini infiltrati siano stati rilasciati.

Secondo Schälchli (1993), lo sforzo tangenziale adimensionale necessario per avviare il processo di decolmatazione è di circa $\theta_k = 0,06$ e una decolmatazione completa dell'alveo si ottiene circa a $\theta_b > 0,07$, che corrisponde a un trasporto di materiale dal letto molto ben sviluppato. La durata minima di piena necessaria per risciacquare un tratto di corso d'acqua dipende dalla lunghezza del tratto e dalla velocità del deflusso in prossimità dell'alveo (velocità di deriva). Quest'ultima influenza il trasporto dei sedimenti in sospensione

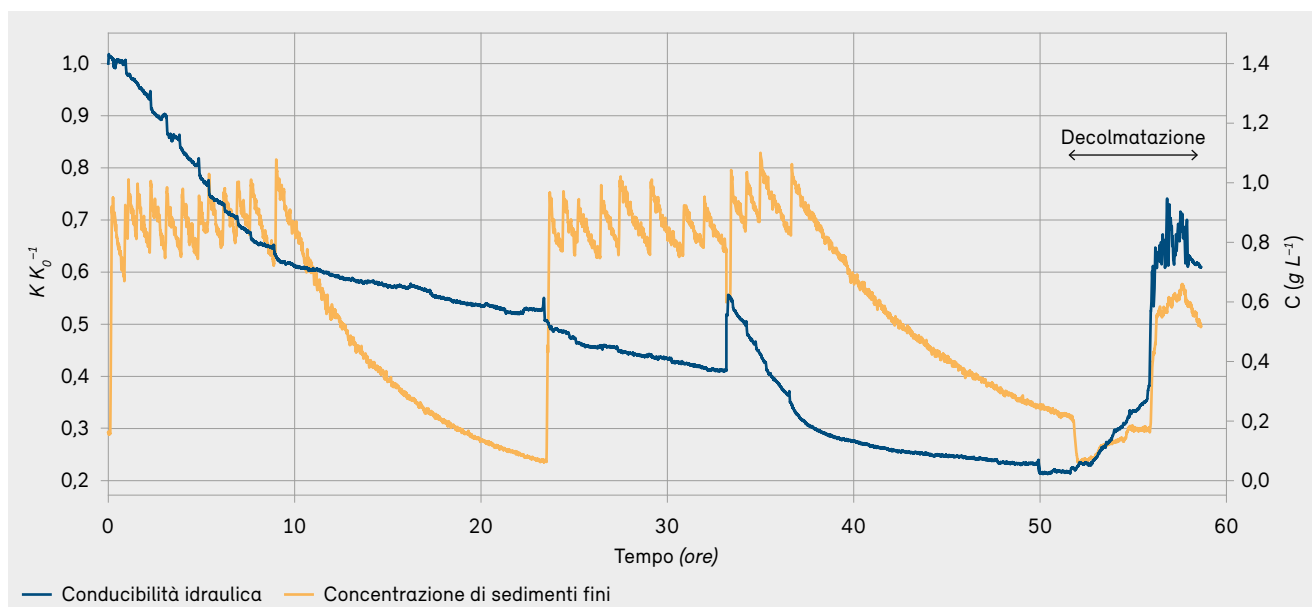
lungo l'intero tratto, poiché la maggior parte della massa in sospensione rimane solitamente al di sotto del 20 per cento della profondità della corrente. Questa velocità può essere stimata in base ai profili logaritmici tipici.

7.2.2 Conseguenze della costipazione

La colmatazione del substrato comporta la sua costipazione. La prima conseguenza è che lo sforzo necessario ai pesci per liberare il substrato dai sedimenti fini prima di deporre le uova aumenta notevolmente. Alla stessa stregua, per i macroinvertebrati è più difficile penetrare nella zona iporreica. La seconda conseguenza è che è meno probabile che si verifichi la decolmatazione. Questa controreazione negativa riduce la possibilità di mantenere gli alvei intasati naturalmente che seguono i cicli di piena. La ricerca ha tuttavia dimostrato che la bioturbazione può aumentare la mobilità dell'alveo, attraverso la rimozione dei sedimenti fini, e migliorare l'habitat per la riproduzione (Buxton 2018). Fornire aree adatte alle specie che contribuiscono alla bioturbazione, come i salmonidi e alcuni tipi di macroinvertebrati, potrebbe quindi contribuire a ridurre la colmatazione in futuro.

Figura 45

Conducibilità idraulica globale misurata ($K K_0^{-1}$, rispetto al valore iniziale) durante un ciclo di colmatazione-decolmatazione. $K K_0^{-1}$ diminuisce più rapidamente in presenza di alte concentrazioni di sedimenti fini. Il picco intorno alle 33 ore è dovuto alla raccolta dei campioni. La decolmatazione accelera quando l'alveo inizia a essere mobilizzato



7.3 Cambiamenti e conseguenze indotti dall'uomo

Anche se la colmatazione è un processo naturale, i cambiamenti nell'uso del suolo e nelle infrastrutture modificano sensibilmente il flusso e il regime dei sedimenti nei corsi d'acqua, influenzando principalmente le concentrazioni di sedimenti fini e la mobilizzazione dell'alveo.

Molteplici fattori influenzano la concentrazione di sedimenti fini nei corsi d'acqua. I tempi e la durata delle concentrazioni periodicamente elevate di sedimenti fini influenzano direttamente il loro effetto sulla colmatazione. La concentrazione di sedimenti fini in fiumi come il Rodano, caratterizzato dalla presenza di molte centrali idroelettriche e dall'acqua di scioglimento dei ghiacciai, rimane a livelli medio-alti tutto l'anno. In questo caso, l'infiltrazione per lunghi periodi porta a una pronunciata colmatazione interna. Sono tuttavia necessarie ulteriori ricerche per capire l'effetto ciclico delle condizioni di flusso variabili e delle elevate concentrazioni di sedimenti fini combinate con le piene.

Nei bacini fluviali più naturali, concentrazioni medie o elevate di sedimenti fini nella corrente sono solitamente correlate a eventi di piena e la maggior parte del processo di colmatazione avviene nelle ore o nei giorni successivi a tali eventi. Nei corsi d'acqua con rapide e pozze, le condizioni dinamiche nonché la risalita e la discesa delle acque creano una distribuzione disomogenea dei sedimenti fini. La forma dinamica del corso d'acqua nel corso del tempo contribuisce al disintasamento di banchi precedentemente intasati e alla rigenerazione di habitat riproduttivi idonei.

I cambiamenti associati alle attività umane possono essere riassunti come segue:

- cambiamenti nell'uso del suolo, presenza di terreno aperto ed erosione dovuta all'agricoltura e all'edilizia: una maggiore colmatazione dovuta a concentrazioni più elevate di sedimenti fini può portare a uno strato intasato più costoso e difficile da rompere durante le piene naturali;
- cambiamenti climatici: le temperature più elevate, l'aumento di precipitazioni estreme e l'accelerazione dello scioglimento dei ghiacciai determinano un aumento della portata con alte concentrazioni di sedimenti fini;
- canalizzazione dei fiumi: condizioni di deflusso uniformi sono combinate con una bassa variazione delle dimensioni della ghiaia. Il tasso d'infiltrazione può variare lungo una sezione e tradursi in diversi gradi d'intasamento. In presenza di uno strato di armatura, l'alveo è raramente mobilizzato e rigenerato. Il trasporto di materiale solido di fondo o la rottura occasionale dello strato di armatura possono limitare la formazione di uno strato intasato vicino alla superficie del substrato, ma può formarsi uno strato intasato più profondo;
- portata regolata (deflussi residuali) nei corsi d'acqua a valle delle dighe, discontinuità dei sedimenti, riduzione della frequenza di piene e mobilizzazione dei sedimenti: l'ostruzione del trasporto dei sedimenti porta a un substrato più grossolano a causa del deficit di materiale solido di fondo e dell'erosione dell'alveo (Facchini 2017; cfr. anche cap. 6). Ciò porta alla formazione di uno strato di armatura grossolano che viene raramente rimobilizzato. La decolmatazione è quindi ostacolata. L'assenza di piene trasforma l'alveo in un bacino per i sedimenti fini. La colmatazione biochimica può potenziare questi effetti. Lo strato di armatura grossolano favorisce la cattura dei sedimenti fini, che si depositano sotto di esso, come osservato lungo la Sarine (FR). La portata regolata diminuisce il potenziale delle risposte morfogenetiche alle piene e di conseguenza le possibilità di decolmatazione;
- rilascio improvviso di una grande quantità di sedimenti fini (spurgo del bacino): grandi quantità di sedimenti fini si depositano sulla superficie e sugli strati superiori dell'alveo. È probabile che nelle pozze e nelle aree temporaneamente bagnate o a basso sforzo tangenziale si verifichi una colmatazione superficiale. Un risciacquo con acqua pulita può aiutare a recuperare una superficie dell'alveo non ancora colmatata, ma è necessario uno sforzo tangenziale sufficiente per liberare i sedimenti fini intrappolati nella zona iporreica;
- deflussi discontinui: anche in presenza di portate variabili, solitamente lo sforzo tangenziale sviluppato dagli impulsi di piena non è sufficiente per il disintasamento. Si può formare uno strato di armatura resistente alla portata ricorrente. C'è chi ipotizza che i deflussi discontinui portino a un maggiore intasamento (Schälchli, Abegg + Hunzinger 2002). Anche se sono necessarie ulteriori ricerche, uno studio recente (Hauer *et al.* 2019) ha tuttavia indicato che non sembra esistere una correlazione diretta tra l'infiltrazione di sedimenti fini e la variabilità della portata nei corsi d'acqua

interessati da deflussi discontinui. In tali corsi d'acqua esiste tuttavia spesso una differenza tra l'area permanentemente bagnata, senza colmatazione superficiale, e l'area temporaneamente bagnata, dove i sedimenti fini si accumulano e formano un sigillo. Ciò può essere dovuto all'erosione e al deposito sulle sponde a causa dell'alta frequenza degli impulsi di deflusso.

7.4 Conclusioni

La distribuzione granulometrica del substrato e l'interazione tra il substrato e le acque sotterranee hanno effetti significativi sulla colmatazione e sulla decolmatazione: la risalita delle acque profonde impedisce una colmatazione su larga scala. Le infrastrutture e le attività umane modificano il processo naturale e ciclico, soprattutto a causa dell'aumento delle concentrazioni di sedimenti fini nonché delle modifiche del regime di piena e del trasporto di sedimenti. Al posto del grado di colmatazione disomogeneo e localmente variabile

che si riscontra nei sistemi più naturali, i fiumi canalizzati con portate regolate sono soggetti a un maggiore intasamento di vaste aree, quasi senza nessuna decolmatazione stagionale. Per mantenere una buona connettività verticale, al fine di migliorare il successo della riproduzione dei pesci e le condizioni di habitat per i macroinvertebrati, è necessario che si verifichino eventi di decolmatazione almeno parziale su base annua. Il successo della decolmatazione della zona iporreica dipende fortemente da piene in grado di mobilitare il substrato e rompere lo strato di armatura. Sono necessari corsi d'acqua più naturali, con un maggior numero di piene naturali (con conseguente decolmatazione) e un maggior trasporto naturale di sedimenti. Non vanno inoltre trascurati gli effetti negativi della colmatazione biochimica, soprattutto nei sistemi con acque più calde.

Riquadro 10: Nella pratica – valutazione della colmatazione

Tobias Meile, BG Ingénieurs Conseils SA

Tra i principali obiettivi della politica svizzera di protezione delle acque figura quello di rivitalizzare i corsi d'acqua definendo lo spazio riservato alle acque, attuando misure di rivitalizzazione e riducendo i danni ecologici causati dallo sfruttamento idroelettrico. In questo contesto, due aiuti all'esecuzione descrivono metodi pratici per analizzare la colmatazione interna ed esterna (Tonolla *et al.* 2017).

Questi metodi di analisi sono stati applicati in diversi corsi d'acqua alpini e prealpini, ad esempio la Sarine, il Rodano, la Dranse de Ferret, la Dranse de Bagnes e il Matter Vispa. Il metodo di Schälchli, Abegg + Hunzinger (2002), che prevede la valutazione del grado di colmatazione (da nullo a molto elevato) utilizzando immagini comparative, è pratico e ampiamente utilizzato, ma è limitato alla parte temporaneamente bagnata del corso d'acqua. La valutazione dovrebbe essere svolta in condizioni di magra e di bel tempo. Il metodo elaborato da Guthruf (2014) (forza di estrazione di un'asta) e il

metodo dello stivale (forza necessaria per entrare nel substrato) (Schälchli, Abegg + Hunzinger 2002; Pulg *et al.* 2013) sono soluzioni alternative per valutare la colmatazione in aree bagnate. La loro applicabilità è tuttavia inadeguata nei torrenti alpini molto strutturati con pendenze elevate (> 1%). A causa del substrato relativamente grossolano e della potenziale presenza di armatura, vi è un elevato rischio di assegnare sempre la classe di colmatazione più alta, indipendentemente dall'effettivo grado di colmatazione interno.

Per ottenere risultati affidabili è necessario raccogliere tre o quattro campioni per sito, confrontare diversi metodi e analizzare i corsi d'acqua non influenzati dalle attività umane. I risultati vanno in seguito interpretati considerando le condizioni di base, come: (1) la colmatazione naturale, spesso presente nel caso di acque glaciali, (2) l'ultima piena che ha rimodellato l'alveo o rimosso lo strato di armatura, (3) eventi particolari come colate detritiche, frane e spurgo del bacino.

Occorre inoltre considerare le condizioni di sicurezza del lavoro nell'alveo, soprattutto a valle degli impianti idroelettrici. Una pianificazione accurata del lavoro è un fattore chiave per garantire valutazioni efficienti del sito.