



Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale

RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE

Numero 3.1/2010

speciale

**BUONE PRATICHE
PER LA PROGETTAZIONE E LA GESTIONE
DEL RETICOLO IDROGRAFICO MINORE NATURALE
NELL'OTTICA DELLA RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE**

Scheda 1 - EROSIONE SPONDALE



Provincia dell'Aquila
Assessorato all'Ambiente

Questa pubblicazione e tutti gli articoli in essa contenuti sono rilasciati sotto licenza Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 2.5, ovvero

Tu sei libero:

- di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera

Alle seguenti condizioni:

 **Attribuzione.** Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera

 **Non commerciale.** Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.

 **Non opere derivate.** Non puoi alterare o trasformare quest'opera, né usarla per crearne un'altra.

- Ogni volta che usi o distribuisi quest'opera, devi farlo secondo i termini di questa licenza, che va comunicata con chiarezza.
- In ogni caso, puoi concordare col titolare dei diritti utilizzi di quest'opera non consentiti da questa licenza.
- Questa licenza lascia impregiudicati i diritti morali.

Le utilizzazioni consentite dalla legge sul diritto d'autore e gli altri diritti non sono in alcun modo limitati da quanto sopra.

Questo è un riassunto in linguaggio accessibile a tutti del Codice Legale (la licenza integrale) che si può consultare sul sito internet <http://creativecommons.it/licenze>

AUTORI

Marco Monaci
Ileana Schipani
Giuseppe Sansoni
Bruno Boz

SI RINGRAZIANO PER LA COLLABORAZIONE

Giuliano Trentini
Daniele Sogni
Michele Ceddia

GRAFICA E IMPAGINAZIONE

Anna Polazzo

FOTO DI COPERTINA

Marco Monaci

RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE

Numero 3.1/2010

SOMMARIO

5	PREFAZIONE
7	INTRODUZIONE ALLE BUONE PRATICHE
9	EROSIONE SPONDALE
9	1 PREMESSA
9	2 APPROCCIO GENERALE AL PROBLEMA DELL'EROSIONE SPONDALE
10	3 ANALISI DELLE CAUSE
10	3.1 SCALA DI BACINO
11	3.2 SCALA LOCALE
12	4 OBIETTIVI DELLE AZIONI A SCALA DI BACINO
13	5 ESEMPI DI POSSIBILI AZIONI A SCALA DI BACINO IN RELAZIONE AI DIVERSI OBIETTIVI
14	5.1 OBIETTIVO: RIDUZIONE/ELIMINAZIONE DEL DEFICIT DI TRASPORTO SOLIDO
14	5.1.1 Azione: aumento dell'apporto di sedimenti dai versanti
14	5.1.2 Azione: aumento dell'apporto di sedimenti dalle sponde
14	5.1.3 Azione: reimmissione di sedimenti in alveo
14	5.1.4 Azione: conservazione dei sedimenti in alveo
15	5.1.5 Azione: modifica, nonricostruzione o eliminazione degli sbarramenti trasversali
15	5.2 OBIETTIVO: DIMINUZIONE DELLA CAPACITÀ EROSIVA DELLA CORRENTE TRAMITE LA DISSIPAZIONE DI ENERGIA FLUVIALE IN ECCESSO
15	5.2.1 Azione: riqualificazione morfologica
15	5.2.2 Azione: laminazione delle piene a monte del tratto in esame
15	5.3 OBIETTIVO: RIEQUILIBRIO DEL REGIME DELLE PORTATE SOLIDE E LIQUIDE A VALLE DELLE DERIVAZIONI
15	5.3.1 Azione: gestione del regime delle portate solide e liquide
15	6 OBIETTIVI DELLE AZIONI A SCALA LOCALE
16	7 ESEMPI DI POSSIBILI AZIONI A SCALA LOCALE IN RELAZIONE AI DIVERSI OBIETTIVI
16	7.1 OBIETTIVO: MANTENERE/FAVORIRE LA DINAMICA LATERALE
16	7.1.1 Azione: non intervenire (lasciare erodere)
17	BOX - DEFINIZIONE DI UNA FASCIA DI MOBILITÀ PLANIMETRICA
18	BOX - PROCESSO DI RINATURALIZZAZIONE PER LIBERA EVOLUZIONE DI UN CORSO D'ACQUA CANALIZZATO
19	7.1.2 Azione: riqualificazione morfologica
19	BOX - DIVERSIFICAZIONE MORFOLOGICA DELL'ALVEO E MODIFICA DEL TRACCIATO PLANIMETRICO PER IL RIPRISTINO DELLA SINUOSITÀ
20	BOX - PALIFICATE VIVE CON TALEE
21	7.2 OBIETTIVO: PROTEGGERE LE AREE URBANIZZATE O INFRASTRUTTURATE (O COMUNQUE DI ELEVATO VALORE)
21	7.2.1 Azione: consolidare la sponda mediante ingegneria naturalistica "viva"
22	7.2.2 Azione: Forestazione delle fasce perifluviali (anche in funzione di una riqualificazione fruitiva e paesaggistica del corso d'acqua)

23	BOX - BRIGLIE IN MASSI PER LA REDIREZIONE DELLA CORRENTE
24	BOX - BRIGLIE POROSE PER LA REDIREZIONE DELLA CORRENTE
25	BOX - RISAGOMATURA E RIVEGETAZIONE DELLE SPONDE
26	BOX - PENNELLI
27	BOX - DEFLETTORI DI CORRENTE/REPELLENTI
28	BOX - DIFESE/PENNELLI ARRETRATI ED INTERRATI
30	BOX - MESSA A DIMORA DI UNA FASCIA RIPARIA PER IL CONSOLIDAMENTO SPONDALE
31	BOX - INERBIMENTI
32	BIBLIOGRAFIA

Prefazione

Negli ultimi anni abbiamo assistito a un concreto incremento di attenzione verso il nostro patrimonio ambientale, ancorché la coscienza degli operatori e dei fruitori non abbia ancora compiutamente sviluppato quella sensibilità che invece "l'ambiente" merita.

Chi si occupa quotidianamente di problemi riguardanti il territorio, oltre a promuovere una maggiore sensibilità verso la natura deve anche porsi un importante obiettivo: contribuire alla conoscenza e allargare gli orizzonti degli operatori che si occupano di ambiente presso le amministrazioni pubbliche.

In particolare, in un territorio come quello della Provincia dell'Aquila, caratterizzato da una presenza di corsi d'acqua di assoluto rilievo, diviene fondamentale approfondire le problematiche connesse al loro "funzionamento" e definire le modalità per una loro corretta gestione.

La Provincia ha perciò ritenuto opportuno promuovere iniziative di studio, formazione, educazione e divulgazione di buone pratiche per la gestione del patrimonio idrologico provinciale, oltre a sperimentare nuove forme di approccio alla risoluzione dei problemi cui l'Ente deve far fronte giornalmente.

La ricerca delle migliori soluzioni per la gestione dei corsi d'acqua richiede un lavoro di tipo interdisciplinare, un'azione improntata alla sostenibilità ambientale e la capacità di ottimizzare la sempre più scarsa disponibilità di risorse economiche. Gli Enti pubblici, infatti, e in particolare i Geni Civili, sono chiamati a progettare interventi sul reticolo idrografico e a programmare, valutare e autorizzare azioni di diversi soggetti pubblici e privati, dalla riqualificazione dell'ecosistema fluviale, alla realizzazione di attraversamenti fino alla gestione/autorizzazione delle derivazioni.

I tecnici devono pertanto confrontarsi con la necessità di definire strategie di "gestione" dei corsi d'acqua sempre più integrate, al fine di coniugare le esigenze di protezione dal rischio di alluvioni e di dissesto idromorfologico con quelle di natura ambientale, sociale ed economica.

Per rispondere a questa richiesta, dettata dal contesto normativo, ma anche dai nuovi bisogni della società, la Provincia ha intrapreso un percorso di innovazione delle prassi decisionali e progettuali per la gestione dei corsi d'acqua, così da basarle maggiormente su una visione ad ampio spettro delle problematiche e su un approccio multiobiettivo.

Da queste esigenze, negli anni 2008-2009, per volontà dell'Assessore all'Ambiente Dott. Michele Fina, è nata la proficua collaborazione tra l'Amministrazione Provinciale dell'Aquila e il CIRF, Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale, che ha visto la realizzazione di un corso di formazione rivolto al personale tecnico del

Genio Civile provinciale e incentrato sugli aspetti teorici e pratici della gestione dei corsi d'acqua: un corso che ha indubbiamente fornito gli stimoli per guardare ai fiumi del nostro territorio con nuova consapevolezza e che ha gettato le basi, con i contenuti raccolti in questa pubblicazione, per prendersene cura in modo più appropriato e cosciente.

Al CIRF va il mio più sentito apprezzamento per la disponibilità, la professionalità e la competenza posta a servizio dei nostri tecnici.



Ing. FRANCESCO BONANNI

Dirigente del Settore Ambiente della Provincia dell'Aquila

Introduzione alle Buone Pratiche

MOTIVAZIONI

Come coniugare la gestione del rischio idraulico con la tutela e la riqualificazione degli ecosistemi fluviali?

In che modo affrontare i problemi di incisione ed erosione migliorando lo stato ecologico dei corsi d'acqua? È possibile integrare la prassi di programmazione, progettazione e manutenzione del reticolo idrografico gestito dai "Geni civili" affinché questi obiettivi possano essere perseguiti in modo congiunto?

Il CIRF, insieme al Settore Ambiente della Provincia dell'Aquila, ha provato a rispondere a queste domande raccogliendo differenti approcci, soluzioni tecniche ed esperienze concrete in una pubblicazione online gratuita, il numero speciale della rivista "Riqualificazione fluviale" dedicato alle "Buone pratiche per la progettazione e la gestione del reticolo idrografico minore naturale nell'ottica della riqualificazione fluviale" (nel seguito "Buone Pratiche").

DESTINATARI

Le buone pratiche si rivolgono principalmente agli Enti (Geni civili, Servizi tecnici di bacino, Settori ambientali delle Pubbliche Amministrazioni, ecc.) che programmano, progettano, valutano e autorizzano interventi sul reticolo idrografico minore naturale, oltre che ai professionisti, alle Università e a chiunque a diverso titolo si occupi di corsi d'acqua.

AMBITO DI APPLICAZIONE

La pubblicazione fornisce indicazioni utili per la gestione del reticolo idrografico minore naturale; si intendono perciò esclusi i grandi fiumi e il reticolo artificiale.

I concetti di base introdotti dalle buone pratiche sono generalmente validi anche per queste tipologie di corsi d'acqua, ma i suggerimenti progettuali specifici potrebbero non essere adeguati alle loro dimensioni, alle dinamiche, alle portate, ecc..

Le buone pratiche, pur non coprendo tutte le tipologie di reticolo minore naturale presenti nel territorio nazionale, si pongono come uno strumento dinamico, che può essere periodicamente integrato e aggiornato mediante la raccolta di nuovi casi, tipologie, soluzioni.

PROBLEMATICHE TRATTATE

Il numero speciale della rivista intende illustrare, attraverso specifiche Schede, le possibilità offerte dalla riqualificazione fluviale per la soluzione dei principali problemi affrontati dai Geni Civili nella gestione dei corsi d'acqua:

- Scheda 1 - Erosione spondale
- Scheda 2 - Incisione dell'alveo
- Scheda 3 - Sovralluvionamento
- Scheda 4 - Rischio idraulico

Le schede contengono suggerimenti concettuali utili per orientare le scelte progettuali e, in quanto tali, non devono essere considerate un manuale tecnico-operativo esauriente che, dall'analisi del problema e delle cause, permette di passare in modo schematico ed automatico alla soluzione progettuale; quest'ultima deve invece essere individuata adattando i suggerimenti tecnici forniti alla specifica realtà territoriale in studio.

stivo che, dall'analisi del problema e delle cause, permette di passare in modo schematico ed automatico alla soluzione progettuale; quest'ultima deve invece essere individuata adattando i suggerimenti tecnici forniti alla specifica realtà territoriale in studio.

APPROCCIO GENERALE: LA RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE

Il termine riqualificazione fluviale è stato per molto tempo associato agli interventi di forestazione delle sponde, ad azioni sugli scarichi fognari o dei depuratori o, tutt'al più, ad interventi puntuali di creazione di habitat in alveo e sulle sponde (come rifugi per pesci, buche e raschi, ecc.), la cui realizzazione era però subordinata al mantenimento di un deflusso delle piene libero da ogni impedimento.

Le buone pratiche non rinnegano tali interventi, considerati anzi in alcuni casi di estrema importanza, ma intendono fare un passo in avanti rispetto a questo approccio, ampliando le opportunità per ottenere un miglioramento ambientale dei corsi d'acqua e del territorio attraversato; nelle schede si suggerisce, infatti, l'uso di interventi di riqualificazione fluviale per affrontare problemi quali il rischio idraulico, il dissesto spondale, ecc..

La riqualificazione fluviale è ormai considerata come una strategia vantaggiosa per risolvere problemi che possono mettere a rischio la vita, il benessere e la salute delle persone, senza limitarsi ad essere un semplice corollario, "una volta risolti i problemi seri", finalizzato esclusivamente al pur importante miglioramento dello stato degli ecosistemi.

Secondo questo approccio¹, il rischio di alluvioni può essere limitato gestendo i corsi d'acqua in modo più naturale, restituendo loro spazio e naturalità, mentre mantenere o ripristinare una dinamica morfologica attiva dei corsi d'acqua -"lasciar muovere" di più il fiume- e garantire un trasporto solido il più possibile indisturbato cominciano ad essere considerate azioni prioritarie per il controllo del dissesto idromorfologico.

Azioni che prevedono l'uso o il ripristino di opere fluviali (argini, casse d'espansione, ecc.) dovrebbero quindi essere prese in considerazione solo dopo aver verificato che le soluzioni offerte dalla riqualificazione fluviale non siano praticabili o lo siano solo parzialmente, e comunque dopo aver adeguatamente indagato il funzionamento idraulico, geomorfologico, ecosistemico del corso d'acqua in studio, le ricadute di medio e lungo periodo delle opere fluviali e la loro sostenibilità tecnico-economica.

Un concetto fondamentale nella valutazione dei processi che agiscono sull'alveo e per la definizione degli interventi di riqualificazione è quello dell'equilibrio geomorfologico dinamico, che caratterizza la tendenza dell'alveo a mantenere la propria struttura (tipologia fluviale, pendenza, larghezza, profondità, sinuosità, ecc.) alla scala temporale di medio termine (o gestionale), pur modificandosi e variando continuamente il tracciato (equilibrio "dinamico").

I processi geomorfologici (erosione, trasporto e sedimentazione) costituiscono, infatti, i meccanismi principali per la formazione dell'alveo, della piana inondabile, dei terrazzi e di altre strutture presenti nel bacino

idrografico e nel corridoio fluviale. I corsi d'acqua e le loro piane inondabili si assestano costantemente in funzione della quantità di acqua e di sedimenti fornita dal bacino idrografico: stati di squilibrio, al contrario, inducono processi accelerati di riaggiustamento morfologico (incisione ed erosione delle sponde fuori controllo, ecc.), con pesanti ripercussioni economiche ed ecologiche. Qualsiasi progetto di intervento sui corsi d'acqua deve quindi tenere in attenta considerazione tali processi, per comprendere se e come intervenire per riequilibrarli (nel caso si abbia una situazione di instabilità fuori controllo) o se lasciare che si manifestino liberamente, o con vincoli da definire in funzione della situazione locale, perché espressione della naturale dinamica dei corsi d'acqua.

¹ Per ulteriori dettagli si veda il Manuale "La riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio" (Nardini A. e Sansoni G. e collaboratori - CIRF, 2006)

Erosione spondale

1 PREMESSA

- Le buone pratiche descritte nella presente scheda hanno lo scopo di mostrare le possibilità offerte dalla **riqualificazione fluviale** nella soluzione del **problema strutturale dell'erosione spondale**.

- Secondo questo approccio, descritto dettagliatamente nel Manuale *"La riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio"* (Nardini A. e Sansoni G. e collaboratori - CIRF, 2006), in molti casi è possibile, e spesso necessario, ripristinare e assecondare i processi evolutivi degli ecosistemi fluviali per porre rimedio a situazioni di dissesto che possono arrecare danni ad opere ed infrastrutture e che mettono a rischio l'incolumità delle persone, pur nei vincoli imposti da un uso intensivo del territorio.

- Azioni che prevedono l'uso o il ripristino di opere fluviali** (argini, difese spondali, briglie, ecc.) dovrebbero quindi essere prese in considerazione solo dopo aver verificato che le soluzioni offerte dalla riqualificazione fluviale non sono praticabili o lo sono in parte, e comunque dopo aver adeguatamente indagato il funzionamento idraulico, geomorfologico, ecosistemico del corso d'acqua in studio, le ricadute di medio e lungo periodo delle opere fluviali e la loro sostenibilità tecnico-economica.

- La scheda in oggetto consiste in **suggerimenti concettuali** utili per **orientare le scelte progettuali** e non deve essere considerata un manuale tecnico-operativo che,

dall'analisi del problema e delle sue cause, permette di passare in modo schematico ed automatico alla soluzione progettuale; questa deve invece essere individuata adattando i suggerimenti tecnici della scheda alla specifica realtà territoriale in studio.

- Le indicazioni qui fornite non intendono essere esaustive e nemmeno coprire tutte le tipologie di reticolo minore naturale presenti nel territorio nazionale, ma anzi hanno l'ambizione di essere uno **strumento periodicamente aggiornato** mediante la raccolta di nuovi casi, nuove tipologie, nuove soluzioni.

- Si sottolinea infine che i cenni teorici presenti nella scheda in merito alle caratteristiche geomorfologiche, ecologiche, idrauliche dei corsi d'acqua ed all'approccio della riqualificazione fluviale, potranno essere approfonditi facendo riferimento al Manuale già citato, alla bibliografia specifica in esso indicata ed a quella essenziale riportata nella presente scheda.

2 APPROCCIO GENERALE AL PROBLEMA DELL'EROSIONE SPONDALE

- L'**erosione spondale** è un'espressione della naturale tendenza dei corsi d'acqua a modificare il tracciato planimetrico, arretrando progressivamente le sponde dell'alveo e portandole ad interessare le aree limitrofe, ed è perciò uno dei fenomeni mediante i quali l'ecosistema fluviale evolve e si diversifica.

- L'**erosione spondale** nella maggior parte dei casi non dovrebbe quindi essere considerata come un **problema** ma, in un territorio fortemente utilizzato come quello italiano (urbanizzazione, uso agricolo intensivo, ecc.), può diventare un'effettiva problematica da affrontare in situazioni particolari.

- Per definire le azioni necessarie ad affrontare il tema erosione spondale conviene quindi individuare **due situazioni diversificate**:

- l'erosione avviene in corrispondenza di aree **urbanizzate o infrastrutturate** (o comunque di elevato valore economico) (Figura 1);

- l'erosione avviene in corrispondenza di aree **non urbanizzate o infrastrutturate** (o comunque a basso valore, ad esempio aree incolte e in molti casi aree agricole) (Figura 2).

- Le **soluzioni** ipotizzabili nelle due situazioni possono essere molto differenti tra loro e nel primo caso prevedere la realizzazione di interventi volti a contenere l'erosione, mentre nel secondo potranno essere considerate anche ipotesi meno interventiste e che assecondino maggiormente le dinamiche fluviali.

- La presenza di tratti estesi in erosione significativa potrebbe però essere causata non tanto da normali dinamiche del corso d'acqua ma da una situazione di perdita dell'**equilibrio geomorfologico dinamico** che caratterizza i corsi d'acqua in buono stato, concetto fondamentale nella valutazione dei processi che agiscono sull'alveo, a cui prestare attenzione nella definizione delle strategie per risolvere di dissesto.

- Un **corso d'acqua in equilibrio**, infatti, pur modificandosi e variando il tracciato (in maniera graduale), mantiene mediamente invariata la sua forma e le sue di-

mensioni caratteristiche (pendenza, larghezza, profondità, sinuosità, ecc.), senza subire violente e repentine (alla scala geologica) modifiche, quali appunto erosioni eccessive.

- Ad esempio, uno scarso apporto di sedimenti può causare un problema di incisione che, a sua volta, può provocare l'erosione delle sponde (si veda la "*Scheda incisione*"), oppure un'artificializzazione spinta del corso d'acqua può velocizzare la corrente e causare l'erosione, tutte situazioni che mostrano un corso d'acqua in forte disequilibrio dal punto di vista idromorfologico.

- La possibilità di riportare il fiume verso condizioni di equilibrio geomorfologico deve quindi essere attentamente considerata per rimediare alle situazioni di erosione, senza ricercare a priori una condizione di stabilità dell'alveo e di assenza di erosione.

3 ANALISI DELLE CAUSE

3.1 SCALA DI BACINO

- Le cause dell'erosione possono essere ricondotte a diverse situazioni a scala di bacino, in particolare alla presenza di deficit del trasporto solido e di modifiche al regime idrologico, già introdotte nella "*Scheda incisione*" al Capitolo 2 "*Analisi delle cause*", Paragrafo 2.1 "*Scala di bacino*".

- Si riporta di seguito una breve descrizione di tali cause, rimandando al Capitolo citato per l'esemplificazione grafica dei concetti:

- **Deficit di trasporto solido**, causato dalla presenza di opere trasversali (dighe, briglie, ecc.) a monte del tratto in erosione o dalla disconnessione delle fonti di sedimenti presenti nel bacino. Nel



Figura 1 - Corso d'acqua in erosione in corrispondenza di un'opera viaria. (Foto: Marco Monaci)



Figura 2 - Corso d'acqua in erosione in corrispondenza di un'area agricola. (Foto: Marco Monaci)

primo caso i materiali trasportati dal fiume non possono più fluire liberamente, distribuirsi lungo il corso d'acqua per creare le sue tipiche forme fluviali (barre, isole, ecc.) e contribuire a mantenere una situazione di equilibrio geomorfologico dinamico: ne derivano quindi incisioni ed erosioni. Nel secondo caso i sedimenti contenuti nei versanti prossimi al corso d'acqua, nelle sponde, nei terraz-

zi fluviali, ecc. sono stati asportati o risultano disconnessi dal fiume a causa di opere fluviali (difese, argini, ecc.) o altre infrastrutture che impediscono il ripascimento dell'alveo ed il successivo trasporto solido verso valle, causando anche in questo caso incisioni ed erosioni.

- **Estrazione di inerti** che, approfondendo il tratto interessato, lo rende una trappola per inerti



Figura 3 – La barra presente in sinistra idrografica devia la corrente in destra e causa l'erosione della sponda, sviluppando così un naturale processo di evoluzione planimetrica dell'alveo. (Foto: Marco Monaci)

che trattiene i sedimenti provenienti da monte. A valle, venendo a mancare gli apporti solidi, si verifica erosione *progressiva*; a monte, il brusco salto di pendenza provoca un'erosione accelerata che procede progressivamente verso monte (*incisione regressiva*). In questo modo il corso d'acqua tende a ricostruire un profilo di fondo d'equilibrio, ad una quota inferiore a quella precedente.

- **Alterazione del regime delle portate liquide e solide:** gli sbarramenti per l'accumulo e/o la derivazione di acque ad uso irriguo/idroelettrico/idropotabile modificano, spesso in modo sostanziale, il regime idrologico dei corsi d'acqua. Il fenomeno dell'*hydropeaking* (violente oscillazioni giornaliere di portata causate dall'utilizzo idroelettrico degli sbarramenti) ha notevoli conseguenze sull'aumento delle forze erosive e può generare/aumentare la tendenza all'incisione ed erosione di un corso d'acqua. Gli sbarramenti possono d'altro canto ridurre anche frequenza ed intensità delle portate formative, con le quali il corso d'acqua

dovrebbe prendere in carico fonti locali di sedimenti posti a valle dello sbarramento stesso e distribuirli lungo il suo percorso; in questo caso, alla mancanza di flusso di sedimenti causata direttamente dall'opera fluviale, si somma la diminuita capacità del corso d'acqua di trasportare i sedimenti ancora presenti, che potrebbero bilanciare le situazioni di incisione e di conseguente erosione. A queste due situazioni, che possono anche sommarsi, se ne può infine aggiungere anche una terza, che vede il possibile rilascio di portate eccezionali, conseguenti a periodi di piena, con intensità che possono essere superiori a quelle naturali e che possono generare/aggravare il problema dell'incisione e dell'erosione.

- **Rettifica, accorciamento del percorso e perdita di aree di laminazione;** la riduzione di sinuosità e la rettifica di ampi tratti di corso d'acqua, il taglio dei meandri, la perdita di aree ove le piene possono laminare e dissipare la loro energia, sommati o meno all'impermeabilizzazione diffusa a scala di bacino e alla conseguen-

te diminuzione dei tempi di corrivazione, possono generare un aumento delle portate transitive e quindi della forza erosiva della corrente, amplificando o generando in questo modo le situazioni di erosione.

3.2 SCALA LOCALE

• Le cause dell'erosione spondale possono essere ricondotte a diverse situazioni a scala locale, descritte brevemente di seguito:

- **Presenza di elementi in alveo** (alberi, massi, accumuli di sedimenti, ecc) che deviano la corrente su una sponda. Nella maggior parte dei casi si tratta di situazioni naturali da ricondurre all'evoluzione del corso d'acqua e su cui non occorre pertanto intervenire; ove l'erosione interessi invece beni (infrastrutture, insediamenti) o metta a rischio l'incolumità delle persone, può essere utile agire per ovviare al problema (Figura 3). In altri casi gli elementi in alveo possono essere opere fluviali (pennelli, piloni di ponti, ecc.) che, se mal collocati, possono creare problemi e su cui occorre intervenire se beni e persone sono a rischio.

- **Mancanza di copertura vegetale** a protezione della sponda, che viene quindi (1) privata della coesione fornita dagli apparati radicali e (2) esposta ad una velocità di corrente più elevata (in quanto non rallentata dall'attrito con la vegetazione); entrambi i meccanismi inducono instabilità geotecnica della sponda. Anche in questo caso la mancanza di vegetazione e l'erosione spondale possono essere legati alla naturale evoluzione del corso d'acqua o essere frutto di interventi di manutenzione che privano la sponda di questa importante protezione nei punti in cui sarebbe utile (Figura 4).

- **Incisione localizzata,** che innesca il cedimento della sponda a



Figura 4 – La mancanza di vegetazione causa l'erosione della sponda. (Foto: Daniele Sogni)



Figura 5 – Erosione di sponda (a destra nella foto) causata da una situazione di incisione localizzata a valle di uno sbarramento (a sinistra). (Foto: Marco Monaci)



Figura 6 – Erosione spondale causata dall'aumento di velocità ed energia della corrente, conseguente all'artificializzazione (canalizzazione) dell'alveo. In giallo la sponda prima dell'erosione ed in rosso il nuovo profilo spondale (Foto: Ileana Schipani).

partire dalla base. In questo caso l'erosione è diretta conseguenza dell'incisione locale, sulla quale occorre quindi agire per evitare il protrarsi della situazione di dissesto (a meno che, anche in questo caso, i due fenomeni non siano altro che una manifestazione locale dell'evoluzione naturale del corso d'acqua) (Figura 5).

- **Artificializzazione dell'alveo localizzata;** la riduzione di sinuosità e la rettifica del corso d'acqua aumentano la sua velocità e possono quindi incrementare localmente la forza erosiva della corrente, amplificando o generando in questo modo l'erosione (Figura 6). Questa situazione può portare anche al danneggiamento delle difese spondali eventualmente presenti (Figura 7).

- **Erosione per processi di naturale dinamica fluviale:** come già ricordato nei punti precedenti, l'erosione spondale può non essere un problema ma la semplice manifestazione del processo evolutivo del corso d'acqua (Figura 8).

4 OBIETTIVI DELLE AZIONI A SCALA DI BACINO

- L'analisi dei problemi e delle cause a scala di bacino può suggerire di intervenire a scala vasta piuttosto che localmente, ove l'erosione si manifesta.

- E' quindi necessario porsi obiettivi, e definire azioni conseguenti, che non sono necessariamente di diretta competenza dei Geni civili a cui le linee guida in oggetto si rivolgono; è perciò necessario che il Genio civile agisca di concerto con l'autorità idraulica sovra-ordinata per definire le azioni locali e a scala di bacino sui corsi d'acqua di propria competenza.

- Come ricordato al Capitolo 2 *“Approccio generale al problema dell’erosione spondale”* la ricerca di una condizione di *equilibrio geomorfologico dinamico* dovrebbe essere l’obiettivo che sottende ogni azione messa in campo per affrontare il tema dell’erosione spondale.

- Secondo questa logica, le azioni atte a risolvere a scala di bacino il problema dell’erosione dovrebbero porsi i seguenti obiettivi, già introdotti nella *“Scheda incisione”* al Capitolo 4 *“Obiettivi delle azioni a scala di bacino”*, a cui si rimanda per una comprensione più approfondita dei temi trattati:

- **Riduzione/eliminazione del deficit di trasporto solido a scala di bacino.**

Se la causa dell’erosione è la generalizzata mancanza di sedimenti a scala di bacino, obiettivo degli interventi dovrebbe essere il ripristino, per quanto possibile, del trasporto solido, agendo direttamente sulle fonti di sedimenti (dalle sponde, dai versanti) e sulle interruzioni trasversali (briglie, dighe, ecc.) che ne precludono il trasporto.

- **Diminuzione della capacità erosiva della corrente tramite la dissipazione di energia fluviale in eccesso.**

Se a monte dei tratti in erosione si è generato un aumento delle portate transittanti e quindi della forza erosiva della corrente (ad esempio a causa di lunghi tratti rettificati che velocizzano la corrente o dell’impermeabilizzazione diffusa che diminuisce i tempi di corrivazione), e questo fatto amplifica o genera le situazioni di incisione e conseguente erosione, occorre apportare modifiche all’assetto fisico del corso d’acqua che permettano di diminuire la capacità erosiva delle portate defluenti.

- **Riequilibrio del regime delle portate solide e liquide a valle**



Figura 7 – Ammaloramento di difese spondali in seguito ad erosione del piede di sponda (Foto: Ileana Schipani).



Figura 8 – Corso d’acqua soggetto a naturali fenomeni di erosione spondale, che non richiedono nessun tipo di intervento per il loro contenimento (Foto: Ileana Schipani).

delle derivazioni.

Oltre ad agire sull’assetto fisico del corso d’acqua, può essere necessario riequilibrare anche il regime delle portate solide e liquide, attraverso una diversa gestione degli sbarramenti per la derivazione o l’accumulo delle acque, in modo da ottenere il ripristino, per quanto possibile, delle portate formati-

ve (e del trasporto solido associato) e l’attenuazione delle violente oscillazioni di portata giornaliera (*hydropeaking*).

Obiettivi	Azioni
Riduzione/eliminazione del deficit di trasporto solido a scala di bacino	Aumento dell'apporto di sedimenti dai versanti
	Aumento dell'apporto di sedimenti dalle sponde
	Reimmissione di sedimenti in alveo
	Conservazione dei sedimenti in alveo
	Modifica, non ricostruzione o eliminazione degli sbarramenti trasversali
Diminuzione della capacità erosiva della corrente tramite la dissipazione di energia fluviale in eccesso	Riqualificazione morfologica
	Laminazione delle piene a monte del tratto in esame
Riequilibrio del regime delle portate solide e liquide a valle delle derivazioni	Gestione del regime delle portate solide e liquide

Tabella 1 – Obiettivi e relative azioni a scala di bacino

5 ESEMPI DI POSSIBILI AZIONI A SCALA DI BACINO IN RELAZIONE AI DIVERSI OBIETTIVI

- Le azioni, riassunte in Tabella 1, atte a risolvere a scala di bacino il tema dell'erosione sulla base degli obiettivi posti nel capitolo precedente, riprendono quanto già trattato nella *"Scheda incisione"* al Capitolo 5 *"Esempi di possibili azioni a scala di bacino in relazione ai diversi obiettivi"*, a cui si rimanda per una comprensione più approfondita dei temi trattati e per una trattazione più specifica delle singole azioni.

5.1 OBIETTIVO: RIDUZIONE/ELIMINAZIONE DEL DEFICIT DI TRASPORTO SOLIDO

- Nel caso di erosione spondale causata da alvei in incisione, per i quali sia accertato un deficit di sedimenti disponibili per il trasporto solido, le possibili misure di riequilibrio a scala di bacino, non limitate quindi al tratto in studio in erosione

e tutte orientate ad un aumento del rifornimento di sedimenti in alveo, sono descritte sinteticamente nei paragrafi seguenti, rimandando alla *"Scheda incisione"* per una trattazione più dettagliata.

5.1.1 Azione: aumento dell'apporto di sedimenti dai versanti

- Si tratta di individuare le principali sorgenti di sedimenti (frane direttamente connesse con la rete idrografica, falde detritiche che immettono materiale direttamente nelle aste torrentizie), evitando interventi tali da ridurre l'apporto solido. In alcuni casi, compatibilmente con le situazioni di rischio, si può scegliere di non stabilizzare o addirittura di favorire la riattivazione delle fonti di sedimenti potenziali che alimentano direttamente i corsi d'acqua.

5.1.2 Azione: aumento dell'apporto di sedimenti dalle sponde

- Le sponde costituiscono un'ec-

cezionale riserva di sedimenti; i processi di arretramento delle stesse, favorendo l'alimentazione di sedimenti, sono perciò da considerare sicuramente positivi per il riequilibrio di alvei incisi. Anche in questo caso, si può scegliere tra non intervenire, permettendo il naturale verificarsi di tali fenomeni, o favorire tali processi, attraverso la rimozione di difese esistenti o addirittura la realizzazione di strutture in alveo che favoriscano l'insacco dell'erosione spondale.

5.1.3 Azione: reimmissione di sedimenti in alveo

- Una soluzione estrema al problema dell'incisione consiste nell'alimentare l'alveo immettendo direttamente sedimenti. Questi possono provenire da fonti esterne all'alveo (ad esempio da escavazioni nella pianura adiacente) o da altri tratti dell'alveo stesso dove il problema può essere opposto (alvei in sedimentazione), in particolare a monte di sbarramenti. Un'opportunità di ripascimento dell'alveo può

essere fornita da materiali rocciosi, adeguatamente trattati, provenienti dallo scavo di gallerie stradali o ferroviarie.

5.1.4 Azione: conservazione dei sedimenti in alveo

- Nei corsi d'acqua incisi l'azione prioritaria dovrebbe consistere nel conservare i sedimenti ancora presenti in alveo, così che possano alimentare i tratti in deficit solido; i lavori fluviali "in compensazione" dovrebbero quindi essere realizzati, in via eccezionale e non come pratica usuale, solo negli alvei non in incisione e con il supporto di adeguati studi geomorfologici che indichino se e come ciò sia possibile.

5.1.5 Azione: modifica, non ricostruzione o eliminazione degli sbarramenti trasversali

- Gli sbarramenti trasversali (dighe, traverse, briglie, ecc.) costituiscono uno dei principali impedimenti al libero flusso dei sedimenti lungo i corsi d'acqua.

In corsi d'acqua in incisione si rende pertanto necessario effettuare una valutazione in merito all'utilità di tali opere nelle condizioni attuali del bacino, che potrebbero essere sensibilmente diverse rispetto al momento della loro costruzione.

5.2 OBIETTIVO: DIMINUZIONE DELLA CAPACITÀ EROSIVA DELLA CORRENTE TRAMITE LA DISSIPAZIONE DI ENERGIA FLUVIALE IN ECCESSO

- La presenza di ampi tratti rettificati a monte di quello in esame, l'impermeabilizzazione diffusa a scala di bacino e la conseguente diminuzione dei tempi di corrivazione, ecc., possono generare un aumento delle portate transitanti e quindi della forza erosiva della

corrente, causando in questo modo erosioni spondali.

- Le azioni a scala di bacino che permettono di ovviare o compensare tale situazione sono descritte sinteticamente nei paragrafi seguenti, rimandando alla "Scheda incisione" per una trattazione più dettagliata.

5.2.1 Azione: riqualificazione morfologica

- Nei casi in cui la situazione di erosione sia causata dalla presenza di ampi tratti artificializzati e rettificati a monte di quello in esame, può risultare utile intervenire mediante la riqualificazione morfologica del corso d'acqua a scala di bacino e/o a scala di tratto fluviale, intendendo con questo una porzione significativa del corso d'acqua che va ben oltre il sito locale ove si riscontra l'erosione.

Si rimanda per ulteriori dettagli al Par. 7.1.2.

5.2.2 Azione: laminazione delle piene a monte del tratto in esame

- Se nel bacino sono drasticamente diminuite le aree di laminazione, occorre mettere in campo azioni che cerchino per quanto possibile di aumentare nuovamente lo spazio a disposizione del corso d'acqua in modo da ridurre i picchi di piena, rallentando in questo modo la velocità e diminuendo la sua forza erosiva.

Si rimanda per ulteriori dettagli alla "Scheda rischio idraulico".

5.3 OBIETTIVO: RIEQUILIBRIO DEL REGIME DELLE PORTATE SOLIDE E LIQUIDE A VALLE DELLE DERIVAZIONI

- Gli sbarramenti per l'accumulo e/o la derivazione di acque ad uso irriguo/idroelettrico/idropotabile

modificano spesso in modo sostanziale il regime delle portate liquide e solide dei corsi d'acqua.

Gli effetti negativi si fanno sentire sia sulle comunità biologiche (a causa, ad esempio, dell'aumento delle oscillazioni giornaliere di portata -*hydropeaking*- o della diminuzione delle portate di magra), che sui meccanismi che governano l'evoluzione morfologica del corso d'acqua (a causa della possibile diminuzione di frequenza ed intensità delle portate formative), con conseguenze indirette sull'ecosistema (diminuzione degli habitat, ecc.).

Le azioni a scala di bacino che permettono di ovviare o compensare tale situazione sono descritte sinteticamente nel paragrafo seguente, rimandando alla "Scheda incisione" per una trattazione più dettagliata.

5.3.1 Azione: gestione del regime delle portate solide e liquide

Per far fronte alle situazioni complesse ora descritte si rende necessario modificare il regime dei rilasci dagli sbarramenti così da attutire il fenomeno dell'*hydropeaking*, aumentare la frequenza delle portate formative e diminuire i rilasci improvvisi in caso di piena.

- È inoltre necessario agire anche sul sistema di gestione dei sedimenti accumulatisi a monte dello sbarramento (portate solide), mediante la realizzazione/gestione di opere di fondo che permettano il transito dei materiali nei momenti voluti, oltre che tramite la movimentazione diretta dei sedimenti accumulatisi nel bacino

6 OBIETTIVI DELLE AZIONI A SCALA LOCALE

- La risoluzione di problemi di erosione spondale le cui cause sono

da ricondursi prevalentemente a scala di bacino (si veda Par. 3.1) non può che passare attraverso una pianificazione di area vasta, così da generare risultati duraturi (si vedano le proposte avanzate in tal senso al Cap. 5).

- Nel caso in cui l'analisi del problema abbia mostrato chiaramente che l'erosione ha invece cause di origine locale, la progettazione delle azioni atte a risolvere la problematica dovrebbe porsi almeno uno dei seguenti obiettivi:

- **Mantenere/favorire la dinamica laterale** se:

- *il costo della difesa sponda-le supera il valore dei beni retrostanti potenzialmente interessati dall'erosione* (la stima del costo del terreno dovrebbe essere fatta su una fascia di larghezza da determinarsi, ad esempio, in base al tasso di arretramento della sponda in termini di m/anno su un orizzonte temporale di almeno 20-30 anni);

- *uno studio a livello di bacino ha messo in evidenza che occorre creare/conservare fonti locali di sedimenti* per agire contro situazioni di deficit di trasporto solido (che possono ad esempio causare situazioni di incisione

in altri tratti del corso d'acqua, scalzamento di opere, ecc.);

- *uno studio a livello di bacino ha messo in evidenza che la soluzione dei problemi deve essere attuata ricreando condizioni di equilibrio geomorfologico dinamico*, ottenibili mediante la riqualificazione del corso d'acqua;

- *è necessario migliorare lo stato ecologico (in particolare morfologico) del corso d'acqua* per raggiungere obiettivi di qualità dovuti ad imposizioni normative, piani o progetti specifici, ecc. .

- **Proteggere le aree urbanizzate o infrastrutturate** (o comunque di elevato valore) se:

- *il valore dei beni esposti supera il costo dell'opera;*

- *la situazione di dissesto provoca rischi per l'incolumità delle persone.*

7 ESEMPI DI POSSIBILI AZIONI A SCALA LOCALE IN RELAZIONE AI DIVERSI OBIETTIVI

- Le azioni a scala locale suggerite nei paragrafi successivi in relazione ai diversi obiettivi sono riassunte in Tabella 2.

7.1 OBIETTIVO: MANTENERE/FAVORIRE LA DINAMICA LATERALE

- Le azioni utili per mantenere/favorire la dinamica laterale sono ad esempio:

- Non intervenire (lasciare erodere);
- Riqualificazione morfologica

- Nei paragrafi seguenti si presentano alcune delle possibili opzioni progettuali e gestionali che possono essere messe in campo in tal senso a scala locale.

7.1.1 Azione: non intervenire (lasciare erodere)

- L'azione proposta non prevede di realizzare alcun intervento strutturale per la difesa del terreno retrostante l'erosione, ma di lasciare una fascia di terreno deputata alla divagazione del corso d'acqua, eventualmente acquisendola, che diviene quindi una fascia di mobilità morfologica.

- Per decidere se utilizzare o meno tale ipotesi progettuale sarebbe utile effettuare un'analisi costi-benefici per valutare se, dal punto di vista economico, non sia meno dispendioso lasciare che il

Obiettivi	Azioni
Mantenere/favorire la dinamica laterale	Non intervenire (lasciare erodere)
	Riqualificazione morfologica
Proteggere le aree urbanizzate o infrastrutturate (o comunque di elevato valore)	Consolidare la sponda mediante ingegneria naturalistica "viva"
	Forestazione delle fasce perifluviali (anche in funzione di una riqualificazione fruitiva e paesaggistica del corso d'acqua)

Tabella 2 – Obiettivi e relative azioni a scala di bacino

BOX - DEFINIZIONE DI UNA FASCIA DI MOBILITÀ PLANIMETRICA

- L'intervento prevede di lasciare evolvere naturalmente il corso d'acqua.
- Occorre sottolineare che ciò non coincide necessariamente con l'opzione "non intervento" in senso stretto, intesa come scelta rinunciataria di fronte alla impossibilità di risolvere i problemi, ma si tratta piuttosto di una scelta consapevole di "permettere gli aggiustamenti naturali del corso d'acqua", derivante da una conoscenza accurata dei problemi e delle tendenze evolutive del corso d'acqua stesso.
- Ad esempio, tale scelta è perseguibile se un accurato studio geomorfologico ha messo in evidenza che l'evoluzione che sta subendo il corso d'acqua, e che si manifesta con l'erosione spondale, altro non è che una fase del naturale processo evolutivo verso una situazione di equilibrio dinamico, mentre non è percorribile se lo stesso studio ha messo in evidenza che la libera erosione accentuerebbe lo squilibrio. Tale opzione è inoltre utile se i tempi necessari per il riequilibrio naturale del corso d'acqua sono compatibili con le esigenze del progetto.
- È importante a questo punto porsi la questione di fino a che punto permettere l'evoluzione naturale del corso d'acqua, cioè se delimitare o meno lo spazio all'interno del quale lo si lascia libero di divagare. Per tale scopo viene in aiuto il concetto di Fascia di Mobilità Funzionale (si veda CIRF, 2006 - Capitolo 8). I limiti della fascia possono essere talora materializzati da interventi di difesa poco impattanti e passivi (es. si veda il BOX "Difese/pennelli interrati"), che cioè entrano in funzione solo qualora il corso d'acqua dovesse raggiungere i limiti stessi prima del tempo previsto, oppure in tratti in cui la fascia è stata ristretta a causa della presenza di elementi antropici da difendere.
- Si noti infine che l'approccio qui proposto è valido non solo nel caso in cui sia necessario scegliere tra la costruzione di una difesa spondale e l'acquisizione di terreni per la dinamica laterale del fiume; esso può infatti essere utile anche nel caso in cui una difesa spondale esistente si sia ammalorata e si renda necessario valutare se convenga ricostruirla o lasciare evolvere il corso d'acqua. Si veda a tal proposito l'esempio riportato in Figura 10.

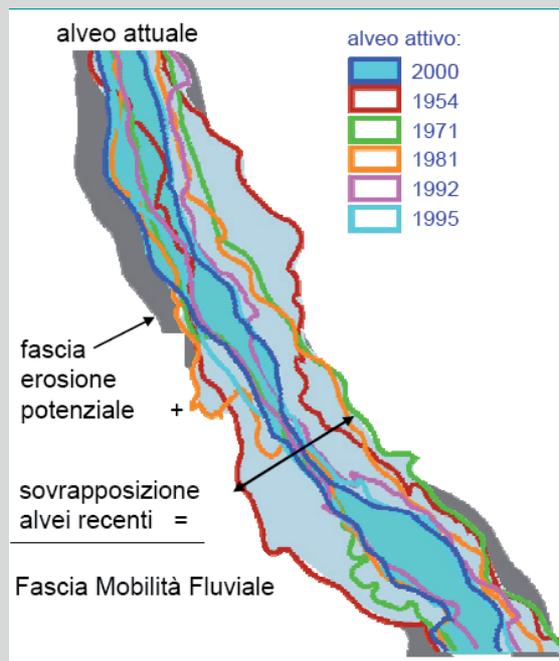


Figura 9 – Fascia di mobilità morfologica, lasciata alla libera divagazione, in cui non sono consentite opere di difesa dall'erosione (né la riparazione di quelle esistenti). La fascia è delimitata dalla sovrapposizione tra alveo attuale, inviluppo storico degli alvei recenti (ultimi 50-100 anni) e fascia di erosione potenziale futura (nei prossimi 50 anni). (Immagine: Rinaldi M. (2007) - Autorità di bacino del Fiume Magra - Ritoccata).



Figura 10 - Fiume Magra presso Stadano (MS). A sinistra (1987): costruzione –da parte del Genio Civile– di una difesa spondale a protezione di terreni agricoli minacciati da un'erosione in atto (la freccia gialla indica l'escavatore in opera, quella bianca la direzione della corrente). A destra (2002): circa un terzo della difesa spondale è stato distrutto dalle piene ed il fiume ha eroso i terreni ripari (le frecce rosse indicano lunghezza e larghezza dell'area erosa). L'Autorità di bacino del Magra, sulla base di considerazioni economiche ed ambientali, ha ritenuto preferibile non riparare le difese e lasciare libero corso alle dinamiche fluviali. (Foto: Giuseppe Sansoni)

BOX - PROCESSO DI RINATURALIZZAZIONE PER LIBERA EVOLUZIONE DI UN CORSO D'ACQUA CANALIZZATO

- In un corso d'acqua artificializzato —che ha subito cioè la rettifica del tracciato, la costruzione di difese spondali che impediscono l'evoluzione laterale, ecc.— sono possibili processi di rinaturalizzazione spontanea che possono progredire autonomamente o essere indotti da interventi in alveo (si veda Figura 11).
- **Fase di evoluzione I:** abbandonato l'intenso sfruttamento agricolo del territorio e rimossi gli elementi di artificializzazione del corso d'acqua, quest'ultimo riacquista sinuosità e modella le superfici adiacenti, sulle quali attecchisce e si sviluppa la vegetazione (si veda Figura 12).
- **Fase di evoluzione II:** le aree inondabili sono ormai il dominio del fiume che ne regola morfologia, condizioni edafiche e stadi di sviluppo della vegetazione.
- **Fase di evoluzione III:** il sistema fluviale raggiunge una condizione di equilibrio, avendo sviluppato strutture e processi in grado di auto-sostenersi e di incorporare i disturbi naturali.

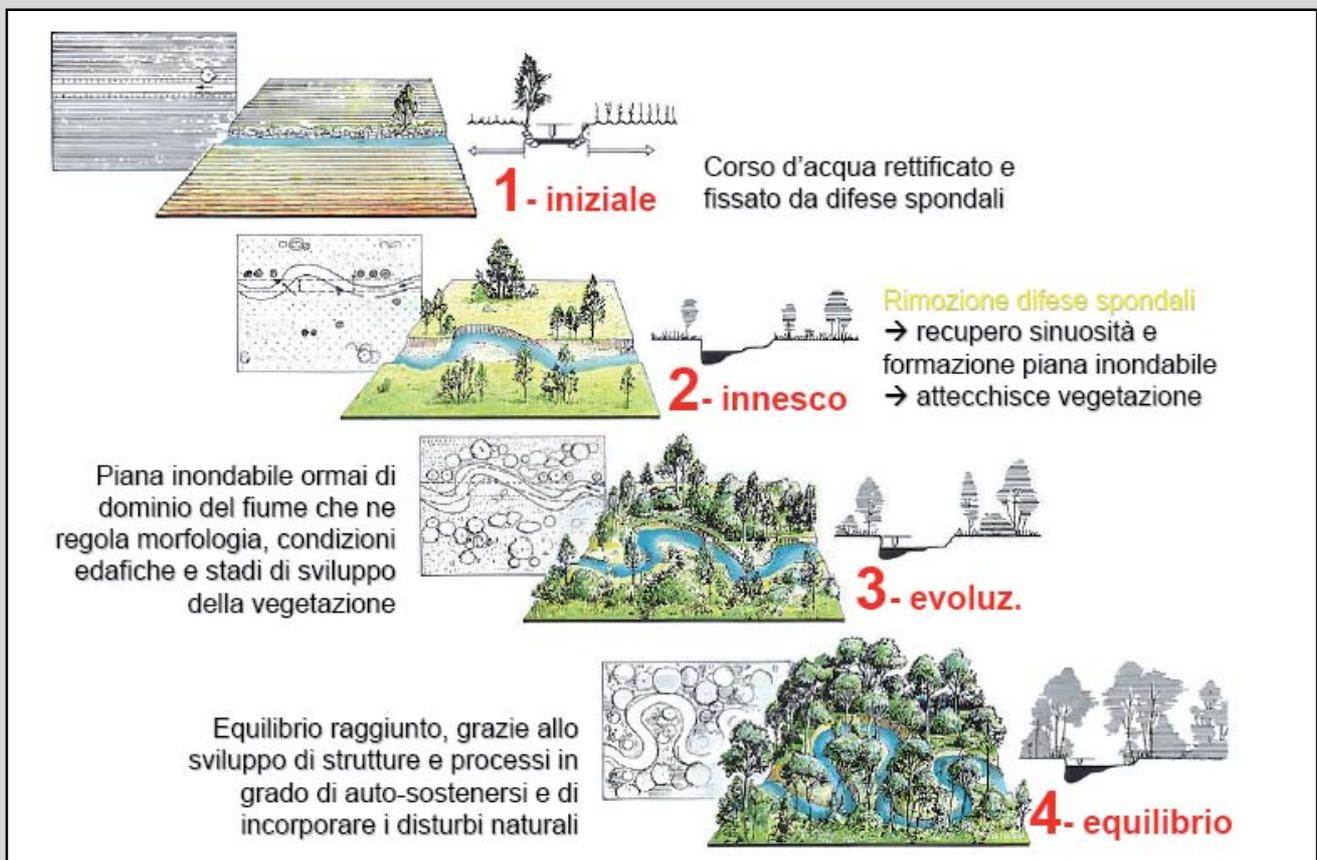


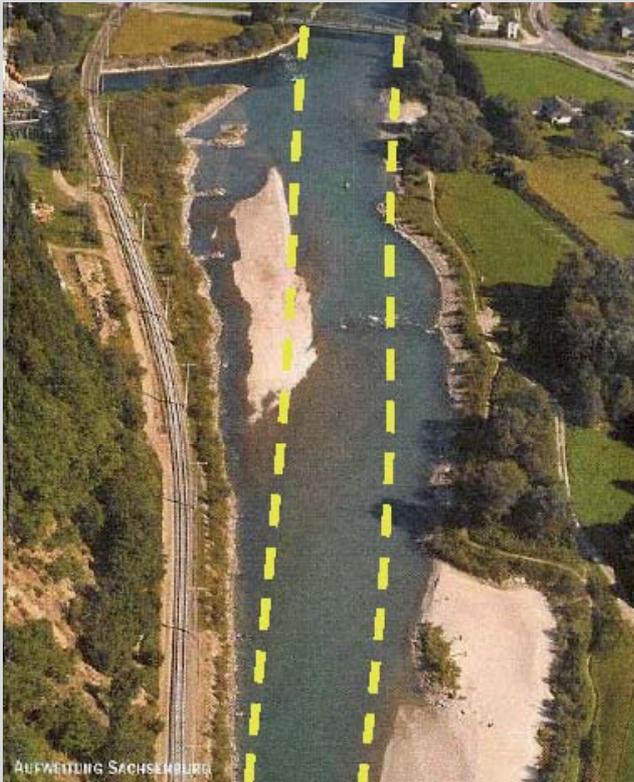
Figura 11 (sopra) – Fasi del processo di rinaturalizzazione per libera evoluzione di un corso d'acqua canalizzato. (Immagine tratta e modificata da Binder, 2000 – “River restoration in Bavaria”, in “Proceedings of the Conference on River Restoration in Europe”. Ed. by H.J. Nijland and M.J.R. Cals, Wageningen, The Netherlands: 223-229.

Figura 12 (a lato) – Fiume Oglio: la difesa spondale indicata dalla linea gialla tratteggiata è stata scalzata dal corso d'acqua, che può quindi tornare a creare habitat diversificati conseguenti alle dinamiche laterali e a prendere in carico sedimenti dalle sponde. Nel caso in esame la difesa spondale, costruita decenni fa, era del tutto ingiustificata in quanto posta a protezione di alcun bene, ma semplicemente di una piana allagabile priva di qualsiasi attività umana e nel tempo naturalizzata. (Foto: Bruno Boz)



BOX - DIVERSIFICAZIONE MORFOLOGICA DELL'ALVEO E MODIFICA DEL TRACCIATO PLANIMETRICO PER IL RIPRISTINO DELLA SINUOSITÀ

- Si tratta di ricreare una morfologia quanto più possibile vicina a quella naturale, con una geometria non uniforme (sia in sezione che in planimetria).
- Le modifiche dell'alveo, sebbene non siano generalmente applicate per proteggere le sponde, sono molto utili per trattare alla radice le cause dell'erosione spondale e prevenire futuri problemi: devono perciò essere considerate una soluzione potenziale ove vi siano problemi cronici o sistemici di erosione spondale.
- Le modifiche dell'alveo possono riguardare il profilo longitudinale, l'andamento planimetrico, la sezione trasversale, la quota di fondo e/o l'ubicazione stessa di un tratto di alveo. Eventuali allargamenti di sezione, realizzati in tratti precedentemente ristretti e canalizzati, permettono inoltre di ridurre le tensioni tangenziali e quindi la capacità erosiva della corrente.



- Lo scopo delle modifiche all'alveo è creare condizioni di equilibrio nel tratto (cioè adeguate a clima, geologia, portata, apporti di sedimenti) conseguendo una configurazione stabile (il che non significa priva di erosione, ma con equilibrio di erosione/deposito). Non vanno perciò applicate ad alvei già in equilibrio.
- Queste tecniche possono essere usate in un sito per alleviare problemi di erosione spondale o mitigare altri interventi, o in un tratto per affrontare squilibri geomorfologici riducendo così rischi di erosione spondale.
- Tra le applicazioni più diffuse vi sono il ripristino di tratti precedentemente rettificati, la dissipazione dell'eccesso di energia fluviale, il miglioramento della diversità ambientale, la modifica della capacità di trasporto solido nel tratto o a valle di esso.

Figura 13 – Eliminazione di difese spondali (linea gialla) per l'induzione di dinamiche morfologiche lungo il fiume Drava (Austria)

corso d'acqua possa evolvere entro confini comunque prefissati e trovare una conformazione di equilibrio che richieda minori oneri di manutenzione ordinaria e straordinaria (prendendo in considerazione anche i tratti a valle).

- L'analisi suddetta dovrebbe inoltre considerare, in una logica più allargata, gli altri vantaggi che una situazione come quella descritta potrebbe comportare, come l'aumento di biodiversità (difficilmente monetizzabile nella pratica, ma comun-

que importante), il miglioramento del potere autodepurante del corso d'acqua, l'aumento di qualità del territorio e delle possibilità di fruirla, la riduzione degli effetti erosivi a valle, ecc.

- Come ricordato al capitolo precedente, nell'analisi costi-benefici, la larghezza della fascia da lasciar erodere potrebbe essere stimata in base al tasso di arretramento della sponda in termini di m/anno su un orizzonte temporale di almeno 20-30 anni.

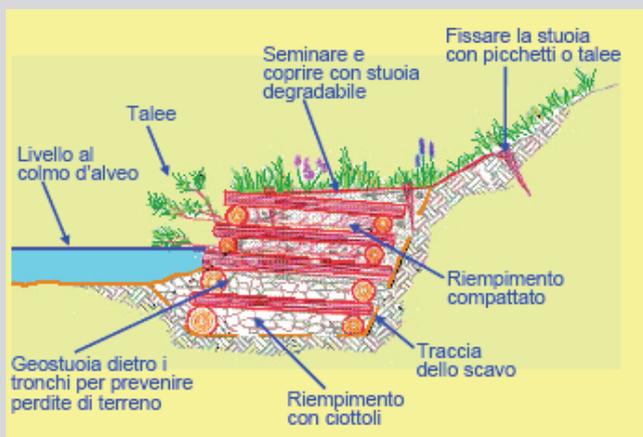
- Si vedano "Box - Definizione di una fascia di mobilità planimetrica" e "Box - Processo di rinaturalizzazione per libera evoluzione di un corso d'acquacanalizzato".

7.1.2 Azione: riqualificazione morfologica

- Prima di intervenire localmente è necessario effettuare studi sull'asta fluviale che mettano in evidenza i problemi del corso d'acqua e le cause che li determinano.

BOX - PALIFICATE VIVE CON TALEE

- Le palificate sono pareti a gravità costruite con un'intelaiatura di tronchi, riempiendo i vuoti con pietrame e terra (substrato da rivegetare).
- Nell'applicazione qui proposta permettono di proteggere le sponde instabili da forme di erosione al piede; grazie alla messa a dimora di talee possono permettere di ottenere il consolidamento spondale e la contemporanea formazione di una fascia riparia, seppur inizialmente semplificata.
- Sono sconsigliate negli alvei in rapido innalzamento o abbassamento o a rischio di disalveo.
- Essendo strutture molto stabili (decenni) arrestano la migrazione dei meandri, trasferiscono l'erosione a monte o a valle, aumentano la velocità presso la riva e riducono la complessità.
- Per evitare il restringimento dell'alveo, la sponda va preliminarmente scavata.
- Funzionando come pareti a gravità, devono essere progettate in modo da resistere allo scivolamento, al ribaltamento e al cedimento; occorre tenere conto dell'erosione verticale al piede indotta dalla maggior velocità e dagli elementi di scabrezza introdotti per attenuarne l'impatto (tronchi con ceppaie, talee).
- Sono necessari immorsamenti alle estremità e, talora, un raccordo liscio con l'alveo a monte e a valle. Il riempimento deve essere grossolano sul lato fiume (ma con sufficiente sostanza organica e in grado di trattenere umidità, per consentire la crescita della vegetazione) e più fine internamente.
- Può essere necessaria l'irrigazione nella prima stagione vegetativa; la scelta delle specie ai vari livelli della palificata deve basarsi sulla frequenza e durata della sommersione.



- **Considerazioni biologiche.** La costruzione della palizzata comporta la perdita della vegetazione riparia nel caso sia presente; una palificata viva (rivegetata) e l'impianto di una fascia riparia adiacente mitigano questo impatto, fornendo ombreggiamento e rifugi dai predatori.
- La perdita di habitat può essere mitigata creando scabrezza idraulica (es. tronchi con ceppaia).

Figura 14 (a sinistra) - Palificate vive con talee (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)



Figura 15 - Palificata viva realizzata lungo un canale artificiale onde evitare erosioni in corrispondenza di una strada. L'intervento è stato poi completato mediante messa a dimora di talee di salice, così da creare una fascia riparia seppur semplificata. Il risultato dell'intervento dopo 4 anni è visibile in Figura 16 (Canale di Budrione – Provincia di Modena – Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale). (Foto: Marco Monaci)



Figura 16 – Fascia riparia a salice bianco sviluppata in seguito alla realizzazione della palificata viva (a destra) e della palizzata viva (a sinistra) illustrate in Figura 15. (Canale di Budrione – Provincia di Modena – Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale) (Foto: Mario Fantesini)

- Questi studi possono in molti casi concludere che la soluzione dei problemi evidenziati deve passare attraverso interventi di riqualificazione a scala di bacino (si veda il Cap.5) e/o a scala di tratto fluviale, intendendo con questo una porzione significativa del corso d'acqua che va ben oltre il sito locale ove si riscontra l'erosione spondale.

- L'intervento prevede di effettuare una diversificazione morfologica dell'alveo, la modifica del tracciato planimetrico per il ripristino della sinuosità e l'allargamento della sezione trasversale in modo naturaliforme, così da aumentare la lunghezza del tratto e ridurre la pendenza, la velocità e di conseguenza la forza erosiva della corrente.

- In questi casi, l'intervento previsto deve essere di più ampio respiro rispetto alla semplice azione locale ed ha lo scopo di accelerare o creare le condizioni perché il corso d'acqua evolva verso una situazione di equilibrio dinamico.

- Rispetto a quanto descritto al Par. 7.1.1 *"Azione: non intervenire (lasciare erodere), eventualmente mediante acquisizione pubblica delle aree interessate dal dissesto spondale"*, l'intervento di riqualificazione in questo caso è attivo e consente di portare il corso d'acqua verso condizioni più naturali in minor tempo (seppur con un maggiore esborso economico).

- Si veda *"Box - Diversificazione morfologica dell'alveo e modifica del tracciato planimetrico per il ripristino della sinuosità"*.

7.2 OBIETTIVO: PROTEGGERE LE AREE URBANIZZATE O INFRASTRUTTURATE (O COMUNQUE DI ELEVATO VALORE)

- Le azioni utili per proteggere le aree occupate da beni sono ad esempio:

- Consolidare la sponda mediante ingegneria naturalistica "viva"
- Forestazione delle fasce periferiali (anche in funzione di una riqualificazione fruitiva e paesaggistica del corso d'acqua)

- Nei paragrafi seguenti si presentano alcune delle possibili opzioni progettuali e gestionali che possono essere messe in campo in tal senso a scala locale.

7.2.1 Azione: consolidare la sponda mediante ingegneria naturalistica "viva"

- Nei casi in cui la situazione territoriale imponga di intervenire localmente per contenere l'erosione spondale e avendo di conseguenza eliminata l'opzione descritta al punto precedente *"mantenere/favorire la dinamica fluviale"*, è comunque consigliabile utilizzare una logica multiobiettivo per scegliere le tecniche di intervento.

- Oltre al consolidamento delle sponde è quindi utile prediligere azioni che possano apportare ulteriori benefici al territorio, quali l'aumento della qualità ambientale del corso d'acqua e del territorio ed una maggiore integrazione nel paesaggio rurale delle opere.

- Le tecniche dell'ingegneria naturalistica possono permettere, se ben progettate e impiegate nell'ambito tecnico loro consono, di raggiungere tale scopo.

- Condizione *sine qua non* perché ciò avvenga è che le tecniche

di ingegneria naturalistica prescelte si basino sull'uso prevalente di materiali vegetali vivi come elemento strutturale.

- Scogliere, terre rinforzate, pietrame, geotessili, ecc., seppur generalmente elencati tra le tecniche dell'ingegneria naturalistica, non permettono un miglioramento ambientale del corso d'acqua se utilizzati in modo prevalente nell'intervento e non sono pertanto considerati idonei per l'uso qui suggerito (mentre un loro utilizzo in situazioni specifiche, ove quanto qui consigliato non risulti applicabile, è ovviamente possibile).

- Si noti che nei casi in cui la sponda del corso d'acqua si trovi già in una condizione di naturalità, l'opera di ingegneria naturalistica, seppur "viva", non potrà che apportare un peggioramento della situazione, a causa dell'eliminazione delle dinamiche morfologiche e della semplificazione della fascia riparia, impatto che però in questo caso risulta minore rispetto ad opere ancor più artificializzanti quali scogliere in massi, muri in cemento, ecc..

- Nel caso in cui la sponda del corso d'acqua sia già banalizzata e priva di vegetazione, l'opera di ingegneria naturalistica potrà apportare un certo miglioramento alle condizioni ecologiche del corso d'acqua, seppur minore rispetto ad una riqualificazione morfologica vera e propria come quella descritta al Par. 7.1.2.

- Per ogni approfondimento progettuale si rimanda ai numerosi manuali di ingegneria naturalistica disponibili sia in formato cartaceo che digitale.

- Si suggerisce inoltre la consultazione del manuale dello Stato di Washington per la procedura di scelta degli interventi (Washington

State, 2002).

- Le principali opere di ingegneria naturalistica qui suggerite, per le quali si fornisce nei paragrafi successivi una breve descrizione, sono:

- palificate vive con talee;
- briglie e briglie porose in massi per la redirezione della corrente;
- risagomatura e rivegetazione delle sponde;
- pennelli;
- deflettori di corrente/repellenti;
- difese/pennelli arretrati ed interrati.

- Questo elenco non intende essere esaustivo, ma fornire una esemplificazione dell'approccio multibiettivo proposto; altre tecniche, quali fascinate e viminate vive, coperture diffuse di salice, grate vive, gradinate e cordone vive, utilizzo di alberi ancorati, ecc., possono infatti anch'esse essere utilizzate per il consolidamento ed il miglioramento ambientale della sponda, purché progettate secondo la logica esposta nel presente paragrafo.

- Si vedano "Box - Palificate vive con talee", "Box - Briglie in massi per la redirezione della corrente", "Box - Briglie porose per la redirezione della corrente", "Box - Risagomatura e rivegetazione delle sponde", "Box - Pennelli", "Box - Deflettori di corrente/repellenti", "Box - Difese/pennelli arretrati ed interrati", "Box - Messa a dimora di una fascia riparia per il consolidamento spondale" e "Box - Inerbimenti".

7.2.2 Azione: Forestazione delle fasce perifluviali (anche in funzione di una riqualificazione fruitiva e paesaggistica del corso d'acqua)

- L'impianto di fasce di vegetazione riparia può essere la tecnica d'elezione per la stabilizzazione spondale quando il rischio per gli in-



Figura 26 – Fasce riparie lungo il Fiume Vara (sopra) e il Torrente Aulella (sotto). Nel riquadro, il tratto è soggetto ad una piena ordinaria e la fascia vegetata svolge la sua funzione stabilizzante nei confronti della sponda, evitando che questa arretri e vada ad interessare i terreni agricoli retrostanti. (Foto: Giuseppe Sansoni)

sediamenti umani è basso.

- Quando usato in combinazione ad altre tecniche di stabilizzazione, queste forniscono la protezione immediata, mentre quella definitiva è demandata alla vegetazione (si veda il Box "Palificata viva con talee" nell'ambito del presente capitolo).

- L'impianto di fasce vegetate è considerato una tecnica proattiva di protezione spondale poiché ripristina le funzioni riparie mitigando i problemi futuri di stabilità. Ad es. nelle aree agricole, dove la vegetazione riparia è stata rimossa per estendere il terreno coltivabile, l'alveo può migrare nei campi non più protetti; la risposta tradizionale sono state le difese spondali in massi che sfortunatamente hanno aggravato il problema a monte o a valle; l'approccio proattivo è la limitazione dell'uso del suolo in queste aree critiche, proteggendo o ricostruendo le fasce di vegetazione riparia.

- Il termine ripario si riferisce all'area adiacente al corso d'acqua nella quale il regime di umidità del

suolo è fisicamente legato al corso d'acqua stesso; generalmente la fascia riparia si estende dal livello della piena ordinaria al margine esterno della piana alluvionale. Le fasce riparie forniscono funzioni ecologiche essenziali: ombreggiamento, rifugi, alimento, nutrienti, grossi detriti legnosi, habitat per la fauna selvatica. Migliorano la stabilità spondale legando assieme le particelle di suolo e di sedimenti, aumentando la scabrezza e riducendo la velocità, creando punti di ancoraggio (grandi alberi); rallentano le migrazioni laterali dell'alveo; gli alberi travolti dalle piene possono stabilizzare l'alveo, aumentarne la scabrezza e creare habitat per pesci e macroinvertebrati.

BOX - BRIGLIE IN MASSI PER LA REDIREZIONE DELLA CORRENTE

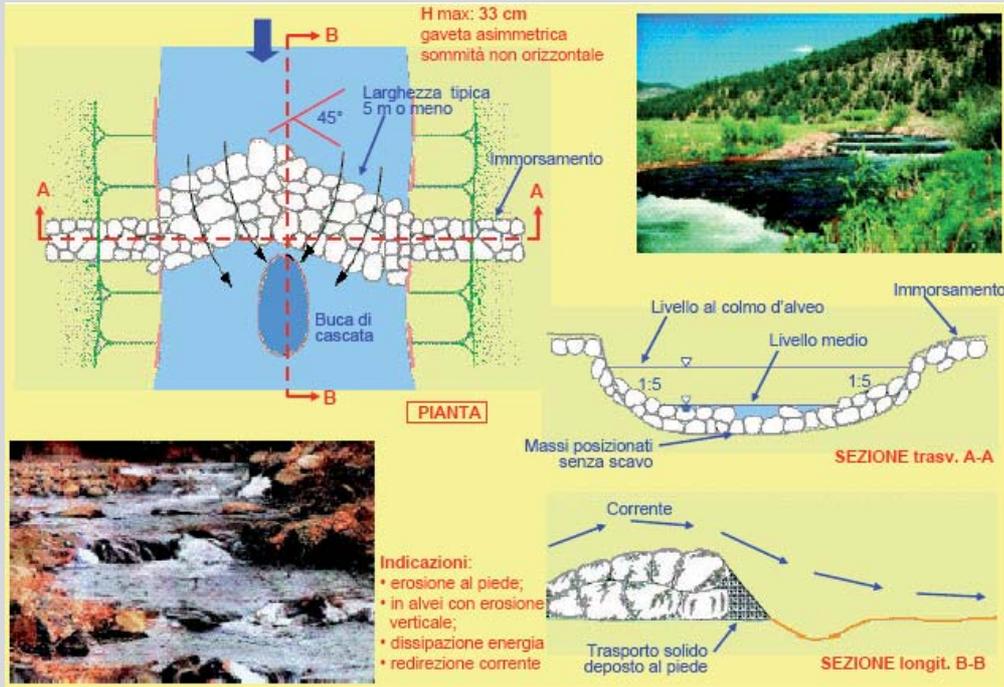


Figura 17 (a lato)– Briglie per la redirectione della corrente (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)

Figura 18 (sotto)- Briglia in massi realizzata dal Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento sul Fiume Sarca, costituita da due aree ad acqua più profonda intermedie, così da facilitare la risalita dell'ittiofauna. (Foto:Giuliano Trentini)

- Le briglie qui proposte sono sbarramenti trasversali poco elevati progettati in modo da allontanare da una sponda in erosione la corrente che le sorregge.
- In generale, permettono anche di contrastare l'erosione verticale (accumulando sedimenti a monte, innalzano la quota del fondo), reindirizzare la corrente, dissiparne l'energia e realizzare passaggi per pesci e habitat per pesci (buche). Sono perciò controindicate nei tratti fluviali in innalzamento (sedimentazione).
- Per l'applicazione in esame le briglie dovrebbero avere una piega o una curvatura verso monte, con una incisione (gaveta) di norma non al centro, ma a circa un terzo della larghezza alveo; quando sono rettilinee, infatti, determinano un appiattimento dell'alveo, riducendo la diversità ambientale.
- Se hanno forma ad "S" o altro andamento trasversale asimmetrico, invece, possono simulare elevazioni e cascate naturali, con potenziali benefici per gli habitat.
- La buca di cascata o un'eccessiva elevazione possono creare una barriera al passaggio dei pesci.
- La cascata produce diverse buche (in diverse condizioni idrauliche), gorgi e cadute di velocità, fornendo un habitat di riparo dalla corrente in condizioni di piena. Alla coda della buca si depositano i sedimenti classati, fornendo aree di ovodeposizione.
- Se la briglia ha una gaveta incisa a "V" si crea un *thalweg* nella buca che, in tal modo, è più lunga e stretta e genera maggior diversità.
- Se le briglie sono realizzate in serie, il dislivello tra di esse non deve superare la trentina di centimetri, per consentire il passaggio dei pesci. Se isolate, la quota è di norma impostata al livello idrico di base, mantenendo un dislivello di una trentina di centimetri a tutte le portate.
- Se il transito delle fasi giovanili dei pesci è critico, il dislivello non deve superare i 15 cm.
- Molte briglie, frequentemente superiori a 1 o più m, sono perciò biologicamente inadeguate. Funzionando come trappole per inerti, le briglie non vanno sovradimensionate, per evitare di accentuare l'erosione a valle.



BOX - BRIGLIE POROSE PER LA REDIREZIONE DELLA CORRENTE

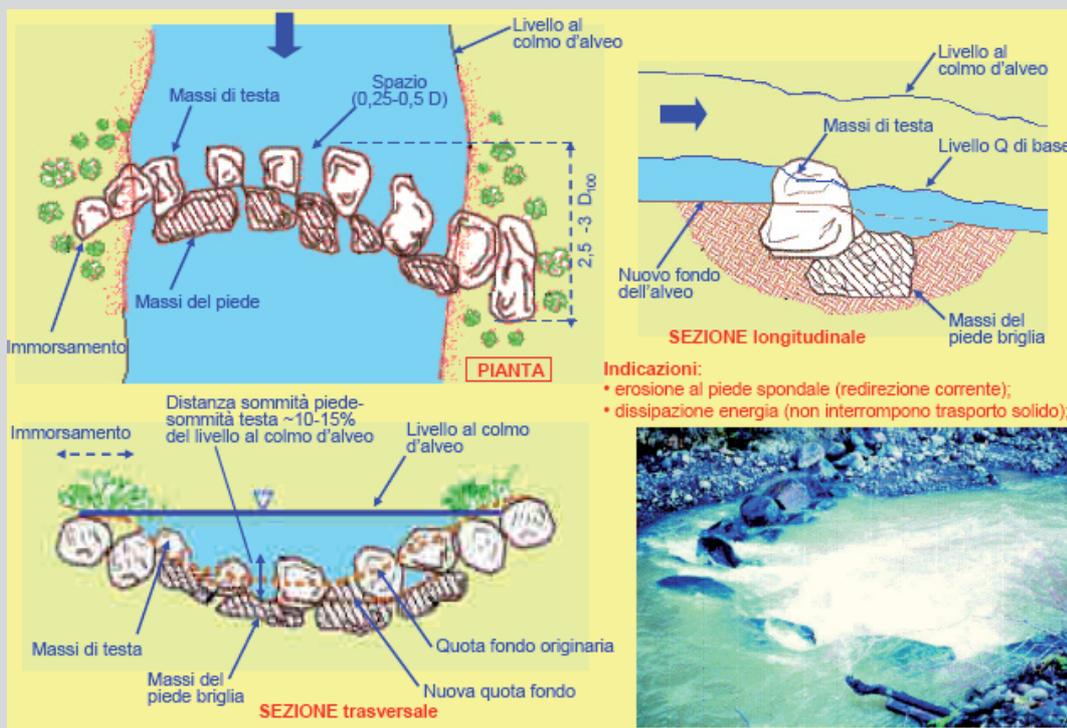


Figura 19 - Briglie porose per la redirezione della corrente (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)

- Le briglie porose (*vortex, rock weirs*) sono costituite da massi distanziati tra loro e creano un minor risalto idraulico delle briglie classiche.
- La loro funzione principale è la protezione spondale (deviando la corrente verso il centro e dissipando energia), mentre quella delle briglie classiche è il controllo dell'erosione verticale (anche le briglie porose, però, svolgono parzialmente questa funzione).
- Sono indicate soprattutto in alvei ciottolosi o ghiaiosi con pendenza $< 3\%$ ed elevato trasporto solido; sono inadatte, invece, negli alvei in accrescimento o ad elevata pendenza.
- Per la bassa elevazione (sono superate dalla portata al colmo d'alveo) e i larghi interstizi, non interrompono il trasporto solido: a monte, infatti, possono deporsi sedimenti, ma in corrispondenza della briglia l'aumento di velocità favorisce il trasporto.
- Ai fini dell'aumento della scabrezza e della dissipazione d'energia, utile complemento può essere l'introduzione in alveo di massi sparsi e/o di grossi detriti legnosi.
- Per permettere il passaggio dei giovani salmonidi, il dislivello della cascata non deve superare 20 cm.
- I massi utilizzati devono essere stabili alla portata di progetto (portata di piena almeno ventennale). L'angolazione verso monte delle braccia della "V" deve essere $30-40^\circ$; se l'alveo è più largo di 12 m è preferibile la forma a "W".
- La quota della sommità deve scendere dalle sponde al centro, in modo che i massi presso riva siano gli ultimi ad essere sommersi in piena.
- Vanno collocate presso una sponda con erosione al piede o immediatamente a monte, preferibilmente in corrispondenza della testata di un raschio.
- Tipicamente sono realizzate in serie, con dislivelli inferiori a 30 cm.
- La sommità dei massi di piede diviene la nuova quota di fondo dell'alveo. La quota dei massi di testa adiacenti alle sponde deve corrispondere al livello idrico al colmo d'alveo. I massi presso le sponde possono essere sostituiti da tronchi con ceppaia.
- Le considerazioni biologiche sono analoghe a quelle delle briglie classiche, col vantaggio di creare più habitat e di intercettare frammenti legnosi.

BOX - RISAGOMATURA E RIVEGETAZIONE DELLE SPONDE

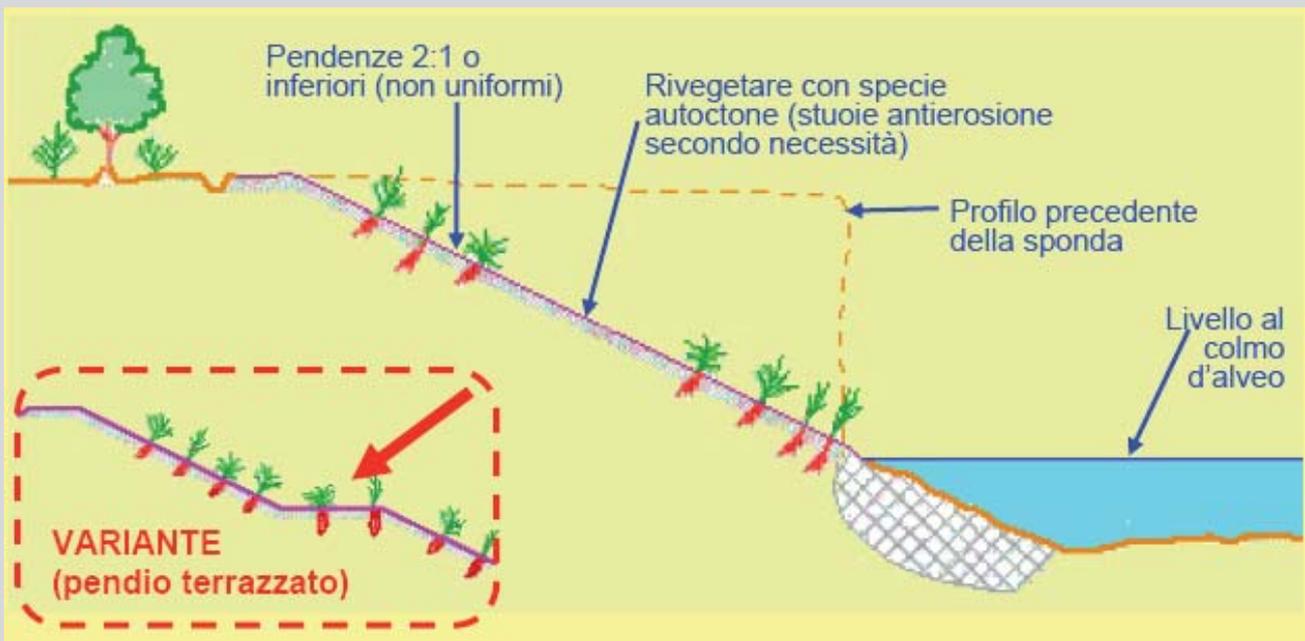


Figura 20 - Risagomatura e rivegetazione delle sponde (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)

- Le risagomature spondali stabilizzano una sponda in erosione riducendone la pendenza, senza cambiare la posizione del suo piede.
- Si tratta di un metodo economico, di norma combinato ad altre tecniche, quali rivegetazione, protezione al piede, stuoie antierosione.
- Sono idonee su sponde ripide, qualunque sia il meccanismo di instabilità; sono applicate frequentemente sul lato esterno di una curva, dove vi è il rischio di frana di crollo; producendo un ampliamento della sezione, sono utili anche negli alvei in innalzamento.
- Producono diversi vantaggi: la minor pendenza conferisce maggior stabilità; la maggior superficie, creando più scabrezza, attenua la velocità e i vortici nelle curve, mentre favorisce il deposito di sedimenti e l'insediamento della vegetazione; migliora l'accessibilità e il valore ricreativo.
- Inizialmente produce spesso la perdita di habitat per pesci (sponde sottoescavate), ma questi possono essere integrati nel progetto del piede spondale o ricrearsi naturalmente dopo l'insediamento vegetale. Una corretta risagomatura richiede la comprensione dei processi fluviali e un operatore esperto, in grado di realizzare un buon raccordo con i tratti adiacenti (in modo da evitare che le forze erosive della corrente si concentrino in determinate aree) e segmenti con diversa pendenza.
- Frequenti varianti sono l'incorporazione di tronchi con ceppaia al piede spondale, la realizzazione di una banchina o di un terrazzo, lo scavo di avvallamenti per creare micro-siti capaci di ospitare specie vegetali diverse.
- Nello scavo della sponda va usata l'accortezza di recuperare e conservare la vegetazione presente, da reimpiantare al termine dei lavori; anche lo strato di suolo fertile va conservato a parte e riutilizzato al termine, distribuendolo su tutta la superficie o in determinate aree per favorire specifici impianti vegetali.
- Una volta assestata la sponda, si hanno condizioni più favorevoli per la vegetazione riparia e la diversità ambientale, nonché minor torbidità delle acque (per ridotta erosione spondale).
- Gli impatti di costruzione, tuttavia, possono essere notevoli e richiedono mitigazione, in particolare la scelta del periodo (condizioni di magra, al di fuori dei periodi riproduttivi dei pesci) e l'adozione delle migliori tecniche disponibili per il controllo dei sedimenti.

BOX - PENNELLI

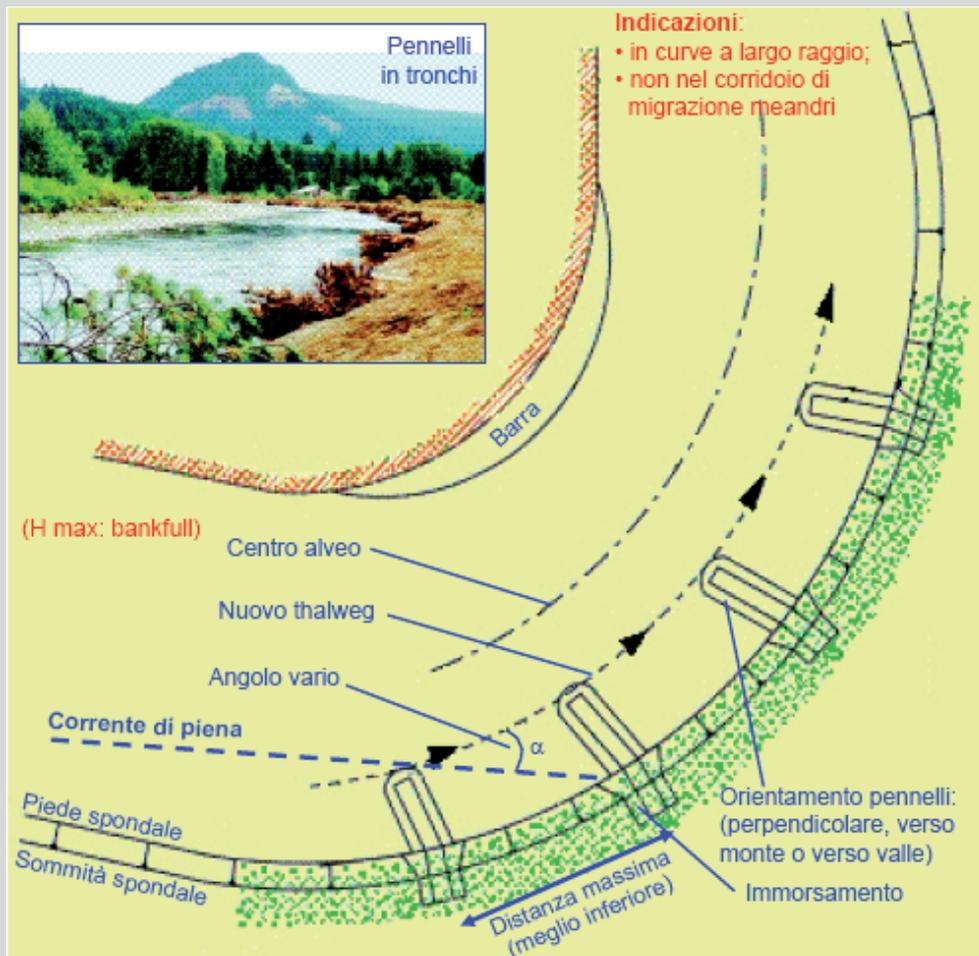


Figura 21 – Pennelli vivi (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)

- I pennelli (*groins, spur dikes*) sono strutture trasversali immorsate nella sponda, che si elevano fino al livello dell'alveo al colmo.
- Sono solitamente realizzati in serie per proteggere una sponda dall'erosione e, talora, per aumentare la scabrezza dell'alveo o -nei tratti di pianura con eccessiva sedimentazione- per restringere l'alveo accrescendo la velocità e il trasporto solido.
- Funzionano meglio nelle curve a largo raggio; i sedimenti che si accumulano dietro i pennelli svolgono un'ulteriore azione consolidante. Nelle curve strette, invece, possono creare turbolenze che accrescono l'erosione. Una curva stretta con una buca d'erosione, infatti, agisce come una trappola d'energia che dissipa la forza erosiva: il colmamento della buca o la deviazione della corrente possono aumentare l'energia a valle del sito.
- Sono sconsigliati nella fascia di migrazione dell'alveo, per non interromperne il processo.
- Talora sono installati al duplice scopo di difesa spondale e di miglioramento dell'habitat, ma recenti studi mettono in discussione quest'ultima funzione: sebbene preferibili alle difese spondali longitudinali, la densità di habitat nei tratti con pennelli è inferiore a quella rinvenibile in tratti adiacenti non protetti.
- Pennelli più lunghi del 10% della larghezza dell'alveo vanno usati con prudenza poiché possono indurre erosione sulla sponda opposta. Per ridurre gli effetti indesiderati è preferibile usare pennelli più corti e ravvicinati tra loro. L'altezza non deve superare quella della sponda, per evitare rischi di "aggiramento" in caso di piena. La costrizione dell'alveo indotta dal pennello crea un rigurgito idraulico, con deposito di sedimenti a monte. Presso l'estremità del pennello si forma una buca mentre poco più a valle, per l'espansione della sezione, si forma una barra che, deviando la corrente, può indurre l'erosione della sponda.
- Un'angolazione verso monte crea più scabrezza e una buca più profonda presso l'estremità; se il livello di piena supera il pennello, la corrente tende verso il centro alveo, riducendo l'erosione spondale. Pennelli inclinati verso valle creano meno scabrezza e possono essere usati nei tratti ad elevata pendenza, con funzione principale di deviatori di corrente.

BOX - DEFLETTORI DI CORRENTE/REPELLENTI¹



Figura 22 – Sponda difesa con copertura diffusa in astoni di salice e repellenti vivi –in fascinata e scogliera– appena terminati i lavori (vista da valle verso monte) e ad un anno dalla realizzazione, alla fine dell'inverno (vista da monte verso valle). (Foto: Giuliano Trentini)

- I deflettori di corrente differiscono dai pennelli (box precedente) per la minore elevazione, venendo sommersi in condizioni di morbida; vengono utilizzati per la difesa del piede di sponda, sovente in associazione a opere di ingegneria naturalistica di protezione della sponda.
- Nei casi in cui le sollecitazioni idrodinamiche rendano necessario un intervento significativo di stabilizzazione del piede, i repellenti costituiscono una valida alternativa a difese longitudinali in scogliera o gabbionate, con il vantaggio biologico di non introdurre discontinuità tra la sponda e l'alveo. Sono state sperimentate diverse tecniche, in tronchi, in massi, con gabbionate, e anche tecniche miste che associano componenti morte e vive. Allontanando da riva la corrente, riducono gli habitat e le funzioni riparie; l'incorporazione di tronchi, l'uso di tecniche miste e la messa a dimora di talee tra un repellente e l'altro possono mitigare o addirittura annullare questo impatto.

¹ Tratto e riadattato dal Manuale "La riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio" (Nardini A. e Sansoni G. e collaboratori – CIRF, 2006), Capitolo 8.

BOX - DIFESE/PENNELLI ARRETRATI ED INTERRATI

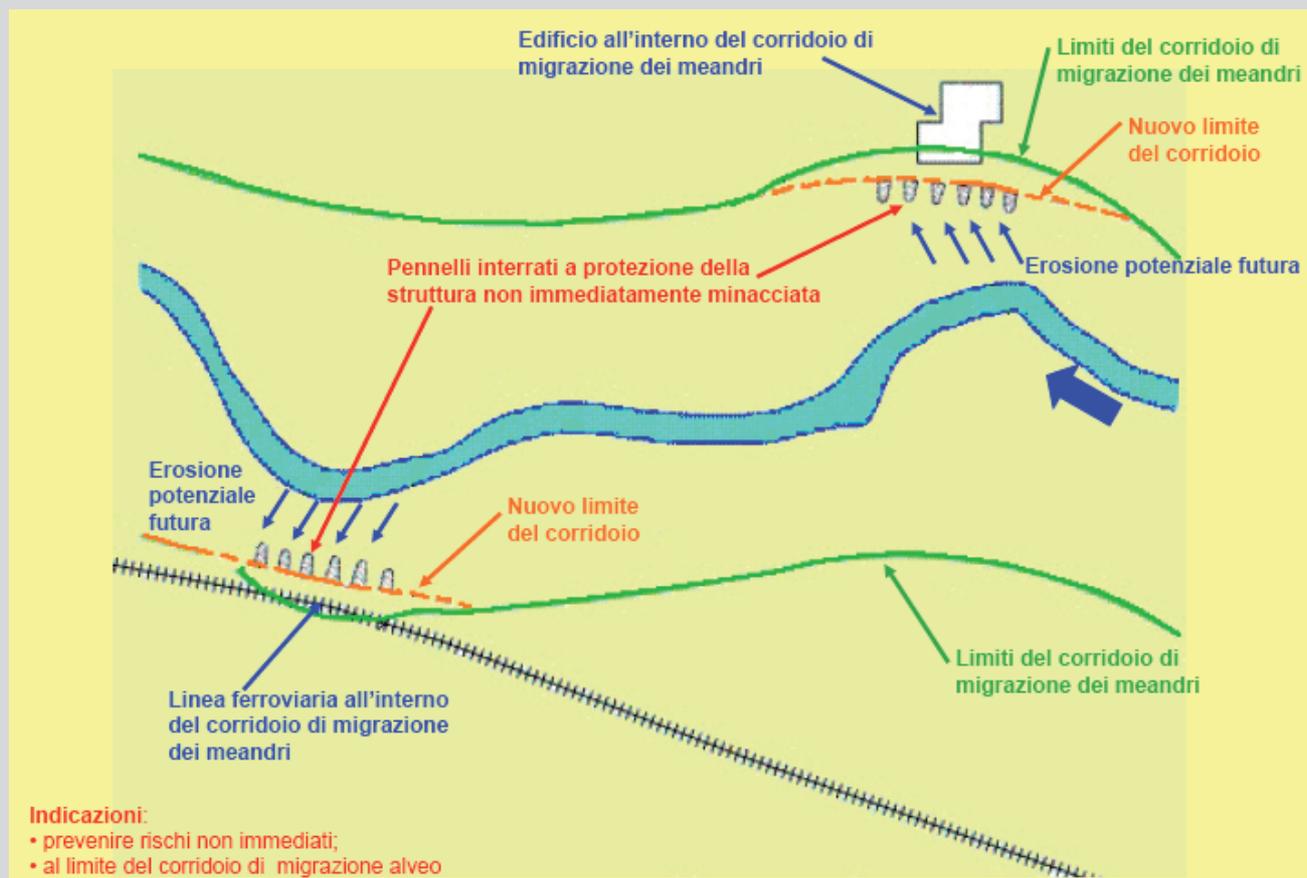


Figura 23 - Difese/pennelli arretrati ed interrati (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)

- Nelle situazioni in cui il pericolo per le strutture è prevedibile, ma non immediato, la difesa può consistere in pennelli interrati (*buried groins*, *buried rock trenches*, *transverse dikes*, *transverse sills*) che, qualora vengano esposti dall'erosione spondale, diventano veri e propri pennelli.
- Questa difesa a medio-lungo termine, appropriata per i siti ove il meccanismo erosivo si espliciti al piede della sponda, è tanto più efficace quanto più i pennelli sono vicini al limite del corridoio di migrazione dei meandri (in caso contrario possono essere "aggirati").
- Negli alvei in corso di abbassamento, i pennelli interrati possono essere combinati a briglie (porose o no). Rispetto ai pennelli classici, la loro progettazione è più impegnativa, per le difficoltà di prevedere quali saranno le condizioni (dimensioni, direzione, velocità, profondità, ecc.) quando il pennello diverrà esposto. Per compensare queste incertezze, possono essere sovradimensionati e dotati di un piede assestabile (massi supplementari che, assestandosi, colmeranno i vuoti lasciati da un'eventuale erosione verticale). Il corretto posizionamento, orientamento e dimensionamento richiedono una buona comprensione dei processi geomorfologici a livello del tratto fluviale.
- Per mitigarne l'impatto, i pennelli vanno ubicati in modo da massimizzare la larghezza del corridoio di migrazione dei meandri; una volta esposti, i pennelli possono essere vegetati con talee, migliorando le funzioni riparie. Pennelli interrati associati all'impianto di una fascia riparia sono un buon esempio di strategia integrata di protezione spondale, che permette l'evoluzione naturale (sia pure rallentata) dell'alveo e della piana alluvionale.
- Per quanto riguarda l'impatto, le opportunità perse e gli habitat creati, i pennelli interrati si comportano in modo del tutto analogo a quelli esposti.
- Una soluzione analoga può essere offerta dal posizionamento di una difesa spondale longitudinale interrata, come mostrato in Figura 24 e Figura 25.



Figura 24 – Progetto per la sistemazione idraulico-ambientale del Torrente Raio (Provincia dell'Aquila). In rosso è indicata una difesa spondale interrata in massi. (Immagine: Commissario Delegato per l'emergenza socio-economica-ambientale del bacino del fiume Aterno-Pescara. Progetto a cura di BETA studio srl. e HR Wallingford con la collaborazione di: Dott.ssa Ileana Schipani, Ing. Marco Monaci)



Figura 25 – Torrente Raio; in giallo la posizione indicativa in cui sarà posizionata la difesa spondale interrata in massi (Foto: Ileana Schipani)

BOX - MESSA A DIMORA DI UNA FASCIA RIPARIA PER IL CONSOLIDAMENTO SPONDALE

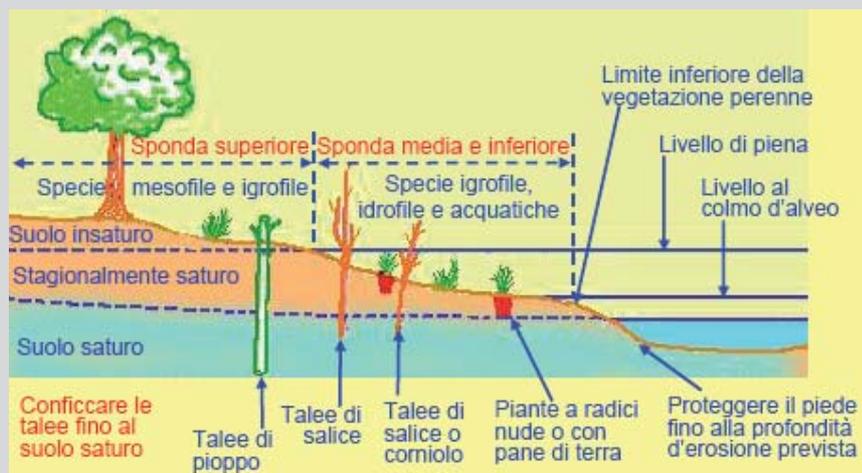


Figura 27 – Schema concettuale per la scelta delle specie vegetali e la loro collocazione lungo la sponda e la piana inondabile (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)

- Gli impianti arborei ed arbustivi utilizzano piante con apparato radicale robusto e relativamente profondo (qualche metro); stabilizzano le sponde, forniscono habitat e migliorano l'aspetto paesaggistico.
- Sono adatti per tratti soggetti ad erosione al piede (purché combinati con una protezione al piede con massi o tronchi), scarsa copertura vegetale e sezione relativamente larga e piatta, eventualmente con risagomatura della sponda sebbene, con tecniche appropriate, possano applicarsi a sponde con pendenza fino a 2:1 (b:h). Sono utili anche al margine del corridoio di migrazione dei meandri (se l'instabilità deriva da erosione al piede), negli alvei in innalzamento e nelle piane alluvionali per ridurre il rischio di disalveo, nonché combinati a molte tecniche di protezione sponda. Un impianto denso di salici (3-5 anni) può giungere a fornire una protezione equivalente a quella di un rivestimento in massi.
- Sono inadatti negli alvei in abbassamento.
- Possono essere impiegati diversi materiali vegetali.
 - *Talee*: pali diritti, senza rami, con estremità appuntita, di almeno 3-5 cm di diametro, lunghi ca. 1 m (in suoli aridi, abbastanza lunghi da raggiungere la superficie freatica); si piantano (2-5/m²) con un mazzuolo o, in suoli compatti, in un foro predisposto con trivella o picchetto metallico. Sono usate anche come picchetti vivi per fissare stuoie, fascine, ecc.
 - *Talee o piantine in gradonate vive*: in solchi orizzontali sulla sponda si adagiano dense file sporgenti di talee, rami o altri materiali vegetali (lunghezza almeno 1 m) e si copre con terreno, compattandolo. Sono usate più frequentemente in sponde che richiedono riporti di terreno, meno in quelle che richiedono lo scavo dei solchi. File incrociate sono più efficaci di file parallele. Richiedono più rami rispetto alle talee, ma hanno il vantaggio di fornire un consolidamento del terreno e una protezione dall'erosione superficiale immediata; l'aggiunta di rivestimenti in tessuto migliora molto, con modesti costi, la resistenza all'erosione.
 - *Lunghe fascine di rami vivi*, legate assieme in cilindri (diametro circa di 20 cm) e fissate alla sponda (solitamente in una o più file parallele alla corrente) o nella piana alluvionale con picchetti vivi e morti, sono utili per stabilizzare solchi e aree soggette ad erosione localizzata, in sponde con pendenza 1:1 o inferiore. Se inserite in linee oblique possono facilitare il drenaggio di pendii umidi.
 - I *rivestimenti diffusi con astoni* (uno strato spesso 10-40 cm di rami lunghi 2-3 m, accostati tra loro, perpendicolari alla corrente) sono spesso ancorati al piede con fascine o massi e premuti contro il suolo con fili metallici e picchetti; forniscono una protezione immediata e producono rapidamente una densa vegetazione; sono adatti su pendenze inferiori a 3:1-2:1.
- Tutti questi metodi richiedono esperienza (scelta delle specie, dei materiali e dei tempi, tecniche di preparazione del terreno e di impianto, concimazioni, irrigazioni, potature, controllo delle infestanti, manutenzioni, ecc.).
- Le considerazioni progettuali sono il regime d'umidità del suolo (per garantire la riuscita dell'impianto) e le inondazioni saltuarie (per controllare le specie non riparie).
- Vanno impiegate specie autoctone che assicurino uno strato arbustivo ben sviluppato e la varietà di specie, forma ed età. Per garantire l'attecchimento sono spesso necessari l'irrigazione e il controllo delle infestanti.

BOX - INERBIMENTI

- Rispetto agli impianti arborei, gli inerbimenti con graminacee, giunchi, carici, felci, leguminose, piante di zone umide, fiori selvatici, ecc. tendono a formare uno strato radicale più sottile, ma continuo e molto fitto.
- Sono un trattamento d'elezione per la sommità delle sponde, mentre da soli sono inefficaci in casi di erosione severa ma, in combinazione con altri trattamenti, forniscono un sensibile contributo addizionale.
- Sono inadatti ad affrontare erosioni al piede e instabilità da frana.
- La resistenza all'erosione di tappeti erbosi maturi va da 2 a 15 Kg/m², comparabile a quella di una protezione con ghiaia di diametro 2,5-15 cm. Dopo la semina è necessaria una lieve compattazione del suolo (rullatura manuale). Spesso richiedono rivestimenti con stuoie tessute per evitare l'asportazione idrica dei semi; per analoghe ragioni sono sconsigliati fertilizzanti e pacciamature organiche.
- Un materiale eccellente ed economico sono le zolle erbose asportate per l'esecuzione dei lavori e ricollocate a fine lavori; risultati analoghi danno le stuoie di cocco prevegetate.
- I periodi d'intervento sono la primavera e l'autunno; possono essere necessari l'irrigazione e il controllo delle infestanti.
- Gli inerbimenti non hanno controindicazioni ecologiche, mentre possono fornire diversità strutturale per la fauna selvatica, detrito organico per gli invertebrati acquatici e, con erbe alte, rifugi per pesci dai predatori (schermatura visiva).

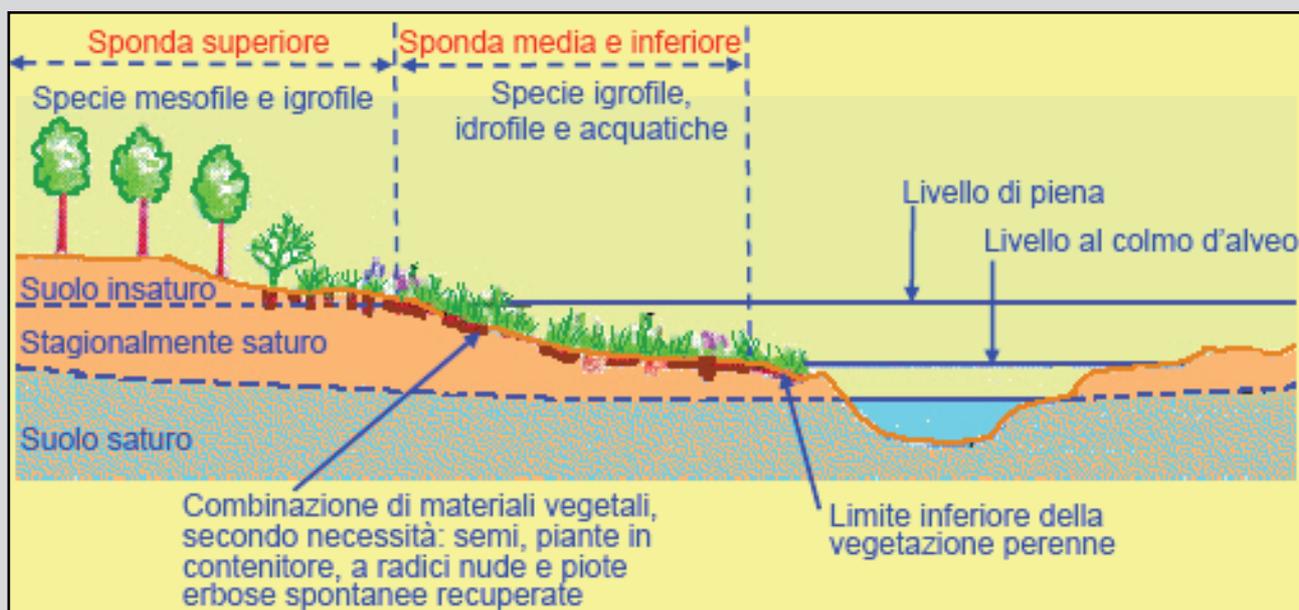


Figura 28 - Schema concettuale per la scelta delle specie vegetali e la loro collocazione lungo la sponda e la piana inondabile (Immagine: Washington State 2002, adattata; © Washington Dept. of Fish and Wildlife)

BIBLIOGRAFIA

AUTORITÀ DI BACINO INTERREGIONALE DEL FIUME MAGRA, 1998. *Elementi di progettazione ambientale dei lavori fluviali*

BINDER, 2000. *River restoration in Bavaria*, in "Proceedings of the Conference on River Restoration in Europe". Ed. by H.J. Nijland and M.J.R. Cals, Wageningen, The Netherlands: 223-229.

CIRF, 2006. *La riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio*. Nardini A. e Sansoni G. (curatori) e collaboratori. Mazzanti Editori, Venezia. (www.cirf.org)

CIRF, 2009. *Studio di fattibilità per la riqualificazione del Canale di San Giovanni*. (Comune di San Giovanni in Persiceto - Provincia di Bologna). Monaci M. et al.

CLAIRE E.W., 1980. *Stream habitat and riparian restoration techniques; guidelines to consider in their use*. In Proc. of Workshop for Design of Fish Habitat and Watershed Restoration Projects, County Squire, Oregon, March 10-14, 1980.

COMMISSARIO DELEGATO PER L'EMERGENZA SOCIO-ECONOMICA-AMBIENTALE DEL BACINO DEL FIUME ATERNO-PESCARA, 2009. *Opere per la sicurezza idraulica e la riqualificazione ambientale del Torrente Raio e del Fiume Aterno dall'Aquila a Molina Aterno - 1° lotto - zona industriale di Pile (Aq)*. Progetto a cura di BETA studio srl. e HR Wallingford, Wallingford con la collaborazione di Dott.ssa Ileana Schipani e Ing. Marco Monaci

LEGAMBIENTE E PROTEZIONE CIVILE, 2008. *Le buone pratiche per gestire il territorio e ridurre il rischio idrogeologico* (scaricabile dal sito www.cirf.org)

LIÉBAULT F., CLÉMENT P., PIÉGAY H., 2001. *Analyse géomorphologique de la recharge sédimentaire des bassins versants de la Drôme, de l'Eygues et du Roubion*. Unpublished technical report, ONF Service Départemental de la Drôme and CNRS - UMR 5600, 182 p.

MALAVOI J.R., BRAVARD J.P., PIEGAY H., HEROIN E., RAMEZ P., 1998. *Determination de l'espace de liberté des cours d'eau*. Bassin Rhone Mediterranee Corse, Guide Technique N°2, 39 pp.

PIÉGAY H., BARGE O., LANDON N., 1996. *Streamway concept applied to river mobility/human use conflict management*. In: *First international conference on new/emerging concepts for rivers*. Proceedings Rivertech 96, International Water Resources Association: 681-688.

PROVINCIA DI MILANO, 2003. *Quaderno del Piano Territoriale n.20. Linee guida per interventi di ingegneria naturalistica lungo i corsi d'acqua*. Guerini e Associati, 1-165.

RINALDI M., CASAGLI N., 1999. *Stability of streambanks formed in partially saturated soils and effects of negative pore water pressures: the Sieve River (Italy)*. *Geomorphology*, 26 (4): 253-277.

RINALDI M. 2007. *Approfondimenti dello studio geomorfologico dei principali alvei fluviali nel bacino del Fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità funzionale*. Relazione Finale Convenzione di Ricerca tra Autorità di Bacino del Fiume Magra e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze, 154 pp.

SANSONI G., 1993b. *Una nuova cultura idraulica ed ambientale*. In: G. Sansoni, P.L. Garuglieri, *Il Magra*. Analisi, tecniche e proposte per la

tutela del fiume e del suo bacino idrografico. Ed. WWF Italia, 95 pp

SANSONI G., 1999. *Ingegneria naturalistica fluviale: strumento per la gestione idraulico-naturalistica del territorio o cosmesi ambientale?* In: *Atti Seminario di Studi "I biologi e l'ambiente ... oltre il duemila"*, Venezia 22-23 nov. 1996. G.N. Baldacchini & G. Sansoni (eds.), CISBA, Reggio Emilia: 65-73.

SHIELDS F.D., BOWIE A.J. JR., COOPER C.M., 1995. *Control of streambank erosion due to bed degradation with vegetation and structure*. *Water Resources Bulletin*, 31 (3): 475-489.

SHIELDS F.D. JR., COPELAND R.R., KLINGEMAN P.C., DOYLE M.W., SIMON A., 2003. *Design for stream restoration*. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129 (8): 575-584.

STRAHLER A.N., 1957. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. *American Geophysical Union Transactions* 38: 913-920.

SURIAN N., RINALDI M., 2003. *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. *Geomorphology* 50: 307-326.

WASHINGTON STATE, 2002. *Integrated streambank protection guidelines*. Washington State, Dept. of Fish and Wildlife, Dept. of Transportation, Dept. of Ecology, 622 pp. (scaricabile dal sito <http://www.wdfw.wa.gov/hab/ahg/ispdoc.htm>)



Il CIRF è un'associazione culturale tecnico scientifica senza fini di lucro, fondata nel 1999 per promuovere una gestione più sostenibile dei corsi d'acqua e favorire il dibattito tecnico-scientifico sull'approccio e le tecniche della riqualificazione fluviale.

Per conseguire questi obiettivi conduce attività di:

- formazione (corsi, viaggi studio, pubblicazioni tecnico-scientifiche);
- informazione (sito web, eventi, pubblicazioni divulgative, documenti di opinione);
- progetti pilota innovativi e ad alta valenza divulgativa (studi, piani..)

Attualmente il CIRF è membro del consiglio direttivo dell'*ECRR (European Centre for River Restoration)*, un'omologa organizzazione internazionale che mira a creare una rete europea tra istituzioni di rilievo nazionale che operano nel settore della Riquilificazione Fluviale.

Per informazioni www.cirf.org.

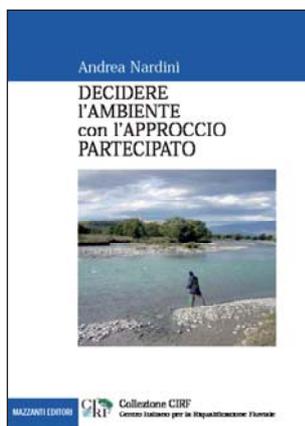
LE NOSTRE PUBBLICAZIONI



La Riquilificazione Fluviale in Italia. **Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio.**

Un testo di 832 pagine che non si limita alle tecniche, ma le subordina alle strategie. Ma come metterle in pratica? Ecco allora le linee guida operative, rivolte soprattutto a chi ha potere decisionale; l'approccio tecnico integrato, una rivoluzione nel modo di pianificare e progettare; gli orientamenti alle tecniche d'intervento, dalla progettazione dell'assetto geomorfologico alle tecniche di protezione spondale e agli interventi di miglioramento dell'habitat; un metodo innovativo (FLEA) per misurare lo stato ecologico; i casi studio che illustrano esperienze reali.

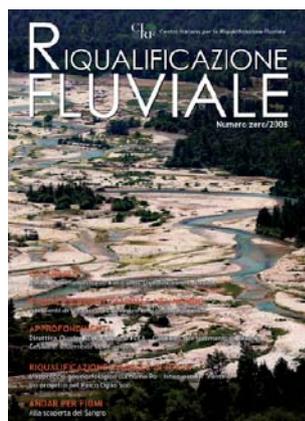
Per una presentazione più esaustiva del testo è possibile consultare la pagina web: www.cirf.org



Decidere l'ambiente. **Una visione generale e indicazioni operative sulla problematica acqua, con esemplificazione sul fiume Taro.**

Un libro che parla in modo originale delle tematiche inerenti le decisioni in ambito pubblico, che cerca di renderle accessibili con una esemplificazione sufficientemente completa da far capire di cosa si tratta, ma non eccessivamente profonda, per non disperdere il lettore.

Per una presentazione più esaustiva del testo è possibile consultare la pagina web: www.cirf.org



Rivista "RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE"

Si tratta di una rivista scaricabile gratuitamente online dal sito CIRF da associati e non associati ed esclusivamente dedicata al tema della riqualificazione fluviale.

Nasce con lo scopo di allargare quanto più possibile il confronto in merito ai temi della riqualificazione fluviale. Una rivista immaginata come un contenitore aperto ai contributi di enti pubblici, università, centri di ricerca, professionisti, associazioni che vogliano divulgare esperienze realizzate o situazioni di particolare interesse."

Per ulteriori informazioni consultare la pagina web: www.cirf.org

