

La riqualificazione dei canali agricoli - Linee guida per la Lombardia



La riqualificazione dei canali agricoli

Linee guida per la Lombardia

Quaderni della ricerca



n. 92 - settembre 2008



Regione Lombardia
Agricoltura

Il sito della ricerca in agricoltura
www.agricoltura.regione.lombardia.it



Documento redatto nell'ambito del progetto di ricerca n. 974
"Linee guida per la Riqualificazione dei Canali Agricoli" (LIRICA)
finanziato con il Piano per la Ricerca e lo Sviluppo 2006 (Delibera n. 2216 del 29 marzo 2006).

A cura di:

Prof. Gian Battista Bischetti, Dr. Enrico Antonio Chiaradia, Dr. Matteo Conti, Ing. Mario Di Fidio, Dr. Emanuele Morlotti
(Istituto di Idraulica Agraria dell'Università degli Studi di Milano – via Celoria 2 -20133 Milano)
Arch. Fausto Cremascoli
(CdB Muzza Bassa Lodigiana – via Nino Dall'Oro 4 – 26900 LODI – tel.0371-420189 www.muzza.it)

Hanno collaborato:

Dott.ssa Maddalena Tommasone
(CdB Muzza Bassa Lodigiana)
Dr. Giulio Senes
(Istituto di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano)

Si ringraziano:

Dr. Gianni Camossi (consigliere regionale della FICK) per le utili informazioni sull'attuale stato dell'attività di canoa in Italia e sulle caratteristiche dei tratti idonei alla navigazione.
Dr. Luca Avoledo (Provincia di Milano - Servizio Faunistico) per i suggerimenti riguardo la gestione dell'ittiofauna nei canali rurali.
Ing. Ettore Fanfani (Direttore Generale del CdB Muzza Bassa Lodigiana) per le proficue discussioni e suggerimenti.
I tecnici dei Consorzi lombardi (troppo numerosi per non rischiare di dimenticare qualcuno) per la disponibilità mostrata nel corso delle numerose visite e colloqui.

Per informazioni:

Regione Lombardia - Direzione Generale Agricoltura
Via Pola 12/14 - 20124 Milano

U.O. Sviluppo e tutela del territorio rurale e montano
Struttura Valorizzazione dei sistemi rurali della pianura e della collina
Tel: +39 02 67658020 fax +39 02 67652791
Referente: Andrea Corapi - tel. +39 02 67658002
e-mail: andrea_corapi@regione.lombardia.it

U.O. Interventi per la competitività e l'innovazione tecnologica delle aziende
Struttura Ricerca e innovazione tecnologica
Tel: +39 02 67653790 fax +39 02 67652757
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it
Referente: Gianpaolo Bertoncini - tel. +39 02 67652524
e-mail: gianpaolo_bertoncini@regione.lombardia.it

A Daniele, che su questi stessi temi ha lavorato con intelligente passione e pacata tenacia.

La riqualificazione dei canali agricoli

Linee guida per la Lombardia

PRESENTAZIONE



La pianura lombarda è fortemente caratterizzata dalla abbondante presenza di acqua e dal fitto reticolo di canali di bonifica e di irrigazione, la cui costruzione nel corso dei secoli ha accompagnato lo sviluppo socio-economico della regione e plasmato l'assetto idraulico-territoriale e paesaggistico a tutti noi noto.

L'elevata pressione antropica (espansione dell'urbanizzazione e dell'infrastrutturazione del territorio, sviluppo di un'agricoltura intensiva e altamente produttiva, etc.) cui è sottoposto il territorio ha determinato nel tempo una sua semplificazione ecosistemica e paesaggistica, oltre che la frammentazione degli ecosistemi.

Nel contempo, il reticolo dei canali rurali deve concorrere sempre più a soddisfare i nuovi bisogni espressi dalla società moderna, soprattutto in termini di qualità della vita, grazie alla multifunzionalità intrinseca nella natura e nel funzionamento dei canali, che alla primaria funzione idraulica (di trasportare acqua per l'irrigazione dei campi e di allontanare quella in eccesso presente sul territorio) uniscono le valenze paesaggistica, ecologica, ricreativa e storica.

Per queste ed altre ragioni la legge regionale in materia di bonifica ed irrigazione, unitamente al *Piano generale di bonifica, irrigazione e tutela del territorio rurale*, riconoscono l'importanza strategica della multifunzionalità del sistema dei canali rurali, prevedendo la loro salvaguardia e valorizzazione mediante interventi significativi di riqualificazione ambientale.

Le presenti linee guida vogliono pertanto rappresentare, da un lato, uno strumento di supporto all'attuazione di quanto previsto dalla normativa e dalla pianificazione regionale; dall'altro, un supporto tecnico ai consorzi per la progettazione e la realizzazione degli interventi di riqualificazione ambientale dei canali.

Luca Daniel Ferrazzi

Assessore all'Agricoltura

Regione Lombardia

INDICE

Capitolo 1 Introduzione.....	1
1.1 Bibliografia.....	4
Capitolo 2 Principi di riqualificazione ambientale dei corsi d’acqua.....	5
2.1 La Direttiva Quadro 2000/60/CE: linee generali e implicazioni per la gestione dei corsi d’acqua	7
2.1.1 Gli obiettivi della direttiva.....	7
2.1.2 Caratterizzazione dei corpi idrici artificiali significativi: stato ecologico e potenziale ecologico.....	9
2.2 Equilibrio fisico dei corsi d’acqua: elementi di fluviomorfologia.....	11
2.2.1 Proprietà geometriche e forme nei corsi d’acqua naturali.....	12
2.2.2 Equilibrio dei corsi d’acqua.....	13
2.2.3 Portata formativa	15
2.3 Elementi d’ecologia dei corsi d’acqua.....	17
2.3.1 L’habitat fluviale.....	17
2.3.2 La componente biotica.....	22
2.3.3 I principali processi ecosistemici fluviali.....	24
2.3.4 La zonazione dei corsi d’acqua.....	27
2.3.5 Le alterazioni antropiche degli ecosistemi fluviali.....	29
2.4 Ecologia dei canali artificiali rurali.....	31
2.5 Le reti ecologiche.....	32
2.5.1 Criteri generali per la costituzione di una rete ecologica.....	34
2.6 Caratteristiche della rete irrigua e di bonifica in Lombardia.....	34
2.7 Bibliografia.....	35
Capitolo 3 Caratterizzazione integrata dei corsi d’acqua rurali.....	39
3.1 Definizione e Obiettivi.....	39
3.2 Implementazione della Caratterizzazione Integrata.....	39
3.2.1 Inquadramento territoriale.....	40

3.2.2 Assetto del corso d'acqua da riqualificare.....	44
3.2.3 Indagine ecologico-ambientale.....	44
3.2.4 Raccolta delle proposte progettuali esistenti.....	57
3.2.5 Possibili linee d'azione.....	57
3.3 Bibliografia.....	58
Capitolo 4 Azioni per il mantenimento della funzionalità idraulica.....	59
4.1 Opere d'alveo trasversali a basso impatto ambientale.....	60
4.2 Opere d'alveo longitudinali a basso impatto ambientale.....	62
4.3 Valutazione ecologica delle opere mediante modelli ecologico-idraulici.....	70
4.3.1 Variazione delle grandezze idrauliche e fisiche indotte dalle opere di sistemazione.....	71
4.3.2 Il modello ecologico-idraulico PHABSIM.....	71
4.3.3 Valutazione con il modello PHABSIM degli scenari d'intervento.....	72
4.4 Bibliografia.....	72
Capitolo 5 Azioni per il potenziamento ambientale.....	74
5.1 La gestione della risorsa idrica per la salvaguardia del patrimonio ambientale.....	74
5.2 Misure per la creazione di meso e micro-habitat.....	74
5.3 Misure per il superamento e/o mitigazione delle barriere ambientali.....	79
5.3.1 Definizione e obiettivi dei passaggi per pesci.....	80
5.3.2 Principali tipologie di passaggi per pesci.....	80
5.3.3 Iter metodologico per la progettazione dei passaggi per pesci.....	84
5.3.4 Una proposta di pianificazione degli interventi: gli Indici di Priorità	86
5.4 Costituzione di vegetazione spondale.....	87
5.4.1 La scelta delle specie.....	87
5.4.2 La qualità delle piante.....	89
5.4.3 Criteri generali e finalità dell'intervento.....	89
5.4.4 Tipologie d'intervento.....	89
5.5 Creazione di siepi e filari, macchie boscate.....	91
5.5.1 Progettazione dell'intervento.....	92
5.5.2 Cura e manutenzione.....	96

5.6 Aree umide, pseudo lanche, bacini d'accumulo, sedimentazione e laminazione.....	97
5.6.1 Bacini di laminazione dei deflussi in alveo e di ritenzione delle acque meteoriche urbane	97
5.6.2 Lanche artificiali.....	98
5.6.3 Bacini per la fitodepurazione.....	99
5.7 Costituzione di colture arboree a ciclo breve.....	103
5.7.1 SRF e riqualificazione dei corsi d'acqua.....	104
5.7.2 Specie, modelli d'impianto e turni colturali.....	107
5.8 Bibliografia.....	110
Capitolo 6 Azioni per l'integrazione territoriale, la fruizione e il recupero storico.....	112
6.1 Percorsi verdi (greenways).....	112
6.1.1 Aspetti tecnici della progettazione di una green way.....	113
6.1.2 Caso di studio: un percorso verde per i pescatori.....	118
6.2 Percorsi d'acqua (Blueway).....	120
6.2.1 Identificazione tratti idonei.....	121
6.2.2 Realizzazione degli approdi.....	122
6.3 Bibliografia.....	124
Capitolo 7 Interventi di manutenzione ecocompatibili.....	125
7.1 Nuovi obiettivi ecologici della manutenzione dei canali.....	125
7.1.1 I canali come habitat sostitutivi di specie vegetali ed animali rare.....	125
7.1.2 Promozione della molteplicità ecologica dei canali.....	127
7.1.3 Rinnovamento della prassi di manutenzione	128
7.2 Valutazione analitica dei lavori per la manutenzione dei canali.....	129
7.2.1 Evoluzione storica della manutenzione dei canali	130
7.3 Scelta degli strumenti di lavoro adatti	131
7.3.1 Attrezzature per lo sfalcio e il diserbo dei canali	131
7.3.2 Attrezzature per lo spurgo del fondo dei canali	137
7.3.3 Smaltimento del materiale di risulta.....	140
7.3.4 Confronto tra le attrezzature per la manutenzione dei canali	140

<u>7.4 Valutazione sistematica dei lavori per la manutenzione dei canali</u>	<u>142</u>
<u>7.4.1 La distribuzione spaziale dei lavori di manutenzione</u>	<u>142</u>
<u>7.4.2 Il piano di manutenzione</u>	<u>148</u>
<u>7.5 L'appalto dei lavori di manutenzione</u>	<u>149</u>
<u>7.6 Bibliografia.....</u>	<u>151</u>
<u>Allegato A Elementi per la verifica idraulica e della stabilità.....</u>	<u>152</u>

Capitolo 1 Introduzione

Nell'ultimo secolo, nei Paesi più sviluppati, la pressione antropica (urbanizzazione, utilizzo agricolo intensivo, alterazioni fisico-chimiche degli ecosistemi, ecc.) ha causato, tra l'altro, la banalizzazione del paesaggio e la frammentazione delle aree naturali ad elevato valore ecosistemico (Battisti, 2004) e, come conseguenza, ha alterato profondamente i processi e i fattori d'equilibrio, che consentono la conservazione in queste aree della tipica biodiversità animale e vegetale. Ciò ha contribuito a peggiorare progressivamente la qualità della vita delle popolazioni, che si è dimostrato essere strettamente collegata a quella del territorio in cui vivono ed alle caratteristiche degli ecosistemi naturali residui, compresi i neo-ecosistemi artificiali (Malcevschi et al., 1996).

Anche alla luce di tale peggioramento, negli ultimi decenni, l'uomo ha riconosciuto i danni ambientali causati dalle sue attività e la necessità di porvi in qualche modo rimedio, fino a mettere in discussione il paradigma di sviluppo economico che ha dominato buona parte del Novecento. Sull'onda di questa consapevolezza, è divenuto di crescente attualità il tema della riqualificazione ambientale, che rientra in numerose normative nazionali ed europee e costituisce l'obiettivo di diffusi interventi, anche di ragguardevoli dimensioni (particolarmente nell'Europa centrale e settentrionale).

Un tale processo ha inevitabilmente coinvolto i corsi d'acqua naturali, e in parte anche quelli d'origine antropica, che in taluni contesti rivestono un ruolo centrale per la loro estensione, storia e rilievo naturale e paesaggistico. È questo il caso della rete idrografica della pianura padana, e lombarda in particolare, la quale comprende, nelle maglie tra i corsi d'acqua naturali, un fitto sistema di canali irrigui e di bonifica d'antichissima origine, che hanno determinato un tipico assetto territoriale e paesaggistico (con conseguenze anche sulla componente naturale), da molti secoli noto ed apprezzato dai viaggiatori europei (Bigatti, 2000).

I canali rurali lombardi, infatti, per la gran parte, nascono contestualmente allo sviluppo storico del territorio, esercitando da sempre numerose e diversificate funzioni, ossia costituendo prototipi di multifunzionalità, oggi riscoperta e rivalutata per i suoi pregi. Questo aspetto peculiare li rende peraltro, sotto certi aspetti, fragili, dovendo essi rispondere a richieste di servizi talvolta contrastanti e, frequentemente, non remunerati in misura adeguata.

Le principali funzioni che la rete dei canali rurali lombardi si trova oggi ad assolvere sono (Cadario e Bischetti, 2006):

- *Funzione idraulica* – I canali rurali sono stati espressamente costruiti con una funzione di trasporto dell'acqua verso e dai campi, per l'irrigazione e la colatura; essa conserva ancor oggi la sua centralità, sia per consentire un'agricoltura moderna e competitiva, sia per garantire la difesa idraulica del territorio. L'efficienza della rete rispetto alla funzione idraulica viene garantita al meglio da canali con sezione e profilo longitudinale regolari, scabrezze modeste, assenza di perdite e costi di manutenzione minimi. In genere, il solo perseguimento dell'efficienza idraulico-agraria, ammesso che sia economicamente sostenibile, compromette l'efficienza rispetto alle altre funzioni.
- *Funzione paesaggistica* – Il ruolo dell'acqua nella struttura del paesaggio è da sempre universalmente riconosciuto. Nella valle padana, la rete idrografica rurale, nella sua plurisecolare costruzione, ha comportato tali cambiamenti del territorio da essere essa stessa elemento fondante del paesaggio, al pari o addirittura più dei corsi d'acqua naturali. Poiché il paesaggio è costituito da una parte oggettiva, data dalla "realtà esterna, visibile, che un osservatore esterno può cogliere", e una parte soggettiva, data dalla "immagine mentale che di essa l'osservatore si costruisce" (Zerbi, 1998), la funzione paesaggistica dei canali rurali viene ulteriormente esaltata. Di conseguenza, i manufatti idraulici realizzati nei secoli (e che ancora oggi esercitano, bene o male, la loro funzione) hanno un duplice valore: estetico (quadro paesaggistico) e storico – culturale (palinsesto), poiché richiamano l'intera storia e lo sviluppo socio – economico della Lombardia. Alla rete dei canali rurali, inoltre, si appoggia una rete vegetazionale, che esercita un ruolo altrettanto importante nella formazione del paesaggio tipico della pianura; spesso essa non è costituita da specie di rilevanza naturalistica, ma da essenze impiantate dall'uomo, magari allevate in forme caratteristiche (ad esempio i filari d'olmo o di salice periodicamente capitozzati).
- *Funzione ecologica* – I canali rurali così come ci sono stati tramandati, hanno anche un discreto valore naturalistico. Grazie alla mancanza di rivestimento del fondo, all'equipaggiamento

vegetazionale e spesso anche ad una ridotta manutenzione, buona parte della rete idrografica rurale di tipo tradizionale costituisce un neo-ecosistema di un certo interesse, soprattutto se paragonato allo stato in cui versano alcuni corsi d'acqua naturali, ma fortemente modificati dall'uomo. Non a caso una significativa parte delle reti ecologiche s'innesta proprio sulla rete dei canali agricoli. Un ecosistema acquatico sano e ben diversificato, inoltre, è alla base della capacità autodepurativa di qualsiasi corso d'acqua.

- *Funzione ricreativa* – I canali agricoli, al pari dei corsi d'acqua naturali, hanno sempre esercitato una funzione ricreativa, che nel passato era sostanzialmente limitata alla balneazione ed alla pesca. Dopo alcuni anni di sostanziale abbandono di queste pratiche, in relazione al peggioramento qualitativo dei corpi idrici, recentemente si è verificato un crescente interesse delle comunità locali. Oltre alla ripresa dell'attività di pesca, mai completamente abbandonata, si riscontra la moltiplicazione delle iniziative escursionistiche, lungo le strade alzaie ed arginali. Grazie all'impegno di Comuni, Province e Regioni, in collaborazione con i Consorzi di bonifica, sono stati attivati numerosi percorsi legati alla rete idrografica rurale, resi fruibili per passeggiate, escursioni ciclistiche ed a cavallo. Infine, nei tratti in cui le caratteristiche geometriche delle sezioni e le condizioni di tirante idrico lo consentono, si sta affermando anche la pratica della canoa, che ha un'antica tradizione in alcuni circoli nati ai margini dei Navigli Milanesi.
- *Funzione storica* – Data la sua antica origine e la stretta connessione con lo sviluppo della pianura lombarda, la rete idrografica rurale è essa stessa un elemento storico di gran rilevanza, essendo ricchissima di reperti pregiati, legati alla cosiddetta "civiltà dell'acqua". Sotto questo profilo, oltre ai manufatti idraulici, si devono considerare anche le costruzioni di valore storico – culturale, che spesso si affacciano sui canali agricoli (soprattutto quelli di dimensioni maggiori). Si tratta da una parte di residenze di campagna e ville, che sfruttano la presenza dei canali come elemento di valorizzazione, dall'altra di strutture che rientrano nella cosiddetta "architettura d'acqua", fatta di semplici mulini e segherie, ma anche di centrali industriali ed impianti di sollevamento (per la bonifica dei terreni ad esempio), questi ultimi ancora funzionanti, spesso con gli stessi macchinari dell'epoca.
- *Navigabilità* – L'evoluzione dei trasporti ha chiaramente messo in secondo piano tale funzione, oggi pregiudicata anche dai numerosi attraversamenti, ma non completamente cancellata come potenzialità turistica e ricreativa, oggetto di una crescente attenzione, con riferimento alla navigazione da diporto, come mostrano diverse esperienze estere.
- *Uso industriale* – Diversi canali irrigui forniscono acqua a processi industriali, con particolare riferimento al raffreddamento degli impianti o all'allevamento ittico intensivo.
- *Uso idroelettrico* – L'apertura di un mercato dell'"energia verde", ha reso economicamente interessante l'installazione, su molti canali agricoli principali, di minicentrali, che sfruttano i salti, all'origine realizzati per sostenere il livello idrico ad una quota sufficientemente elevata da garantire l'erogazione dell'acqua per gravità.
- *Recezione di acque di scarico* – La capillare diffusione dei canali rurali sul territorio li rende particolarmente idonei come recipienti delle acque meteoriche, provenienti da insediamenti civili e produttivi (spesso attraverso sfioratori installati in canali di fognatura misti), e degli scarichi dei depuratori.

Di fatto, nella pianura lombarda, l'attività di governo delle acque per l'irrigazione e la bonifica ha sempre messo gratuitamente a disposizione della società non agricola una serie di "sottoprodotti" (paesaggistico, ecologico, ecc.) dei canali rurali. Negli ultimi decenni, tuttavia, la progressiva contrazione del valore socio-economico dell'attività agricola e la crescente conflittualità tra i diversi usi delle risorse idriche hanno portato i gestori della rete a privilegiare soluzioni costruttive e manutentive meno onerose e più efficienti dal punto di vista idraulico, le quali vanno però generalmente a discapito delle funzioni ecologiche e paesaggistiche. Proprio per perseguire obiettivi di economia ed efficienza, che sono richiesti anche da una normativa a tratti contrastante (risparmio idrico e contemporaneo mantenimento della naturalità), la tendenza è stata quella di rettificare ulteriormente, arginare, regolarizzare le sezioni, rivestire con strutture impermeabili, eliminare la vegetazione sponale, sostituire i manufatti tradizionali, impoverendo notevolmente il valore ecosistemico, paesaggistico e storico dei canali rurali e nello stesso tempo la qualità del paesaggio ad essi collegata (Figura 1.1).



Figura 1.1: canali irrigui: naturaliforme (a sinistra) e cementificato (a destra).

Una moderna e coerente politica di riqualificazione dei corsi d'acqua rurali deve quindi porsi come obiettivo strategico l'equilibrio complessivo tra tutte le esigenze ed in particolare tra quelle prettamente idraulico-agrarie e produttive e quelle ambientali e paesaggistiche, piuttosto che il miglioramento della componente ambientale in sé, come invece avviene nella riqualificazione fluviale. Sul piano tecnico – funzionale, tale equilibrio deve essere perseguito migliorando gli equilibri ambientali compromessi e ricostruendo elementi naturali di pregio e di qualità, in un'ottica d'integrazione con i corridoi e le reti ecologiche (Malcevschi et al., 1996), che sia compatibile con la primaria funzione idraulico-agraria della rete. Sul piano socio – economico, è necessario che la società non agricola riconosca le funzioni che vanno a suo beneficio, sostenendo le spese connesse alla riqualificazione ambientale della rete e alla sua minor efficienza dal punto di vista idraulico-agrario.

Un'occasione sicuramente rilevante è fornita dalle nuove Direttive ambientali europee e dai nuovi obiettivi della Politica Agricola Comune e dei Piani di Sviluppo Rurale, che devono essere considerati dai gestori della rete come opportunità e non meri vincoli. In particolare, come affermato dalla Direttiva – Quadro Europea in materia di acque (2000/60/CE), non ancora pienamente applicata in Italia, si deve perseguire un modello di sviluppo sostenibile, che consenta il riequilibrio di tutti gli ambienti acquatici, i quali costituiscono il substrato di numerose attività antropiche (produttive e ricreative) e forniscono servizi ecosistemici, spesso non riconosciuti e monetizzati, ma essenziali. In tale direzione va anche il Piano Generale di Bonifica, di Irrigazione e di Tutela del Territorio Rurale della Regione Lombardia, che tra i propri obiettivi pone in primo piano la “Salvaguardia e riqualificazione del paesaggio e dell'ecosistema agrario” e la “Tutela della qualità dell'acqua” e prevede specifiche linee di intervento.

In una rete idraulica caratterizzata da una tale quantità di funzioni e relazioni, il tema della riqualificazione ambientale è assai complesso. Le interazioni tra le diverse funzioni riguardano sia i processi naturali (idrologici, idraulici, geomorfologici, ecologici, vegetazionali, ecc.), che caratterizzano qualsiasi corso d'acqua, sia i diversi utilizzi da parte dell'uomo (agricolo, industriale, idroelettrico, ricreativo, ecc.), che sono spesso contrastanti e legati a dinamiche altrettanto complesse di quelle naturali. A fronte di tale complessità, i consueti schemi adottati per la riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua naturali riescono a dare risposte solo parziali; anzi, nel caso della rete idrografica rurale, il considerare solamente i processi naturali può essere, oltre che fuorviante, addirittura controproducente.

Mentre i principi di riqualificazione dei corpi idrici naturali sono sostanzialmente universali e la letteratura internazionale fornisce ormai molti elementi utili alla loro pratica applicazione, nel caso della riqualificazione della rete artificiale vi è una sostanziale carenza di riferimenti. Risulta dunque necessario sviluppare criteri di riqualificazione specifici dei canali, tenendo conto della peculiarità della situazione padana, e lombarda in particolare.

Il presente volume vuole dare un contributo a questa ricerca, fornendo elementi conoscitivi e spunti per i progetti di riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua rurali. L'ottica è quella in precedenza illustrata, ossia si cerca di migliorare le diverse funzioni dei canali agricoli, in maniera equilibrata e specifica per il contesto in esame, anche attraverso un'attenta analisi e ponderazione delle funzioni preminenti della rete, con particolare riferimento a quelle d'interesse antropico.

Dopo una breve descrizione degli elementi e processi, che caratterizzano la riqualificazione dei corsi d'acqua in generale, verranno approfonditi gli aspetti specifici dei canali da riqualificare, ossia le azioni finalizzate a migliorare la funzionalità idraulica e la stabilità dell'alveo, a potenziare la funzione ecologica, a promuovere l'integrazione territoriale e la fruizione ed a recuperare il patrimonio storico.

1.1 Bibliografia

Battisti C. (2004). "Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica." Provincia di Roma, Assessorato alle politiche ambientali, Agricoltura e Protezione civile 248 pp.

Bigatti G. (2000). "Un Paese basso e pieno di canali.", in: AA.VV. Le vie d'acqua: rogge, navigli e canali, collana Osseva.Te.R. Electa, Milano, 11-22.

Cadario D., Bischetti G.B. (2006). "Caratteri e funzioni del reticolo idrografico rurale della pianura lombarda." Valutazione Ambientale, 10, 58-61.

Malcevschi S., Bisogni L.G., Gariboldi A. (1996). "Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale." - Il verde editoriale, Milano.

Zerbi, M.C. (1998). "Paesaggio e territorio: una premessa metodologica." in AA.VV. Comprendere il paesaggio: studi sulla pianura lombarda, collana Osseva.Te.R. Electa, Milano, 39-50.

Capitolo 2 **Principi di riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua**

In generale, per riqualificazione ambientale s'intende l'insieme degli interventi e delle azioni atte a ripristinare le caratteristiche ambientali e la funzionalità ecologica di un ecosistema in relazione alle sue condizioni potenziali, determinate dalla sua ubicazione geografica, dal clima, dalle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito e dalla sua storia naturale pregressa (CIRF, 2006).

Tali azioni trovano ampia applicazione nell'ambito dei corsi d'acqua naturali, per i quali esiste ormai una vasta letteratura, di tipo scientifico e tecnico, e numerose esperienze di riqualificazione fluviale. Nonostante il suo grande e progressivo sviluppo, tuttavia, questa è una materia ancora piuttosto recente, poco consolidata e terreno di confronto aperto tra ricercatori e tecnici, che provengono da discipline diverse (naturalisti, ingegneri, agronomi, architetti, geomorfologi, ecc.), le cui definizioni ed interpretazioni particolari spesso divergono (Bacci e Paltrinieri, 2006).

Prima di discutere gli aspetti legati alla rete idrografica rurale, quindi, è opportuno approfondire i problemi generali attinenti la terminologia e la definizione della riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua. Talvolta, infatti, con questo termine si fa riferimento a soluzioni, che permettono di realizzare in modo "più verde" interventi di sistemazione tradizionali, vale a dire a tecniche sistematorie (in particolare d'ingegneria naturalistica) a minor impatto ambientale. La riqualificazione è talvolta confusa col "disegno del paesaggio", mentre in realtà comprende, ma non si limita a tale aspetto. Potrebbero essere indicati molti altri esempi simili, che hanno in comune un approccio unilaterale e restrittivo.

L'idea fondamentale che invece ispira il presente documento è che la riqualificazione dei corsi d'acqua, ed in particolare di quelli artificiali, non possa limitarsi a tecniche da applicare meccanicamente, ma costituisca piuttosto il risultato di un approccio sistemico, che sappia associare organicamente una pluralità di aspetti, integrando le diverse discipline, che a vario titolo entrano in gioco (idraulica, ecologia, biologia, pianificazione, ecc.).

Per quanto riguarda la terminologia, che spesso genera ambiguità e confusione, a livello nazionale e internazionale, occorre riflettere che, in ambito anglosassone, la tematica nasce come *stream (ecological) restoration*, la quale in senso stretto implica il ripristino delle funzioni originarie di un corso d'acqua, in una situazione precedente un disturbo, solitamente antropico (National Research Council, 1992; FISRW, 2001). Una tale definizione trova riscontro nel termine italiano di rinaturazione (Di Fidio e Bischetti, 2008).

Nella prassi, tuttavia, un tale obiettivo è irraggiungibile per la maggior parte dei corsi d'acqua ed alla *stream restoration* viene comunemente associato un obiettivo più limitato ma realistico, ossia il miglioramento di una o più funzioni tipiche del corso d'acqua in esame, che sarebbe più correttamente espresso come *stream enhancement* o *stream rehabilitation*. Ciononostante, il termine *stream restoration* è comunemente accettato anche in tale senso più limitato e l'espressione italiana riqualificazione dei corsi d'acqua (o riqualificazione fluviale) appare una volta tanto più adeguata di quella anglosassone.

Una definizione sufficientemente ampia e completa, che viene condivisa, è quella proposta dal Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale (CIRF, 2006), secondo il quale la riqualificazione fluviale è "un insieme integrato e sinergico di azioni e tecniche, di tipo anche molto diverso (dal giuridico-amministrativo-finanziario allo strutturale), volte a portare un corso d'acqua, con il territorio ad esso più strettamente connesso (si parla di "sistema fluviale") in uno stato più naturale possibile, capace di espletare le sue caratteristiche funzioni ecosistemiche (geomorfologiche, fisico-chimiche e biologiche) e dotato di maggiore valore ambientale, cercando di soddisfare al contempo gli obiettivi socio-economici".

Con il termine di riqualificazione s'intende, quindi, il passaggio da una situazione sotto qualche aspetto degradata ad una migliore, senza voler tornare a tutti i costi ad uno stato originario precedente l'intervento umano, ossia a condizioni di totale naturalità. Questo risultato è perseguito instaurando un processo di miglioramento multiobiettivo, contestualizzato, partecipato e ragionato. Una tale definizione, di conseguenza, si presta ad essere utilizzata anche per i corsi d'acqua rurali, tenendo sempre ben presenti le loro peculiarità e molteplici funzioni.

Per i canali agricoli della pianura lombarda, quindi, la riqualificazione può riguardare uno o più degli aspetti seguenti:

- Miglioramento dei processi geomorfologici – Se non rivestiti, i canali artificiali seguono le medesime leggi che governano il moto dell’acqua e la stabilità del fondo e delle sponde nei corsi d’acqua naturali. Canali con caratteristiche geometriche (forma, sezione, pendenza, ecc.) in equilibrio con il substrato e il regime idrologico e sedimentologico del deflusso sono sostanzialmente stabili e quindi richiedono minor manutenzione e consentono l’instaurarsi di un ecosistema acquatico attivo e diversificato.
- Miglioramento della naturalità e della biodiversità – I canali agricoli spesso possono essere considerati neo-ecosistemi acquatici (Malcevski et al., 1996), in grado, almeno potenzialmente, di sviluppare mesohabitat e microhabitat differenziati. Grazie alla loro struttura, organizzata in reti abbastanza complesse, essi possono costituire ambienti di rilevante interesse ecologico, soprattutto se collegati a siti d’elevata valenza ambientale, per i quali svolgono la funzione di corridoio ecologico.
- Miglioramento della qualità delle acque – La qualità dell’acqua che circola nei canali irrigui dipende essenzialmente da quella del corpo idrico di derivazione, mentre nei canali di scolo e di bonifica dipende anche dalle pratiche agricole; entrambi, inoltre, sono spesso ricettori di scarichi di diversa natura. In generale, quindi, i canali agricoli veicolano varie sostanze inquinanti. La presenza, in alveo e sulle fasce spondali, d’organismi viventi consente la trasformazione e la degradazione di tali sostanze in misura più o meno accentuata, anche in funzione della salute e complessità dell’ecosistema che si è instaurato (per il caso specifico dei canali agricoli si veda Needelman et al., 2007).
- Miglioramento paesaggistico – I canali agricoli plasmano il tipico paesaggio lombardo; il mantenimento e il recupero delle loro forme tradizionali è quindi fondamentale per la salvaguardia di tale paesaggio. I canali agricoli, inoltre, possono giocare un ruolo rilevante anche per il miglioramento del paesaggio periurbano, spesso oltremodo impoverito.
- Miglioramento della fruizione – I canali agricoli consentono una serie di usi ricreativi (passeggiate ed escursioni in bicicletta e a cavallo, pesca, navigazione), apprezzati e sempre più richiesti dalla popolazione urbana, alla ricerca di una qualità della vita, che le città non possono dare.
- Miglioramento della funzione storico - culturale – La conservazione delle testimonianze storiche e la rivalutazione dei manufatti idraulici tradizionali esercitano un’insostituibile funzione di memoria storica nei confronti delle nuove generazioni e di museo a cielo aperto.
- Miglioramento idraulico-agrario – I canali agricoli mantengono funzioni produttive e di difesa idraulica del territorio (irrigazione, bonifica, produzione idroelettrica, ecc.), che sono tuttora di primaria importanza per l’agricoltura e per l’intera società. È quindi indispensabile riconoscere tali funzioni e, dove è necessario ed opportuno, procedere al loro miglioramento, anche a parziale discapito delle altre, ma cercando – in ogni caso – adeguate compensazioni in aree adiacenti.

Chiaramente non tutti i canali si presteranno nello stesso modo ad essere oggetto delle forme di riqualificazione sopra elencate. Ad esempio, sarà più facile procedere a veri e propri interventi di riqualificazione naturalistica, tendenti ad costruire un ecosistema di pregio, in canali dismessi dalle loro funzioni originarie (ad esempio per la cessazione delle utenze irrigue tradizionali) o con sezioni più ampie rispetto a quelle sufficienti per le funzioni idrauliche attuali. Al contrario, occorrerà evitare ogni riduzione della funzionalità idraulica, che semmai dovrà essere aumentata, in quei canali la cui capacità di deflusso, rispetto alle portate da veicolare, è già al limite di guardia.

Nel presente capitolo sono illustrati i principali criteri generali, che consentono di sviluppare piani ed interventi di riqualificazione specifici per i corsi d’acqua rurali.

Dapprima si presenta il quadro programmatico generale, che dominerà il settore delle acque nei prossimi anni, dato dalla Direttiva 2000/60/CE, focalizzando l’attenzione sugli elementi di qualità e sugli obiettivi generali da essa indicati per i corpi idrici artificiali, tra cui rientrano i canali rurali. Successivamente tali elementi sono contestualizzati e descritti, richiamando i fondamenti della fluviomorfologia e dell’ecologia dei corsi d’acqua (inclusi quelli artificiali), ed alcuni elementi riguardanti i corridoi e le reti ecologiche (decisivi per il miglioramento qualitativo dell’intero territorio).

Da ultimo, sono brevemente esaminate le caratteristiche della rete idrografica rurale della Lombardia, cercando di adattare ad essa i principi in precedenza illustrati.

2.1 *La Direttiva Quadro 2000/60/CE: linee generali e implicazioni per la gestione dei corsi d'acqua*

La gestione sostenibile dell'acqua e delle reti idrografiche ha assunto primaria importanza nel corso degli ultimi decenni, durante i quali, a fronte di una domanda delle risorse idriche in costante crescita, è emersa la necessità di garantire a tutte le categorie d'utenti l'offerta, salvaguardando al contempo la qualità degli ecosistemi acquatici e del territorio (AA.VV., 2006). L'Unione Europea da anni elabora nuove strategie di gestione, promovendo un approccio integrato ed interdisciplinare; in aggiunta a numerose direttive che riguardano aspetti particolari delle acque e dell'ambiente naturale, dopo una lunga elaborazione iniziata alla fine degli anni ottanta del secolo scorso, il 23 ottobre 2000 è stata approvata la Direttiva 2000/60/CE, nota come Direttiva Quadro per le Acque (WFD = *Water Framework Directive*), con l'obiettivo di definire i principi generali e i nuovi obiettivi per l'azione comunitaria in materia di protezione delle acque e degli ambienti acquatici.

2.1.1 **Gli obiettivi della direttiva**

La Direttiva Quadro considera l'acqua non soltanto come risorsa attualmente indispensabile, ma anche come patrimonio da tutelare e trasmettere alle generazioni future nelle migliori condizioni qualitative e quantitative possibili e, in ogni caso, con attributi chimico-fisici, ecologici e idromorfologici almeno non peggiori di quelli attuali, applicando in tal modo il principio della sostenibilità (Fabiani, 2005). Gli obiettivi fondamentali di questa politica, quindi, sono:

- impedire l'ulteriore deterioramento delle risorse, proteggendo e migliorando lo stato di tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei perché conservino le loro capacità d'autodepurazione e di sostegno a comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate;
- garantire l'uso sostenibile delle risorse, per gli obiettivi del consumo umano e delle attività produttive, fondato sulla protezione a lungo termine;
- sviluppare la protezione delle risorse attraverso specifiche misure che integrino le limitazioni agli scarichi, emissioni e rilasci, in particolare delle sostanze pericolose prioritarie, con altre misure per la protezione dei corpi idrici recettori, in particolare per le acque sotterranee;
- contribuire, infine, a mitigare gli effetti delle inondazioni e delle siccità.

Inoltre, dovranno essere attivate politiche di prezzi che:

- incentivino l'utente ad usare le risorse idriche attivando misure di risparmio e di riuso e a contribuire così alla realizzazione degli obiettivi ambientali;
- adeguino il recupero dei costi dei servizi idrici a carico dei vari settori di impiego dell'acqua, suddivisi almeno in industria, famiglie e agricoltura, sulla base dell'analisi economica di cui all'allegato III della Direttiva Quadro e tenendo conto del principio "chi inquina/usa paga".

L'obiettivo concreto che tale direttiva si pone è il raggiungimento, per tutti i corpi idrici significativi, almeno di uno Stato Ecologico Buono (all'interno di una scala comprendente 5 livelli di qualità), che rifletta buone condizioni di biodiversità e naturalità, stato chimico - fisico e quantitativo. Tale obiettivo deve essere raggiunto entro il 2015, operando progressivamente secondo una scala temporale molto precisa nelle varie fasi, riguardanti i recepimenti normativi nazionali, l'avvio dei monitoraggi, la cessazione di direttive preesistenti, la redazione e l'attuazione dei piani di gestione e il raggiungimento finale degli obiettivi (si veda Fabiani, 2005 per un approfondimento).

Con la Direttiva Quadro viene introdotta a livello territoriale la principale unità per la gestione dei bacini idrografici, non necessariamente coincidente con i confini amministrativi; essa è definita "distretto idrografico", ed è costituita, ove opportuno, da uno o più "bacini idrografici" limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere. All'interno di ciascun distretto deve essere individuata da ogni Stato membro l'Autorità competente per l'applicazione della normativa comunitaria; lo Stato membro, quindi, dovrà conseguire gli obiettivi ambientali coordinando i programmi di misure in tutti i distretti idrografici. Lo strumento operativo previsto è il "piano di bacino", in cui sono integrati tutti gli obiettivi, gli strumenti e le misure necessarie per raggiungere gli obiettivi ambientali. I programmi di misure inseriti nei piani di

gestione dei bacini sono resi operativi attivando, per le acque superficiali e sotterranee e per le aree protette, azioni necessarie ad impedire il deterioramento, proteggere, migliorare e ripristinare lo stato dei corpi idrici, determinato a partire da un'analisi degli impatti e delle pressioni.

L'elemento chiave per la concreta applicazione della Direttiva Quadro è lo stato ambientale d'ogni corpo idrico, definito sulla base di "elementi di qualità", che considerano tutte le componenti che lo costituiscono, e cioè gli ecosistemi acquatici e terrestri associati al corpo idrico, l'idromorfologia, lo stato chimico-fisico e biologico dell'acqua, dei sedimenti e del biota (Tabella 2.1). Il monitoraggio dello stato ambientale dei corpi idrici è sviluppato come strumento per la pianificazione delle risorse e la verifica di efficacia delle misure adottate per raggiungere i prefissati obiettivi ambientali; esso, quindi, deve portare alla classificazione dei corpi idrici in base al loro stato di qualità ambientale, che evolve nel tempo fino a raggiungere almeno il livello di qualità definito "buono".

Tabella 2.1: elementi di Qualità considerati dalla Direttiva 2000/60/CE Allegato V (1.1.1) - Fiumi.

Elementi biologici	
Composizione e abbondanza della flora acquatica (1)	
Composizione e abbondanza dei macroinvertebrati bentonici	
Composizione, abbondanza e struttura d'età della fauna ittica	
Elementi idromorfologici	
Regime idrologico	Massa e dinamica del flusso idrico
	Connessione con il corpo idrico sotterraneo
Continuità fluviale	
Condizioni morfologiche	Variazione della profondità e della larghezza del fiume
	Struttura e substrato dell'alveo
	Struttura della zona ripariale
Elementi fisico – chimici	
Elementi generali	Condizioni termiche
	Condizioni d'ossigenazione
	Salinità
	Stato d'acidificazione
	Condizioni dei nutrienti
Inquinanti specifici	Inquinamento di tutte le sostanze dell'elenco di priorità, di cui è stato accertato lo scarico nel corpo idrico
	Inquinamento di altre sostanze di cui è stato accertato lo scarico nel corpo idrico in quantità significative
(1) Il fitoplancton non è inserito negli elementi qualitativi per la classificazione dello stato ecologico dei fiumi riportati nell'Allegato V (1.1.1), ma negli elementi di qualità biologica riportati nell'Allegato V (1.2.1). Dovrebbe quindi essere possibile utilizzare il fitoplancton come elemento qualitativo, dove necessario e opportuno, in particolare per i grandi corsi d'acqua di pianura. La flora acquatica rimanente indicata nell'Allegato V (1.2.1) comprende macrofite e fitobenthos.	

La nuova politica comunitaria, quindi, valorizza le molteplici funzioni del bene acqua e riconosce la necessità di conciliare diverse esigenze: la protezione delle persone e dei beni dal rischio idraulico, l'uso efficiente delle risorse idriche, da parte della popolazione e delle attività produttive ed infine la conservazione delle risorse stesse e il mantenimento delle loro funzioni ecologiche. Per la prima volta, dunque, una Direttiva Europea si preoccupa non solo della condizione chimico-fisica, ma anche della

funzionalità ecologica dei corpi d'acqua, che dispone non venga peggiorata rispetto alla condizione attuale e, se necessario, migliorata fino a raggiungere lo stato di qualità buono. Aggiungasi la necessità di coinvolgere attivamente e con processi trasparenti tutti i portatori d'interessi nell'elaborazione, nel riesame e nell'aggiornamento dei piani di gestione dei bacini idrografici (AA.VV., 2006).

La Direttiva Quadro si applica a tutti i corpi idrici, compresi quelli artificiali, per i quali però sono indicati criteri di classificazione diversi, con la possibilità di chiedere deroghe, purché ampiamente motivate.

2.1.2 Caratterizzazione dei corpi idrici artificiali significativi: stato ecologico e potenziale ecologico

Come detto, la Direttiva Quadro prevede che tutti i corpi idrici raggiungano almeno uno stato ecologico "buono" entro il 2015. Per le acque superficiali, essa specifica che il corpo idrico è un elemento distinto e significativo, quale un lago, un bacino artificiale, un torrente, fiume o canale, parte di un torrente, fiume o canale, senza però precisare il concetto di significativo. In Italia il concetto di "corpo idrico superficiale significativo" è stato così definito dalla legge 152/1999 (poi confermato dal vigente decreto legislativo 152/2006 al punto 1.1 all'allegato 1 della parte terza): per i corsi d'acqua naturali, attraverso limiti dimensionali del bacino imbrifero, pari a 200 km² per quelli di primo ordine (con recapito diretto in mare) ed a 400 km² per quelli di secondo ordine e superiore, per i canali artificiali, inclusi i canali irrigui o scolanti, attraverso una soglia di portata, (che deve essere di almeno 3 m³/s) e a condizione che restituiscano almeno in parte le proprie acque in corpi idrici superficiali.

La Direttiva Quadro distingue i corpi idrici superficiali significativi in due gruppi: da una parte i corpi idrici naturali, che devono raggiungere entro il 2015 uno Stato Ecologico Buono, dall'altra i corpi idrici fortemente modificati o artificiali, che, entro la medesima data (peraltro prorogabile), devono raggiungere un analogo Potenziale Ecologico Buono. I canali rurali lombardi appartengono, in larga maggioranza, al sottogruppo dei corpi idrici artificiali (definiti come "corpi idrici superficiali creati da un'attività umana") e in piccola misura al sottogruppo dei corpi idrici fortemente modificati (definiti come "corpi idrici superficiali la cui natura, a seguito d'alterazioni fisiche dovute ad un'attività umana, è sostanzialmente modificata"). Dal punto di vista pratico, i due sottogruppi differiscono poco tra loro, mentre notevole è la differenza di entrambi rispetto al gruppo dei corpi idrici naturali, con il quale è obbligatorio il confronto per giungere alla prevista classificazione del Potenziale Ecologico.

Lo stato ecologico dei corsi d'acqua naturali significativi

Per Stato Ecologico di un corpo idrico naturale s'intende l'espressione della qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici associati alle acque superficiali, distinte dalla Direttiva Quadro in quattro categorie (fiumi, laghi, acque di transizione ed acque costiere). Per i corsi d'acqua naturali la Direttiva prevede la classificazione ecologica mediante valutazione dello "stato ecologico" rispetto ad una condizione inalterata ideale di riferimento (alla quale è associato il valore massimo dello stato ecologico), misurando e caratterizzando gli scostamenti in seguito a un processo di intercalibrazione da parte degli Stati membri, tutt'ora in svolgimento. La condizione di riferimento è variabile secondo le tipologie di corso d'acqua (differenziate in base all'altitudine, alla dimensione del bacino idrografico e alla composizione geologica). Lo stato ecologico è determinato dalle condizioni dei tre gruppi di "elementi di qualità" riportati nella Tabella 2.1: biologico, idromorfologico e fisico-chimico; nei corsi d'acqua naturali il primo gruppo (elementi biologici) prevale sugli altri due, che hanno funzioni di sostegno. Gli elementi qualitativi indicati dalla Direttiva Quadro per la categoria "fiumi" si applicano sia ai corsi d'acqua naturali (per la classificazione dello stato ecologico) sia, come descritto di seguito, ai corsi d'acqua artificiali (per la classificazione del potenziale ecologico).

Il potenziale ecologico dei corsi d'acqua artificiali significativi

Non avendo senso parlare di condizioni ideali di riferimento antecedenti le modificazioni antropiche, per la classificazione ecologica dei corsi d'acqua artificiali, si parla di "potenziale ecologico", basato sul confronto con i corsi d'acqua naturali ai quali essi possono accostarsi. La Direttiva, infatti, precisa che ai corpi idrici artificiali o naturali fortemente modificati si applicano i medesimi elementi di qualità elencati nella Tabella 2.1, riferiti alla categoria di acque superficiali che più si accosta al corpo idrico in questione e introduce il "potenziale ecologico", valutato con riferimento agli scostamenti rispetto al "potenziale ecologico massimo" (MEP = Maximum Ecological Potential). Il MEP è definito come lo stato per il quale "i valori relativi ai pertinenti elementi di qualità biologica (Tabella 2.1) riflettono, nella misura del possibile, quelli associati al tipo di corpo idrico superficiale maggiormente comparabile, tenuto conto delle

condizioni fisiche risultanti dalle caratteristiche artificiali o fortemente modificate del corpo idrico”. Il MEP rappresenta l'accostamento ottimale del dato corpo idrico artificiale o fortemente modificato all'ecosistema acquatico naturale (nelle condizioni indisturbate) ad esso più simile, che può essere raggiunto senza esercitare effetti negativi significativi sugli usi specifici; esso costituisce dunque la condizione di riferimento per la caratterizzazione dei canali rurali.

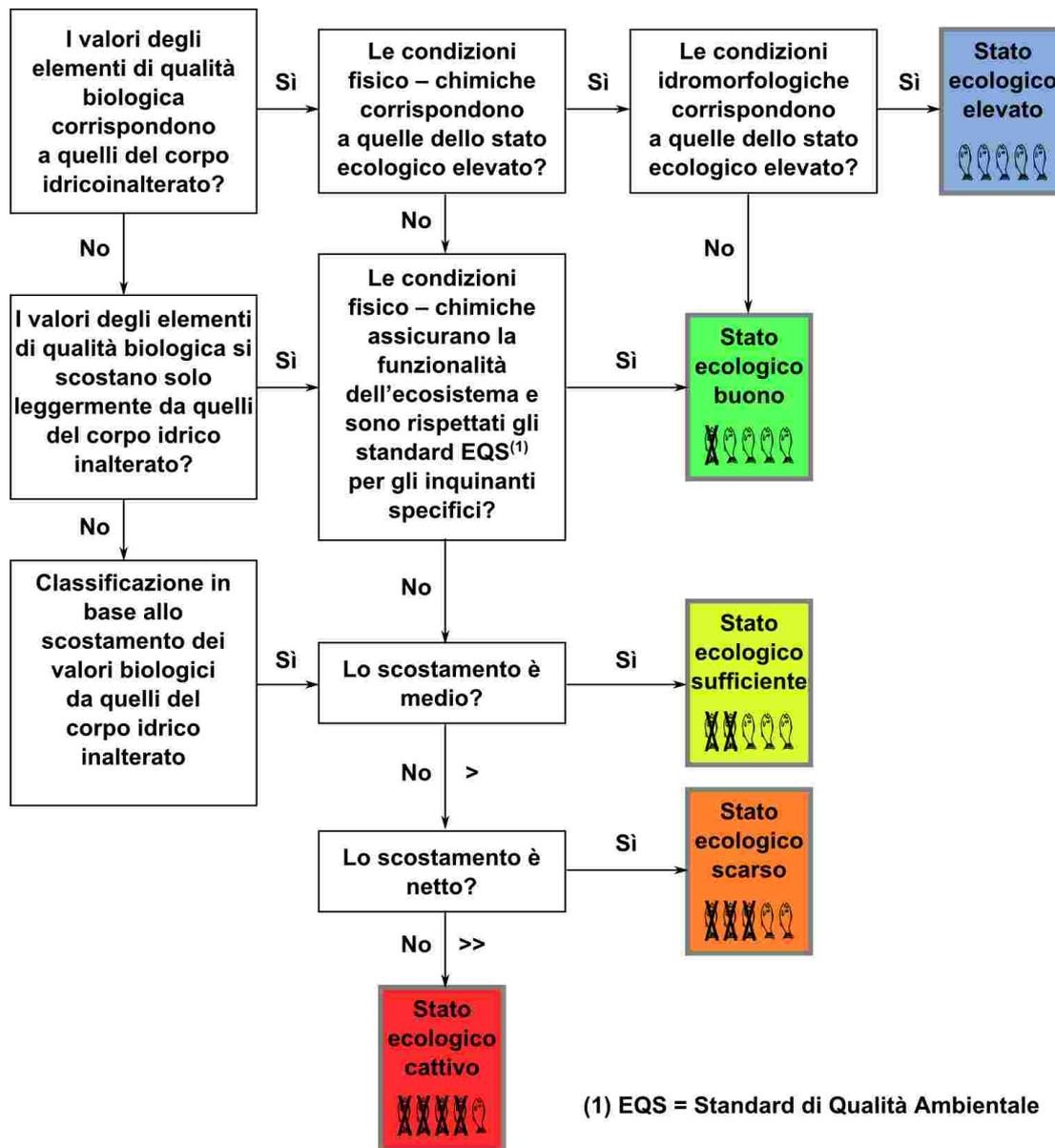


Figura 2.1: processo di classificazione ecologica dei canali secondo la WFD (da WFD CIS Guidance Document No. 13 Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential, 2003).

Lo schema logico per la definizione del “potenziale ecologico” è riportato nella Figura 2.1, dalla quale risulta evidente che la prima discriminante è data dalle caratteristiche idromorfologiche e solo in un secondo momento vengono presi in considerazione gli elementi di qualità biologica e – in subordine - quelli chimico-fisici. Di fatto, quindi, la classificazione dei canali dipende primariamente dalle condizioni idromorfologiche che possono essere realizzate nel contesto locale.

Applicazione della Direttiva Quadro al reticolo idrografico rurale lombardo

Complessivamente l'Italia appare in ritardo nell'applicazione della Direttiva Quadro, come emerge dalla normativa nazionale, ancora molto generica e quindi solo formalmente allineata alla Direttiva stessa, pur essendo chiamata a precisarne gli strumenti applicativi, secondo le peculiarità del territorio italiano. Il ritardo è ancor maggiore per i corpi idrici artificiali, come i canali d'irrigazione e bonifica, per i quali tuttavia, anche in ragione di tale ritardo, esistono significativi spazi di autonomia della pianificazione regionale e comprensoriale.

In ogni caso, il punto di partenza per l'applicazione della direttiva ai canali artificiali è costituito dalla documentazione prodotta a livello europeo nell'ambito della cosiddetta *Common Implementation Strategy* (CIS), la quale, tuttavia, non è detto sia perfettamente adattabile alle specificità della rete rurale lombarda, per la scarsità di rappresentanti italiani nei gruppi di lavoro.

I documenti finora prodotti in ambito CIS, comunque, indicano che la classificazione ecologica dei canali rurali dovrà passare per la definizione del potenziale ecologico massimo e da questo al potenziale ecologico buono ed ai livelli inferiori. Nella fase iniziale di questo processo, che interessa i corpi idrici artificiali e quelli naturali fortemente modificati, la qualità idrogeomorfologica è dominante sugli elementi di qualità biologica, capovolgendo la gerarchia stabilita per i corsi d'acqua naturali.

In tale contesto, tutti gli interventi sulla rete che andranno ad influire sulla struttura morfologica dell'alveo, in senso positivo o negativo, avranno conseguenze significative sul raggiungimento o meno degli obiettivi della Direttiva Quadro. Negli interventi di riqualificazione dei canali, quindi, l'attenzione dovrà essere concentrata pragmaticamente sugli elementi di qualità idromorfologica della Tabella 2.1, connessi alle misure di miglioramento realisticamente possibili senza compromettere gli usi esistenti.

2.2 *Equilibrio fisico dei corsi d'acqua: elementi di fluviomorfologia*

La conoscenza dei processi che regolano i rapporti tra le variabili fisiche di un corso d'acqua, e ne determinano le condizioni di stabilità, è essenziale sia per la sua corretta gestione, sia per la sua riqualificazione.

I corsi d'acqua possono essere distinti in due grandi categorie, caratterizzate da meccanismi di formazione, evoluzione ed equilibrio completamente differenti, rispettivamente con alveo a fondo fisso ed a fondo mobile (o alluvionali). I primi scorrono direttamente su un substrato difficilmente erodibile (generalmente roccia) e la loro morfologia dipende quasi esclusivamente dalle caratteristiche geologiche del substrato inciso (Billi, 1994), mentre le caratteristiche idrauliche e sedimentologiche della corrente hanno un'importanza relativa. I secondi, invece, scorrono sui propri sedimenti, realizzando adattamenti morfologici (dimensioni, forma, tracciato, pendenza), che dipendono da diversi fattori ed in particolare dal regime di deflusso liquido e dagli apporti e dalla distribuzione granulometrica del sedimento. Tali adattamenti avvengono attraverso i processi d'erosione del letto e delle sponde e di trasporto e deposizione dei sedimenti.

I canali artificiali possono essere assimilati ai corsi d'acqua a fondo fisso, quando hanno l'alveo rivestito ed ai corsi d'acqua di tipo alluvionale, quando hanno l'alveo in terra.

Limitandosi a considerare i corsi d'acqua alluvionali (e quindi anche i canali non rivestiti), è possibile osservare che, in assenza di disturbi, la loro dinamica evolutiva tende al raggiungimento di una condizione di equilibrio adattando, come sopra accennato, la morfologia alle condizioni esterne. Una volta raggiunto l'equilibrio, le grandezze geometriche del corso d'acqua tendono a mantenere tra loro rapporti relativamente costanti nel tempo ed a non dare luogo a fenomeni erosivi e/o di deposito significativi.

La comprensione della dinamica di un corso d'acqua alluvionale (o canale con caratteristiche simili), quindi, dovrebbe rivestire un ruolo centrale in qualsiasi intervento, sia esso di riqualificazione, difesa idraulica o sagomatura della sezione, che rischierebbe di essere vano, entro un lasso di tempo più o meno lungo, nel caso non asseconducesse tale dinamica. Un corso d'acqua che non si trova in equilibrio fisico, infatti, oltre a non consentire l'instaurarsi di un ecosistema diversificato e stabile, tenderà a modificare continuamente le sezioni idrauliche, che richiederanno così continui interventi di manutenzione. Non a caso, nei canali agricoli, ci si trova spesso a dover effettuare operazioni di spurgo e risonamento o di stabilizzazione delle sponde, che oltre ad essere devastanti per il neo-ecosistema che si è sviluppato, sono onerose in termini economici.

L'inquadramento fluviomorfologico, consentendo di definire i modelli d'alveo di riferimento cui tendere negli interventi di rimodellamento degli alvei, in linea di principio, permette di definire la geometria della

sezione e l'assetto plano–altimetrico di stabilità. Alcune recenti ricerche confermano questa possibilità anche nel caso dei canali agricoli (Draper et al., 2007; Jayakaran et al., 2007).

2.2.1 Proprietà geometriche e forme nei corsi d'acqua naturali

Dal punto di vista fluviomorfologico, l'assetto dei corsi d'acqua è dato dall'insieme delle caratteristiche della sezione trasversale, del tracciato planimetrico e del profilo longitudinale, che sono strettamente correlate tra loro, attraverso le forme che il corso d'acqua genera, alla ricerca dell'equilibrio tra la potenza della corrente ed il suo carico di sedimenti.

In un corso d'acqua naturale si possono distinguere differenti zone ed elementi morfologici, con un diverso significato fluviomorfologico ed ecologico (Figura 2.2):

- *Canale attivo* – Nei corsi d'acqua perenni, è quella parte dell'alveo che risulta totalmente o parzialmente occupata dal deflusso per la maggior parte dell'anno.
- *Barre (bar)* – Innalzamenti morfologici allungati, disposti in senso parallelo alla corrente e inclusi nella zona del canale attivo, che divengono manifesti in occasione delle portate di magra (inferiori a quella corrispondente al 40% della curva delle durate secondo Hedman et al., 1972). Esistono varie tipologie di barre, le quali in genere sono strettamente legate al tipo di morfologia fluviale (barre laterali, mediane, ecc.). Si tratta di corpi sedimentari che si formano in relazione alla naturale dinamica del corso d'acqua e la loro eliminazione, oltre a distruggere un elemento dell'ecosistema, altera l'equilibrio del corso d'acqua, che tenderà comunque a ricostruirle.
- *Barre abbandonate (channel shelf)* – In alcuni alvei si possono trovare forme di transizione tra barre e pianura inondabile; si tratta di barre abbandonate, che nel corso del tempo sono colonizzate dalla vegetazione, si stabilizzano e si trasformano in vera e propria pianura inondabile. La portata in grado di sommergerle è quella superiore al 5–25% della curva di durata (Hupp e Ostekamp, 1984).
- *Pianura inondabile (floodplain)* – E' la superficie pianeggiante adiacente al corso d'acqua, generata dallo stesso durante le piene e inondata periodicamente. Il livello idrometrico in grado di raggiungere la pianura inondabile è definito livello a piene rive (*bankfull stage*), a cui corrisponde la così detta portata a piene rive (*bankfull discharge*).
- *Sponde* – Sono costituite da superfici inclinate o vere e proprie scarpate, che separano l'alveo attivo dalla piana alluvionale.
- *Terrazzo* – Si tratta di una pianura inondabile abbandonata a causa dell'approfondimento del corso d'acqua. In relazione alla dinamica passata, i terrazzi possono avere quote diverse rispetto a quella dell'alveo ed essere inondata in occasione di piene più o meno eccezionali.
- *Soglie (riffle)* – Sono picchi topografici nel profilo longitudinale dell'alveo fluviale, caratterizzati da un aumento della pendenza e un flusso rapido e poco profondo della corrente (in condizioni di magra); si presentano come scivoli, dove si concentrano i sedimenti più grossolani.
- *Pozze (pool)* – Sono escavazioni caratterizzate da una pendenza minore, un maggiore tirante e materiale più fine; solitamente seguono le soglie.

Alcuni elementi morfologici si sviluppano in serie, secondo una dinamica legata al trasporto ed alla deposizione dei materiali solidi, dando luogo a sequenze peculiari di grande significato fluviomorfologico ed ecologico (mesohabitat). Come si vedrà in seguito, infatti, la diversificazione morfologica e sedimentologica all'interno delle sezioni e lungo il profilo longitudinale implica la possibilità di avere una gamma di condizioni fisiche (velocità, tiranti, temperatura, ossigenazione, ecc.), che sono fondamentali per garantire la salute biologica del corso d'acqua.

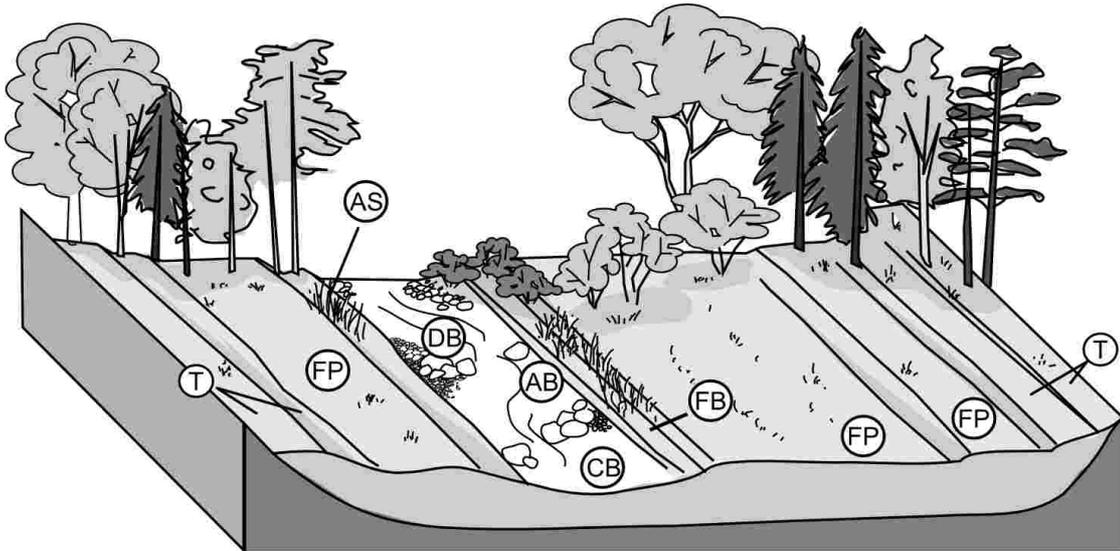


Figura 2.2: le principali forme fluviali (Hupp e Osterkamp, 1996). AS: barre abbandonate; CB: canale attivo; DB: barre; FB: sponda; FP: pianura inondabile; T: terrazzo.

2.2.2 Equilibrio dei corsi d'acqua

Come si è detto, nei corsi d'acqua alluvionali, l'assetto trasversale, longitudinale e planimetrico è il risultato della ricerca di un equilibrio, che è legato all'interazione tra numerosi fattori: geologici, climatici, idrologici, idraulici, morfologici, sedimentologici, vegetazionali e biologici (Lenzi et al., 2000). Da una parte, possono essere identificati fattori che variano su scale temporali ampie e definiscono le condizioni al contorno, entro cui si svolgono i processi fluviali; nel caso dei corsi d'acqua naturali, le condizioni al contorno sono date dalle caratteristiche geologiche e tettoniche, litologiche e climatiche del bacino idrografico, mentre nel caso dei canali esse sono date dal tracciato ereditato dal passato o definito da programmi di riordino. Dall'altra, vi sono fattori variabili su scale temporali più brevi, che possono essere indipendenti dalle caratteristiche del corso d'acqua (gli eventi franosi e in generale i dissesti di versante), semidipendenti e legati sia all'ambiente circostante sia al corso d'acqua (la resistenza al flusso, che dipende dalla dimensione del sedimento e dalla vegetazione, le strutture morfologiche quali isole, barre e curve e la pendenza del canale), mentre altri ancora sono dipendenti unicamente dal corso d'acqua (la larghezza, la profondità e la velocità della corrente). Alcuni di questi fattori, inoltre, sono modificabili dall'uomo: il regime dei deflussi liquidi e solidi (legati al grado ed al tipo di sviluppo territoriale ed all'uso del suolo nel bacino e nelle aree di pertinenza fluviale) e gli interventi diretti sulle aste fluviali (regimazioni, derivazioni, scarichi di piena fognari, escavazioni, ecc.). Come si può intuire, una parte dei fattori descritti sono identificabili anche per i canali artificiali, e ne influenzano la dinamica.

Ciascun corso d'acqua, al variare di uno dei fattori da cui dipende il suo equilibrio, tende a adattare il proprio assetto e lo fa in modo tale che ogni variabile implicata vari il minimo possibile, attraverso i processi d'erosione, trasporto e deposizione. In molti casi la condizione d'equilibrio è data dal bilanciamento tra scavo e accumulo del materiale del letto e trova riscontro nello sviluppo di una morfologia appropriata al regime idraulico e al carattere e alla quantità di sedimento disponibile (Leopold et al., 1964). Lane (1955) ha espresso tale concetto attraverso la ben nota relazione:

$$Q_s \cdot d_{50} \propto Q_f \cdot i \quad (2.1)$$

dove il termine di destra rappresenta l'energia della corrente e quello di sinistra l'energia necessaria a trasportare il materiale solido; Q_f (m^3/s) è la portata liquida formativa del canale, per la cui definizione si rimanda al paragrafo seguente, i (m/m) è la pendenza longitudinale del fondo del canale, Q_s (m^2/s) è la portata solida per larghezza unitaria di canale (detta anche carico specifico), che esprime l'alimentazione solida proveniente da monte, piuttosto che la capacità di trasporto che il corso d'acqua è in grado di sviluppare localmente, d_{50} (m) è la dimensione rappresentativa del materiale d'alveo.

Tale relazione è nota anche come bilancia di Lane (Figura 2.3), in quanto al prevalere di uno dei due prodotti, dovuto all'incremento dei rispettivi fattori o alla diminuzione di uno dei fattori contrapposti, si ha lo spostamento transitorio del corso d'acqua verso uno stato di deposizione (se prevale il prodotto $Q_s \cdot d_{50}$) oppure verso uno stato d'erosione (se prevale il prodotto $Q_f \cdot i$).

In realtà, l'equilibrio espresso dalla bilancia di Lane deve tenere conto anche delle dissipazioni energetiche indotte dall'eventuale sinuosità (R_s) e dalle morfologie d'alveo (R_f) e l'espressione di Lane può essere così riscritta (D'Agostino, 2003):

$$Q_s \cdot (d_{50} R_s R_f) \propto Q_f \cdot i \quad (2.2)$$

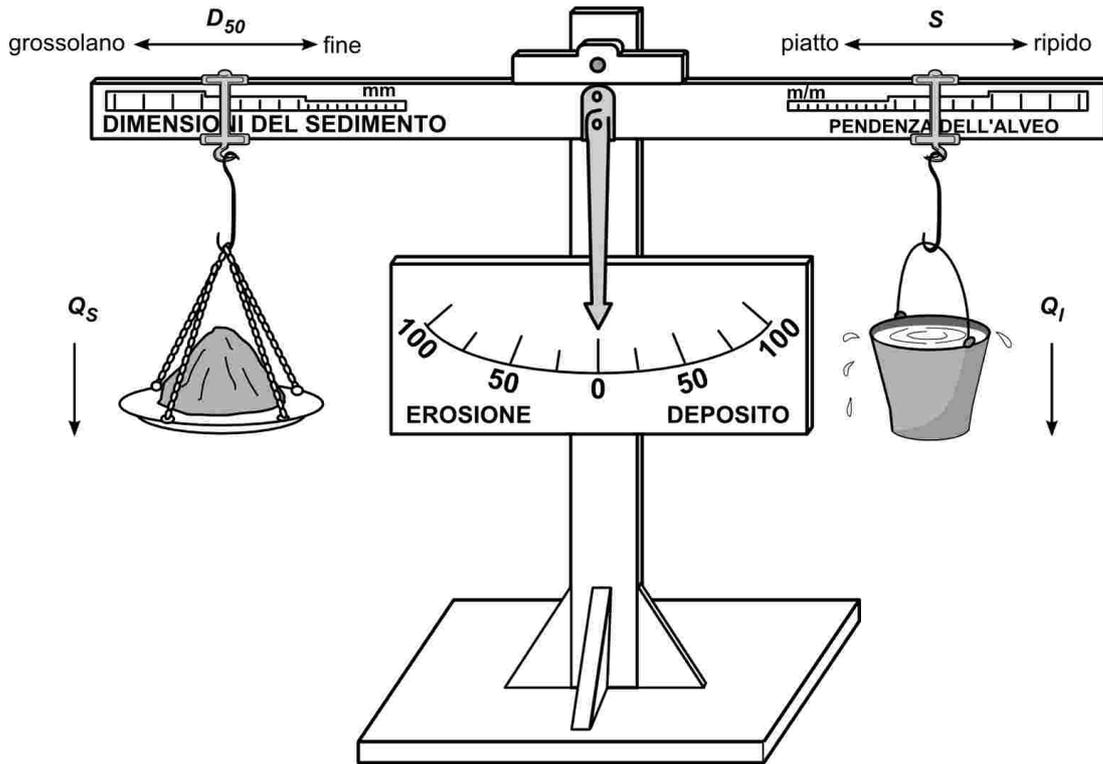


Figura 2.3: rappresentazione schematica della bilancia di Lane.

Il prodotto $Q \cdot i$, quando è moltiplicato per il peso specifico dell'acqua, esprime il lavoro svolto nell'unità di tempo dalla corrente e rappresenta il tasso di perdita d'energia potenziale per unità di lunghezza del canale; tale prodotto è comunemente denominato potenza della corrente (stream power):

$$\Omega = \gamma \cdot Q \cdot i \quad (W/m) \quad (2.3)$$

con $\gamma(N/m^3)$ peso specifico dell'acqua.

La potenza della corrente è spesso normalizzata rispetto alla larghezza a piene rive del corso d'acqua (B), e dà luogo ad una nuova variabile, denominata potenza unitaria della corrente:

$$\omega = \Omega/B \quad (W/m^2) \quad (2.4)$$

Vari studi (Yang e Song, 1979; Chang, 1980) hanno dimostrato che un corso d'acqua, lasciato libero di scegliere il proprio andamento plano-altimetrico e la forma della sezione, tende a minimizzare la potenza della corrente, cioè a sviluppare il suo moto con il minimo tasso di dissipazione energetica. Ciò è il risultato del compromesso fra il tentativo di minimizzare il lavoro svolto complessivamente e la tendenza a distribuire questo lavoro nel modo più uniforme possibile (D'Agostino, 2003). A conferma che l'andamento plano-altimetrico è strettamente collegato alla potenza della corrente, è stato osservato che per canali rettilinei $\omega > 300 \text{ W/m}^2$ (spesso $\omega > 1000 \text{ W/m}^2$), per canali intrecciati $\omega = 50 \div 300 \text{ W/m}^2$ in funzione della

granulometria del fondo, per fiumi meandrifomi $\omega = 10 - 60 \text{ W/m}^2$ e infine, per fiumi anastomizzati $\omega < 10 \text{ W/m}^2$ (D'Agostino, 2003).

Da questo punto di vista i canali agricoli hanno caratteristiche contraddittorie, essendo generalmente caratterizzati da bassa pendenza longitudinale e granulometria fine (indice di valori di ω piccoli) ed andamento rettilineo (indice di valori di ω elevati). Al momento non vi sono studi in tale ambito, ma essi potrebbero fornire utili indicazioni sulle conformazioni maggiormente stabili da dare ai canali, compatibilmente con la loro funzionalità idraulica.

2.2.3 Portata formativa

Come accennato, la portata è una variabile molto interessante dal punto di vista fluviomorfologico, in quanto in grado di codeterminare le caratteristiche geometriche del corso d'acqua in esame. Una tale portata, che prende il nome di formativa o dominante, è importante anche nell'ambito della riqualificazione, poiché un alveo in equilibrio con tale portata sarà anche un alveo stabile.

Per definizione, la portata formativa è quella in grado di generare, nel lungo periodo, l'assetto di un corso d'acqua in condizioni d'equilibrio dinamico, modificando le sue caratteristiche morfologiche attraverso i meccanismi di deposito ed erosione. Secondo Wolman e Miller (1960), una tale portata nel lungo periodo muove la maggior parte del sedimento complessivamente trasportato dal corso d'acqua. In pratica, essa deve essere sufficientemente intensa da generare trasporto, ma anche abbastanza frequente.

I principali metodi proposti per valutare la portata formativa nei corsi d'acqua naturali sono quelli della portata efficace (*effective discharge*), della portata con dato tempo di ritorno (solitamente 1,5÷2 anni) e della portata a piene rive (*bankfull*). Nel caso dei canali artificiali, chiaramente, non ha senso legare tale concetto al tempo di ritorno, mentre mantengono un certo interesse gli altri metodi: quello della portata efficace perché si basa sulla definizione stessa della portata formativa e quello a piene rive perché si basa su evidenze di campo. Gli studi in tale campo applicati ai canali agricoli sono praticamente inesistenti, ma alcune osservazioni preliminari sono incoraggianti (Draper et al., 2007; Jayakaran e Ward, 2007).

La portata efficace può essere identificata coniugando la distribuzione di frequenza della portata liquida con la scala della portata solida. Dal prodotto di queste due grandezze (espresse in funzione della portata liquida), infatti, si ottiene la curva di frequenza delle portate solide, il cui picco rappresenta la massima quantità di sedimento trasportato da una determinata portata, che è appunto la portata efficace (Figura 2.4). Portate inferiori avranno maggiore frequenza, ma anche minore capacità di trasporto; viceversa portate maggiori avranno una grande capacità di trasporto, ma saranno troppo rare, con il risultato di mobilitare una quantità di sedimento complessivamente inferiore.

La portata a piene rive (*bankfull discharge*) è, invece, quella cui corrisponde un livello idrometrico tale da raggiungere il punto di passaggio tra l'alveo attivo e la piana alluvionale; oltre tale livello il deflusso inonda la piana. Il livello idrometrico di piene rive viene stimato in campo, sulla base di evidenze morfologiche più o meno chiare. Sono stati proposti anche altri metodi, basati sui punti di discontinuità della sezione (Navratil et al, 2006) e sull'andamento di alcune variabili geometriche (per es. il rapporto b/h ; Wolman, 1955). Indipendentemente dal metodo usato per stimarla, la portata a piene rive può essere utilizzata come indicatore della portata efficace (Leopold et al., 1964); sono state inoltre proposte numerose relazioni tra tale portata ed i principali parametri geometrici della sezione. Da tempo la corrispondenza tra portata efficace e portata a piene rive è stata ampiamente dimostrata per i corsi d'acqua di pianura con letto in materiali fini, e solo più recentemente è stata verificata anche per corsi d'acqua con fondo in ghiaia (Andrews e Nankervis, 1995; Torizzo e Pitlick, 2004).

Potendosi basare su evidenze morfologiche rilevabili in campo, il metodo della portata a piene rive è molto utilizzato, in particolare, nell'ambito della riqualificazione fluviale, attraverso indicatori di forma della sezione basati sul livello a piene rive (Figura 2.5): larghezza (b), sezione (A), profondità media ($h = A/b$), profondità massima (h_{\max}), rapporto larghezza–profondità b/h ($WD = \text{Width to Depth ratio}$) e rapporto di confinamento ($ER = \text{Entrenchment Ratio}$).

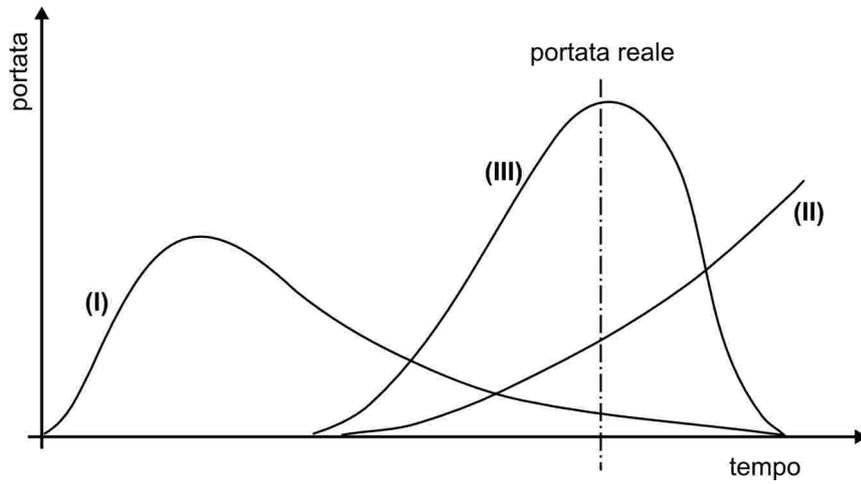


Figura 2.4: (I) Curva di frequenza delle portate liquide. (II) Curva del trasporto solido. (III) Prodotto tra le due curve.

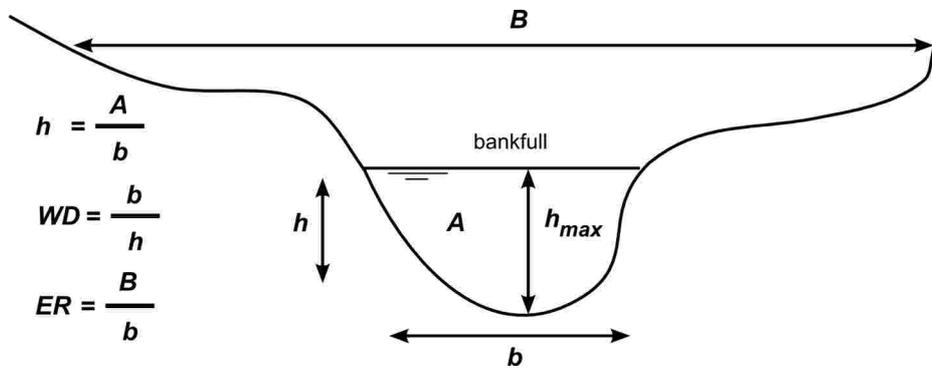


Figura 2.5: caratteristiche della sezione a piene rive.

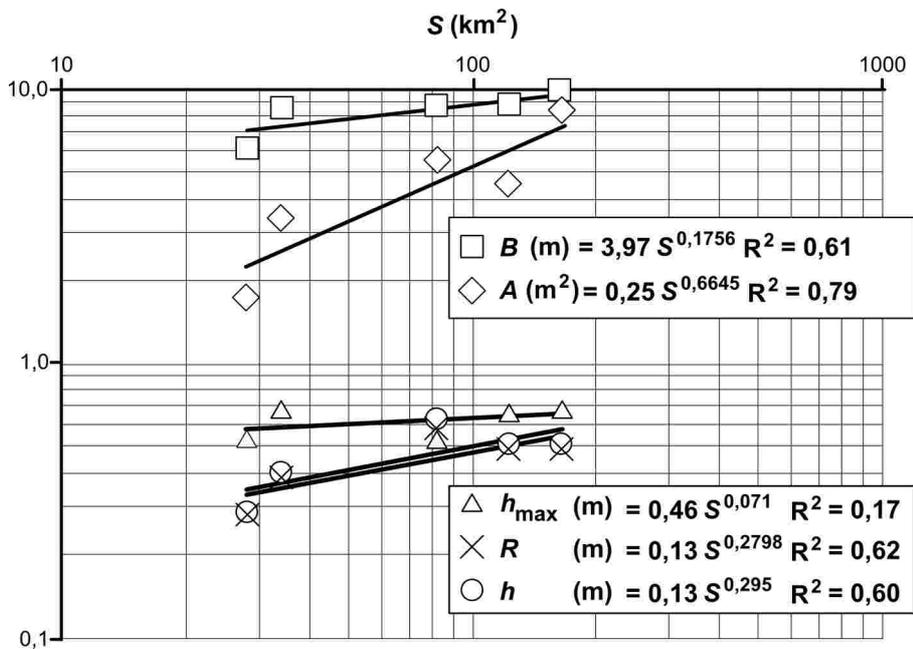


Figura 2.6: Relazioni tra variabili geomorfologiche e area contribuyente del t. Molgora (Lombardia), da La Torre (2007).

Basandosi sulla considerazione che i corsi d'acqua alluvionali “aggiustano” il loro assetto alle condizioni geologiche, climatiche e d'alimentazione liquida e solida, ci si può attendere che, all'interno di regioni simili dal punto di vista geo-litologico e idrologico, le variabili geometriche delle sezioni mostrino una certa costanza, a parità d'area contribuente.

Per la progettazione degli interventi di riqualificazione, la definizione di tali relazioni regionali è di notevole interesse, in quanto esse forniscono indicazioni progettuali quantitative (larghezza, sezione liquida, rapporto larghezza/profondità a piene rive) che, congiuntamente a quelle derivanti dalla classificazione della tipologia di corso d'acqua, consentono di realizzare sezioni in equilibrio dal punto di vista fluviomorfologico (Figura 2.6).

La possibilità di sviluppare curve analoghe anche per i canali artificiali di colo è stata oggetto d'alcune recentissime ricerche (Draper et al., 2007; Jayakaran e Ward, 2007) e andrà verificata attraverso lo svolgimento di ulteriori, specifiche ricerche.

2.3 Elementi d'ecologia dei corsi d'acqua

Gli ecosistemi, in generale, sono unità distinte nello spazio, in cui si realizzano flussi d'energia e di materia (si pensi alle catene trofiche), che determinano la sopravvivenza e la naturale evoluzione degli organismi, organizzati in comunità più o meno diversificate, formate da più popolazioni di individui della stessa specie, la cui distribuzione dipende dall'equilibrio dinamico (situazione di climax) che si viene a creare tra componenti abiotiche (habitat) e biotiche (comunità animali, vegetali e microbiche).

Analizzando nello specifico il caso degli ecosistemi acquatici, si deve premettere che, al contrario di quanto si pensi, l'ambiente fluviale non va inteso semplicemente come un sistema unidimensionale, descrivibile con un gradiente longitudinale monte-valle, ma si deve tenere conto anche dei gradienti di tipo trasversale, ovvero delle interazioni tra l'asta principale con gli ambienti laterali e con il piano alluvionale, e di tipo verticale, che considerano gli scambi da e verso l'ambiente iporreico di profondità.

Un corso d'acqua può essere schematizzato come un complesso d'elementi fisici strutturati (unità geomorfologiche), i quali interagiscono dinamicamente con il mezzo fluido che li attraversa e permea (unità idrologiche). Dalla loro combinazione si genera un'unità multidimensionale, che è l'ecosistema fluviale; conseguentemente l'habitat e le biocenosi sono entità dinamiche nello spazio e nel tempo (Maddock, 1999). La morfologia dell'alveo e le conseguenti caratteristiche del flusso d'acqua, infatti, variano in senso longitudinale, determinando profondi cambiamenti nella quantità e nella qualità degli habitat da monte verso valle. Altri gradienti sono riferibili alla componente orizzontale, che definisce le relazioni tra sponda e sponda o da un margine del piano di campagna all'altro, ed a quella verticale, che esprime le variazioni che si generano dal fondo alla superficie libera dell'acqua (Bretschko, 1995) e oltre. Esiste poi una quarta dimensione, definita come fluido-temporale, che può essere individuata nello scorrimento prevalentemente unidirezionale del flusso dell'acqua; essa può subire variazioni su scale temporali brevi, come risposta ad eventi di precipitazione, e medie-lunghe, per cambiamenti stagionali o climatici (La Porta, 2004).

Secondo l'energia associata a questi flussi, si possono determinare lievi o profonde modificazioni della morfologia del corso d'acqua, che si comporta di conseguenza come un'unità dinamica, la cui produttività è determinata essenzialmente da quattro fattori chiave: (1) risorse di energia, (2) qualità dell'acqua, (3) struttura fisica dell'alveo e (4) regime idraulico (Stalnaker, 1979). I corsi d'acqua costituiscono, quindi, degli ecosistemi molto aperti, in cui si realizza un flusso idrico preferenziale unidirezionale di forma lineare, nel quale le portate fluttuanti, l'instabilità dell'alveo e del fondo, il sussidio energetico fornito dalla velocità del deflusso e la variabilità delle proprietà fisiche (portata, temperatura, solidi sospesi) determinano gli habitat e le dinamiche energetiche, raggiungendo uno stato di equilibrio che continuamente si riadatta ai cambiamenti che avvengono nel sistema stesso.

In tale ottica, i canali agricoli costituiscono un sistema più o meno semplificato, in funzione del particolare regime idrologico (soprattutto per i canali irrigui), della diversificazione morfologica longitudinale e laterale e della dimensione della fascia perfluviale. La conoscenza dei processi ecologici fondamentali che ivi hanno sede permette di valutare al meglio le diverse opzioni di riqualificazione in funzione degli obbiettivi prefissati.

2.3.1 L'habitat fluviale

Il termine generico habitat definisce “l'intorno fisico in cui vivono e crescono animali e piante” e, in ambito acquatico, con questo termine si indica “l'insieme delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche che

sono necessarie per sostenere la vita acquatica” (McMahon et al., 1996). L’importanza dell’habitat per un corso d’acqua è, dunque, implicita nella sua definizione, poiché, senza uno spazio vitale disponibile, nessuna specie potrebbe sopravvivere e nessun ecosistema potrebbe instaurarsi. Tra le diverse comunità, dopo un iniziale periodo di colonizzazione, s’instaurano, infatti, diversi rapporti (come la competizione, la predazione, il parassitismo, la simbiosi), strettamente correlati e dipendenti dalle caratteristiche dell’habitat, i cui intervalli di variazione quali-quantitativa determinano la vitalità o la presenza stessa di determinate specie.

Un corso d’acqua può essere esaminato considerando una serie di livelli ordinati in senso gerarchico, ciascuno con una propria sensibilità e resilienza. Le caratteristiche fisiche-chimiche, quindi, possono essere studiate a differenti scale spaziali (dall’intero bacino alla singola pietra nell’alveo) e temporali (da migliaia d’anni a pochi giorni); in particolare, ciò che è osservato ad una determinata scala influenza le caratteristiche osservabili ai livelli inferiori della gerarchia. Questa scala spazio-temporale comprende: il bacino idrografico, la piana inondabile, il tratto fluviale, il mesohabitat e, infine, il microhabitat (Figura 2.7). Chiaramente, soltanto le ultime tre unità possono trovare in qualche modo riscontro nel caso dei canali e saranno qui trattate.

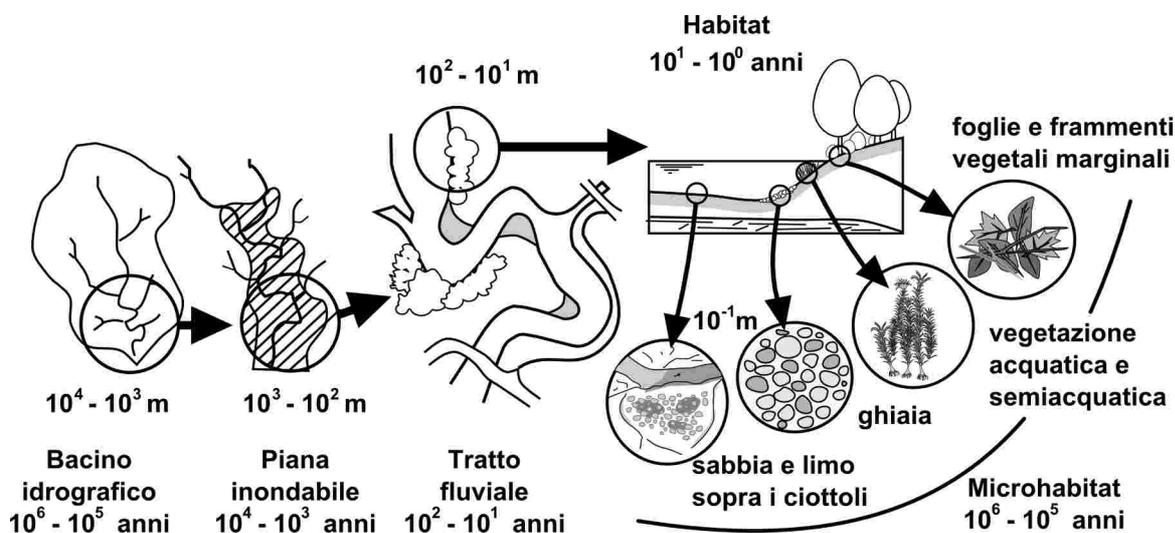


Figura 2.7: scala spaziale e temporale dell’organizzazione gerarchica di un sistema fluviale e dei suoi sub-sistemi di habitat (da Palmer, 1976, ridisegnato).

Scala di tratto fluviale (macrohabitat)

In un tratto di corso d’acqua (macrohabitat) sono distinguibili sequenze più o meno regolari di mesohabitat fluviali (pozze, raschi, barre, ecc.), all’interno dei quali si trovano i diversi microhabitat (differenti combinazioni di variabili idrauliche locali e di caratteristiche di substrato e copertura); a questa scala, nel determinare la distribuzione del biota, agiscono essenzialmente le principali variabili chimico-fisiche:

Velocità della corrente – A livello di macrohabitat si fa riferimento alla velocità media della corrente, in quanto il mosaico di velocità locali è legato alla definizione dei meso- e, soprattutto, dei microhabitat. La velocità media della corrente (dipendente dalla pendenza, dalla portata e dalla scabrezza totale dell’alveo) è forse il più importante fattore fisico che influenza la vita del biota; essa influisce direttamente sulla taglia del substrato, sulla distribuzione del cibo per gli animali (periphyton, sostanza organica, ecc.), sulla distribuzione dei nutrienti. Ad esempio, come sarà analizzato nel seguito, le elevate velocità connesse agli eventi estremi di piena portano ad un “dilavamento” dei substrati (con perdita, ad esempio, del periphyton) e conseguente diminuzione di densità e diversità degli invertebrati; anche la distribuzione delle alghe e delle macrofite radicate è influenzata dalla velocità della corrente (in generale la crescita algale è stimolata da correnti moderate (10-50 cm/s). La velocità media, inoltre, determina adattamenti di forma (con formazioni più o meno idrodinamiche) degli organismi acquatici (invertebrati e pesci).

Tipologia del substrato e delle sostanze trasportate – In generale, il substrato e le sostanze trasportate possono suddividersi in due categorie, secondo la loro natura inorganica (minerali naturali, come sabbia, limo, ciottoli, ecc. e materiali d’origine antropica, come plastica, manufatti metallici, residui edili, ecc.) o organica (detriti, tronchi, piante, alghe, animali). Alla scala del tratto fluviale assume particolare importanza il detrito organico, in quanto costituisce una fondamentale fonte di cibo per i primi anelli della catena

trofica; il detrito inorganico, invece, concorre maggiormente alla creazione dei meso- e dei micro-habitat. Il substrato organico, secondo la grandezza dovuta al grado di decomposizione, può essere così suddiviso: (1) sostanza organica particolata grossolana (*Coarse Particulate Organic Matter*, o CPOM, dimensioni > 1 mm: residui legnosi grandi, "pacchi" di foglie, frammenti di rametti, foglie, frutta, aghi, germogli, fiori, detrito di piante e animali, feci); (2) sostanza organica particolata fine (*Fine Particulate Organic Matter*, o FPOM, dimensioni tra 0.5 µm e 1 mm); (3) sostanza organica disciolta (*Dissolved Organic Matter*, o DOM, con dimensioni < 0.45 µm).

Temperatura – La temperatura dell'acqua di un corso d'acqua è influenzata da diversi fattori, come il clima locale, la portata (intesa come massa termica), l'interscambio con le falde, la morfologia e la natura geologica dell'alveo, la vegetazione riparia, gli scarichi industriali termici, la presenza d'invasi. La temperatura di un corpo d'acqua produce conseguenze dirette sul comparto biologico, in quanto accelera e rallenta i meccanismi metabolici, favorisce alcune comunità biotiche rispetto ad altre, determina la possibilità o meno d'esposizione d'invertebrati e pesci a parassitosi (nematodi, ittiofiriasi e altro) (APAT, 2007). Oltre a ciò, la temperatura gioca un ruolo importante nella regolazione di gas disciolti fondamentali, come l'ossigeno e l'anidride carbonica. La solubilità dei gas nell'acqua, infatti, è regolata dalla legge di Henry, secondo la quale la quantità di gas disciolto dipende dalla pressione atmosferica, dalla tensione di vapore d'ogni singolo gas e dalla temperatura. A parità di pressione, l'ossigeno è quindi molto più solubile a temperature basse e il contenuto d'ossigeno diminuisce significativamente all'aumentare della temperatura.

Ossigeno disciolto – Nei corsi d'acqua l'ossigeno disciolto dipende, oltre che dalla temperatura, anche da altri fattori come la turbolenza; essa può favorire sia la cattura dell'ossigeno sia la sua perdita, e ciò dipende dal contenuto percentuale d'ossigeno rispetto alla saturazione. Nel caso di acque povere di ossigeno, come possono essere le sorgenti o le acque di nevaio e ghiacciaio, la turbolenza (che può anche essere indotta da strutture appositamente create) favorisce l'acquisizione di ossigeno, mentre per acque sature o soprassature si assiste ad una perdita. In acque non inquinate, in generale, l'ossigeno disciolto è vicino ai valori di saturazione. Un fattore più efficiente della turbolenza è dato dalla fotosintesi che, attraverso la componente vegetale, rifornisce l'ambiente acquatico di ossigeno, soprattutto nei tratti di pianura dove la presenza di macrofite può essere più abbondante. La quantità totale d'ossigeno deriva dall'equilibrio fra ossigeno fotosintetico prodotto e ossigeno consumato dalla fauna e dalla flora acquatica per la respirazione, al netto dello scambio con l'atmosfera. La carenza di ossigeno provoca una serie di difficoltà alla vita acquatica, con la sofferenza di gran parte del comparto biologico (APAT, 2007).

Vegetazione ripariale – La presenza di vegetazione ripariale ha numerose conseguenze sull'ecosistema fluviale. In particolare, essa influenza la luce che arriva sul letto del fiume, agendo quindi sull'ombreggiamento e sulla temperatura, costituisce un apporto di sostanza organica, crea un'area filtro o tampone per molte sostanze chimiche, contribuisce alla stabilità delle rive grazie alla coesione radicale, diminuisce il contenuto idrico tramite l'evapotraspirazione, riducendo il rischio di cedimenti di sponda. Inoltre, alcuni di questi effetti (ombreggiamento, apporto di sostanza organica) sono tanto maggiori quanto più il corso d'acqua è stretto.

Luce – La luce influenza essenzialmente la temperatura dell'acqua e la proliferazione degli organismi autotrofi (alghe, macrofite e fitoplancton), permettendo forti tassi di fotosintesi.

pH – L'acidificazione delle acque è, in generale, negativa per la vita acquatica; alcuni studi su diatomee, macroinvertebrati e pesci (Juggins et al., 1995) hanno dimostrato la presenza di particolari soglie di acidificazione, al di sotto delle quali è compromessa la sopravvivenza stessa delle specie indagate.

Qualità dell'acqua (concentrazione di nutrienti e inquinanti) – La qualità dell'acqua in termini di nutrienti (essenzialmente azoto e fosforo) e inquinanti (sostanze chimiche) è intuitivamente un requisito essenziale per la sopravvivenza degli organismi acquatici. Come sarà descritto nel seguito, i corsi d'acqua svolgono gran parte dei cicli dei nutrienti e riescono ad autodepurarsi grazie ai biofilm microbici e alla particolare rete trofica che si crea in questi ambienti. Tuttavia, in alcune situazioni, si giunge a concentrazioni di nutrienti e d'inquinanti così elevate da compromettere questi importanti meccanismi ecosistemici, causando rispettivamente eutrofizzazione (forti oscillazioni del pH e calo drastico dell'ossigeno disciolto a causa dell'esplosione algale dovuta all'eccesso di nutrienti) e tossicità, con gravissime conseguenze sulla totalità dell'ambiente acquatico.

Scala di mesohabitat

Il mesohabitat è un'unità fluviale omogenea per quanto riguarda le caratteristiche idrauliche e fisiche. In letteratura esistono diverse classificazioni, più o meno dettagliate; in generale, secondo Montgomery e

Buffington (1997), i mesohabitat tipici sono riconducibili a 7, semplificabili a 5 a causa della presenza di alcuni mesohabitat tipicamente associati (Figura 2.8).

Le sequenze *riffe-pool*, il letto piano ed il fondo increspato sono le morfologie che possono costituire un riferimento immediatamente riconoscibile per i canali rurali, mentre le prime due possono riguardare punti specifici della rete, quali tratti di derivazione e partizione (in corrispondenza di traverse, possibilmente in pietrame) o di regolazione (scaricatori e scolmatori).

Rapide (cascade) – Sono caratterizzate da alvei confinati dai versanti, elevate pendenze (generalmente superiori al 5%), deflusso tumultuoso, fondo disorganizzato in grossi massi disposti con estrema irregolarità (oltre a ciottoli nelle zone riparate dai massi o incastrati tra di essi). Sono tipiche dei tratti montani e, a differenza dei tratti successivi nei quali si riconosce un'organizzazione dei materiali in alveo (indotta dalla corrente), il fondo è disorganizzato: ciò riflette il prevalere di processi non fluviali (ad esempio frane, colate detritiche, apporti glaciali).

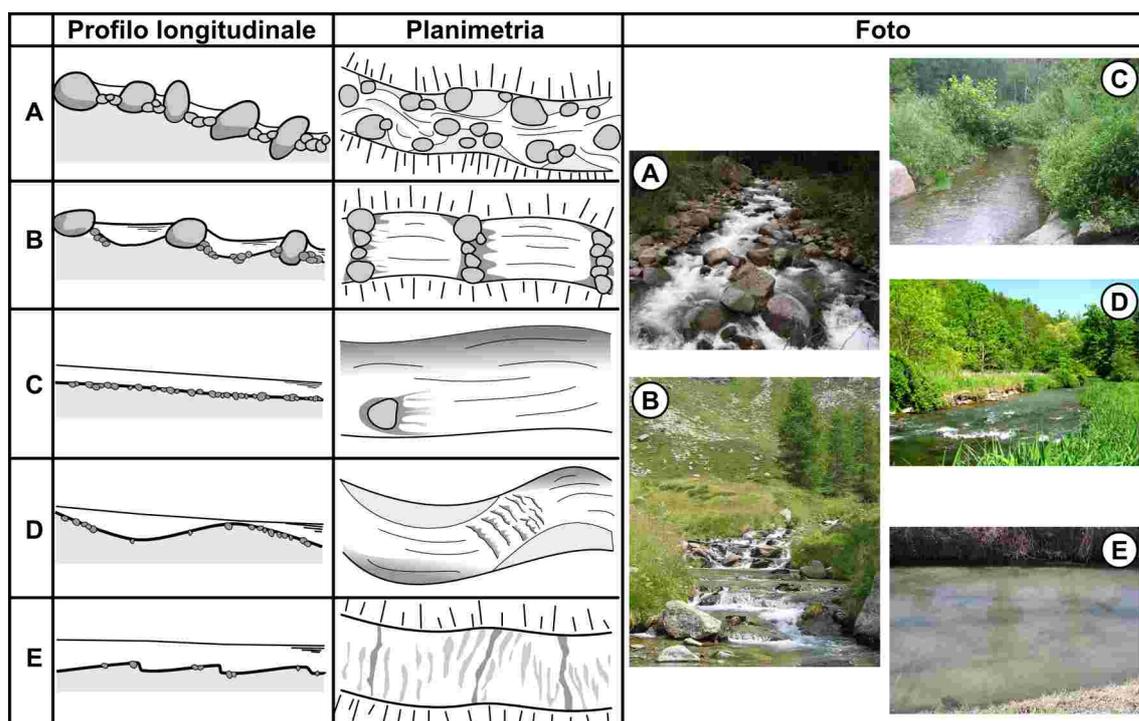


Figura 2.8 Principali tipi di mesohabitat. A- rapide (*cascade*); B- soglie e pozze (*step-pool*); C- letto piano (*plane bed*); D- buche e soglie (*pool-riffle*); E- fondo increspato (*dune ripple*) (da Montgomery e Buffington, 1997, ridisegnato).

Gradini e pozze (*step-pool*) – Questi mesohabitat vengono descritti insieme poiché, generalmente, si presentano associati in un'alternanza più o meno regolare. Sono tratti montani confinati dai versanti, piuttosto stretti e profondi, con pendenza piuttosto elevata (generalmente 2-3%) e fondo a buche ciottolose separate da soglie trasversali di grossi massi distanziate con una certa regolarità; la sinuosità verticale prevale su quella laterale, mentre la distanza tra le pozze va da una a quattro volte la larghezza dell'alveo. La formazione delle soglie "corazzate" (di materiali grossolani) riflette una scarsa alimentazione solida dai versanti e una limitata frequenza di portate capaci di mobilitare i materiali più grossolani; durante le piene eccezionali tutti i materiali sono mobilitati, ma la morfologia a soglie e pozze si ricostituisce durante la coda della piena.

Buche e soglie (*pool-riffle*) – Questi due elementi sono i mesohabitat tipici dei tratti di collina e pianura, caratterizzati da un andamento planimetrico sinuoso, che induce la formazione di barre, buche e soglie (Figura 2.8 e seguenti). Le buche sono regolarmente distanziate di 5-7 volte la larghezza ad alveo pieno (o più ravvicinate nei tratti con cumuli di grossi detriti legnosi); il substrato è da sabbioso a ciottoloso, ma tipicamente è ghiaioso. Le buche si formano in tratti con pendenza da moderata a bassa, non confinati dai versanti e con piana inondabile ben sviluppata. La formazione delle barre richiede un rapporto larghezza/profondità sufficientemente alto e materiali di granulometria modesta, facilmente mobilizzabili e riorganizzabili dalla corrente. Un elemento tipicamente associato a questa configurazione è costituito dalle barre di meandro. Le barre si formano generalmente sul lato interno dei meandri, lateralmente alle pozze, o

longitudinalmente entro il canale fluviale, e sono costituite da depositi ciottoloso-ghiaioso-sabbiosi relativamente stabili. Le barre formano piccole isole di sedimenti, che permangono “dinamicamente” nel tempo in un determinato tratto fluviale; l’erosione, infatti, è solitamente uguale alla deposizione, e quindi le barre possono variare in forma e posizione, mantenendo costante l’area totale dell’alveo da esse ricoperta. Risultano spesso emerse, ma sono sommerse parecchi giorni l’anno. Possono essere nude od ospitare una rada vegetazione erbacea annuale (piante erbacee pioniere di greto); sulle barre alte, invece, sommerse pochi giorni l’anno, la vegetazione erbacea è più folla e possono affermarsi radi arbusti.



Figura 2.9: tratto di canale con forti elementi di naturalità (*plane bed*).

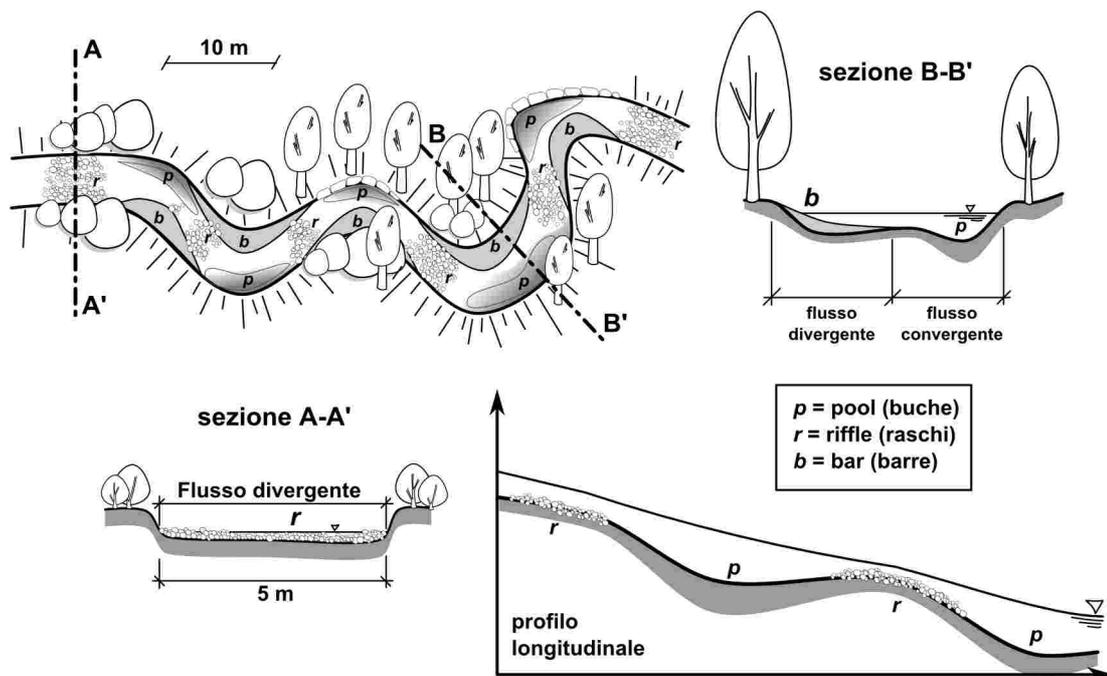


Figura 2.10: elementi morfologici tipici di un alveo naturale di pianura (da APAT, 2007, ridisegnato).

Letto piano (*plane bed*) – Questi elementi sono tratti relativamente rettilinei, con alveo confinato o meno dai versanti, a pendenza da moderata ad elevata e fondo piano (a ciottoli, ghiaia e piccoli massi), privo di barre ben definite (condizione che riflette un basso rapporto larghezza/profondità e una granulometria grossolana), ad eccezione dei siti con ostacoli locali al deflusso, che possono indurne la formazione; sono altrimenti detti correntini (*run*) e sono simili a lunghi raschi. Tipicamente hanno un fondo corazzato rispetto alla portata ad alveo pieno (condizione che riflette una capacità di trasporto superiore agli apporti dai versanti), ma, per portate superiori, mostrano una corrispondenza tra trasporto solido e portata (condizione che riflette la limitazione da parte della capacità di trasporto). Per tali caratteristiche sono interpretabili come transizione tra i tratti limitati dal rifornimento solido dai versanti e quelli limitati dalla capacità di trasporto.

Fondo increspato (*dune ripple*) – Questo mesohabitat è frequente in tratti sabbiosi a bassa pendenza, ed è caratterizzato dalla successione di modeste ondulazioni del fondo a diverse scale dimensionali, spesso sovrapposte: raschi, strati rilevati, microdune e dune più grandi e mobili. Possono essere presenti anche barre di meandro e altre forme indotte dalla geometria dell'alveo; le buche, se presenti, sono distanziate di 5-7 volte la larghezza dell'alveo. A differenza dei tratti a letto piano e di quelli a buche e raschi (nei quali il trasporto è discontinuo, attivo al superamento di soglie di portata), i tratti ad alveo increspato sono a "letto vivo", poiché un trasporto significativo si verifica con quasi ogni condizione di portata; il fattore limitante è quindi la capacità di trasporto.

Scala di microhabitat

All'interno di ciascun mesohabitat, sono riconoscibili i microhabitat, entità spaziali di dimensioni variabili tra alcuni centimetri e pochi metri. I microhabitat sono essenzialmente il risultato dell'interazione tra le variabili idrauliche puntuali (velocità e profondità) e le caratteristiche del substrato (limo, sabbia, ciottoli, massi, ecc.) e della sua eventuale copertura (periphyton, macrofite acquatiche, detrito vegetale, ecc.). La specificità dei microhabitat acquatici (e in particolare di quelli fluviali) è l'associazione tra una grand'eterogeneità spaziale e una forte variabilità temporale (si parla, infatti, di mosaici dinamici). Questa organizzazione dello spazio permette la coesistenza di specie molto diverse per habitat, cicli di vita e strategie (dai macroinvertebrati ai pesci); la diversità delle variabili dei microhabitat consente loro di supportare un'elevata biodiversità (Dyer e Thoms, 2006).

A questo livello, ad esempio, la diversità ambientale riveste una particolare importanza per l'ittiofauna. Ciascuna specie ittica, infatti, trascorre la sua esistenza trasferendosi dall'uno all'altro mesohabitat per compiere le proprie attività vitali (sosta, rifugio, esplorazione, alimentazione, riproduzione). Ciascuna attività, in particolare, richiede una data combinazione di parametri ambientali dei microhabitat in cui si svolge (profondità, velocità della corrente, substrato e copertura), che devono essere compresi entro determinati intervalli di tolleranza. Ne consegue, ad esempio, che un lungo tratto canalizzato avente le caratteristiche di raschio, nonostante l'abbondante disponibilità di cibo (nei raschi si trova la massima densità di macroinvertebrati), non è idoneo ad altre attività vitali dei pesci e, quindi, è complessivamente inadatto ad essi. Da ciò si evince che la presenza di ricoveri e ripari in alveo o sottosponda (massi, rami incastrati sul fondo, sponde sottoescavate, radici arboree sommerse, zone di calma, ecc.) riveste una particolare importanza, data la gran diffusione del comportamento territoriale nei pesci. L'ambiente ideale per i pesci è, dunque, quello caratterizzato da un'elevata diversità, in grado di fornire, in un tratto d'alveo non eccessivamente esteso, l'intero mosaico degli ambienti necessari alle varie specie e, per ciascuna di esse, agli individui delle varie classi di età (APAT, 2007).

2.3.2 La componente biotica

All'interno dell'ecosistema acquatico è presente una componente biotica caratteristica, suddivisa essenzialmente in produttori primari autotrofi (periphyton, fitoplancton, briofite, e macrofite acquatiche) e consumatori eterotrofi (batteri, funghi, macroinvertebrati e pesci). A queste categorie si aggiungono, secondo i contesti, anche mammiferi, anfibi e uccelli; tuttavia, nell'analisi seguente, ci si soffermerà solo sugli organismi tipici dell'ecosistema fluviale (generalmente sempre presenti). In particolare, la componente autotrofa comprende:

Periphyton (alghe filamentose, diatomee, alghe blu, verdi e rosse, cianobatteri) – Il periphyton cresce su tutte le superfici sommerse (organiche o inorganiche) e costituisce il principale produttore di biomassa e la base alimentare per molti batteri e macroinvertebrati eterotrofi; in merito a ciò, si considerano facenti parte del periphyton sia gli organismi aderenti al substrato sia quelli che lo penetrano o che si muovono all'interno del reticolo tridimensionale costituito dalle forme sessili (APAT, 2007). La colonizzazione e la

proliferazione dipendono principalmente dalle caratteristiche del deflusso e soprattutto dalla velocità, che condiziona la stabilità dell'adesione alle superfici (Biggs et al., 1998). Il periphyton, inoltre, può avere forme di crescita differenti, dipendenti dalle caratteristiche della corrente e dalla qualità dell'acqua (l'abbondanza di risorse e luce e un deflusso "lento" favoriscono un accumulo di biomassa in forme erette e filamentose, mentre il disturbo provocato da elevate velocità e torbidità dell'acqua, unitamente all'instabilità del substrato, causa una perdita di biomassa, che si presenta in forme prostrate, crostose o gelatinose). Le forme di crescita, a loro volta, influenzano il tipo di componente eterotrofa associata (in quanto saranno diverse le strategie e i meccanismi di alimentazione). Il periphyton, infatti, è associato a un biofilm composto da microrganismi eterotrofi (batteri e funghi detritivori, unitamente alla loro matrice extracellulare), piccoli metazoi, sostanza organica "morta" e sostanza inorganica; all'interno del biofilm si realizza il loop microbico, ovvero un processo ciclico di mineralizzazione e rilascio dei nutrienti e del carbonio organico, che costituisce l'anello di congiunzione con il resto della catena trofica superiore (macroinvertebrati e pesci).

Fitoplancton (alghe flottanti e cianobatteri in sospensione) – In generale, la componente planctonica assume importanza nei tratti di pianura e comprende sia organismi produttori (fitoplancton) sia organismi consumatori (zooplancton); tuttavia, lo zooplancton presente nei fiumi è limitato ed inferiore a quello che si può trovare in ambienti lacustri con concentrazioni di clorofilla simili. Oltre che dalla portata, la biomassa del fitoplancton è influenzata da una serie di fenomeni che avvengono a monte, quali inoculi e aumenti locali delle popolazioni, associati alla presenza lungo il corso d'acqua di zone morte o piante sommerse (APAT, 2007).

Briofite (muschi e piante primitive non vascolari) – Esse formano coperture estese sulle superfici anche non sommerse, e non sono generalmente consumate dagli organismi superiori; la loro importanza è indiretta (aumentano le superfici d'attacco, favoriscono l'ovodeposizione ittica, mitigano la corrente o creano turbolenze, favoriscono l'ombreggiamento, trattengono il detrito), e la loro presenza è strettamente collegata alla stabilità dei detriti, in quanto hanno una colonizzazione difficoltosa, e alla costante presenza d'acqua (Suren, 1991).

Macrofite (piante acquatiche sommerse e non) – Le macrofite sono presenti soprattutto nei tratti intermedi e terminali dei corsi d'acqua, ancorate alle sponde o al sedimento. Esse hanno le stesse funzioni delle briofite, in questo caso amplificate dalle maggiori dimensioni; la loro presenza dipende molto dalle condizioni d'elevato deflusso, ed esiste una proporzionalità inversa tra frequenza ed entità delle piene e copertura di macrofite (Riis e Biggs, 2003). Nell'ambito dell'ecosistema fluviale, può essere più utile considerare complessivamente i popolamenti vegetali insediati nell'alveo di morbida e non solo quelli sommersi (APAT, 2007). È possibile delineare uno schema di distribuzione di tale popolamento in corrispondenza di una sezione - tipo teorica, in funzione delle forme biologiche delle specie vegetali che vi si insediano. Partendo dal centro dell'alveo, possono insediarsi specie sommerse radicate natanti (es. *Ceratophyllum* spp., *Chara* spp.). Laddove si ha una minore profondità si rinvergono le specie flottanti radicate: gli individui di queste specie sono ancorati al substrato per mezzo di radici o rizoidi, ma sono comunque presenti foglie e organi riproduttivi che galleggiano sulla superficie; (es. *Potamogeton* spp., *Nuphar* spp., *Ranunculus* spp.). Nelle porzioni a velocità bassa o nulla è possibile rinvenire in superficie specie flottanti non radicate: gli individui di queste specie galleggiano sull'acqua e non sono ancorati al fondo; le radici, se presenti, sono libere e non hanno funzione di ancoraggio (ad esempio *Lemna* spp., *Trapa* spp.). Nei pressi delle rive si collocano le specie radicate emergenti: si tratta di piante che emergono con un'ampia porzione del loro corpo vegetativo e che presentano caratteristiche di idrofilia minore rispetto alle precedenti, potendo tollerare anche periodi di emersione. Le specie radicate emergenti possono insediarsi in quella porzione dell'alveo di morbida soggetta alle maggiori variazioni di livello dell'acqua (grazie alla buona resistenza all'inondazione, alla capacità di crescere su substrati con pedogenesi scarsa o nulla e alla veloce propagazione) e possono appartenere sia ai canneti (fragmiteti, tifeti, scirpeti, cariceti) sia alle formazioni pioniere di greto. Nell'ambito degli ecosistemi fluviali, i vegetali acquatici rivestono un ruolo molteplice, passivo e attivo: produzione primaria di sostanza organica, rilascio di ossigeno nella rizosfera attraverso le radici (ciò aumenta il valore di potenziale redox dei sedimenti e riduce, quindi, la quantità di ferro, fosforo ed ammonio disponibili), creazione di microhabitat, depurazione delle acque grazie all'organizzazione dei nutrienti, rallentamento del deflusso, ritenzione e sedimentazione del particolato fine inorganico e organico, ecc.

La componente biotica eterotrofa comprende invece:

Macroinvertebrati – I macroinvertebrati bentonici sono organismi con taglia generalmente superiore al millimetro, che vivono sui substrati disponibili nei corsi d'acqua, usando meccanismi d'adattamento che li rendono capaci di resistere alla corrente. Essi appartengono principalmente ai seguenti gruppi: insetti,

crostacei, molluschi, irudinei, tricladi, oligocheti. I macroinvertebrati bentonici occupano tutti i livelli dei consumatori nella struttura trofica degli ambienti d'acque correnti, in cui sono contemporaneamente presenti organismi erbivori, carnivori e detritivori, che adottano una vasta gamma di meccanismi di nutrizione, in modo da sfruttare al massimo le risorse alimentari disponibili. Nel processo di trasferimento ed elaborazione della materia organica presente in un corso d'acqua, gli invertebrati bentonici hanno il duplice ruolo di consumatori diretti (alimentazione e respirazione) e di frantumatori del particolato in sostanze più facilmente assimilabili dalla componente batterica; a loro volta i macroinvertebrati costituiscono l'alimento preferenziale per numerose specie di vertebrati superiori (essenzialmente i pesci). Possono, infine, essere usati come bioindicatori di alterazioni qualitative dell'acqua, o come bioaccumulatori (al pari d'alcune macrofite). Tuttavia, oltre all'inquinamento idrico, anche le alterazioni dell'habitat fisico di un ecosistema fluviale inducono una banalizzazione ed un'alterazione delle comunità macrobentoniche, poiché i diversi organismi sono adattati, dal punto di vista comportamentale e morfologico, a microhabitat diversi. Come accade per i pesci, la natura puntuale del substrato e la velocità locale della corrente sono tra i principali fattori fisici che influiscono sulla distribuzione dei macroinvertebrati nelle acque correnti (APAT, 2007).

Pesci – Per pesci delle acque dolci s'intende l'insieme di ciclostomi e pesci ossei che compiono il loro ciclo biologico nelle acque interne con salinità inferiore allo 0,5 per mille, e i pesci che svolgono nelle acque interne una fase obbligata del loro ciclo vitale. In Italia i gruppi sistematici più rappresentati sono i Ciprinidi (come il barbo e il cavedano), che colonizzano preferibilmente i tratti di fondovalle e di pianura (acque calde, poco ossigenate), e i Salmonidi (come la trota fario e il temolo), che preferiscono i tratti montani e pedemontani (acque fresche, molto ossigenate). Nell'ambito della fauna ittica possiamo distinguere differenti livelli gerarchici d'organizzazione e, di conseguenza, complessità ecologica: la popolazione, definita come un gruppo d'individui appartenenti alla stessa specie che vive in una data area ad un dato tempo, e la comunità ittica, che costituisce un'associazione di popolazioni che interagiscono e coesistono in una data area. La diversità e la composizione specifica delle comunità ittiche vengono determinate da una serie complessa di fattori naturali biotici (tra cui l'interazione fra pesci può essere considerato quello più importante) ed abiotici (geologia del substrato, regime termico e idrologico, connettività longitudinale e trasversale). La fauna ittica è localizzata nello spazio come un mosaico complesso; perciò si possono osservare differenze nella composizione delle comunità ittiche, che possono essere determinate da processi che avvengono a scale spaziali (ecoregione, bacino, corso d'acqua, tratto, mesohabitat, microhabitat) e temporali differenti (APAT, 2007).

2.3.3 I principali processi ecosistemici fluviali

La catena trofica

All'interno dei corsi d'acqua s'instaurano processi trofici diversi, legati soprattutto alla capacità d'utilizzare e trasformare l'energia in entrata nel sistema e la materia organica disponibile (CPOM – sostanza grossolana, FPOM – sostanza fine, DOM – sostanza disciolta). Il sistema trofico viene descritto attraverso gli adattamenti degli individui acquatici, soprattutto dei macroinvertebrati, ai diversi modi d'assunzione del cibo e quindi al loro ruolo trofico nel sistema (Figura 2.11). Rispetto alla classica suddivisione in erbivori, carnivori e detritivori, risulta più efficace una suddivisione che tenga conto, oltre che dei ruoli trofici legati al tipo di cibo, anche dei ruoli trofici in funzione delle modalità d'assunzione del cibo. S'individuano in questo modo gruppi funzionali (*Functional Feeding Guilds*), che operano in modo indipendente ma sinergico, al fine di utilizzare con la massima efficienza le diverse forme energetiche disponibili (APAT, 2007).

I gruppi funzionali più importanti sono 4, rappresentati all'interno della catena trofica della Figura 2.11:

Frammentatori (*Shredders*). Si nutrono di detrito organico grossolano (CPOM), come foglie, legno e altre parti vegetali che derivano dalla zona ripariale (es. Asellus).

Collettori (*Collectors*). Utilizzano piccole particelle di sostanza organica (di dimensioni generalmente inferiori al millimetro), che trovano in sospensione o sul letto del corso d'acqua. Vista la loro diversa modalità di nutrizione si dividono a loro volta in:

Raccoglitori (*Collectors gatherers*), i quali si procurano il nutrimento contenuto nei sedimenti del fondo fluviale (es. Chironomidi);

Filtratori (*Collectors filterers*), i quali filtrano la sostanza organica particolata fine trasportata dall'acqua corrente (es. bivalvi).

Pascolatori (Grazers) o Raschiatori (Scrapers). Si nutrono principalmente di alghe sessili che crescono sulla superficie dei sedimenti e dei corpi sommersi (es. alcune specie di effimere). Tra di essi, i fitofagi (*piercers*) sono specializzati nel consumo di foglie di macrofite “verdi” (es. Tricotteri glossosomatidi).

Predatori (Predators). Si nutrono d'altri invertebrati, avendo specializzato parti del corpo alla cattura delle prede (es. Odonati).

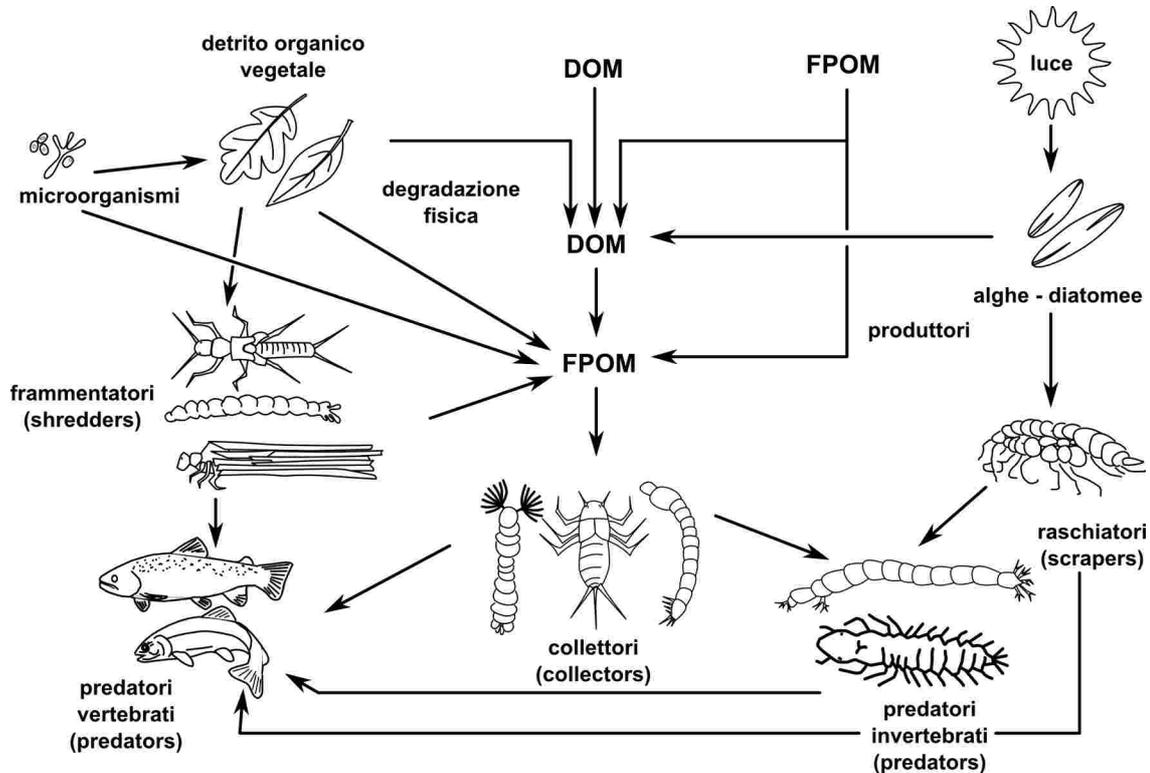


Figura 2.11: rappresentazione schematica delle reti trofiche all'interno di un corso d'acqua (da Allan, 1995, ridisegnato).

Il sistema di autodepurazione

La sostanza organica che raggiunge un corso d'acqua, sia essa di origini naturali (foglie, escrementi e carcasse animali) o antropiche (liquami fognari), viene fissata da strutture di ritenzione (la cui entità dipende dal grado di diversità morfologica, dalla velocità della corrente, dalla scabrezza del substrato, dalla presenza di macrofite e briofite, ecc.) e demolita dai microrganismi sospesi nell'acqua e dalle comunità microscopiche (batteri, funghi, ciliati, microalghe, amebe, rotiferi, nematodi, gastrotrichi, tardigradi, ecc.) del biofilm che permea il periphyton, rappresentando il primo sistema depurante dei corsi d'acqua; i prodotti della mineralizzazione vengono quindi assorbiti dalla componente vegetale (microalghe, idrofite).

Questo depuratore naturale supporta fisicamente e biologicamente un altro sistema depurante, costituito dai macroinvertebrati, che funge da acceleratore e regolatore del processo. La loro elevata specializzazione massimizza l'utilizzo di tutte le forme di risorse alimentari disponibili (scarichi umani compresi) e rende la comunità in grado di rispondere in maniera flessibile alle variazioni stagionali o antropiche del carico organico (APAT, 2007). Un ulteriore contributo alla rimozione di biomassa è fornito dai vertebrati, compresi quelli terrestri (pesci, anfibi, rettili, uccelli, mammiferi), che si nutrono dei macroinvertebrati acquatici; questi organismi, nel loro insieme, possono essere considerati il terzo sistema depurante dell'ambiente fluviale. L'efficienza dei tre sistemi depuranti è, a sua volta, condizionata dall'integrità dell'ambiente terrestre circostante, in particolare delle fasce di vegetazione riparia. Questo quarto sistema, oltre a fornire cibo ed habitat agli organismi microscopici, ai macroinvertebrati e ai vertebrati, svolge una duplice funzione “protettiva”, agendo da filtro meccanico (nei confronti del materiale solido) e da filtro biologico (nei confronti dei nutrienti provenienti dalle fasce perifluviali) (APAT, 2007).

I materiali chimicamente dissolti nell'acqua (soluti) possono essere suddivisi in conservativi (non utilizzabili dal biota) e reattivi (utilizzabili dal biota); tra i soluti reattivi, gli elementi considerati essenziali per la vita prendono il nome di nutrienti, tra cui l'azoto e il fosforo rivestono l'importanza maggiore. In un

corso d'acqua il trasporto dei nutrienti fa sì che i processi d'assimilazione, escrezione e rilascio, che avvengono all'interno del biofilm ("ciclizzazione" dei nutrienti), non si chiudano in situ, ma dopo un percorso più o meno lungo: è come se la serie di cicli che si succedono nel tempo venisse "stirata" nello spazio a formare una spirale (APAT e tal., 2007). L'accoppiamento tra ciclizzazione e trasporto – la spiralizzazione dei nutrienti – viene perciò rappresentata con una spirale (Figura 2.12) di diametro tanto più stretto quanto più elevata è l'attività biologica (il riciclo è più veloce) e con spire tanto più ravvicinate tra loro quanto più elevata è la capacità di ritenzione del sistema (il trasporto è più ridotto). I principali fattori abiotici che regolano la spirale dei nutrienti sono: portata (a una maggiore portata corrisponde un minore assorbimento), concentrazione del nutriente nell'acqua (a una maggiore concentrazione corrisponde un minore assorbimento), contatto con il letto del fiume (entità della zona reattiva, ovvero della superficie su cui può svilupparsi il periphyton e il biofilm). I fattori biotici, invece, comprendono: la biomassa degli autotrofi e della componente microbica eterotrofa (a una maggiore biomassa corrisponde un maggiore assorbimento), la presenza di erbivori brucatori (macroinvertebrati grazers, mantengono "giovane" il periphyton, il quale è più efficiente nell'assorbire nutrienti limitanti).

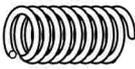
Meccanismi		Ciclizzazione		Risposta dell'ecosistema all'aggiunta di nutrienti	Stabilità ecosistema
ritenzione	attività	tasso di	distanza fra le spire		
A) alta	alta	veloce 	corta	conservativo $(I > E)$	alta
B) alta	bassa	lento 	corta	accumulatore $(I > E)$	alta
C) bassa	alta	veloce 	lunga	conservativo intermedio < A > D	bassa
D) bassa	bassa	lento 	lunga	esportatore $(I = E)$	bassa

Figura 2.12: spiralizzazione dei nutrienti. Più piccolo è il diametro della spira e più veloce è il tasso di riciclo; la distanza tra le spire indica la distanza a valle del trasporto; $I = import$; $E = export$ (da Minshall et al., 1983, ridisegnato).

Andamento pulsante

Secondo la "teoria del disturbo intermedio", un'alternanza di disturbi moderati è in grado di sostenere, in un'ottica ampia, una maggiore diversità ecosistemica rispetto a corsi d'acqua indisturbati; questi ultimi ospiteranno solo comunità climax, mentre i primi presenteranno anche organismi pionieri o colonizzatori (Connell, 1978). I differenti aspetti del regime di deflusso, nell'ottica dell'alternanza dei disturbi moderati, sono determinati da tre principali fattori: l'intermittenza (fattore più importante), la frequenza delle piene e la prevedibilità degli eventi estremi (Poff e Ward, 1989). Un corso d'acqua "intermittente", in particolare, ha periodi di magra prolungati e regolari, nei quali la comunità biologica, in funzione degli specifici livelli di tolleranza, si specializza per far fronte a tali condizioni (pesci che tollerano basse concentrazioni d'ossigeno disciolto, invertebrati con fasi dormienti, piante acquatiche resistenti alla mancanza d'acqua, ecc.).

L'alternanza delle piene, invece, determina la prevalenza di specie colonizzatrici su quelle competitive; frequenti eventi di piena, infatti, forniscono nuovo potenziale habitat per le specie colonizzatrici, che prevarranno sulle altre presenti nei corsi d'acqua a flusso costante, in cui sono i meccanismi biologici (competizione, predazione, alimentazione, ecc.) a determinare i rapporti tra le popolazioni, tuttavia molto sensibili agli eventi estremi. La prevedibilità degli eventi estremi fa sì che molti organismi sviluppino le fasi delicate della loro vita nei periodi in cui sono assenti tali eventi; la riproduzione di pesci e insetti, ad esempio, avviene durante i periodi di deflusso normale, e gli individui giovani sono presenti solo in questo periodo. In questo tipo di corsi d'acqua caratterizzati da elevata regolarità gli eventi estremi inattesi sono particolarmente dannosi (Moyle e Vondracek, 1985).

Nel caso dei canali agricoli non vi sono sufficienti studi per comprendere come tali dinamiche generali si riflettano sulle caratteristiche dell'ecosistema.

2.3.4 La zonazione dei corsi d'acqua

Un corso d'acqua può assumere diverse configurazioni lungo il suo tragitto, e per questo, nel corso degli anni, sono state proposte diverse metodologie per tentare di classificare le tipologie ambientali che caratterizzano un fiume dalla sorgente alla foce. In generale vi sono due approcci, che storicamente tentano di fornire delle definizioni: il primo è basato su una zonazione ittica e il secondo sulle caratteristiche ecologiche nel loro complesso.

La zonazione ittica fa riferimento ai lavori di Thienemann (1925) e Huet (1949) e si basa sull'individuazione della specie più importante o della comunità rappresentativa di un certo tratto di fiume. In particolare, Huet semplificò la zonazione di Thienemann (composta di sei zone ritenute valide per l'Europa centrale) proponendo 4 biozone sulla base delle relazioni pendenza-larghezza degli alvei:

- Zona della trota: pendenza elevata, acque fredde (temperatura massima $< 15^{\circ}\text{C}$) e ben ossigenate, corrente veloce, substrato a granulometria varia (massi, sassi, ciottoli e ghiaia), assenza di vegetazione acquatica; comunità dominata dai salmonidi.
- Zona del temolo: pendenza dell'alveo e velocità della corrente ridotte, acque ben ossigenate, granulometria del fondo a ciottoli, presenza di macrofite acquatiche lungo le sponde; comunità mista: salmonidi dominanti in corrente veloce e ciprinidi reofili dominanti in corrente debole.
- Zona del barbo: pendenza dell'alveo e velocità della corrente ulteriormente ridotte, granulometria del fondo a ghiaia e sabbia, componente vegetale importante; comunità mista: ciprinidi reofili dominanti, salmonidi presenti in corrente veloce.
- Zona dell'abramide (in Italia della carpa e della tinca): pendenza lieve, velocità della corrente molto lenta, acque calde nel periodo estivo, substrato prevalentemente limoso-fangoso; comunità mista: ciprinidi limnofili dominanti, ciprinidi reofili in corrente.

Anche se di una certa utilità, questa suddivisione non può essere considerata esaustiva, soprattutto per i corsi d'acqua italiani, nei quali la distanza tra la sorgente e la foce spesso è alquanto breve; i pesci citati, inoltre, sono dotati di una gran mobilità ed è facile trovare più specie guida o comunità miste nello stesso tratto di fiume.

Un diverso approccio per "tipizzare" i vari tratti dei fiumi è quello espressamente ecologico, formulato da Illies e Botosaneanu nel 1963. Essi proposero di dividere il corso d'acqua in tre grandi "zone ecologiche": la zona delle sorgenti (crenon), la zona del torrente (rhithron), e la zona del fiume di pianura (potamon). Le ultime due zone sono inoltre suddivise in sottozone (epi-, meta-, e hypo-) per meglio descrivere le porzioni superiore, intermedia e inferiore. Appare evidente come al rhithron corrisponda in generale la zona della trota di Huet, mentre le acque del potamon sono individuabili come quelle a ciprinide (zona del barbo e dell'abramide). Anche questa classificazione presenta i limiti d'applicabilità della precedente, e spesso non è facile associare una determinata morfologia del corso d'acqua o la sua componente biotica ad una delle zone sopra definite.

Le zone descritte da Huet (1949) e Illies e Botosaneanu (1963) non sono ben delimitate, ma spesso sfumano le une nelle altre sovrapponendosi. Il concetto stesso di zonazione è stato pertanto ritenuto, da alcuni ricercatori, non solo impreciso, ma addirittura privo di significato (Cushing et al., 1983; Minshall et al., 1985), poiché non tiene conto del fatto che le comunità a monte influenzano quelle a valle attraverso il trasporto di materia da parte dell'acqua corrente (Fischer, 1983). Questi autori sono tra i proponenti del "River Continuum Concept" (Vannote et al., 1980), secondo il quale le caratteristiche fisiche in uno stesso corso d'acqua mostrano gradienti longitudinali che si ripercuotono sulla presenza e sulle abbondanze relative del biota e dei sedimenti organici e inorganici (Figura 2.13); la continuità di passaggio tra zone a morfologia differente, in particolare, è spesso determinante per la colonizzazione delle varie forme di vita.

Sia la zonazione sia il "continuum" sembrano essere due modi diversi di rappresentare la stessa situazione: se è vero, infatti, che lungo il fiume non è possibile separare nettamente le diverse zone ecologiche, è anche vero che non esiste mai il perfetto "continuum". La tipizzazione di un corso d'acqua, quindi, può presentare diverse problematiche, in quanto ciascun fiume ha una propria identità che lo differenzia sostanzialmente da altri simili, e fiumi diversi possono presentare differenti processi di transizione da una zona all'altra; le

attività antropiche legate al corso d'acqua, ad esempio, possono determinare brusche discontinuità tra zone differenti (si pensi ai tributari, a scarichi con caratteristiche chimiche alterate, agli sbarramenti o alle derivazioni).

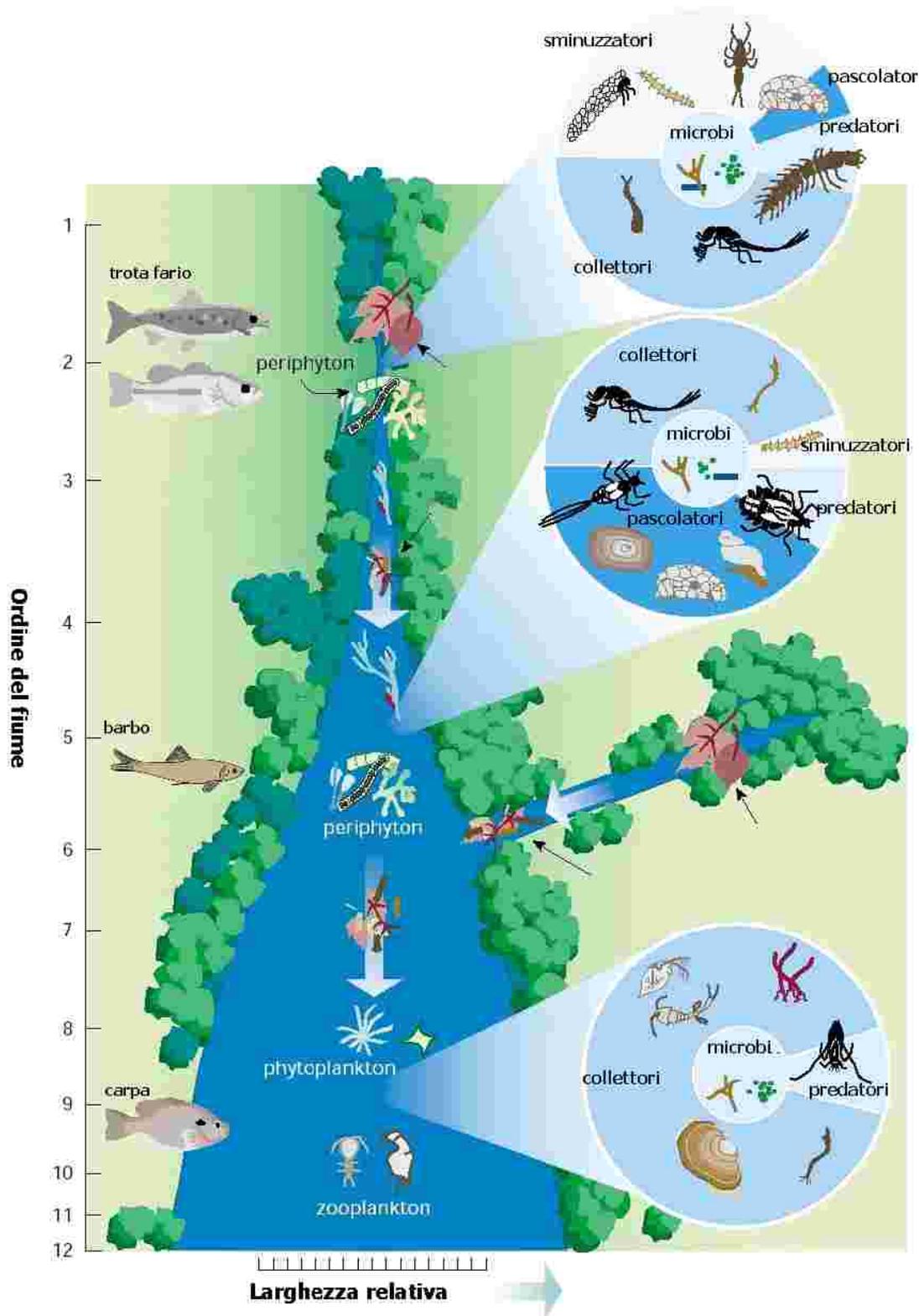


Figura 2.13: relazioni proposte dal River Continuum Concept tra le dimensioni del corso d'acqua ed i graduali aggiustamenti nella struttura e nelle funzioni delle comunità lotiche (da FISRW, 2001).

I canali artificiali rurali costituiscono dei particolari corsi d'acqua, in cui è difficilmente riconoscibile il gradiente fisico-biologico del *River Continuum Concept*. Con riferimento alla zonazione propriamente detta, inoltre, sono assenti le prime due tipologie fluviali tipiche dei corsi d'acqua naturali (Crenon e Rithron), ad eccezione di brevi tratti di regolazione (scaricatori, scolmatori) o derivazione (in corrispondenza di soglie in pietrame), dove le caratteristiche di pendenza, granulometria, velocità della corrente, ossigenazione, ecc., possono essere simili ai tratti superiori della rete naturale.

Generalmente originati da corsi d'acqua di pianura, i canali irrigui presentano, infatti, le caratteristiche generali del Potamon, unitamente ad altre peculiarità legate all'ambiente in cui si collocano e alla loro natura antropica: pendenza e velocità della corrente limitate, substrato deposto generalmente fine, temperatura e torbidità abbastanza elevate, scarsa ossigenazione, elevata concentrazione di nutrienti, presenza di materiale organico di piccole dimensioni. A ciò si aggiunge la costante presenza d'elementi artificiali, come derivazioni, sbarramenti, rivestimenti spondali e scarichi civili e agricoli. La gestione del deflusso, inoltre, causa periodi estremi di piena e magra alternati e stagionali: nei canali ad uso irriguo in inverno transiterà la portata minima, mentre in estate, per sostenere l'attività agricola, la portata sarà massima, ad eccezione di regolazioni dovute a deficit di disponibilità idrica; situazioni opposte possono invece verificarsi nei canali di bonifica.

2.3.5 Le alterazioni antropiche degli ecosistemi fluviali

Nell'ambito della modificazione del territorio operate dall'uomo, vi sono cambiamenti che, agendo con meccanismi e a scale spaziali differenti (dall'intero bacino idrografico alle fasce perifluviali), hanno conseguenze significative sui corsi d'acqua.

Per quanto riguarda i canali agricoli, hanno una particolare rilevanza le trasformazioni urbanistiche, che spesso convogliano le acque meteoriche ivi generate, veicolando anche sostanze inquinanti.

Parlare di artificializzazione in senso stretto non ha invece molto senso per questi corsi d'acqua, anche se è sicuramente possibile identificare con tale termine il processo di trasformazione che molti canali tradizionali hanno subito, a causa della necessità di aumentarne l'efficienza idraulica, e la stabilità, e di ridurre le perdite e le spese di manutenzione.

In senso lato, anche per i canali è quindi possibile individuare alcune azioni di "artificializzazione":

- rettifiche d'alveo: comportano un accorciamento del percorso ed una riduzione della scabrezza e, perciò, un aumento della pendenza e della velocità;
- stabilizzazione delle sponde mediante rivestimenti e protezioni: si utilizzano strutture come gabbioni (muri a gabbia eretti per la protezione spondale), lastre o pannelli di calcestruzzo, massicciate (vengono collocati blocchi di calcestruzzo oppure massi di cava);
- ampliamento dell'alveo in larghezza/profondità, per facilitare il deflusso delle portate di piena;
- rimozione della vegetazione e dragaggi sistematici dei sedimenti, in modo da ridurre la resistenza idraulica sulle sponde e sul fondo ed aumentare la capacità di deflusso;
- controllo del trasporto solido con briglie e soglie.

Queste azioni determinano una serie d'effetti sull'idraulica e sulla morfologia del corso d'acqua, nonché, più o meno direttamente, sulle componenti vegetali e animali. Dal punto di vista idraulico, gli effetti possono essere molto negativi, in quanto se da un lato le azioni di canalizzazione tendono a far defluire più velocemente l'acqua dalle zone che si vogliono proteggere, dall'altro possono spostare il problema più a valle dell'area canalizzata, dove si possono verificare inondazioni non previste. Per quanto riguarda gli aspetti morfologici, si assiste ad impatti in prima battuta sugli habitat fluviali, che a loro volta si ripercuotono sugli organismi che costituiscono le comunità acquatiche. L'alterazione della geometria naturale tende a determinare cambiamenti del mesohabitat, comportando una riduzione della diversità idraulico-morfologica. Con l'ampliamento dell'alveo si ottiene una riduzione della velocità di corrente e della profondità, apprezzabile alle basse portate, cui è associato un aumento della temperatura dell'acqua; tale operazione, inoltre, provoca una perdita del mosaico dinamico di velocità, profondità e substrato, decisivo per l'insediamento della fauna ittica e macrobentonica. In queste condizioni si verificano, inoltre, un aumento del carico di sedimenti che arrivano a valle, cui è associato un peggioramento della qualità delle

acque (aumenta la concentrazione di solidi sospesi e la torbidità) ed eventuali problemi fisico-meccanici sulla fauna ittica e macrobentonica presente.

Per quanto riguarda il regime idrologico, importanti conseguenze possono derivare dalla riduzione delle portate in alveo, ad esempio a causa delle asciutte. Tale alterazione determina un impoverimento dell'ecosistema fluviale e, in particolare, delle comunità biologiche, dal punto di vista qualitativo e quantitativo, alterando inoltre gli aspetti paesaggistici e limitando la fruibilità del corso d'acqua. Nello specifico, gli effetti derivanti dall'alterazione delle portate, e in particolare dalla diminuzione drastica, sono sintetizzabili come segue:

- Diminuzione della superficie dell'alveo bagnato e del tirante idraulico, con conseguente sottrazione dello spazio vitale disponibile per le biocenosi fluviali, costrette ad una contrazione in termini di numero di individui e biomassa dei popolamenti (diminuzione della capacità portante del corso d'acqua); gli individui che sopravvivono sono inoltre soggetti ad una maggiore competizione intra- e interspecifica e quindi ad ulteriore stress.
- Semplificazione dell'habitat: la riduzione di velocità e profondità determina una perdita della diversità idraulico-morfologica, da cui dipende il normale svolgimento delle diverse fasi vitali degli organismi acquatici.
- Rallentamento della velocità di corrente e diminuzione della turbolenza: sottraendo acqua diminuisce la capacità d'autodepurazione e viene favorito il processo di sedimentazione del materiale fine, che tende a ricoprire il substrato di fondo, occludendo gli spazi interstiziali e distruggendo così un prezioso microhabitat per gli organismi bentonici e per la riproduzione di alcune specie ittiche.
- Diminuzione della profondità dell'acqua, che facilita, ad esempio, la predazione dei pesci da parte degli uccelli ittiofagi.
- Compromissione della qualità delle acque: un minore volume significa una minore capacità di diluizione degli inquinanti e una minore capacità d'omeostasi termica (il corpo idrico si riscalderà o si raffredderà più velocemente, con il rischio di raggiungere le temperature critiche per gli organismi acquatici).
- Considerevole aumento della fluttuazione tra portata di magra e di piena: l'alterazione del regime naturale ha conseguenze sull'ecosistema, in relazione ad eventi estremi di piena e di magra. Le piene, nella maggior parte dei casi, costituiscono dei disturbi (eventi improvvisi che causano perdita considerevole di biomassa), in quanto causano alterazioni del substrato (anche semplici brevi rotolamenti), che pregiudicano la sopravvivenza del benthos, delle alghe e delle macrofite, mentre gli organismi mobili possono non risentire della piena, a patto che siano presenti zone di rifugio determinate dal grado di diversità del microhabitat. I periodi di magra prolungata, invece, possono causare la deposizione di sabbia e altro materiale fine negli spazi interstiziali tra il substrato di maggiori dimensioni, diminuendo l'habitat disponibile per macroinvertebrati e per l'ovodeposizione delle specie ittiche. Le magre prolungate, inoltre, determinano generalmente esplosioni della crescita algale: la minore profondità permette alla luce di raggiungere il fondo del corso d'acqua favorendone la crescita; anche la comunità di macroinvertebrati cambia rapidamente, e saranno privilegiati quegli organismi in grado di nutrirsi di fitte e spesse masse di periphyton, favorendo inizialmente anche la fauna ittica. Questa situazione tuttavia non si protrae, poiché le alghe causano importanti fluttuazioni della quantità d'ossigeno disciolto e del pH e arrivano ad occupare gran parte delle sezioni bagnate, diminuendo gli habitat disponibili e aumentando la temperatura e la concentrazione degli inquinanti, la cui diluizione è già compromessa in sé dalla magra (Jowett et al., 2004). Il caso estremo è la frammentazione del corso d'acqua o la sua completa asciutta (caso frequente nei canali irrigui al momento della manutenzione): tale situazione pregiudica la sopravvivenza della maggior parte delle specie ittiche.

Ulteriori effetti negativi legati sia alla presenza della struttura stessa dell'opera sia alle operazioni necessarie alla sua manutenzione: ciò causa rispettivamente l'interruzione della continuità fluviale (importantissima per la migrazione riproduttiva delle specie ittiche reofile e per i Salmonidi) e la rimozione dei sedimenti (che determina un rilascio a valle di notevoli quantità di solidi sospesi, cui consegue un danneggiamento degli organismi acquatici).

Vi sono, infine, alterazioni dovute alla presenza di sostanze inquinanti, che sono determinate da immissioni di reflui di tipo urbano, industriale e agricolo. In generale, i contaminanti immessi nelle acque esercitano effetti negativi sulle popolazioni animali e vegetali e sulle comunità acquatiche nel complesso, che possono essere sintetizzati come segue:

- Effetti deossigenanti: sono causati dalla presenza di sostanze biodegradabili (ad esempio sostanze organiche d'origine metabolica) e d'altri eventuali composti ad azione riducente, presenti in numerosi scarichi industriali, la cui mineralizzazione per opera dei microrganismi presenti in acqua comporta il consumo dell'ossigeno disciolto. Accanto a quest'effetto si assiste alla formazione di composti ridotti e tossici per gli organismi, quali l'ammoniaca, i solfuri, le ammine.
- Effetti tossici: sono esercitati da sostanze quali i tossici inorganici (sali di metalli), metallorganici, organici (pesticidi, oli, idrocarburi) e consistono, ad esempio, in azioni a livello biochimico (alterazioni enzimatiche, fisiologiche, morfologiche) e comportamentale (alterazioni sui movimenti o sull'equilibrio).
- Effetti fisico - meccanici: sono causati da acque ad elevato contenuto di solidi sospesi, che si esercitano tramite l'alterazione degli organi di scambio fra organismi e ambiente (ad esempio abrasione dell'apparato respiratorio).
- Contaminazione microbiologica: riguarda principalmente aspetti legati al rischio igienico-sanitario, più che all'ecosistema acquatico, ed interessa quindi le problematiche connesse agli usi delle acque (balneazione, agricoltura, potabile).
- Effetti eutrofizzanti: riguardano la diminuzione dell'ossigeno disciolto e del pH, connessa all'esplosione algale causata da eccessivo apporto di nutrienti (azoto e fosforo); sono tipici degli ambienti lentic (laghi e serbatoi artificiali), mentre interessano in misura minore gli ambienti di acqua corrente.

2.4 Ecologia dei canali artificiali rurali

Come detto, la composizione della componente biotica in un canale rurale, ad eccezione di punti particolari, è potenzialmente quella del Potamon: la comunità di macroinvertebrati sarà composta in prevalenza da organismi collettori (i raccoglitori come i bivalvi filtratori o gli oligocheti), con pochi predatori (libellule, plecoteri, ecc.) e pascolatori; le specie ittiche saranno in prevalenza ciprinidi reofili (zona a barbo) nei tratti più freschi e ossigenati, e limnofili (zona a carpa e tinca), come la carpa comune (*Cyprinus carpio*) e il cavedano (*Leuciscus cephalus*), nei tratti di pianura con scarsi scambi gassosi; la vegetazione sarà composta da piante idrofile (ad esempio formazioni di fragmiteti) e da piante ripariali igrofile (salici o pioppi), mentre il Periphyton sarà più o meno sviluppato a seconda della profondità e della velocità dell'acqua e della concentrazione di nutrienti presenti nel canale.

Spesso, tuttavia, la natura antropica dei corsi d'acqua rurali impedisce che la comunità biotica possa esplicarsi nella sua totalità; si fa essenzialmente riferimento, in questo caso, ad alcune delle alterazioni morfologiche descritte precedentemente (semplificazioni delle sezioni, cementificazione delle superfici, rettificazioni, interruzione della continuità longitudinale, ecc.). L'organizzazione nei mesohabitat tipici dei corsi d'acqua naturali di pianura, quindi, viene meno; la struttura a pool-riffle può realizzarsi solo in pochi canali naturaliformi indisturbati, mentre nella quasi totalità dei casi l'alternanza dei mesohabitat si riduce ad un'unica conformazione a fondo increspato o letto piano (o correntino - *run*), con una diversità molto limitata del mosaico dinamico di microhabitat.

Il particolare regime idrologico di questi canali è anch'esso artificiale, e proprio per questo può causare diverse conseguenze all'ecosistema fluviale che riesce ad instaurarsi. Ad esempio, in occasione delle asciutte totali, programmate annualmente dai Consorzi di Bonifica, la fauna ittica stabilitasi nei canali, durante i lunghi periodi di portata stabile, è sorpresa da repentini abbassamenti dei livelli dell'acqua, che la obbligano ad abbandonare la rete di canali messi in asciutta o a concentrarsi nelle poche buche e tratti ancora inondati (Puzzi et al., 2005). In questi tratti i pesci non possono far altro che sopravvivere il più a lungo possibile, a seconda della propria adattabilità, in attesa che li raggiunga la morte per asfissia o per predazione da parte degli uccelli ittiofagi o che sopraggiunga l'intervento degli addetti ai recuperi, i quali li trasferiscono in ambienti naturali limitrofi adatti a riceverli. Tali recuperi della fauna ittica, che si concentrano nelle prime settimane d'asciutta, sono realizzati dalle ditte appaltatrici tramite elettropesca procedendo a piedi verso monte all'interno del canale e sondando tutta la sezione bagnata. Al termine

dell'azione di recupero, il pesce, raccolto e stabulato in vasche ossigenate, è poi trasferito negli ambienti naturali più vicini, facendo registrare una mortalità immediata molto bassa nella gran parte dei casi, ma verosimilmente superiore se si considerano gli effetti di lungo termine, che i possibili traumi e lo stress accumulato possono provocare in seguito all'asciutta e all'azione di recupero. Per ovviare a tali inconvenienti, possono essere messi in atto vari interventi, sia di tipo morfologico sulle sezioni ed il profilo longitudinale, sia di tipo gestionale, evitando asciutte totali.

L'alternanza stagionale di piene e magre, tipica della gestione dei corsi d'acqua rurali, può essere determinante nello svolgimento del ciclo vitale di molte specie: il repentino ed estremo cambiamento del regime, dovuto ad interventi antropici (manutenzioni straordinarie, regolazioni non programmate, ecc.) può cambiare seriamente i parametri ecologici ed avere importanti ripercussioni sull'ecosistema acquatico. La repentina fluttuazione del pelo libero, dovuta a tale alternanza, determina un'ampia zona in cui è impossibile sostenere la vita di organismi pressoché immobili come piante e invertebrati; solo poche specie mobili (pesci e alcuni invertebrati) riescono a usufruire di tale zona, e nella maggior parte dei casi, comunque, si può parlare di habitat perso, poiché troppo instabile nelle sue condizioni.

In definitiva, i corsi d'acqua rurali sono ecosistemi molto importanti negli ambienti di pianura, caratterizzati da attività intensive dell'uomo; tuttavia, vivono costantemente in un equilibrio instabile, causato proprio dalla loro natura antropica, e le loro grandi potenzialità, legate alla funzionalità ecologico-paesaggistica emergente, rischiano di non essere esplicate, in assenza di una gestione sostenibile ed ecologicamente attenta.

2.5 Le reti ecologiche

Le reti ecologiche sono un sistema, formato da unità ecosistemiche naturali residue e paranaturali, derivanti dalla frammentazione causata dall'attività antropica, connesse in maniera funzionale e attiva (Figura 2.14), in modo da garantire quella continuità dell'habitat che è condizione fondamentale per il mantenimento della biodiversità in un dato territorio (Malcevschi et al., 1996).

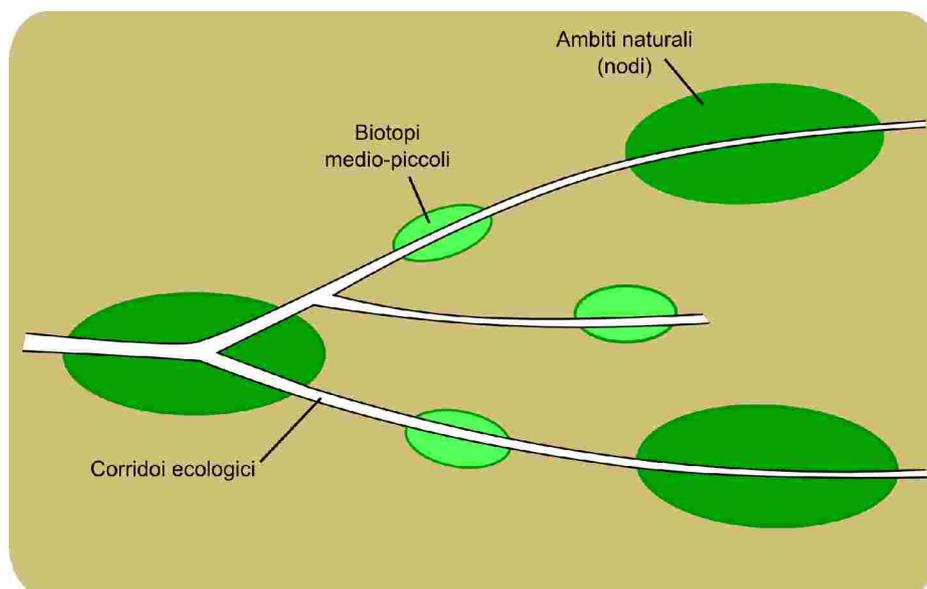


Figura 2.14: schema di una rete ecologica.

Le aree naturali relitte costituiscono, infatti, habitat critici per le specie colonizzanti, a causa non solo della riduzione fisica implicita nella frammentazione, ma anche di alterazioni nelle caratteristiche delle condizioni ecologiche; le specie presenti, quindi, devono avere la possibilità di spostarsi tra i diversi ambienti, qualora in uno di essi vengano a mancare le condizioni per la loro sopravvivenza (Battisti, 2004). Questa funzione di connessione e trasporto può essere svolta mediante la creazione di corridoi ecologici e fasce tampone (*buffer zones*), ovvero predisponendo strisce di territorio differente dalla matrice in cui si collocano, in grado di mantenere un discreto livello di connessione tra i nodi principali (*core areas*), ambiti naturali nel cui interno sono presenti tutte le biocenosi tipiche, e i biotopi medio-piccoli (*stepping zones*), caratterizzati da un maggiore grado di instabilità e il cui equilibrio dipende solo dalla comunicazione con i nodi principali.

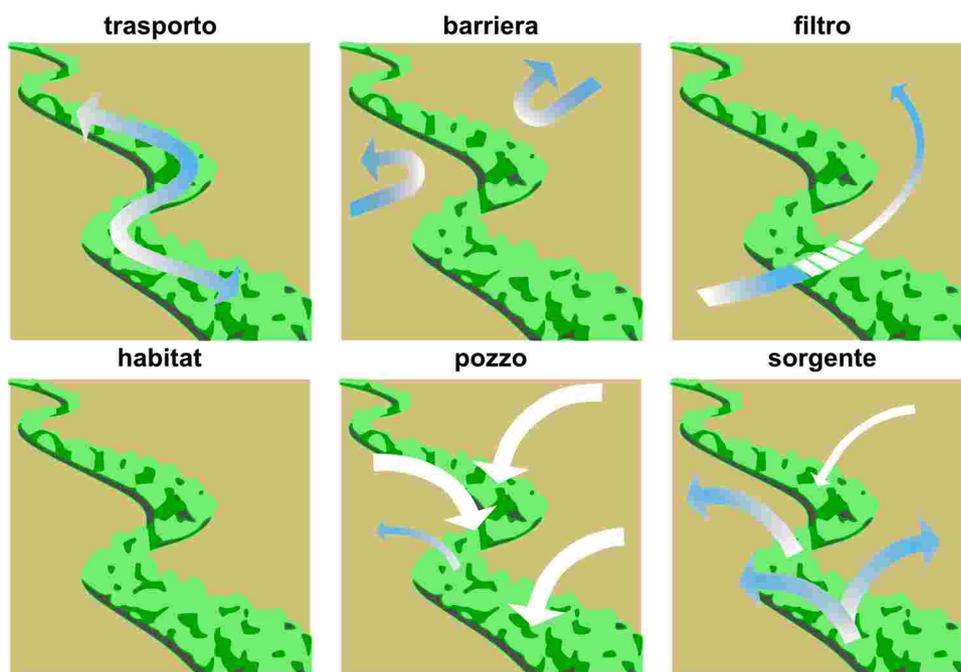


Figura 2.15: principali funzioni dei corridoi ecologici.

I corridoi ecologici sono strutture polivalenti, nelle quali possono essere individuate diverse funzioni all'interno dell'ecosistema in cui si collocano (AA.VV., 2004); nel particolare le funzioni svolte dai corridoi sono (Figura 2.15):

- **Trasporto:** può essere di varia natura e coinvolgere acqua, sedimenti, organismi viventi, materiale organico, sostanze tossiche o nutrienti, favorendo il loro spostamento in direzione longitudinale e trasversale.
- **Habitat,** per piante ed animali che nell'area del corridoio nascono, crescono e si riproducono. L'effettivo instaurarsi di tale livello di biodiversità dipende da qualità, diversificazione ed estensione del corridoio stesso. Questa funzione, assieme a quella di trasporto, permette la connessione di porzioni di territorio più o meno distanti tra loro, con importanti ripercussioni di tipo ecologico sulle popolazioni animali e vegetali.
- **Filtro e barriera:** questa funzione, come quella di trasporto, può interessare diversi aspetti, che riguardano le sostanze (detriti o inquinanti), gli organismi viventi, il deflusso della portata liquida (laminazione delle piene) o solida.
- **“Pozzo” (*sink*) e “Sorgente”(*source*):** tale funzione riguarda il territorio circostante, in quanto il corridoio è in grado di “esportare” sostanze e organismi viventi (aspetto non sempre gradito nel caso della propagazione di specie vegetali infestanti o di specie animali dannose) e al contempo di “immagazzinare” sostanze, ad esempio mediante la fissazione dell'anidride carbonica da parte delle piante.
- **Ricreazione:** per quanto riguarda i corridoi situati in territori antropizzati, è importante richiamare la funzione d'utilizzo da parte dell'uomo per attività di svago, sport e ricreazione.

In questo modo si forma una rete diffusa ed interconnessa d'elementi naturali e/o seminaturali, in cui le aree ad elevato contenuto naturalistico hanno il ruolo di "serbatoi di biodiversità", mentre gli elementi lineari permettono un collegamento fisico tra gli habitat e costituiscono essi stessi habitat disponibili per la fauna, contrastando la frammentazione e i suoi effetti negativi sulla biodiversità.

In base alle funzioni illustrate si possono distinguere diversi tipi di corridoi ecologici, ciascuno con caratteristiche specifiche e ruoli ecosistemici più o meno marcati:

- **Sistemi di siepi e fasce arboree e arbustive** in territori prevalentemente agricoli; oltre a costituire un percorso in senso stretto per animali che rifuggono gli spazi aperti, corridoi di questo tipo funzionano come sistema rifugio per organismi che si spostano attraverso la matrice circostante.

- Fasce arboree e arbustive legate ad infrastrutture lineari, che attraversano territori antropizzati.
- Corridoi lineari di vegetazione erbacea entro matrici boscate.

Corsi d'acqua e annessi sistemi ripari a vegetazione arborea ed arbustiva, all'interno di matrici artificializzate come, ad esempio, le aree utilizzate intensivamente per l'agricoltura. E' forse questo il tipo più frequente di corridoi presente in zone antropizzate, soprattutto negli ambiti di pianura; il sistema dei corsi d'acqua naturali e artificiali (canali rurali) rappresenta, infatti, un'ottima base d'appoggio per la creazione dei corridoi ecologici, non solo grazie alla presenza d'acqua, che è condizione fondamentale per il mantenimento della vita, ma anche perché molti interventi di sistemazione e ottimizzazione prettamente idraulica possono essere realizzati, in tutto o in parte, con tecniche che contemporaneamente aumentano le potenzialità ecologiche.

2.5.1 Criteri generali per la costituzione di una rete ecologica

L'obiettivo fondamentale della pianificazione di una rete ecologica, intesa nel suo più stretto significato conservazionistico, è quello di mitigare gli effetti della frammentazione su popolazioni, comunità e processi ecologici (Battisti, 2004), realizzando un nuovo ecosistema, definito e in equilibrio nelle sue varie componenti funzionali: produttori primari (autotrofi), consumatori primari e secondari (eterotrofi rispettivamente erbivori e carnivori) e organismi responsabili della degradazione del detrito (Malcevski et al., 1996). Ciò è perseguibile attraverso:

- La conservazione delle aree naturali esistenti, incrementando il numero e la superficie di quelle sottoposte a tutela nonché gli esempi rappresentativi di tutte le tipologie di ecosistemi autoctoni.
- L'incremento della connettività fra gli habitat, riducendone l'isolamento e favorendo il flusso genico tra popolazioni di specie sensibili alla frammentazione, al fine di garantirne la vitalità, tenendo conto delle differenze specie-specifiche nella capacità di dispersione e mantenendo, inoltre, i processi ecologici ed evolutivi.
- Una significativa politica di riqualificazione dei corridoi ecologici già potenzialmente presenti sul territorio (ad esempio i corsi d'acqua naturali e i canali rurali).
- L'adozione di misure atte a mitigare la resistenza della matrice antropizzata alla dispersione delle specie sensibili.
- La realizzazione di nuove unità ecosistemiche para-naturali.
- Il consolidamento e potenziamento di adeguati livelli di biodiversità sul territorio; dovranno essere considerati sia i comparti vegetazionali sia la fauna, più sfavorita dal punto di vista della mobilità, in ambito terrestre e acquatico.
- In senso più generale, l'inserimento delle problematiche di conservazione della diversità biologica nei processi di pianificazione territoriale.

L'inserimento di un canale nell'ambito delle reti ecologiche comporta un'attenta riflessione sulle tipologie d'intervento da mettere (o non mettere) in atto. Chiaramente, non è però possibile pretendere che l'intero onere che può derivare da tali azioni (od omissioni) ricada interamente sul comparto agricolo.

2.6 Caratteristiche della rete irrigua e di bonifica in Lombardia

La rete irrigua e di bonifica della Lombardia, che si è andata costruendo nell'arco di un millennio, è caratterizzata da una certa eterogeneità, a causa sia dei diversi periodi di realizzazione, sia delle diverse caratteristiche fisiche del territorio attraversato.

Al termine del presente capitolo, che sintetizza le conoscenze di base necessarie a progettare la riqualificazione della rete idrografica rurale, si ritiene utile fornire una breve descrizione delle sue principali caratteristiche, raggruppate per aree geografiche, al fine di meglio inquadrare i possibili interventi. Come si è detto all'inizio, infatti, i canali rurali svolgono numerose funzioni, anche molto diverse tra loro e la riqualificazione potrà riguardare solo una o alcune di esse. In maniera analoga, anche le caratteristiche

fisiche del territorio servito dalla rete costituiscono un criterio di guida nella scelta degli interventi possibili. Per esempio, laddove il substrato è particolarmente permeabile e la falda più lontana dal piano di campagna, sarà difficile mettere in atto interventi che non riducano le perdite per percolazione, così come, laddove le pendenze sono quasi nulle, sarà difficile sostenere interventi che aumentino le resistenze idrauliche.

Da un'analisi generale del sistema irriguo e di bonifica della Lombardia è scaturita una suddivisione del territorio di pianura in tre macroaree, che si possono considerare omogenee dal punto di vista gestionale ed in particolare:

- La fascia dell'alta pianura: zona che si estende ai piedi dei rilievi prealpini, caratterizzata da suoli a tessitura grossolana e quindi molto permeabili.
- La fascia della media pianura: zona che corre lungo la fascia dei fontanili, caratterizzata dalla presenza di risorgive, notoriamente considerate di gran valore ambientale.
- La fascia della bassa pianura: zona che si sviluppa lungo il fiume Po, caratterizzata da suoli a tessitura fine, spesso con problemi di eccesso idrico.

Nella fascia dell'alta pianura, essendo i terreni molto permeabili, è relativamente diffuso il rivestimento dei canali (con spritzbeton, asfalto idraulico, calcestruzzo gettato in opera) o la posa di strutture prefabbricate. La maggior parte dei canali, tuttavia, è in terra, con perdite per infiltrazione dal 10%, fino al 70% nei casi peggiori. A titolo d'esempio, le perdite, stimate da uno studio condotto sui canali del cremonese, vanno da 5 a 30-40 l/s/km, per metro di perimetro bagnato (IIA, 2008). In un contesto simile, dopo un intervento d'impermeabilizzazione dell'alveo, le perdite si riducono a 10 l/s/km di sponda (IIA, 2008). Il metodo irriguo impiegato è lo scorrimento; questa scelta contrasta con la natura dei suoli, poiché richiede ingenti volumi d'acqua, tanto che in alcune condizioni le perdite per percolazione raggiungono il 70% della portata che giunge al campo. In alternativa, un'altra tecnica diffusa è l'aspersione e in minima parte la microirrigazione. Valutando complessivamente il sistema, le perdite che si verificano a questo livello della pianura contribuiscono alla ricostituzione delle riserve idriche delle falde a beneficio dei fontanili e dei pozzi posti più a valle. Se da un lato i canali in terra comportano gravi perdite, dall'altro contribuiscono ad arricchire l'ambiente a contorno dei campi, poiché presentano spesso ricche alberature lungo le sponde.

Anche nella fascia della media pianura i suoli sono caratterizzati da buona permeabilità e la maggior parte dei canali non è rivestita (circa l'80%). Sono presenti sistemi d'irrigazione dipendenti dai fontanili che, grazie alla risalita della falda, alimentata dalle irrigazioni per scorrimento a monte, si giovano di acque di ottima qualità. Già dalla metà del secolo scorso, l'abbassamento della falda ha stimolato la costruzione di pozzi consortili e privati, per integrare le portate dei fontanili; negli ultimi 10-15 anni la situazione si è aggravata, a causa delle diminuite precipitazioni, dando nuovo impulso alla costruzione di pozzi privati. Anche in questa zona si assiste a forti perdite per percolazione, che sono maggiori all'inizio della stagione irrigua e diminuiscono fino ad assestarsi su valori fra il 10 e il 30% dell'acqua trasportata.

Nella fascia della bassa pianura emergono i problemi di assicurare un corretto drenaggio dei territori, e nei periodi estivi, un'adeguata irrigazione, che diventa molto costosa a causa della necessità di sollevare meccanicamente le acque derivate dai fiumi. Trattandosi, nella quasi totalità dei casi, di una rete promiscua (con funzione di bonifica e irrigua), i canali non sono rivestiti, per poter svolgere al meglio la funzione di colatura delle campagne.

2.7 Bibliografia

AA.VV. (2004) "IRALCI: Interventi di riqualificazione ambientale lungo canali irrigui della pianura." Regione Lombardia, Direzione Generale Agricoltura.

AA.VV. (2006). "La gestione naturalistica del reticolo idrico di pianura." WWF Italia ONG e Consorzio di Bonifica Muzza Bassa Lodigiana, Lodi.

Allan J.D. (1995). "Stream ecology- Structure and function of running waters." Chapman & Hall Publishing, Oxford.

Allan J.D., Johnson, (1997). "Catchment-scale analysis of aquatic ecosystem." *Freshwater Biology*, 37:107-111.

Andrews, E.D. e Nankervis, J.M. (1995). "Effective discharge and the design of channel maintenance flow for gravel-bed rivers." *AGU Geophys. Monograph* 89, 151-164.

- APAT (2007). "IFF 2007 - Indice di funzionalità fluviale. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata." M. Siligardi (coordinatore) e collaboratori.
- Bacci M. Paltrinieri L. 2006. Cosa è (e cosa non è) la Riqualificazione Fluviale - Alberi e Territorio n 10/11,
- Battisti C. (2004). "Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica." Provincia di Roma, Assessorato alle politiche ambientali, Agricoltura e Protezione civile 248 pp.
- Biggs, B.J.F, Goring, D.G e Nikora, V.I. (1998). "Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form." *J. Phycol* 34, 598-607.
- Billi P. (1994). "Morfologia dei corsi d'acqua." *Verde Ambiente*, 5: 61 - 70.
- Bretschko, G. (1995) "Running water ecosystems; a bare field for modeling." *Ecological modelling*, 78:77-81.
- Chang, H.H. (1980). "Geometry of gravel streams." *Journal of the hydraulics division ASCE*, 106 (9), 1443-1456.
- CIRF (2006). "La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio". A. Nardini, G. Sansoni (curatori) e collaboratori.
- Connell, J.H. (1978). "Diversity in tropical rain forests and coral reefs." *Science* 199, 1302-1309.
- Cushing, C. E., McIntire, C. D., Cummins, K. W., Minshall, G. W., Petersen, R. C., Sedell, J. R., Vannote, R. L. (1983). Relationships among chemical, physical, and biological indices along river continua based on multivariate analyses. *Arch. Hydrobiol.* 98: 317-326.
- D'Agostino, V. (2003). "Dinamica dei corsi d'acqua ed interventi di ricostruzione morfologica". In Pagani L. (a cura di) *Quaderni - Corsi d'acqua e aree di sponda: per un progetto di valorizzazione - Tecniche di intervento sui corsi d'acqua e sulle aree spondali*. Bergamo University Press - Edizioni Sestante, pp. 21-34.
- Di Fidio M., Bischetti G.B. (2008). "Riqualificazione ambientale delle reti idrografiche minori." BTU, Hoepli, Milano, 353 pp.
- Draper, J.; Mecklenburg, D.E.; Powell, G.E.; Ward, A.D.; Word, W. (2007). "Two-stage channel systems: Part 2, case studies." *Journal of Soil and Water Conservation*
- Dyer F.J., Thoms M.C. (2006). "Managing river flows for hydraulic diversity: an example of an upland regulated gravel river." *River Res. Applic.* 22: 257-267.
- Fabiani C., (2005). "La direttiva quadro: linee generali e impegni." *Biologia Ambientale*, 19 (1): 1-8. Atti del Seminario *Classificazione ecologica delle acque interne. Applicabilità della Direttiva 2000/60/CE*. Trento, 12-13 febbraio 2004. G.N. Baldaccini e G. Sansoni (eds.). Ed. APAT, APPA Trento, CISBA. Trento, 2005.
- FIRSW (2001). "Stream corridor restoration: principles, processes and practices." The Federal Interagency Stream Restoration Working Group (http://www.usda.gov/stream_restoration).
- Fisher, S. G. (1983) "Succession in streams". In: Barnes, J. R., Minshall, G. W. (a cura di), *Stream Ecology - Application and Testing of General Ecological Theory*, Plenum Press, New York, 7-27.
- Hedman, E.R., Moore, D.O. e Livingstone, R.K. (1972). "Selected streamflow characteristics as related to channel geometry of perennial streams in Colorado." *US Geol. Survey Open-File Rep.*, 1-4.
- Huet M. (1949). "Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles dans les eaux courantes." *Revue Suisse d'Hydrologie*, 11, 332-351.
- Hupp, C.R. e Osterkamp, W.R. (1996). "Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes." *Geomorphology*, 14(4), 277-295.
- IIA (2008). "Resoconto delle interviste presso i consorzi di bonifica e irrigazione della pianura lombarda." Report no. 1/2008 (rapporto interno non pubblicato), Istituto di Idraulica Agraria di Milano, via Celoria 2, 20133, Milano.
- Illies J., Botosaneanu L. (1963). "Problemes et methodes des la classification et de la zonazion ecologique des eaux courantes, considees surtout du point de vue faunistique." *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, 12, 1-57.

- Jayakaran, A.D., Mecklenburg, D.E.; Powell, G.E.; Ward, A.D. (2007). "Two-stage channel systems: Part 1, a practical approach for sizing agricultural ditches." *Journal of Soil and Water Conservation Kingdom Critical Loads Advisory Group. Critical Loads of Acid Deposition for United Kingdom Freshwaters*, ISBN 1 870393 25 2, pp. 9–13.
- Jayakaran, A.D.; Ward, A.D. (2007). "Geometry of inset channels and the sediment composition of fluvial benches in agricultural drainage systems in Ohio." *Journal of Soil and Water Conservation*, Juggins S., Ormerod S. J., Harriman R., 1995. *Relating Critical Loads to Aquatic Biota*. United
- Juggins S., Ormerod S. J., Harriman R. (1995). "Relating Critical Loads to Aquatic Biota." *United Kingdom Critical Loads Advisory Group. Critical Loads of Acid Deposition for United Kingdom Freshwaters*, ISBN 1 870393 25 2, pp. 9–13.
- Knaepkens G., Bruyndoncx L., Bervoets L., Eens M. (2002). "The presence of artificial stones predicts the occurrence of the European bullhead (*Cottus gobio*) in a regulated lowland river in Flanders (Belgium)." *Ecology of Freshwater Fish*, 11(3):203-206.
- La Porta, G. (2004). "L'habitat fluviale e modelli di idoneità per la fauna ittica." Tesi di dottorato, Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
- La Torre, A. (2007) "Analisi di campo sulla larghezza a piene rive del t. Folgora", Elaborato per il conseguimento della Laurea in Agrotecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi di Milano.
- Lane, E.W. (1955). "The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering." *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 81:745-761.
- Lenzi M. A., D'Agostino V., Sonda D. (2000). "Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti." *Criteri metodologici ed esecutivi*. Ed. Bios. Cosenza, Italia, 209 pp.
- Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P. (1964). "Fluvial processes in geomorphology." *Freeman*, San Francisco. 522 pp.
- Maddock I. (1999) "The importance of physical habitat assessment for evaluating river health." *Freshwater biology*, 41:373-391.
- Malcevschi S., Bisogni L.G., Gariboldi A. (1996). "Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale." *Il verde editoriale*, pp. 222, Milano.
- McMahon, T.E., Zale A.V., Orth D.J. (1996). "Aquatic Habitat Measurements." Pages 83-120 IN B. Murphy and D. Willis, (eds.). *Fisheries Techniques*, 2nd edition. American Fisheries Society.
- Minshall, G. W., e altri. (1985). "Developments in stream ecosystem theory". *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 1045-1055.
- Minshall G.W., Petersen R.C., Cummins K.W., Bott T.L., Sedell J.R., Cushing C.E., Vannote R.L., (1983). "Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics." *Ecol. Monogr.*, 53 (1): 1-25.
- Montgomery D.R., Buffington J.M. (1997). "Channel-reach morphology in mountain drainage basins." *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 109 (5): 596-611.
- Moyle e Vondracek, (1985). "Persistence and structure of the fish assemblage in a small California stream." *Ecology* 66, 1-13.
- National Research Council (1992). "Restoration of Aquatic Ecosystems." National Academy Press, Washington D.C., USA.
- Navratil, O., Albert, M-B., Hérouin, E. and Gresillon, J-M. (2006). "Determination of bankfull discharge magnitude and frequency: comparison of methods on 16 gravel-bed river reaches Comparison of bankfull discharge determination." *Earth Surf. Process. Landforms* 31, 1345.
- Needelman, B.A., Kleinman, P.J.A., Strock, J.S., Allen, A.L. (2007). "Improved management of agricultural drainage ditches for water quality protection: An overview." *Journal of Soil and Water Conservation*
- Palmer L. (1976). "River management criteria for Oregon and Washington." In: Coates D.R. (Ed.) *Geomorphology and Engineering*. George Allen & Unwin, London: 329-346.
- Poff N.L., Ward J.V. (1989). "Implications of stream flow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of stream flow patterns." *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46, 1805-1817.

- Puzzi C.M., Barengi B., Sartorelli M., Trasforini S., Rossi S. (2005). "Il sistema dei canali gestiti dal consorzio di bonifica Est Ticino e Villoresi: studio per la mitigazione degli impatti sull'ittiofauna." GRAIA srl.
- Riis T., Biggs B.J.F. (2003). "Hydrologic and hydraulic control of macrophytes establishment and performance in streams." *Limnology and oceanography* 48, 1488-1497.
- Stalnaker C.B. (1979). "The use of habitat structure preferenda for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat." *The ecology of regulated streams*. Plenum Press, London.
- Suren, A.M. (1991). "Bryophytes as invertebrate habitat in two New Zealand alpine streams." *Freshwater Biology* 26, 399-418.
- Thienemann A. (1925). "Die Binnengewässer Mitteleuropas". *Die Binnengewässer*. Vol. 1. Jena. 225 pp.
- Torizzo, M. e Pitlick, J. (2004). "Magnitudo-Frequency of bed load transport in mountain strams in Colorado." *Journal of Hydrology*, 290, 137-151.
- Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K. W., Sedell J. R., Cushing C. E. (1980). "The river continuum concept." *Can. J. Fish. aquat. Sci.* 37: 130–137.
- WFD CIS Guidance Document No. 13 "Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential"
- Wolman, M.G, Miller, J.P. (1960) "Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes", *Journal of Geology*. 68, 54–74.
- Yang, C.T. e Song, C.S.S: (1979). "Theory of minimum rate of energy dissipation." *Journal of Hydraulic Division ASCE*, 105 (7), 769-784.

Capitolo 3 **Caratterizzazione integrata dei corsi d'acqua rurali**

3.1 Definizione e Obiettivi

La complessità delle funzioni che caratterizzano i corsi d'acqua rurali rende necessario predisporre, prima del progetto di riqualificazione, un quadro conoscitivo, che è tipicamente presente nella pianificazione e gestione del territorio e delle sue risorse. Infatti, solo attraverso un'attività, che chiameremo di "caratterizzazione integrata", con l'obiettivo di ricostruire lo stato ambientale complessivo attuale dei canali, è possibile dapprima identificare gli obiettivi di riqualificazione e poi formulare proposte mirate ed efficaci che permettano di perseguirli.

Al centro della caratterizzazione integrata si pone un sistema descrittivo-conoscitivo, che comprende gli aspetti più importanti del sistema corso d'acqua, associando ai parametri qualitativi tipici dei piani di tutela dall'inquinamento, ulteriori parametri di tipo geomorfologico, biologico e idrologico, come indicato nella Direttiva Quadro sulle Acque (Dir. 2000/60/CE). La procedura che viene qui delineata consente di rilevare le caratteristiche principali del corso d'acqua oggetto di studio (inquadramento territoriale, qualità dell'acqua, regime idrologico, presenza di vegetazione, grado di artificialità, ecc.) e di esprimere un giudizio sintetico sul suo stato (per tratti e nel complesso). L'indagine conoscitiva proposta ricalca a grandi linee la metodologia STRARIFLU (Strategie di Riqualificazione Fluviale), sviluppata nell'ambito del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA – Allegato 13) della Regione Lombardia, a cui si rimanda per maggiori chiarimenti ed approfondimenti, calandola nella realtà dei corsi d'acqua rurali.

Apparentemente si tratta di uno sforzo, che potrebbe sembrare sproporzionato all'entità di molti interventi minori, che vengono poi realizzati. In realtà, sono proprio questi a beneficiare di una tale procedura, la quale, costringendo ad una riflessione più ampia, evita gli interventi scollegati tra loro o addirittura inefficaci, perché contrastanti con processi di più ampia scala. Si tenga anche presente che molte delle informazioni richieste esistono già in diverse forme, spesso informatizzate, e che, anche in assenza di alcuni elementi conoscitivi previsti, la fase più importante è l'identificazione in maniera chiara e trasparente degli obiettivi di riqualificazione.

In ogni caso, il percorso proposto vuole essere un riferimento, che dovrà poi essere adattato ed eventualmente semplificato a livello locale, in relazione alle specifiche caratteristiche di ogni corso d'acqua ed al quadro conoscitivo già disponibile, piuttosto che una rigida procedura da seguire pedissequamente.

3.2 Implementazione della Caratterizzazione Integrata

Il processo di caratterizzazione dovrebbe essere sintetizzato in una relazione tecnica finale, così articolata:

- Inquadramento territoriale, fisico e programmatico, dell'area in cui è inserito il corso d'acqua. L'inquadramento fisico comprende la definizione dei confini e delle relazioni col reticolo idrografico ampio, la caratterizzazione paesaggistica, geomorfologica, pedologica, idrologica, climatica, vegetazionale, faunistica, l'uso del suolo, cenni storici sugli usi e gli interventi nel passato. L'inquadramento programmatico comprende l'individuazione di opportunità, vincoli e linee d'azione, previste dai diversi piani e programmi presenti (piani comprensoriali di bonifica, piani territoriali e urbanistici, piani dei parchi regionali e locali d'interesse sovracomunale ecc.).
- Assetto del corso d'acqua da riqualificare: problematiche e potenzialità del corso d'acqua, strategie ed obiettivi di riqualificazione.
- Indagine ecologico-ambientale, in grado di fornire un quadro sintetico dei diversi attributi ecologico-ambientali specifici del corso d'acqua e delle fasce laterali. Essa comprende, in particolare: (1) qualità dell'acqua, (2) fauna ittica, (3) habitat fluviale, (4) indagine floristica e vegetazionale, (5) funzionalità idraulica, (6) valore paesaggistico e utilizzi antropici.
- Informazioni sui progetti eventualmente esistenti (in attuazione o previsti da altri piani).

- Proposta degli interventi di riqualificazione: rassegna delle soluzioni potenzialmente realizzabili, adattate al caso di studio e alle specifiche problematiche riscontrate.

Chiaramente si tratta di un processo circolare, che parte da una prima definizione delle problematiche e degli obiettivi, i quali andranno rivisti al termine delle successive fasi ed eventualmente modificati, alla luce di quanto emerso con le indagini di dettaglio.

Il grado di completezza e il livello d'approfondimento e dettaglio di ogni analisi conoscitiva dipendono dall'importanza del corso d'acqua (Tabella 3.1); inoltre, è possibile riferirsi a studi preesistenti in merito, la cui esistenza va accertata ancor prima di programmare le operazioni di rilievo e monitoraggio, allo scopo di minimizzare l'impiego di risorse e quindi ottimizzare l'intera caratterizzazione.

Tabella 3.1: importanza dei corsi d'acqua, in relazione alla portata di progetto, e dettaglio richiesto della caratterizzazione integrata (per le sigle e la suddivisione tematica si fa riferimento al testo).

Portata di progetto (Q_p)	Dettaglio della caratterizzazione integrata
$Q_p < 3 \text{ m}^3/\text{s}$ ⁽¹⁾	1. Inquadramento territoriale: necessario. 2. Elaborazione dell'assetto del corso d'acqua: necessaria e completa. 3. Indagine ecologico-ambientale: analisi bibliografica di condizioni limitrofe o simili. 4. Raccolta di progetti esistenti: necessaria e completa. 5. Proposta d'interventi di riqualificazione: necessaria e completa.
$Q_p > 3 \text{ m}^3/\text{s}$	1. Inquadramento territoriale: necessario e completo. 2. Elaborazione dell'assetto del corso d'acqua: necessaria e completa. 3. Indagine ecologico-ambientale limitata a: Qualità dell'acqua: dati e studi riferiti al corso d'acqua o al canale da cui proviene l'acqua; possibilmente l'IBE. Fauna ittica: studi preesistenti inerenti corsi d'acqua o canali dell'area. Habitat fluviale: valutazione di dettaglio (IFF). Composizione floristica: indagine da bibliografia. Funzionalità idraulica: valutazione di dettaglio (IFIA). Attuale fruizione: valutazione di dettaglio (IFP). 4. Raccolta di progetti esistenti: necessaria e completa. 5. Proposta d'interventi di riqualificazione: necessaria e completa.
$Q_p > 3 \text{ m}^3/\text{s}$ e appartenenza alla rete ecologica o attraversamento di aree protette	1. Inquadramento territoriale: necessario e completo. 2. Elaborazione dell'assetto del corso d'acqua: necessaria e completa. 3. Indagine ecologico-ambientale: necessaria e completa. 4. Raccolta di progetti esistenti: necessaria e completa. 5. Proposta d'interventi di riqualificazione: necessaria e completa
(1) Soglia per considerare un canale "corso d'acqua significativo" ai sensi del d.lgs 152/1999 e quindi anche del 152/2006 alla luce della dir. quadro 2000/60	

3.2.1 Inquadramento territoriale

Caratterizzazione fisica

La caratterizzazione territoriale fisica coinvolge sia il corso d'acqua oggetto di studio, sia l'area in cui esso s'inserisce:

Corso d'acqua: confini e relazioni col reticolo idrografico, caratteristiche generali (lunghezza, pendenza media, tipologia del fondo e delle sponde, idrologia, eventuali cenni storici legati a utilizzi o sistemazioni passate, ecc.).

Tabella 3.2: principali fonti dati per Tipo di Paesaggio, vegetazione e uso del suolo.

Fonte di dati	Scala indicativa	Uffici competenti
<p>Carta delle unità geoambientali</p> <p>Rappresenta in modo sintetico le diverse realtà ambientali del territorio, omogenee per caratteristiche fisiografiche e vegetazionali e per modificazioni antropiche. Le unità geoambientali sono riunite in classi, a ciascuna delle quali è associata una scheda GEO 1(caratteristiche, vocazioni, limitazioni all'uso del suolo); ad ogni singola unità è associata una scheda GEO 2, che descrive le peculiarità rispetto alla classe.</p>	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)
<p>Progetto CORINE – Land Cover</p> <p>Cartografia tematica, che articola il territorio in 44 classi di copertura, con unità minima cartografabile pari a 25 ha (in futuro, per alcune classi, 5 ha)</p>	1:100000	APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici)
<p>DUSAF (Destinazione d'Uso del Suolo Agricolo e Forestale)</p> <p>Banca - dati tematica relativa all'uso del suolo extraurbano, organizzata per livelli gerarchici, che approfondiscono le classi di CORINE – Land Cover, con unità minima cartografabile di 2 ha.</p>	1: 10000	Regione Lombardia (ERSAF)
<p>Carta dell'uso del suolo (ad orientamento vegetazionale)</p> <p>Identifica le seguenti categorie principali d'usi del suolo (a loro volta suddivise in classi più specifiche): seminativi, legnose agrarie, prati e pascoli, boschi, vegetazione naturale, vegetazione incolta, ambiti urbanizzati, verde urbano, aree sterili e aree idriche. Specifici indici forniscono il grado di naturalità della vegetazione e il grado di protezione del suolo dalle acque battenti e dilavanti.</p>	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)
<p>Carta dei sistemi verdi territoriali</p> <p>Deriva dall'accorpamento d'aree attribuite a diverse categorie dalle due carte precedenti e rappresenta tre grandi sistemi di verde territoriale:</p> <p>Verde naturale: Boschi (latifoglie, conifere, misti, rimboschimenti, neoformazione), Boscaglie (cespuglieti e arbusteti), Incolti,</p> <p>Vegetazione dei greti, palustre e dei suoli sortumosi, Vegetazione di rupe, Praterie e pascoli.</p> <p>Verde agricolo: Aree agricole, Siepi e filari campestri, Colture legnose agrarie, Colture legnose forestali.</p> <p>Verde urbano e infrastrutturale</p>	1:25000	Provincia (PTCP)
<p>Carta della capacità d'uso del suolo</p> <p>Identifica, secondo otto classi di capacità, le aree che presentano analoghe limitazioni fisiche all'uso agro – silvo – pastorale. In ambiente montano, tali limitazioni riguardano l'acclività dei versanti, la suscettività d'erosione, la franosità, la rocciosità, la frequenza d'esondazioni, le avversità climatiche, l'altimetria, ecc.</p>	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)

Tabella 3.3: principali fonti dati per Clima, Idrologia e Idraulica.

Fonte di dati	Scala Indicativa	Uffici competenti
Carta del vincolo idrogeologico Rappresenta i territori sottoposti al vincolo ai sensi del R.D. 3267/1923 in materia di boschi e terreni montani	1:10000	Regione Lombardia (D. G. Agricoltura)
Carta del dissesto idrogeologico e della pericolosità. Riporta: Aree allagabili (storiche e potenziali) Aree ad elevata vulnerabilità per le acque sotterranee.	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)
Monitoraggio idrometeorologico Le stazioni presenti sul territorio registrano informazioni giornaliere/orarie (in prevalenza non elaborate) su: precipitazioni piovose e nevose, temperature dell'aria, direzione e velocità del vento, umidità dell'aria, radiazione solare diretta e riflessa.	—	Società idroelettriche Regione Lombardia (ARPA) ⁽¹⁾
Carta idrologica. Individua: il reticolo idrografico ed i limiti dei bacini di tutti i corsi d'acqua con lunghezza > 2 km pozzi, sorgenti, acquedotti, scarichi, opere di difesa idraulica, stazioni di rilevamento pluviometrico ed idrometrico la permeabilità del suolo, distinta in tre classi.	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)
Elenco dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo principale Individua i canali e i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico	-	Regione Lombardia (D.G.R. 7/7868 del 2002 e modifiche seguenti)
Studio sul rischio idraulico d'esondazioni Fornisce per il territorio provinciale: Le curve di possibilità pluviometrica, per le piogge di breve durata e forte intensità. La stima delle portate di piena, con determinati tempi di ritorno. La valutazione del rischio d'esondazione, lungo i corsi d'acqua della Provincia.	—	Provincia (PTCP)
Censimento delle concessioni di derivazione (R.D. 1775/1933) Sono stati raccolti e parzialmente integrati con indagini sul territorio i dati degli archivi ufficiali (Intendenza di Finanza, Genio Civile, Provincia), relativi alle derivazioni dai corsi d'acqua per uso potabile, idroelettrico, irriguo ed industriale.	—	Provincia (PTCP)
Catasto degli scarichi Raccoglie, per ogni Comune, i dati degli scarichi civili ed industriali nei corsi d'acqua superficiali, localizzati sul territorio. Per gli scarichi industriali, il catasto fornisce informazioni sulla natura dell'insediamento produttivo, le materie prime impiegate o lavorate, gli addetti e distingue tra scarichi meteorici, di raffreddamento, igienici e produttivi.	—	Provincia (PTCP)
(1) in particolare il progetto MIRI		

Area di studio: il territorio adiacente al corso d'acqua, o comunque avente con esso particolari legami, deve essere descritto secondo le sue caratteristiche peculiari: definizione dei confini, tipologie di paesaggio, vegetazione e uso del suolo, clima, idrogeologia e idraulica, pedologia, geologia e geomorfologia. Nelle tabelle seguenti si riportano le principali fonti di riferimento dei dati.

Tabella 3.4: principali fonti dati per pedologia, geologia e geomorfologia.

Fonte di dati	Scala indicativa	Uffici competenti
CARG (Carta geologica d'Italia) E' in corso di stesura la nuova carta geologica nazionale	1: 50000	APAT (Agenzia per la protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici)
Carta geologica regionale E' in corso di stesura la carta geologica regionale, derivata da quella nazionale. Per le carte nelle fasi più avanzate, assieme alle legende, sono disponibili gli schemi accessori (profili geologici, schemi stratigrafici e strutturali)	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)
Carta litologica Contiene le seguenti indicazioni: Classificazione genetica dei depositi superficiali incoerenti e collegamento con il grado di copertura vegetale Classificazione del substrato roccioso Rilevamento della copertura eluviale e colluviale Affioramenti rocciosi Lineamenti strutturali e giacitura degli strati Profondità del suolo (4 classi)	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)
Carta dei suoli (o pedologica) Individua la distribuzione dei principali tipi di suolo, fornendo informazioni utili a valutare l'idoneità del territorio per le diverse attività umane (agricoltura, selvicoltura, insediamenti, impianti, viabilità, ricreazione, ecc.). La cartografia comprende 4 diverse scale; quella adatta per il piano naturalistico comunale è la scala di dettaglio	1:10000	Regione Lombardia (ERSAF)
Carta geomorfologica Individua le forme naturali del rilievo terrestre, dovute a processi tettonici e strutturali o esogeni (fluviali, lacustri, glaciali, ecc.). Sono inoltre cartografate forme d'origine antropica (cave, discariche, gradonature, ecc.)	1:10000	Regione Lombardia (D. G. Territorio e Urbanistica)
Carta delle valenze geologiche Esplicita i contenuti geologici di maggior rilevanza nel territorio provinciale, raggruppati in 14 classi (aree d'interesse geologico – strutturale, paleontologico, mineralogico, geomorfologico, speleologico, carsico, ecc.). Alle diverse classi di geotopi è stato assegnato un valore di fragilità ambientale (bassa, media, alta)	1:50000	Provincia (PTCP)

Caratterizzazione programmatica

La caratterizzazione di tipo programmatico individua le possibili strategie d'azione, sulla base del quadro pianificatorio di riferimento, tenendo conto di finalità e mezzi, messi a disposizione nei piani territoriali e urbanistici, nei piani di gestione delle aree protette, nei piani comprensoriali di bonifica, ecc.).

3.2.2 Assetto del corso d'acqua da riqualificare

Dopo una prima caratterizzazione generale del corpo idrico è possibile definire in via preliminare gli obiettivi generali di riqualificazione, elaborando così un primo quadro sintetico del corso d'acqua, con l'assetto che raggiungerà una volta risolte le problematiche attuali.

Innanzitutto, si devono discutere i problemi attuali del corso d'acqua, ossia le cause generali che portano a formalizzare la proposta di riqualificazione; essi, ad esempio, possono riguardare la qualità delle acque, il degrado dell'ecosistema fluviale, il conflitto con la forte antropizzazione o l'agricoltura intensiva, il dissesto delle sponde, il rischio idraulico, la domanda di fruizione ricreativa, ecc.

Successivamente s'identificano le potenzialità di riqualificazione del corso d'acqua (localizzazione in zone ad elevata pressione antropica, presenza di aree naturali residue o di strutture storiche, possibilità di valorizzazione paesaggistica, ricreativa ed ecologica, ecc.), evidenziando, in particolare, le valenze ecologico-paesaggistiche.

In ultimo, vengono definiti gli obiettivi generali della riqualificazione, ad esempio: ripristinare un assetto fisico con maggiori elementi di naturalità e un ecosistema meglio funzionante, recuperare l'equilibrio geomorfologico proteggendo le sponde e riqualificando l'ambiente con interventi d'ingegneria naturalistica, raggiungere una buona qualità dell'acqua, aumentare la capacità di autodepurazione, introdurre fasce tampone boscate o arbustive, ottenere una popolazione ittica consistente, gestire in modo "gentile" la vegetazione e i sedimenti, recuperare valori storico-paesaggistici, realizzare interventi per una fruizione sostenibile, ecc.

3.2.3 Indagine ecologico-ambientale

L'indagine ecologico-ambientale viene effettuata valutando diversi aspetti (o attributi) del corso d'acqua, in particolare: (1) la qualità dell'acqua, (2) la composizione della fauna ittica, (3) le caratteristiche dell'ecosistema fluviale, (4) la composizione floristica e vegetazionale, (5) la funzionalità idraulica, (6) il valore paesaggistico e gli usi antropici.

E' necessario precisare che l'eventuale preesistenza di recenti e continuative attività di monitoraggio dei dati, relativi ad un dato aspetto, rende superfluo, per lo stesso, l'approccio di seguito proposto, facendo emergere quindi la possibilità di utilizzare studi precedenti, nel rispetto delle esigenze di completezza, connesse alla grandezza dei canali.

Attività preliminari: suddivisione in tratti e definizione delle stazioni di rilievo

Per caratterizzare il corso d'acqua, è possibile suddividerlo in tratti omogenei sulla base delle caratteristiche ambientali complessive: geomorfologia, vegetazione spondale, tipologie di mesohabitat (Tabella 3.2 Tabella 3.4), presenza di adduttori, scarichi, sbarramenti, ecc. (Tabella 3.5); le stazioni di rilievo delle caratteristiche vengono quindi posizionate in punti strategici e di facile accesso. E' possibile prevedere un numero di stazioni minore del numero di tratti omogenei individuati, caratterizzando i tratti senza rilevamenti sulla base dei valori assunti nella stazione più vicina e di considerazioni qualitative del gruppo di lavoro. Ciascun attributo ambientale è determinato sintetizzando qualitativamente o con metodologie aggregative complesse (si veda per un approfondimento l'Allegato 13 del PTUA della Regione Lombardia) i singoli sub-attributi concernenti la caratteristica in esame, e può riferirsi al corso d'acqua nella sua totalità o nel singolo tratto omogeneo individuato, a seconda della sua importanza per le indicazioni operative.

Tabella 3.5: principali studi a supporto dell'attività di rilievo preliminare sulle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua.

Fonte di dati	Scala indicativa	Uffici competenti
<p>Carta del degrado ambientale</p> <p>Segnala i seguenti aspetti di degrado:</p> <p>Degrado igienico – sanitario (inquinamento di aria, acqua e suolo, insediamenti in condizioni precarie)</p> <p>Degrado paesaggistico (cave e discariche non ricuperate, depositi di materiali, movimenti di terra, ecc.)</p> <p>Degrado idrogeologico (sintesi carta della pericolosità)</p> <p>Degrado vegetazionale (compromissione di boschi, pascoli, superfici agricole)</p>	1:10000	Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)
<p>Carta della pericolosità potenziale in ambito montano</p> <p>Identifica le aree di maggior fragilità, particolarmente vulnerabili dal punto di vista geologico o idrogeologico, così suddivise:</p> <p>Aree con elevata permeabilità</p> <p>Ambiti interferenti con punti di captazione idropotabile</p> <p>Zone estrattive</p> <p>Discariche</p> <p>Aree in fase di bonifica o bonificate</p>	1:50000	Provincia (PTCP)
<p>Monitoraggio idrometeorologico</p> <p>Le stazioni presenti sul territorio registrano informazioni giornaliere/orarie (in prevalenza non elaborate) su: precipitazioni piovose e nevose, temperature dell'aria, direzione e velocità del vento, umidità dell'aria, radiazione solare diretta e riflessa.</p>	—	Società idroelettriche Regione Lombardia (ARPA)
<p>Inventario regionale delle emissioni</p> <p>Fornisce una stima a livello comunale delle emissioni in atmosfera, secondo la metodologia europea CORINE Air, con dati su 14 parametri inquinanti, provenienti da varie fonti puntuali e diffuse (combustioni, processi produttivi, traffico, agricoltura, ecc.).</p>	—	Regione Lombardia (ARPA)
<p>Catasto degli scarichi</p> <p>Raccoglie, per ogni Comune, i dati degli scarichi civili ed industriali nei corsi d'acqua superficiali, localizzati sul territorio.</p> <p>Per gli scarichi industriali, il catasto fornisce informazioni sulla natura dell'insediamento produttivo, le materie prime impiegate o lavorate, gli addetti e distingue tra scarichi meteorici, di raffreddamento, igienici e produttivi.</p>	—	Provincia (PTCP)
<p>Piano ittico provinciale</p> <p>Raccoglie informazioni sulle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua naturali e artificiali ed in particolare lo stato qualitativo delle acque, lo stato della fauna ittica, gli ambiti di pregio ed interesse, le strategie di gestione da adottare e la programmazione degli interventi da realizzare.</p>	—	Provincia

Qualità dell'acqua

Per valutare la qualità dell'acqua, occorre preliminarmente individuare e localizzare l'eventuale presenza di fonti puntuali e diffuse d'inquinamento e/o disturbo ambientale, così da caratterizzare qualitativamente l'entità della pressione antropica sul canale.

La qualità dell'acqua viene poi determinata mediante la classificazione dello Stato Ecologico (SECA), basato sull'Indice Biotico Esteso (IBE) e sul Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori (LIM), così come prevista nel D. Lgs. 152/99; questa normativa, oggi sostituita dal D. Lgs. 152/2006, costituì l'avvio del processo per la classificazione ecologica dei corpi idrici naturali e artificiali. La nuova normativa statale (D. Lgs 152/2006) si differenzia dalla precedente per il puntuale recepimento, in termini letterali, della Direttiva europea 2000/60, senza peraltro apportare significative integrazioni negli spazi che la Direttiva stessa lascia all'autonomia degli Stati membri. In particolare, non sono state precisate le nuove metodiche per il monitoraggio della qualità ecologica dei corpi idrici e, considerato che i criteri della Direttiva non sono direttamente operativi, le Regioni tuttora operano con le precedenti metodiche (LIM e IBE, integrati nel SECA), in taluni casi variamente adattate.

In assenza di tale classificazione, eventualmente proveniente da campagne di monitoraggio preesistenti o derivante dalle attività programmate nei Piani Comprensoriali di Bonifica, è possibile determinare lo Stato Ecologico risalendo ai due indicatori di cui esso si compone, l'Indice Biotico Esteso (IBE) e il Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori (LIM), descritti nel seguito. Per raggiungere una maggiore completezza d'analisi, allo Stato Ecologico può affiancarsi anche lo Stato di Qualità Ambientale (SACA), per la cui definizione deve essere valutato anche lo stato chimico, determinato dalla presenza di sostanze pericolose al di sopra di valori soglia prestabiliti, riportati in Tabella 1 dell'Allegato 1 al D.Lgs. 152/99.

Di seguito si descrivono brevemente le procedure per determinare IBE, LIM e SECA, rinviando alle numerose fonti bibliografiche, facilmente reperibili per maggiori approfondimenti.

Indice Biotico Esteso (IBE): studio della comunità macrobentonica

I macroinvertebrati sono organismi di taglia raramente inferiore al millimetro, rappresentati principalmente da Insetti, Oligocheti, Crostacei, Irudinei e Molluschi. Tutti questi organismi vivono in prevalenza a stretto contatto con il fondo del corso d'acqua, trascorrendo nell'ambiente acquatico l'intero ciclo vitale (per esempio Irudinei, Coleotteri, ecc.) o solo la fase larvale (per esempio la maggior parte degli insetti quali Efemerotteri, Tricotteri, Plecotteri, ecc.). Essi, come si è visto nel capitolo 2, sono una componente fondamentale dell'ecosistema acquatico e costituiscono la fonte principale di cibo per la maggior parte delle specie ittiche presenti nelle acque correnti; il loro studio riveste grande interesse in quanto possono fungere da "bioindicatori". In particolare, esistono categorie di macroinvertebrati molto sensibili alla qualità dell'acqua, che sono quindi poco numerosi in presenza di scarichi inquinanti; all'opposto vi sono altri macroinvertebrati molto tolleranti dell'inquinamento organico, per cui una loro anomala abbondanza è indice di tale tipo d'inquinamento. Su questi presupposti si basa l'Indice Biotico Esteso, che è una rielaborazione dell'indice EBI (Extended Biotic Index), definito inizialmente nel Regno Unito (Woodiwiss, 1978) e successivamente adattato all'impiego nelle acque italiane da Gheti (1986). Il principio metodologico dell'IBE si basa sull'analisi qualitativa della comunità macrobentonica, che è in relazione con lo stato di salute dell'ecosistema fluviale. La sua applicazione consente di valutare il grado d'integrità ambientale di un corso d'acqua, mediante l'assegnazione di un punteggio, che consente di classificare la qualità biologica.

La determinazione dell'indice IBE da attribuire ad una determinata sezione del corso d'acqua si basa su una tabella a doppia entrata (Tabella 3.6), le cui righe riportano come intestazione i diversi gruppi di macroinvertebrati, elencati in ordine decrescente di sensibilità agli effetti delle variazioni ambientali e le cui colonne riportano come intestazione gli intervalli numerici che fanno riferimento al numero complessivo d'unità sistematiche ritrovate durante il campionamento nel tratto d'acqua in oggetto. Incrociando la riga corrispondente al gruppo sistematico più sensibile rinvenuto con la colonna concernente il numero complessivo di unità sistematiche rinvenute, si ricava il punteggio IBE. A questo punto, utilizzando la Tabella 3.7, che pone in relazione il valore di IBE con le classi di qualità, sarà possibile esprimere un giudizio sintetico sulla qualità delle acque.

Per il calcolo dell'indice, vengono prese in considerazione solo le unità sistematiche la cui presenza sia attribuibile ad una colonizzazione stabile dell'ambiente campionato; può infatti accadere di rinvenire macroinvertebrati particolarmente sensibili in tratti fortemente compromessi dall'inquinamento, in quanto vi sono stati trasportati dalla corrente (fenomeno detto "drift"), che li ha allontanati dal loro habitat naturale (per esempio tratti più a monte o affluenti non inquinati). Tale presenza è solo temporanea e, se introdotta nella valutazione, porterebbe ad una sovrastima della qualità ambientale. Per ciascun gruppo sono

disponibili indicazioni e abbondanze minime di riferimento (Ghetti, 1997), per valutare se gli esemplari rinvenuti debbano o non essere considerati trasportati dalla corrente.

Tabella 3.6: calcolo di valore dell'IBE.

Gruppi Faunistici (Primo Ingresso)		Numero Totale delle Unità Sistemiche (U.S) costituenti la comunità (Secondo Ingresso)							
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35
Plecoteri (Leucra) [°]	Più di una U.S.	/	/	8	9	10	11	12	13
	Una sola U.S.	/	/	7	8	9	10	11	12
Efemeroteri (escludere Baetidae e Caenidae) ^{°°}	Più di una U.S.	/	/	7	8	9	10	11	12
	Una sola U.S.	/	/	6	7	8	9	10	11
Tricotteri (includere Baetidae e Caenidae) ^{°°}	Più di una U.S.	/	5	6	7	8	9	10	11
	Una sola U.S.	/	4	5	6	7	8	9	10
Gammaridi, Atiidi, Palemonidi	Tutte le U.S. sopra assenti	/	4	5	6	7	8	9	10
Asellidi	Tutte le U.S. sopra assenti	/	3	4	5	6	7	8	9
Oligocheti o Chironomidi	Tutte le U.S. sopra assenti	1	2	3	4	5	/	/	/
Tutti i taxa precedenti assenti	Possono esserci organismi a respirazione aerea	0	1	/	/	/	/	/	/

[°] nelle comunità in cui la Leucra è presente come unico taxon di Plecotteri e sono contemporaneamente assenti gli Efemeroteri (o presenti solo Baetide e Caenidae), Leucra deve essere considerata a livello dei Tricotteri per definire l'entrata orizzontale della tabella;

^{°°} per la definizione dell'ingresso orizzontale in tabella, le famiglie Baetide e Caenidae sono considerate a livello dei Tricotteri;

/ giudizio dubbio per errore di campionamento, per presenza di organismi drift erroneamente considerati nel conteggio, per ambiente non colonizzato adeguatamente, per tipologie non valutabili con l'IBE.

Tabella 3.7: classi di qualità e relativo giudizio, secondo l'IBE.

IBE	Classe	Qualità dell'acqua	Giudizio	Colore
10+	I	Buona	Ambiente non inquinato o comunque non alterato in modo sensibile	Azzurro
8-9	II	Accettabile	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione	Verde
6-7	III	Dubbia	Ambiente inquinato o comunque alterato	Giallo
4-5	IV	Critica	Ambiente molto inquinato o comunque molto alterato	Arancione
0-3	V	Molto critica	Ambiente fortemente inquinato o comunque fortemente alterato	Rosso

E' importante ricordare che la valutazione della qualità biologica delle acque correnti attraverso l'Indice IBE è complementare della tradizionale analisi dei parametri chimico-fisici (Indice LIM). L'analisi chimico-fisica valuta la qualità delle acque nell'istante in cui è stato prelevato il campione; quindi, se l'apporto di sostanze inquinanti è saltuario nel tempo e il prelievo non è contemporaneo ad esso, è possibile che l'inquinamento non venga rilevato. L'Indice IBE invece rileva anche i fenomeni d'inquinamento avvenuti in passato, purché compresi nella durata di vita degli organismi che prende in esame. Inoltre, l'analisi dei macroinvertebrati valuta direttamente le conseguenze dell'inquinamento sulla comunità macrobentonica.

Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori (LIM)

L'Indice LIM permette di esprimere un primo giudizio di sintesi sul livello d'inquinamento di un corpo idrico superficiale e viene calcolato sulla base delle indicazioni contenute nelle linee guida dell'Allegato 1 al D.lgs. N. 152/99 (Tabella 3.8). I parametri considerati sono molteplici, alcuni facilmente ottenibili utilizzando apposita strumentazione con rilievi in situ nelle stazioni di rilevamento scelte (ossigeno disciolto, temperatura, pH, conducibilità), altri (contenuto organico, concentrazione di nutrienti e carica patogena) provenienti da analisi di laboratorio di campioni d'acqua o da campagne di monitoraggio continuativo da parte degli enti preposti (ARPA, Consorzi di Bonifica, ecc.). In particolare devono essere valutati:

Ossigeno. L'ossigeno è il fattore essenziale per la vita di un corso d'acqua. Una concentrazione insufficiente provoca condizioni d'anossia con ambiente molto riducente, e quindi processi di decomposizione anaerobica delle sostanze organiche, sviluppo di gas maleodoranti, moria di pesci, sconvolgimento di tutto l'ambiente fluviale, in cui s'instaurano condizioni igieniche pericolose. Il D.Lgs. 152/99 - Allegato 2 - indica come valori minimi imperativi: 9 mg/l per le acque salmonicole e 7 mg/l per le acque ciprinicole.

Conducibilità. La conducibilità misura la capacità di una soluzione acquosa di condurre corrente elettrica e dipende dalla quantità di ioni disciolti. La concentrazione di solidi disciolti nelle acque correnti può essere considerata un indicatore generale delle caratteristiche chimiche, che contribuiscono a determinare il livello di produttività biologica di un corpo d'acqua; essa dipende da numerosi fattori, quali: composizione litologica del bacino imbrifero, caratteristiche idrologiche naturali del sistema ed eventuali contributi d'origine urbana, agricola e industriale.

BOD5 - Domanda Biochimica d'Ossigeno (a 5 giorni di distanza). Questo parametro indica la quantità d'ossigeno consumata dai microrganismi aerobi per l'ossidazione biologica delle sostanze organiche. E' un indicatore del carico organico facilmente biodegradabile: quando il BOD in un corso d'acqua è elevato (superiore a 3-4 mg/litro) significa che il carico organico, ancorché rappresentato da sostanze facilmente biodegradabili, è superiore alla capacità autodepurativa del corso d'acqua. Il materiale organico può provenire da fonti naturali (vegetali e/o animali) o antropiche (scarichi di cartiere, tintorie, distillerie, frantoi, caseifici e industrie alimentari in genere). La presenza di un elevato carico organico può provocare nelle acque fenomeni di deossigenazione e di conseguenza si avranno valori di BOD5 elevati.

COD - Domanda Chimica d'Ossigeno. Questo parametro corrisponde alla concentrazione di ossigeno necessaria per ossidare le sostanze organiche ed inorganiche presenti nell'acqua. Esso è fondamentale nel controllo di qualità di un corso d'acqua, poiché misura il grado d'inquinamento complessivo (civile, zootecnico e industriale). Il BOD, infatti, non permette di individuare l'eventuale carico organico dovuto ad inquinanti persistenti (a bassa biodegradabilità), come molte delle sostanze presenti negli scarichi industriali. Per quantificare questi inquinanti, si ricorre al COD, che misura l'ossigeno consumato attraverso l'ossidazione di tutta la sostanza organica. Il rapporto tra BOD e COD nell'acqua permette quindi di capire se gli inquinanti presenti sono ad elevata biodegradabilità (BOD poco inferiore al COD) e presumibilmente d'origine civile o zootecnica, o a bassa biodegradabilità (BOD molto inferiore al COD), solitamente d'origine industriale.

Azoto nitrico (NO₃-). L'azoto è un elemento fondamentale per la vita d'ogni organismo. Nelle acque naturali non inquinate, il fabbisogno d'azoto è garantito dalla presenza di composti organici in fase di decomposizione e dall'intervento di particolari microrganismi, che convertono biologicamente l'azoto presente nell'aria in ammoniaca e nitrati. La presenza di nitrati in eccesso, in acque superficiali inquinate, è attribuibile agli scarichi urbani, agli allevamenti zootecnici, alle acque provenienti dal dilavamento dei terreni trattati con fertilizzanti ed agli scarichi industriali. Un'elevata concentrazione di nitrati, associata alla presenza abbondante di fosfati, e in condizioni favorevoli di temperatura, determina il fenomeno dell'eutrofizzazione.

Azoto Ammoniacale (N-NH₃) e sali d'ammonio. La presenza d'azoto ammoniacale è minima negli ambienti acquatici con basso carico inquinante e ben ossigenati. In queste condizioni, infatti, avviene la totale ossidazione della forma ammoniacale, con la sua trasformazione in azoto nitrico. Nelle acque con un

elevato carico organico in decomposizione, o in generale nelle vicinanze di uno scarico, si osserva un aumento della concentrazione di questo ione, dovuto ad un eccessivo consumo dell'ossigeno presente.

Azoto nitroso (NO₂-). I nitriti presenti nelle acque indicano un'incompleta ossidazione a nitrati delle forme ridotte dell'azoto (organico e ammoniacale), oltre che un'immissione diretta da parte di scarichi industriali. L'azoto nitroso si presenta in ambienti scarsamente ossidati ed è indice di uno stato critico d'inquinamento organico; questo ione è molto tossico anche in piccole concentrazioni, poiché ha la capacità di legarsi all'emoglobina, riducendo la sua capacità di trasportare l'ossigeno nei tessuti dei vertebrati. Il D.Lgs. 152/99 - Allegato 2 - stabilisce come valore massimo 0,88 mg/l per le acque salmonicole e 1,77 mg/l per le acque ciprinicole. Il limite stabilito dall'Allegato 5, per gli scarichi in acque superficiali, è pari a 0,6 mg/l di N-NO₂.

Fosforo totale. Per lo studio dell'eutrofizzazione dei corpi idrici, è importante ricercare anche i composti fosforati. Il ciclo del fosforo è tipicamente sedimentario (nel terreno); in natura esso può avere un'origine inorganica, derivante dalla solubilizzazione delle apatiti, o organica, derivante dalla decomposizione della materia organica. Aggiungasi il fosforo derivante dai fertilizzanti chimici, dilavati dai suoli coltivati per effetto delle piogge, dagli scarichi civili (d'origine metabolica e dai detersivi) e dagli scarichi industriali. La tossicità del fosforo nelle acque è data dalla sua presenza nella forma elementare. Il D.Lgs. 152/99 - Allegato 2 - per il fosforo totale (P.tot.) definisce un valore massimo pari a 0,07 mg/l per le acque salmonicole, e a 0,14 mg/l per le acque ciprinicole.

Escherichia coli. Il ritrovamento nei corpi idrici di microrganismi patogeni (quali virus e batteri), provenienti da deiezioni animali, è in genere sintomo d'inquinamento e di pessime condizioni igieniche. Nelle analisi batteriologiche, per la ricerca di virus e batteri patogeni, si ricorre a determinazioni indirette, nelle quali si cerca di rilevare la concentrazione di specie batteriche, chiamate indicatrici (coliformi o *Escherichia coli*), che si sviluppano nelle stesse condizioni ambientali dei batteri patogeni, ma presentano una maggiore resistenza fuori dell'organismo di provenienza e sono perciò più facili da identificare e coltivare. La loro presenza o assenza in un corso d'acqua implica la presenza o assenza di microrganismi patogeni più deboli; è quindi indice d'inquinamento da sostanze fecali di un corso d'acqua.

Tabella 3.8: calcolo del LIM (tratto dall'allegato 1 al D. Lgs. 152/1999).

Parametro	Livello I	Livello II	Livello III	Livello IV	Livello V
100-OD (% sat.) (*)	< 10(#)	< 20	< 30	< 50	> 50
BOD5 (O ₂ mg/L)	< 2,5	< 4	< 8	< 15	> 15
COD (O ₂ mg/L)	< 5	< 10	< 15	< 25	> 25
NH ₄ (N mg/L)	< 0,03	< 0,1	< 0,5	< 1,5	> 1,5
NO ₃ (N mg/L)	< 0,30	< 1,5	< 5	< 10	> 10
Fosforo totale (P mg/L)	< 0,07	< 0,15	< 0,30	< 0,6	> 0,6
Escherichia coli (UFC/100 mL)	< 100	< 1.000	< 5.000	< 20.000	> 20.000
Punteggio da attribuire ad ogni parametro analizzato (75° percentile del periodo di rilevamento)	80	40	20	10	5
Livello d'inquinamento dai macrodescrittori (LIM)	480 - 560	240 - 475	120 - 235	60 - 115	< 60

(*) la misura deve essere effettuata in assenza di vortici; il dato relativo al deficit o al surplus deve essere considerato in valore assoluto

(#) in assenza di fenomeni di eutrofia

Determinazione dello Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua (SECA)

L'Indice SECA del tratto in esame è determinato confrontando i valori degli Indici IBE e LIM; la classe attribuita è quella corrispondente al valore minore tra i due (Tabella 3.9).

Tabella 3.9: determinazione dello Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua (tratto dall'Allegato 1 al D. Lgs. 152/1999).

Indici	Classi dello stato ecologico				
	Classe 1 (elevata)	Classe 2 (buona)	Classe 3 (sufficiente)	Classe 4 (scadente)	Classe 5 (pessima)
IBE	> 10	8 – 9	6 – 7	4 – 5	1, 2, 3
LIM	480 – 560	240 – 475	120 – 235	60 – 115	< 60

Studio della comunità ittica

I pesci costituiscono l'ultimo anello della catena alimentare, e gli organismi maggiormente presenti nei corsi d'acqua, come biomassa; perciò l'analisi della comunità ittica permette di valutare indirettamente la qualità, la vitalità e la completezza dell'ecosistema acquatico.

Spesso tale analisi non è semplice e dipende dall'adeguatezza del metodo di campionamento utilizzato. La pesca elettrica è il metodo più indicato per il campionamento ittico nei corsi d'acqua di piccoli e medie dimensioni, in quanto, oltre ad essere molto efficace, risulta innocuo per i pesci, i quali possono essere rimessi in libertà, una volta effettuate le analisi necessarie. Questo sistema di pesca si basa sull'effetto che un campo elettrico produce sul pesce: mediante un elettrostorditore, alimentato da un motore a scoppio, viene generato un campo elettrico tra due elettrodi, detti lancia (anodo) e massa (catodo), tra i quali si stabilisce una corrente elettrica nell'acqua. L'efficienza della pesca elettrica è influenzata da alcuni fattori ambientali, quali la conducibilità elettrica dell'acqua (valori troppo bassi fanno sì che l'acqua non conduca adeguatamente la corrente elettrica, mentre valori troppo elevati danno luogo ad una dispersione eccessiva di corrente), la natura del substrato di fondo (maggiore è la sua conducibilità, come nel caso di fondali fangosi, più il campo elettrico si disperde), la profondità dell'acqua (al crescere della stessa diminuisce la possibilità di cattura, sia per una maggiore dispersione di corrente conseguente all'accresciuta distanza tra gli elettrodi, sia per le difficoltà operative nelle acque profonde).

Tabella 3.10: classi dell'indice sintetico di qualità della fauna ittica.

Classe	Significato	Giudizio
I	Ottimo stato della comunità ittica: rispetto alla tipologia e alla vocazione del corso d'acqua è ricca (in termini di biodiversità) e con popolazioni abbondanti e ben strutturate.	Ottimo
II	Buono stato della comunità ittica	Buono
III	Stato mediocre della comunità ittica	Mediocre
IV	Stato scadente della comunità ittica	Scadente
V	Pessimo stato della comunità ittica: rispetto alla tipologia e alla vocazione del corso d'acqua risulta essere molto povera (in termini di biodiversità) e con popolazioni poco abbondanti e destrutturate.	Pessimo

In generale, i pesci catturati sono identificati come specie e misurati allo scopo di valutare lo stato della comunità ittica. I dati ricavati consentono di definire:

- La composizione della comunità ittica, espressa come percentuale d'abbondanza degli individui delle diverse specie ittiche rilevate. Tale valore è approssimativo, a causa della selettività introdotta nel campionamento, che non è esaustivo.
- La struttura delle popolazioni ittiche, che si valuta attraverso l'abbondanza relativa d'individui appartenenti a differenti classi di lunghezza, corrispondenti a differenti classi di età. Lo stato di salute di una popolazione dipende, infatti, non solo dalla sua abbondanza numerica, ma anche da un rapporto equilibrato tra individui delle diverse età. Una popolazione costituita quasi solo da

giovani indica una situazione d'espansione demografica, oppure problemi ambientali, che non consentono la presenza di pesci di maggiore taglia, oppure ancora un eccessivo prelievo d'adulti operato dalla pesca; questo può limitare molto la possibilità di riproduzione naturale nel tratto considerato, venendo a scarseggiare o a mancare i riproduttori fino a quando i giovani presenti raggiungeranno la maturità sessuale. Viceversa, una popolazione con pochi giovani indica problemi per la sopravvivenza delle uova o degli avannotti, necessaria per il successo della riproduzione naturale. Anche tale valore è approssimativo, a causa della selettività introdotta nel campionamento.

La valutazione di sintesi, qualitativa o mediante aggregazioni complesse dei sub-attributi, porta ad individuare diverse classi (Tabella 3.10), estendibili ai tratti non rilevati, tramite considerazioni fisiche (sbarramenti, evidenti variazioni morfologiche, ecc.) e valutazioni del gruppo di lavoro.

Analisi dell'ecosistema fluviale

Valutazione generale.

L'analisi dell'ecosistema fluviale serve a valutare la capacità di un corso d'acqua di resistere all'inquinamento ed autodepurarsi, attraverso una serie di parametri che riguardano l'ecosistema ripario e quello acquatico; il primo, infatti, funge da filtro naturale agli inquinanti provenienti dal bacino scolante, mentre il secondo ha la capacità di degradare le sostanze inquinanti che vi afferiscono. Tali funzioni di filtro e autodepurazione sono tanto più efficienti quanto più il corso d'acqua e le sue rive si trovano in condizioni naturali; la valutazione generale, quindi, deve includere considerazioni qualitative riguardanti la composizione, la continuità e l'ampiezza delle fasce di vegetazione perifluviali, la presenza in alveo di peryphiton e di macrofite, il grado d'artificialità del canale.

Valutazione di dettaglio.

In linea di massima, per valutare analiticamente la qualità e l'integrità dell'ambiente fluviale (costituito dal corpo d'acqua e dalle sponde), è utilizzabile l'Indice di Funzionalità Fluviale IFF (Siligardi et al., 2007), il quale però tende a penalizzare, forse in maniera eccessiva, i corsi d'acqua artificiali. Secondo tale metodo, il grado di naturalità del corso d'acqua viene determinato attraverso una scheda con 14 domande, relative ad altrettanti parametri ambientali, per ciascuno dei quali sono fornite quattro possibili risposte alternative, con i relativi punteggi. L'IFF è stato recentemente modificato e aggiornato alla luce dell'entrata in vigore della Direttiva 2000/60; un'esauritiva spiegazione del metodo e la scheda di rilevamento sono disponibili nel manuale dell'APAT (Siligardi et al., 2007). In ogni caso, il metodo deve considerarsi provvisorio, anche con riferimento ai livelli di funzionalità (attualmente 7), che dovrebbero essere ridotti a 5, in conformità ai livelli dello Stato Ecologico e del Potenziale Ecologico definiti dalla Direttiva Quadro europea sulle acque (v. il 2).

Tabella 3.11: livelli di funzionalità dell'IFF.

Livello di funzionalità	Punteggio	Giudizio
I	261-300	Ottimo
I-II	251-260	Intermedio
II	201-250	Buono
II-III	181-200	Intermedio
III	121-180	Mediocre
III-IV	101-120	Intermedio
IV	61-100	Scadente
IV-V	51-60	Intermedio
V	14-50	Pessimo

Per applicare il metodo, un operatore debitamente istruito si deve recare sul corso d'acqua da indagare e deve attribuire i punteggi, sulla base delle osservazioni richieste dalla scheda, ai tratti omogenei,

rappresentativi del corso d'acqua, individuati inizialmente; quindi si sommano tali punteggi e si giunge ad un risultato finale, che viene tradotto in una corrispondente classe di qualità e nel rispettivo giudizio (Tabella 3.11). Alcuni parametri sono valutati separatamente per le due sponde, ottenendo quindi due giudizi finali, uno riferito alla sponda destra e l'altro a quella sinistra. Le stazioni scelte per l'indagine interessano tratti omogenei, che possono essere considerati rappresentativi dell'intero corso d'acqua, in quanto rispecchiano le caratteristiche fisiche ed ambientali peculiari; l'applicazione dell'IFF a tali tratti permette dunque la caratterizzazione dell'habitat fluviale dell'ecosistema in corso di studio.

Indagine floristica e vegetazionale

Parte delle informazioni legate alla vegetazione riparia deriva dall'analisi generale (cfr. par. 3.2.1) e dai rilevamenti IFF; tuttavia può essere necessario integrare tali informazioni con sopralluoghi aggiuntivi nei tratti non rilevati o con dati provenienti da foto aeree o da studi preesistenti, individuabili nella fase d'inquadramento iniziale del corso d'acqua oggetto della riqualificazione. Lo scopo è quello di caratterizzare la composizione floristica delle fasce riparie e perifluviali, poiché esse costituiscono una componente fondamentale del paesaggio da salvaguardare e possibilmente da potenziare, nel rispetto dei criteri di autoctonia e di similarità con l'assetto vegetazionale preesistente. L'indagine può essere compiuta in tre stadi successivi, che studiano rispettivamente la flora, la vegetazione e le successioni vegetali.

Lo studio floristico comporta l'individuazione delle specie vegetali e si esegue nel campo della corologia, settore che indaga la distribuzione delle piante (areali) in rapporto con le cause che la determinano (corologia ecologica) e le vicende storiche (corologia storica o epiontologia). La flora viene studiata con un metodo qualitativo, basato sull'osservazione degli organismi vegetali presenti in un determinato luogo, distinguendoli in base all'aspetto ed alle loro caratteristiche fino a determinare la ricchezza floristica.

Lo studio vegetazionale si riferisce alle associazioni o comunità vegetali e riguarda gli aspetti associativi delle piante e le cause che li determinano (fitosociologia). L'associazione vegetale, infatti, è un raggruppamento vegetale più o meno stabile ed in equilibrio con l'ambiente, caratterizzato da una combinazione floristica determinata, in cui certi elementi quasi esclusivi (specie caratteristiche) rivelano con la loro presenza una ecologia particolare ed autonoma. La descrizione dei popolamenti vegetali (al fine d'identificare associazioni vegetali di riferimento) esige rilevamenti, la cui tecnica è abbastanza consolidata e prevede l'osservazione e memorizzazione di tre categorie di dati, relative rispettivamente alla stazione, alla struttura verticale e orizzontale e alla composizione floristica relativa.

Lo studio del paesaggio vegetale integra le tipologie vegetazionali nella costruzione del paesaggio, interpretandone le interrelazioni (sinfitosociologia o fitosociologia del paesaggio o fitosociologia integrata). In particolare, si evidenzia la probabilità che una determinata vegetazione possa evolvere in stadi differenti; in questo contesto, la successione esprime il fatto che nel medesimo sito differenti comunità si presentano in successione temporale, mentre invece si definisce serie l'insieme delle comunità (associazioni) che si presentano regolarmente in una successione.

Funzionalità idraulica

Valutazione generale.

In questa parte, sono descritti i principali problemi di funzionalità idraulico-agraria, evidenziando i punti critici sotto diversi punti di vista (esondazioni, cedimenti di sponda, depositi di sedimenti, perdite, ecc.). Questi aspetti legati all'assetto idraulico devono essere localizzati, assegnando diversi livelli di criticità idraulica ai tratti individuati in precedenza.

Valutazione di dettaglio.

Per quanto riguarda questi aspetti, è stato elaborato dall'Istituto di Idraulica Agraria dell'Università degli Studi di Milano, nell'ambito del progetto regionale Mo.Na.Co. (Monitoraggio e Naturalizzazione dei Corsi d'acqua in ambito rurale - AA.VV., 2006), un Indice di Funzionalità Idraulico-Agraria (IFIA), finalizzato a misurare la distanza del corso d'acqua rurale, oggetto di rilevamento (o di un possibile scenario), rispetto ad una situazione di massima efficienza idraulica. In linea di principio, questa è garantita da canali stabili e regolari, caratterizzati da resistenza al moto e necessità di manutenzione minime, massima flessibilità di manovra e assenza di perdite. I sub-attributi (o criteri foglia) considerati esprimono la flessibilità in termini di gestione idraulica della rete, l'efficienza idraulica in termini di perdite e l'efficienza in termini di manutenzione.

Valore paesaggistico e utilizzi antropici

Un altro aspetto della riqualificazione è costituito dalla valorizzazione degli aspetti storico – culturali e paesistici dei canali, anche attraverso il recupero della memoria storica. Legare l'aspetto naturalistico a quelli paesistico, storico e culturale può essere, infatti, un “valore aggiunto” del progetto, che consente di coinvolgere maggiormente i cittadini e i Comuni. Questa sezione dello studio si prefigge i seguenti obiettivi:

- fornire agli Amministratori locali un contributo per preservare e valorizzare il patrimonio storico del territorio nell'ambito della pianificazione urbanistica;
- promuovere la cooperazione delle scuole, nell'ambito dei programmi educativi, con iniziative mirate (mappe culturali);
- fornire elementi conoscitivi utili alla proprietà, per il ripristino e la valorizzazione delle emergenze storiche – architettonico – ambientali tuttora presenti (antiche strade di campagna, boschi, cascine, fontanili, mulini, ecc.);
- contribuire ad una fruizione del territorio consapevole dei suoi valori storico – culturali, soprattutto da parte degli agricoltori (come fonte di reddito) e dei cittadini (per lo svago e il tempo libero).

Nel momento in cui una comunità locale matura l'interesse a riqualificare, come parte della sua identità, i corsi d'acqua che attraversano il suo territorio, il primo problema che deve affrontare è quello della conoscenza; esso è meno difficile con riferimento alle testimonianze materiali del patrimonio storico – culturale.

È importante sottolineare che la presente ricerca volge la propria attenzione a quello che viene definito il “patrimonio storico minore”, intendendo come tale un insieme d'elementi, spesso “invisibili” alla maggioranza delle persone (proprio perché ritenuti di minore importanza e quindi maggiormente a rischio di essere cancellati), diffusi nelle campagne, quali: pietre miliari, chiuse e ponti in granito delle rogge, mulini, ponti a dorso di mulo in mattoni, ghiacciaie, strade sterrate, cappelle votive, ma anche manufatti molto più recenti come, ad esempio, i cippi commemorativi dei caduti delle guerre mondiali nei cimiteri di campagna. Non si deve inoltre tralasciare l'indicazione delle costruzioni più importanti e maggiormente conosciute, come ad esempio fortificazioni medioevali, case nobiliari, chiese, abbazie, ville, cascine, antichi opifici. Nella schedatura, si tratta di costruire un repertorio specialistico, concernente la consistenza e le caratteristiche di questo patrimonio storico ed architettonico, che consenta di attivare successive azioni mirate di conservazione e valorizzazione.

In una prima fase, si possono consultare gli studi ad ampia scala disponibili (Tabella 3.12), e si può risalire ad informazioni storiche (catasti antichi, ecc.), per individuare vie di comunicazione, boschi, ripe alberate, coltivazioni, ecc. nel passato. In seguito questi elementi sono ricercati sul territorio insieme con quelli più recenti, indirettamente o attraverso sopralluoghi, per verificarne l'esistenza e lo stato di conservazione, esplorando non solo le aree immediatamente adiacenti al corso d'acqua, ma anche il territorio circostante. Si devono, infatti, ricercare le vie d'accesso per una migliore fruizione ricreativa del corso d'acqua e delle aree limitrofe, anche utilizzando e recuperando le vie di comunicazione del passato.

Se dai singoli manufatti esistenti con valore storico-culturale si passa al paesaggio ed alla memoria storica, i criteri d'analisi e valutazione diventano più complessi e peculiari, perché riguardano la tessitura storica del territorio, comprendente le partiture poderali e le quinte verdi della campagna, i contesti ambientali (morfologici, vegetazionali o insediativi) evocativi o testimoniali della memoria storica, gli orizzonti sensibili, le emergenze paesistiche visibili da percorsi o punti d'osservazione particolari.

Ci sono – infine – elementi immateriali del patrimonio culturale legato ai corsi d'acqua, che non sono suscettibili di rilevamento sul territorio, ma esigono ricerche bibliografiche ed archivistiche. Tutti i corsi d'acqua, inclusi i canali storici, influiscono in vario modo sulla storia degli insediamenti e delle attività umane (agricoltura, artigianato, industria), ma anche su relazioni ed eventi particolari della storia locale. Di conseguenza, nelle biblioteche e nei fondi archivistici si trova spesso un ricco materiale documentario, relativo ai rapporti storici tra i corsi d'acqua, il territorio, l'economia e la società locale. La ricostruzione della memoria storica presuppone anche il recupero e l'ordinamento in forma cronologica di queste notizie scritte e cartografiche, che potrà essere opportunamente realizzato coinvolgendo i Comuni e le scuole, in particolare attraverso lo strumento delle mappe culturali (Di Fidio e Bischetti 2008).

Tabella 3.12: principali fonti dati per l'analisi delle valenze ecologiche e ambientali.

Fonte di dati	Scala indicativa	Uffici competenti
<p>Carta della natura</p> <p>Individua 48 grandi sistemi naturali presenti in Italia, denominati “sistemi di paesaggio”, nei quali sono descritti i principali habitat, secondo il loro valore naturale e la vulnerabilità. La carta consente d'individuare anche i collegamenti biotici tra le aree significative (corridoi ecologici)</p>	1:50000	<p>Ministero dell'Ambiente (Servizio Conservazione della natura)</p> <p>Regione Lombardia (D.G. Qualità dell'ambiente)</p>
<p>Progetto Bioitaly</p> <p>Formulario standard: contiene dati per l'identificazione del sito e informazioni ecologiche (specie ed habitat presenti, qualità e importanza, vulnerabilità, stato di protezione).</p> <p>Relazione: descrive in modo più dettagliato le caratteristiche ecologiche di ciascun sito.</p> <p>Cartografia</p> <p>Ortofotocarta</p> <p>Carta storica IGMI 1889 (confini)</p> <p>Carta tecnica regionale 1980 – 93 (confini)</p> <p>Carta del contesto territoriale (confini, corsi d'acqua, strade, urbanizzato 1880, 1950, 1994)</p> <p>Carta degli habitat (principali biotopi del progetto CORINE – Biotopes)</p>	<p>1:25000</p> <p>1:10000</p> <p>1:25000</p> <p>1:50000</p>	<p>Ministero dell'Ambiente (Servizio Conservazione della natura)</p> <p>Regione Lombardia (D.G. Qualità dell'ambiente)</p> <p>Provincia</p>
<p>Cartografia faunistico - venatoria</p> <p>Riporta i confini delle aree protette ai sensi della normativa faunistico – venatoria (oasi di protezione, zone di ripopolamento e cattura, aziende faunistico – venatorie, ecc.).</p>		<p>Provincia (piano faunistico – venatorio)</p>
<p>SIBA (Sistema informativo Beni Ambientali)</p> <p>Raccoglie le informazioni sui vincoli di tutela paesaggistico – ambientale, ai sensi delle leggi 1497/1939 e 431/1885 e del piano territoriale – paesistico regionale. Per ogni bene tutelato, il repertorio fornisce: localizzazione, descrizione, norme vigenti, immagini fotografiche, stralci catastali.</p>	1:10000	<p>Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)</p>
<p>Carta delle rilevanze naturalistiche e paesaggistiche</p> <p>Evidenzia i contenuti del paesaggio come bene culturale, testimonianza dell'interazione tra uomo e ambiente. Le indicazioni sono raggruppate nei seguenti temi: rilevanze archeologiche, storiche, tradizionali, naturalistiche, estetico – visuali.</p> <p>Alle rilevanze archeologiche e storiche è associato un repertorio delle informazioni censite, che riporta per ogni Comune l'elenco dei beni, con una breve relazione.</p>	1:10000	<p>Regione Lombardia (D.G. Territorio e Urbanistica)</p>
<p>Carta degli ambiti, sistemi ed elementi di rilevanza paesistica</p> <p>ripartiti nelle seguenti categorie:</p> <p>Paesaggio della naturalità</p>	1:25000	<p>Provincia (PTCP)</p>

Paesaggio della natura e delle aree coltivate Paesaggio agrario delle aree coltivate Sistemi ed elementi di rilevanza paesistica		
Carta delle zone di particolare interesse paesistico – ambientale Ridefinendo gli ambiti cartografati dal PTPR, sono state identificate le zone che, per notorietà e riconosciuta rilevanza paesistica, rappresentano un patrimonio culturale d'interesse sovracomunale, così classificate: Ambiti d'elevata naturalità Zone con funzioni di filtro tra gli ambiti naturali e i contesti più antropizzati Aree di pregio paesistico – ambientale Aree agricole di particolare interesse naturalistico (fontanili) Aree di rispetto dei corsi d'acqua secondari	1: 50000	Provincia (PTCP)

L'indice di funzionalità paesaggistica (IFP)

Tradizionalmente, il paesaggio ed i beni culturali e ambientali sono rilevati e valutati con criteri qualitativi, poiché la loro natura sfugge ai calcoli ed ai bilanci quantitativi delle scienze fisiche ed ecologiche. Questa situazione rende più difficile il loro studio ed anche il confronto con i beni naturali e il coordinamento tra le rispettive politiche di tutela, ricupero e valorizzazione, che costituisce un'esigenza imprescindibile dei programmi di riqualificazione dei corsi d'acqua.

Va peraltro osservato che, negli ultimi anni, anche in Italia si sono affermati nuovi indirizzi, favorevoli ad affiancare metodi di valutazione oggettiva (ponderale) del paesaggio ai tradizionali criteri soggettivi (di fatto lasciati alla discrezionalità d'esperti e funzionari). Si vedano in tale senso le "linee guida per l'esame paesistico dei progetti", approvate dalla Regione Lombardia (d.g.r. 8 novembre 2002, n.11045), le quali distinguono 5 classi ponderali di sensibilità paesistica, in conformità a tre criteri (morfologico-strutturale, vedutistico e simbolico).

Sulla stessa linea di pensiero si colloca un rigoroso metodo quantitativo di caratterizzazione degli aspetti paesaggistici e di fruizione dei canali, rappresentato dall'Indice di Funzionalità Paesaggistica (IFP), elaborato dall'Istituto di Idraulica Agraria dell'Università degli Studi di Milano, nell'ambito del già citato progetto regionale Mo.Na.Co. L'obiettivo dell'indice proposto è quello di esprimere il ruolo del canale rurale nell'ambito del paesaggio circostante (attuale o anche di un possibile scenario), rilevandone la distanza dal paesaggio tradizionale della zona, limitatamente al corso d'acqua ed alla fascia di territorio immediatamente circostante. Fanno parte di questa valutazione, oltre agli aspetti legati alla rilevanza visuale del canale, anche quelli legati alla rilevanza storico-culturale dei manufatti e alla fruibilità per scopi ricreativi.

L'indice di funzionalità paesaggistica è collegato con quelli di funzionalità ecologica ed idraulico-agraria, corrispondenti alle principali funzioni dei canali rurali, giungendo così a formulare un indice di funzionalità complessiva.

Valutazione multifunzionale e potenziale ecologico massimo dei canali rurali

Gli studi realizzati dall'Istituto d'Idraulica agraria sulla valutazione multifunzionale dei canali rurali forniscono una soluzione semplice ed equilibrata al problema del coordinamento, aperta a possibili integrazioni e modifiche tecniche, relative ai singoli parametri e indici utilizzati. Il metodo (Tabella 3.13) definisce ed associa tre indicatori di funzionalità dei canali: Indice di Funzionalità Idraulico – Agraria (IFIA), Indice di Funzionalità Paesaggistica (IFP), Indice di Funzionalità Ecologica (IFE).

Le tre funzionalità dovrebbero essere il più possibile in equilibrio tra loro ed al massimo livello possibile. Le interazioni reciproche possono essere esplicitate rappresentando i tre indicatori di funzionalità in un diagramma a tre assi, con valori compresi tra 0 e 1. Il diagramma consente di valutare lo scostamento della

situazione attuale da quella ideale, in cui sono massimi i valori delle tre funzionalità, nonché gli effetti complessivi delle misure volte a migliorare l'efficienza di una data componente. Il metodo risulta dunque particolarmente utile per la programmazione.

Tabella 3.13: la gerarchia di valutazione multifunzionale dei canali rurali.

Criteria di settore	Criteria - foglia	Indicatori	
Funzionalità ecologica	Condizioni vegetazionali delle rive e del territorio	Stato del territorio circostante	
		Vegetazione presente nella fascia perifluviale	
		Ampiezza della fascia di vegetazione perifluviale	
		Continuità della fascia di vegetazione perifluviale	
	Ampiezza dell'alveo bagnato e struttura delle rive	Condizioni idriche dell'alveo	
		Conformazione delle rive	
	Struttura dell'alveo	Strutture di ritenzione degli apporti trofici	
		Erosione	
		Sezione trasversale	
		Struttura del fondo dell'alveo	
		Raschi, pozze o meandri	
	Caratteristiche biologiche	Componente vegetale in alveo bagnato	
		Detrito	
Comunità macrobentonica			
Funzionalità paesaggistica	Rilevanza visuale	Ampiezza dell'alveo	
		Formazioni lineari (siepi e filari)	
		Edifici ed infrastrutture lungo il corso d'acqua	
	Rilevanza storico - culturale	Vegetazione tipica	
		Rivestimento dei canali	
		Manufatti idraulici principali	
		Manufatti idraulici minori	
	Fruizione	Fruibilità del percorso	
	Funzionalità idraulico - agraria	Inerzia idraulica	Coefficiente di scabrezza
			Caratteristiche delle opere di regolazione
Perdite		Entità delle perdite in alveo	
Manutenzione		Stabilità delle sponde	
		Fattibilità della manutenzione	

Il valore della funzionalità complessiva è dato dalla media (eventualmente ponderata nelle diverse situazioni territoriali) fra i tre indici. Questi tuttavia sono tenuti opportunamente separati e in futuro potranno anche coincidere con indicatori formali derivati dalla vigente normativa (assegnando il valore 1 alla classe migliore e il valore 0 alla classe peggiore). Nell'impostazione iniziale, per l'indice IFE è stato adottato l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF). Per gli altri due indici (IFP e IFIA), data la carenza di esperienze specifiche, è stata definita una serie di parametri specifici.

In definitiva, il suddetto metodo di valutazione multifunzionale si rivela molto efficace anche ai fini della Direttiva Quadro, poiché consente di delimitare il “potenziale ecologico massimo” dei canali rurali, come lo spazio massimo che può essere attribuito alla funzionalità ecologica, senza effetti negativi significativi sulla funzionalità idraulico – agraria e con il massimo di sinergie possibili con la funzionalità paesaggistica, nel rispetto del valore storico – culturale dei canali. Di conseguenza, l'applicazione di questo metodo appare consigliabile, per definire in modo ottimale le condizioni al contorno del “potenziale ecologico massimo” dei canali, il quale, a differenza dello “stato ecologico elevato” dei corsi d'acqua naturali, non costituisce un dato naturale da registrare, ma una scelta ponderata di programma.

3.2.4 Raccolta delle proposte progettuali esistenti

Al fine di caratterizzare con completezza il caso di studio, è necessario risalire ai progetti di riqualificazione/sistemazione in corso o realizzati in passato. Si potrà così costruire un quadro più esauriente degli interventi, evidenziando criticità risolte o irrisolte, evitando di sovrapporsi ad azioni in atto e di ostacolarne altre, ma piuttosto agendo in sinergia.

3.2.5 Possibili linee d'azione

Alla luce dei problemi e delle opportunità emersi, degli obiettivi prefissati e dell'assetto del corso d'acqua riqualificato, si possono infine identificare gli interventi più utili per la riqualificazione del corso d'acqua oggetto di studio. Nella Tabella 3.14 si propongono alcune linee d'azione generali e opzioni d'intervento che le concretizzano, successivamente combinate tra loro per ricercare l'alternativa progettuale, che meglio raggiunga gli obiettivi e soddisfi i portatori d'interesse.

Tabella 3.14: linee d'azione generali per la riqualificazione dei corsi d'acqua, in relazione agli obiettivi stabiliti.

Obiettivi	Linee d'azione	Opzioni d'intervento
Qualità dell'acqua	Aumento della capacità autodepurativa del corso d'acqua e del territorio limitrofo	<p>Fitodepurazione e zone umide fuori alveo per il trattamento/finissaggio del carico puntiforme (zone umide fuori alveo, impianti di fitodepurazione “classici”).</p> <p>Sistemi Filtro Forestali in connessione con i sistemi di fitodepurazione.</p> <p>Fasce Tampone Boscate per trattenere gli inquinanti d'origine diffusa.</p> <p>Modifiche all'assetto morfologico ed ecologico, per aumentare la capacità autodepurativa del corso d'acqua.</p> <p>Verificare la possibilità di migliorare il sistema depurativo tradizionale.</p>
Naturalità	Ripristinare un assetto fisico più “naturale” e un ecosistema acquatico ben funzionante	<p>Stesse opzioni definite per l'obiettivo “qualità dell'acqua”, ma avendo cura di raggiungere obiettivi legati all'ecosistema (creazione di habitat, ecc.).</p> <p>Passaggi per la fauna ittica in prossimità degli sbarramenti trasversali.</p> <p>Creazione di microhabitat specifici per pesci, ad esempio utilizzando tecniche d'ingegneria naturalistica.</p> <p>Forestazione della fascia riparia per fini naturalistici, indipendentemente dalla funzione tampone.</p> <p>Manutenzione gentile di sedimenti e vegetazione.</p>

Fruizione	Fruizione sostenibile	Percorsi e interventi per promuovere una fruizione sostenibile. Creazione di mappe culturali e strumenti divulgativi, relativi alle valenze storico-paesaggistiche. Stesse opzioni definite per gli obiettivi “naturalità” e “qualità dell’acqua” (migliorano la percezione del luogo).
Sistemazione delle sponde	Intervenire in sinergia con gli obiettivi “naturalità” e “fruizione”	Ingegneria naturalistica. Favorire, ove possibile, la naturale dinamica fluviale.
Diminuzione del rischio idraulico	Restituire spazio al corso d’acqua, in sinergia con gli obiettivi “qualità dell’acqua” e “naturalità”	Zone umide fuori alveo per l’esondazione controllata delle piene. Si tratta delle stesse aree funzionali agli obiettivi “qualità dell’acqua” e “naturalità”.

3.3 Bibliografia

AA.VV. (2006). “Progetto Mo.Na.Co. - Monitoraggio e Naturalizzazione dei Corsi d’acqua in ambito rurale – rapporto finale 2006.” Università degli Studi di Milano, Istituto di Idraulica Agraria.

AA.VV. (2007). “Riqualficazione idraulico-ambientale del colatore Addetta – caratterizzazione generale ecologica e ambientale.” Consorzio di Bonifica Muzza Bassa Lodigiana.

CIRF (2006) “La riqualficazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti, ed esperienze per gestire i corsi d’acqua e il territorio.” A. Nardini, G. Sansoni (curatori) e collaboratori, Mazzanti editori, Venezia.

Di Fidio M. , Bischetti G.B. (2008). "Riqualficazione ambientale delle reti idrografiche minori." BTU, Hoepli, Milano, 353 pp.

Ghetti P. F. (1986). “Manuale di applicazione. I macroinvertebrati nell’analisi di qualità dei corsi d’acqua. Indice biotico, modificato Ghetti.” Prov. Autonoma di Trento; Sez. Agraria Sperimentale; Servizio Protezione Ambiente, 105 pp.

Ghetti P. F. (1997). “Manuale di applicazione Indice Biotico esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti.” Provincia Autonoma di Trento. Trento, 1997, 222 pp.

Siligardi et al. (2007). “IFF 2007 – Indice di funzionalità fluviale. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata.” Manuale APAT. Linea grafica Bertelli Editori snc – Trento. Disponibile all’indirizzo www.apat.gov.it.

Woodiwiss F. S. (1978). “Comparative study of biological-ecological water quality assessment methods.” Summary Report. Commission of the European Communities. Severn Trent Water Authority. UK, 45 pp.

Capitolo 4 Azioni per il mantenimento della funzionalità idraulica

Il mantenimento della funzionalità idraulica della rete irrigua e di bonifica rappresenta il fine principale dell'attività di sistemazione e manutenzione dei canali agricoli. Tali obiettivi possono, tuttavia, essere raggiunti mediante tecniche e scelte progettuali, che tengano in considerazione le altre funzioni esercitate dal medesimo corpo idrico, ed in particolare quella ambientale. In generale, i principi fondamentali da seguire possono essere così sintetizzati:

- raggiungimento di condizioni d'equilibrio geomorfologico, in modo da ridurre al minimo il dispendio energetico (e quindi anche economico) necessario al loro mantenimento. In questo caso, il processo d'imitazione degli ambienti naturali e la comprensione dei processi fisici alla base dei fenomeni che avvengono in alveo, portano in genere allo sviluppo di sistemi in grado d'automantenersi nel tempo.
- utilizzo di materiali da costruzione, che riducano al minimo il dispendio energetico complessivo per la loro produzione e trasporto. In tal senso, è utile orientare la scelta verso materie rinnovabili (ad esempio il legname o materiale vegetale vivo) e di produzione locale, anche mediante lo sviluppo di specifiche filiere di produzione, che possono generare fonti di reddito alternative a quelle tradizionali.

Tali principi sono generalmente rispettati con l'impiego di tecniche d'Ingegneria Naturalistica (I.N.), le quali di solito portano ad una serie di effetti positivi, legati ad un aumento della qualità ambientale e ad una maggiore integrazione nel paesaggio rurale delle opere.

L'impiego di tali tecniche, tuttavia, va valutato caso per caso in funzione delle condizioni operative, tenendo sempre ben presente che, in alcune occasioni, esse non garantiscono i requisiti di sicurezza necessari, ed occorre quindi orientarsi verso tecniche d'ingegneria civile. Questo è il caso, ad esempio, di canali che transitano in aree densamente urbanizzate e che sono già al limite della sufficienza idraulica. In tali casi, è comunque possibile impiegare alcune tecniche di I.N. come opere di mitigazione di altri manufatti a maggiore impatto ambientale.

Attualmente, l'impiego delle tecniche di I.N. può comportare un aumento dei costi di realizzazione, comparati a quelli delle tecniche tradizionali, attribuibile a:

- impiego intensivo di manodopera, talvolta dovuto anche all'assenza di attrezzature specifiche e all'irregolarità dei materiali impiegati nella costruzione. Tale problema può essere in parte superato con la costituzione d'impresе specializzate o nel caso in cui l'ente gestore abbia a disposizione propria manodopera (lavori in economia) durante il periodo delle manutenzioni, coincidente generalmente con la stagione invernale.
- prezzo elevato d'alcuni materiali: in assenza di una filiera locale e specializzata, il loro reperimento può essere difficoltoso e costoso. Anche in questo caso l'aumento della domanda e lo sviluppo di un mercato articolato possono portare ad un aumento dell'offerta e ad una conseguente riduzione dei costi.
- necessità di spazio: le tecniche di I.N. richiedono solitamente maggior spazio, che va quindi o sottratto all'alveo (compatibilmente con le necessità idrauliche della sezione) o acquisito esternamente.

Le tecniche di I.N., inoltre, prevedono in genere l'utilizzo della vegetazione arbustiva, mentre le sponde dei canali sono, in grandissima parte, tenute "nude" o coperte da essenze erbacee, sulle quali si effettuano periodici sfalci. Tale situazione risponde alla necessità di garantire un facile accesso ai canali e una manutenzione spondale semplificata, mentre una vegetazione spondale maggiormente articolata ed ottenuta con essenze opportunamente studiate risponderebbe a diverse esigenze, sia tecniche sia ambientali. L'impianto di vegetazione sulle sponde risolve con immediatezza i problemi tecnici legati all'erosione e contemporaneamente crea i presupposti per un aumento della biodiversità, indispensabile allo sviluppo di fasce tampone e nicchie ecologiche. Questo tipo di tecniche, tuttavia, provoca un aumento più o meno significativo della scabrezza totale dell'alveo, che si traduce in altezze idrometriche maggiori a parità di portata transitante (Università degli Studi di Milano, 2004). La valutazione dell'aumento di scabrezza è generalmente difficoltosa, a causa del particolare tipo d'interazione tra la vegetazione riparia e il deflusso; essa, infatti, da una parte condiziona e dall'altra è contemporaneamente condizionata dalla corrente, in modo biunivoco, determinando rilevanti incertezze nella valutazione della resistenza offerta. Cruciale per la progettazione di questo tipo d'interventi è quindi la metodologia di calcolo da utilizzare; l'argomento è di

una certa complessità e si rimanda all'Allegato A per la sua trattazione. In ogni caso le essenze scelte, oltre a rispettare il criterio dell'autoctonia, dovrebbero preferibilmente essere sempreverdi o con foglie piccole, per limitare al massimo l'eventuale intasamento delle opere idrauliche poste a valle (Puzzi et al., 2005).

Come sopra accennato, gli interventi di sistemazione spondale realizzati con l'impiego di vegetazione hanno una duplice efficacia e sono particolarmente indicati per stabilizzare le sponde dei canali, spesso realizzate con pendenze elevate, per ridurre l'area sottratta alla coltivazione (i valori di scarpa risultano prossimi all'angolo di resistenza al taglio del materiale costituente), consentendo di diminuire i fenomeni erosivi. Questi vantaggi consentono di bilanciare taluni svantaggi di carattere idraulico - agrario (riduzione delle sezioni utili al deflusso), ed in parte anche ambientale (incremento della torbidità e dell'interrimento del fondo).

Gli interventi di stabilizzazione delle sponde, effettuabili con l'impiego di tecniche d'ingegneria naturalistica, al posto delle abituali sistemazioni idrauliche in materiali inerti, sono ormai molto numerosi e sicuramente idonei alla riqualificazione ambientale (Regione Lombardia, 2004).

Di seguito vengono descritti alcuni interventi in alveo, finalizzati alla stabilizzazione del fondo e delle sponde, senza alterarne eccessivamente la geometria, che si distinguono per la capacità d'inserirsi in contesti naturali o d'incrementare la disponibilità di habitat degli ambienti acquatici. Si rimanda invece al Quaderno delle Opere tipo d'Ingegneria Naturalistica (d.g.r. n° VII/48740 del 29.02.2000) e ai numerosi testi specializzati, per gli approfondimenti inerenti le tecniche di I.N. ed alla manualistica tradizionale per le opere prettamente di ingegneria civile. Per gli interventi che comportano la modifica della forma della sezione (ad esempio la riprofilatura dell'alveo) si rimanda al capitolo 5 per le rilevanti modifiche ambientali che essi comportano.

4.1 Opere d'alveo trasversali a basso impatto ambientale

Soglie in blocchi o massi

Descrizione generale

Le soglie sono elementi posti in alveo trasversalmente alla direzione di deflusso, allo scopo di stabilizzare il fondo dell'alveo e ridurre i possibili fenomeni erosivi, oppure per mantenere i livelli idrici ad una quota minima compatibile con la derivazione a scopo irriguo.

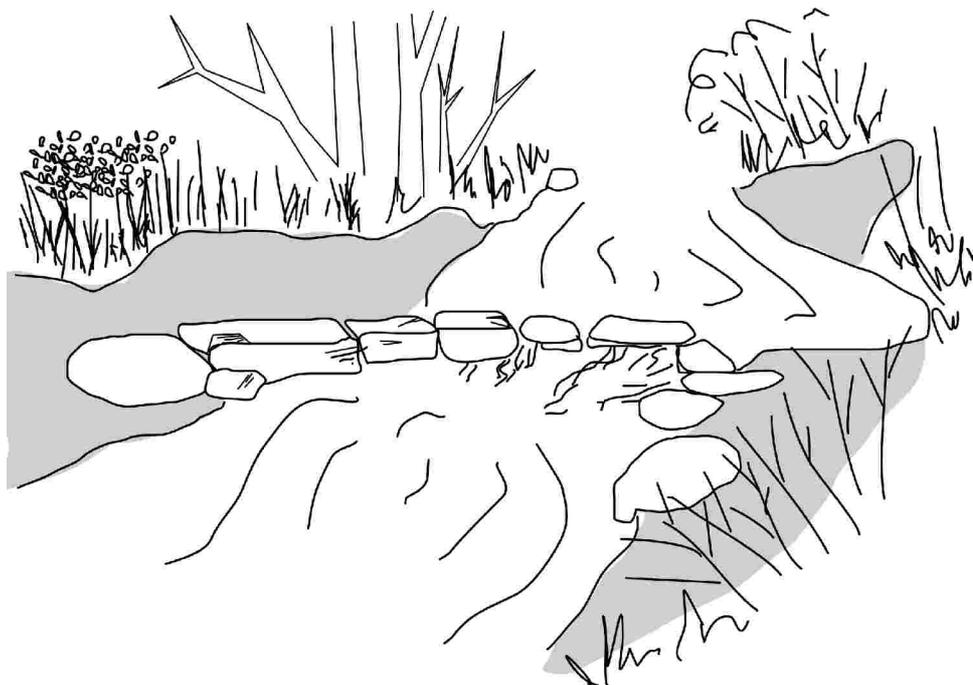


Figura 4.1: esempio di soglia a "V".

Campi d'applicazione

Le soglie in massi sono idonee in tutti i casi in cui occorra fissare la quota dell'alveo, per ridurre la pendenza e ostacolare i fenomeni d'erosione del fondo o derivare una portata minima; se debitamente studiate, esse possono diventare un elemento di variabilità morfologica, adeguata allo sviluppo di nuovi habitat. La costruzione di soglie in massi va presa in considerazione anche in occasione di lavori di restauro di strutture già esistenti; in questo caso i massi possono essere accostati al manufatto da ristrutturare, con una spesa minima dell'intervento.

Modalità d'esecuzione

Le soglie sono solitamente realizzate mediante la posa di una o più file sovrapposte di massi (in questo caso debitamente legati tra loro mediante funi, picchetti o cemento). Oltre alla classica forma rettilinea posta trasversalmente rispetto alla corrente, è possibile realizzare strutture con altre forme (a "V" o a "W"), che meglio si adattano agli scopi della rinaturalizzazione, poiché incrementano la variabilità del fondo, a monte e a valle. Le suddette forme hanno inoltre altri vantaggi, poiché, rispetto ad una soglia lineare di pari larghezza, garantiscono un'altezza di superamento del manufatto minore, pur mantenendo uguale la portata; tale comportamento è spiegato attraverso una maggior lunghezza effettiva della soglia sfiorante (Ferro, 2005). Inoltre, la particolare conformazione dello stramazzo garantisce un aumento dell'ossigenazione delle acque (Ferro, 2005).

Rampe a blocchi in pietrame

Descrizione generale

Le rampe a blocchi sono opere di sistemazione idraulica, che utilizzano come materiale costruttivo pietrame di diversa pezzatura. Esse assolvono a diverse funzioni, quali, la modifica della pendenza e la stabilizzazione del fondo ad una determinata quota, mantenendo una discreta continuità morfologica. Esse permettono la connessione tra gli ecosistemi a valle e a monte dell'opera e favoriscono la mobilità dei pesci e di altra fauna acquatica. A fini idraulici, il processo di dissipazione d'energia è legato alla scabrezza e all'irregolarità della rampa in pietrame (Ferro, 2006); tali caratteristiche creano una favorevole alternanza tra zone a corrente rapida e zone dove la velocità è modesta. Questa situazione garantisce le migliori condizioni per la risalita dell'ittiofauna, per la diversificazione dei microhabitat fluviali e quindi per l'incremento e mantenimento della biodiversità.

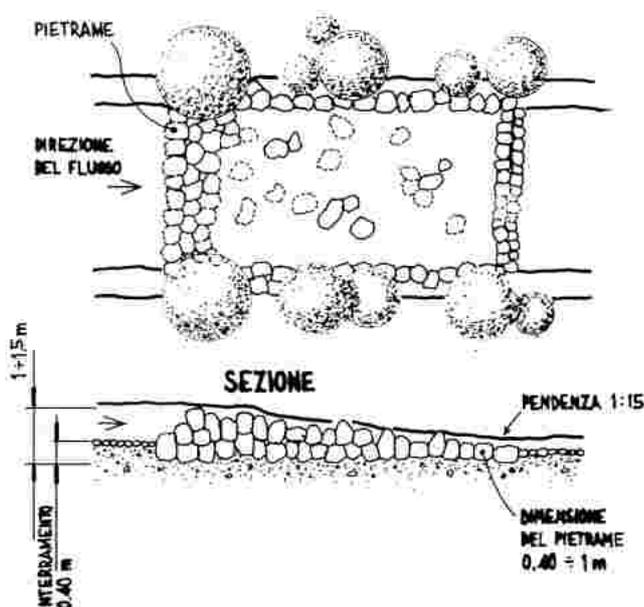


Figura 4.2: rampa a blocchi in pietrame (Regione Lombardia, 2000).

Campi d'applicazione

Le rampe in pietrame sono adatte, quando l'obiettivo della sistemazione idraulica è fissare la quota di fondo, ridurre e diversificare la pendenza e la velocità della corrente, mantenendo nel contempo la continuità morfologica ed ecologica. Esse possono essere realizzate non solo nell'ambito di nuovi progetti

di sistemazione idraulica, ma anche per la ristrutturazione di opere idrauliche tradizionali già esistenti. In alcuni casi, possono essere associate lateralmente a briglie o soglie, per consentire a tutta la fauna ittica di superare l'ostacolo.

Modalità d'esecuzione

Il manufatto va costruito collocando i massi sopra uno strato di ghiaia e pietrisco a fini drenanti, partendo da valle e procedendo verso monte. Nella scelta del pietrame, va attentamente sfruttato l'effetto protettivo dallo scalzamento che i massi più grossi emergenti possono offrire a quelli di dimensioni ridotte. Inoltre, non si potrà prescindere dalla conoscenza dell'entità del trasporto solido e delle caratteristiche morfologiche del corpo idrico in esame. Nei corsi d'acqua di larghezza superiore a 8-10 m, allo scopo di ridurre le erosioni di sponda, è opportuno concentrare il deflusso lungo l'asse principale dell'alveo, realizzando una lieve depressione al centro della rampa e raccordando la stessa alle sponde.

Traversa viva a cespuglio

Descrizione generale

Le traverse vive vengono realizzate in zone di acqua bassa, allo scopo di favorirne l'interrimento. I numerosi rami vivi, infatti, riducono la velocità dell'acqua e determinano la deposizione del materiale solido trasportato, creando inoltre un habitat ottimale per le specie acquatiche e anfibiae.

Campi d'applicazione

Risanamento di sponde in forte erosione mediante interrimento e ricostituzione spontanea di una sezione a doppio trapezio. Tecnica adatta a corsi d'acqua con elevato trasporto solido.

Modalità d'esecuzione

Si realizzano fossi profondi fino a 50 cm, nei quali vengono sistemati, l'uno accanto all'altro, rami vivi di salice rivolti verso valle, fino a creare una barriera compatta di rami, la cui base sarà appesantita e rinforzata con pietre di grosse dimensioni oppure con gabbioni cilindrici riempiti di pietrame, posati e picchettati sino al livello medio dell'acqua.

Pennelli e repellenti vivi

Descrizione generale

Trattasi di opere intermedie tra quelle trasversali rispetto alla direzione di deflusso e quelle radenti. Sono costruzioni che partono dalle sponde e hanno una posizione ad angolo retto o con inclinazione verso valle o verso monte rispetto alla direzione di flusso (Ferro, 2006). Si realizzano mediante l'utilizzo di pali di legno infissi nell'alveo e ramaglia viva o morta intrecciata, con pietrame e talee o altro.

Vengono utilizzati per delimitare il letto di deflusso delle portate minime al centro del corso d'acqua e per proteggere le sponde in erosione, facilitando la sedimentazione del materiale solido fluitato. E' possibile creare un certo grado di meandrazione, disponendo i pennelli o i repellenti in modo alternato.

Campi d'applicazione

I pennelli trovano applicazione in corsi d'acqua con larghezza minima superiore a 8-10 metri, dove è necessario allontanare la corrente dalle sponde e arrestare l'erosione, creando così delle aree nelle quali l'acqua deposita il materiale solido e viene impedita l'asportazione, grazie alla riduzione di velocità della corrente. Essi inoltre hanno un particolare ruolo ecologico, in quanto costituiscono un buon rifugio per la fauna ittica, sia per la diversificazione morfologica, sia per il rallentamento della corrente.

Modalità d'esecuzione

Si esegue uno scavo di fondazione come base d'appoggio per i materiali costituenti i pennelli e si infiggono quindi le file di pali in legname, collegandoli tra loro mediante traverse intercalate a strati di ramaglia morta. Appoggiate ai pali, vengono poi disposte fascine vive di salici che, sviluppandosi, possono rendere il pennello un buon rifugio per la fauna.

4.2 Opere d'alveo longitudinali a basso impatto ambientale

Semine

Descrizione generale

La semina è adottata per ripristinare, nel più breve tempo possibile, la copertura vegetale sulle superfici che sono state oggetto di movimenti di terra. Con tale operazione si migliorano il bilancio termico e idrico e si promuove l'attivazione biologica del terreno; inoltre il suolo è protetto dall'erosione, rendendo più efficaci eventuali altri interventi previsti.

Campi d'applicazione

Le semine sono adatte a consolidare sponde piuttosto acclivi, prive di coperture e soggette ad erosione diffusa. In aree tutelate, vanno, di norma, impiegate solo specie autoctone.

Modalità d'esecuzione

Le essenze vegetali possono essere seminate attraverso diverse tecniche: semina a spaglio, con fiorume, con coltre protettiva di paglia e bitume, a strato con terriccio, idrosemina. Nel caso delle sponde di canali agricoli, in genere, non sussistono particolari problemi.

Piantagioni

Descrizione generale

L'intervento consiste nella messa a dimora di arbusti o alberi autoctoni da vivaio, a radice nuda o con pane di terra (fitocella), allo scopo di stabilizzare aree in erosione o prive di copertura vegetale legnosa.

Campi d'applicazione

Le piantagioni sono caratterizzate da un ampio spettro di possibilità applicative: sponde in scavo ed in riporto, completamenti d'altre opere d'ingegneria naturalistica e di recupero ambientale, stabilizzazione di cumuli di materiale sciolto, ecc.

Modalità d'esecuzione

Viene utilizzata prevalentemente la tecnica d'impianto in buche, la cui dimensione è legata a quella degli apparati radicali delle piantine e alla natura del suolo. Il lavoro d'impianto potrà essere rifinito con la posa di pacciamanti e di ritenitori idrici, e sarà considerato funzionale solo dopo un certo periodo d'assestamento (colonizzazione e sviluppo radicale, eliminazione delle specie infestanti per competizione, ecc.).

Posa di rulli di elofite

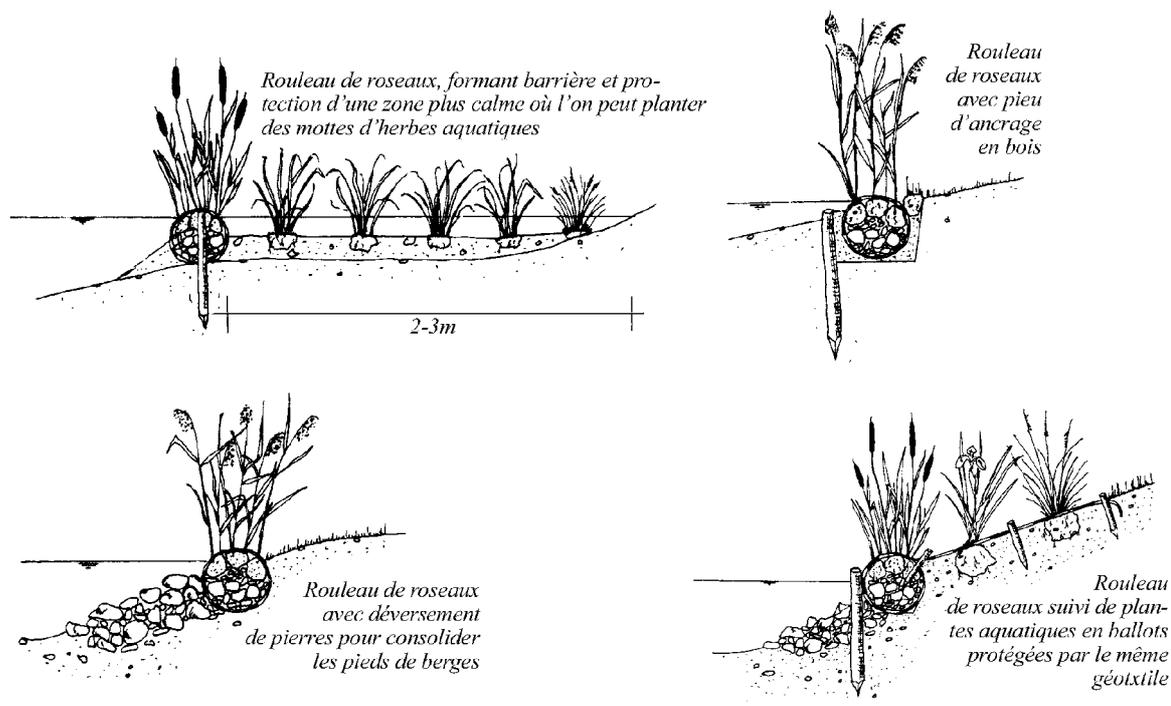


Figura 4.3: esempi di posa di rulli di elofite (modificato da Zeh, 2000).

Nel caso di sponde soggette a periodi di sommersione prolungati, è meglio impiegare specie adatte a tali condizioni, come canne e cannuce palustri, generalmente note con il nome di elofite (letteralmente pianta di palude). Tali specie presentano una conformazione fisiologica tale da permettere la loro sopravvivenza in ambienti anossici, quali quelli sommersi. Esse possono essere messe a dimora mediante la posa di rulli, costituiti da rotoli di rete metallica, riempiti con terra e rizomi, oltre a materiale lapideo per impedire il galleggiamento e fissati a terra mediante paletti. I rulli, disposti longitudinalmente alla direzione di deflusso, possono essere impiegati per delimitare aree laterali a bassa sommersione e velocità limitate o al piede delle sponde, anche in associazione con altre forme di protezione (ad esempio pietrame). Il materiale vegetale viene solitamente raccolto in natura, per mezzo di escavatori o manualmente, sotto forma di cespi (20-30 cm di diametro), il cui tempo di conservazione è piuttosto limitato; pertanto si consiglia un rapido impiego.

Fascinata viva

Descrizione generale

L'opera è costituita da fascine, formate da verghe o ramaglia, in parte morte e in parte con capacità vegetativa e fissate all'interno di un solco scavato nel pendio. Essa ha la funzione di stabilizzare superficialmente e drenare versanti e sponde molto umide, tramite la raccolta e l'allontanamento delle acque superficiali. Questa sistemazione consolida efficacemente il piede delle sponde e riduce la velocità dell'acqua evitando danneggiamenti; inoltre lo sviluppo radicale dei rami vivi consolida l'intera sponda nel lungo periodo.

Campi d'applicazione

L'intervento è adatto su scarpate in terra con inclinazione fino a 35°, con un effetto stabilizzante e consolidante solo dopo la radicazione del materiale vegetale. La disposizione verticale delle fascine ne limita lo sviluppo vegetativo: solo le fascine poste più in alto, ricevendo luce sufficiente, cacciano polloni. Pertanto questa tecnica va adottata solo dove lo scarso spazio a disposizione non consenta altri interventi (Florineth, 1999).

Modalità d'esecuzione

Quest'opera è realizzata annodando, con corde o filo di ferro, lunghi rami di salice, in parte morti e in parte con capacità vegetativa. La fascina così formata viene posata in avvallamenti, creati sulla sponda in corrispondenza del livello medio dell'acqua, e poi fissata al terreno con picchetti in legno o barre metalliche.

Per proteggere le fascine dallo scalzamento, esse possono essere posate sopra un letto di ramaglia.

La fascinata spondale è un'opera immediata, semplice e rapida da realizzare, purché vi sia disponibilità di materiale vegetale in quantità sufficiente.

Una particolare fascinata è quella di tipo sommerso, realizzata con ramaglia morta e appesantita con ghiaia grossa, posata sotto il livello dell'acqua e fissata con picchetti lungo la linea di sponda.

Per rinforzare le fascinate spondali, sia vive sia sommerse, si può avvolgerle con materiali geotessili; essi ne prevengono il dilavamento nella fase iniziale di sviluppo e le proteggono dalla corrente e dai solidi grossolani dalla stessa trasportati.

Gradonata viva

Descrizione generale

La gradonata è un'opera che comporta la realizzazione di banchine orizzontali o sub-orizzontali, costituite da uno scavo inclinato, nel quale viene posto a dimora materiale vegetale vivo. Essa stabilizza la scarpata spondale ed inoltre interrompe il deflusso superficiale delle acque meteoriche. L'impiego di specie vegetali idrovore, come i salici o i frassini, favorisce la diminuzione del contenuto idrico del terreno, rendendolo più resistente agli sforzi di taglio.

Campi d'applicazione

Secondo le tipologie costruttive, le gradonate sono utili per stabilizzare in superficie scarpate naturali o artificiali e zone in erosione. Negli interventi di sistemazione spondale, esse costituiscono un valido sistema di consolidamento del piede e di rinforzo delle fascinate.

Modalità d'esecuzione

Su scarpate in scavo si realizzano, partendo dal basso, dei piccoli gradoni, sul cui fondo si posano rami di salice l'uno accanto all'altro e incrociandoli. Il tutto viene poi ricoperto col materiale di scavo del gradone successivo.

Normalmente vengono realizzate tre diverse tipologie di gradonate:

- gradonate con talee: adatte a sponde ripide, povere e caratterizzate da movimenti superficiali evidenti;
- gradonate con piantine radicate: generalmente realizzate su terreni buoni, ricchi dal punto di vista edafico e ove non sia necessaria una stabilizzazione immediata di dissesti, e cioè quando sia più importante realizzare un soprassuolo arbustivo o arboreo definitivo;
- gradonate miste: è la tipologia più sicura per la sistemazione di modesti fenomeni erosivi.
- Le gradonate inoltre possono essere ulteriormente rinforzate con geotessuto superficiale.

Palificata viva di sostegno

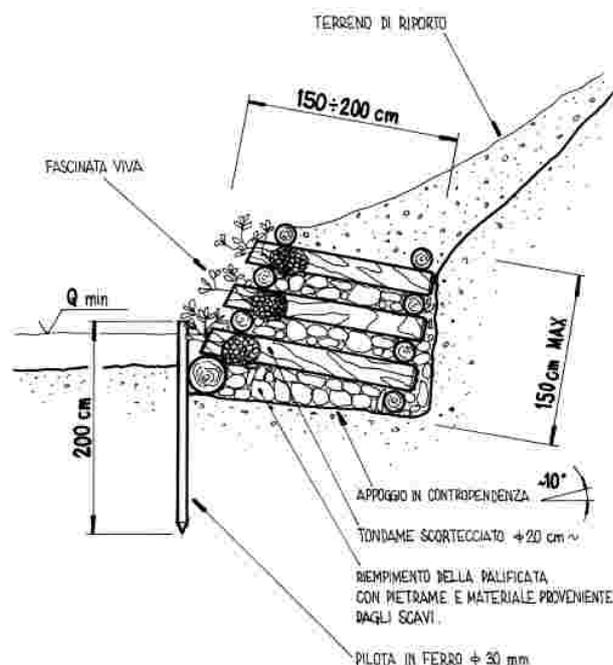


Figura 4.4: palificata viva di sostegno (Regione Lombardia, 2000).

Descrizione generale:

Le palificate sono realizzate combinando tronchi, quali strutture di sostegno, a piante destinate a garantire la stabilizzazione permanente della scarpata spondale (Figura 4.4). La struttura di legno protegge le piante in fase di crescita; le radici che si sviluppano rilevano gradualmente la funzione di sostegno e drenano la scarpata. Nel caso di strutture sommerse, la struttura lasciata vuota costituisce un ottimo riparo per l'ittiofauna.

Campi d'applicazione

Queste opere sono efficaci nella stabilizzazione dei versanti e del piede di pendii e nella difesa delle sponde. Avendo proprietà deformabili e permeabili, esse si adattano molto bene ad interventi su pendii instabili.

Modalità d'esecuzione

Si posano dapprima uno o due correnti, quindi superiormente ad essi i tiranti, eventualmente infilati parzialmente nel terreno. Nel vano così formato, si costruiscono gradonate con ramaglia viva e piante radicate o miste, e poi si copre con materiale di riempimento, debitamente costipato. Si ripete quindi l'operazione, sovrapponendo nuovi correnti e tiranti. L'inclinazione della struttura non deve superare i 60°, in modo tale da garantire un'illuminazione e un'irrigazione sufficienti per tutte le piante, comprese quelle degli interstizi inferiori. Di particolare interesse nella sistemazione dei corsi d'acqua è la palificata spondale livellata.

Grata viva

Descrizione generale

La grata viva è un'opera realizzata con una struttura reticolare di pali di legname, disposti tra loro perpendicolarmente, destinata ad essere stabilizzata definitivamente tramite la messa a dimora di talee e piantine radicate.

Campi d'applicazione

La grata viva è utilizzata per consolidare versanti acclivi con substrato compatto e per stabilizzare pendii e sponde con fenomeni d'erosione superficiale, dove, a causa di pendenze elevate anche superiori a 50°, non è possibile applicare altre tecniche d'ingegneria naturalistica.

Modalità d'esecuzione

Il manufatto può essere realizzato interamente con stangame di salice vivo, oppure con elementi morti, disposti a formare un reticolo semplice o doppio, nel quale verranno poi messe a dimora le piante. Si comincia posando e fissando sul fondo stabile gli elementi verticali, quindi si costruisce la prima traversa, sopra la quale si dispongono i rami o le piante radicate, riempiendo poi la camera con materiale vegetale. Si ripete quindi l'operazione con le traverse successive sino all'altezza di progetto.

Muro in gabbioni con talee

Descrizione generale

La gabbionata può essere assimilata ad un vero e proprio muro di sostegno, da utilizzare per il consolidamento di versanti, scarpate, sponde fluviali. Essa è formata da elementi affiancati e sovrapposti, in modo da formare una struttura modulare, costituiti da "scatole" in rete metallica riempite di pietrame di dimensioni opportune ed eventualmente intasate con terreno vegetale (Figura 4.5). Tali opere sono deformabili, permeabili all'acqua ed alla vegetazione.

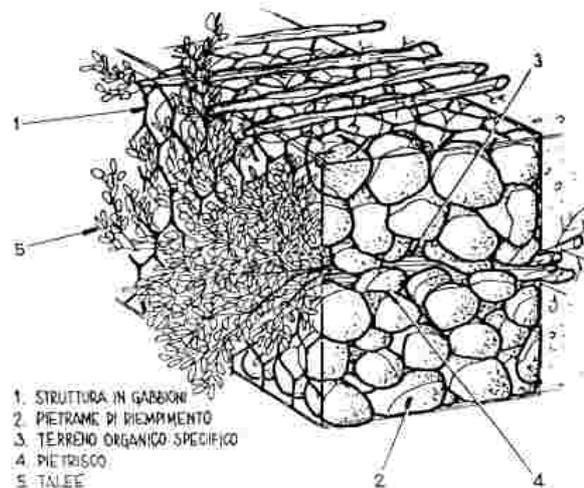


Figura 4.5: muro in gabbioni con talee (Regione Lombardia, 2000).

Campi d'applicazione:

La gabbionata è utilizzata per il consolidamento delle sponde e come struttura di sostegno di scarpate e rilevati stradali, oltre che per altri interventi di sistemazione idraulica, sia longitudinale che trasversale.

Nelle sponde caratterizzate da forte pressione idraulica, le gabbionate costituiscono un'opera di consolidamento alternativa agli interventi in grigio ed esteticamente più valida rispetto ai muri a secco non rinverditi.

La fattibilità è molto ampia, in quanto l'unica condizione necessaria è quella di avere a disposizione in loco il pietrame e, se necessario, i mezzi meccanici per il riempimento e il posizionamento.

Le gabbionate possono essere realizzate in qualsiasi tipo d'ambiente, richiedono limitati interventi di manutenzione e stabilizzano sponde e scarpate, mediante la loro azione drenante e lo sviluppo interno della vegetazione; tuttavia, così come accade per le altre opere d'ingegneria naturalistica spondali, il loro utilizzo nell'ambito delle difese idrauliche longitudinali è subordinato alla compatibilità dell'opera con la forza di trascinamento della corrente.

Modalità d'esecuzione

Dopo avere preparato il piano di posa, si colloca e riempie il primo strato di gabbioni, che può essere costituito da file singole o multiple, iniziando dal lato di monte. Dopo il riempimento, i gabbioni vanno chiusi, utilizzando filo di ferro zincato di diametro adeguato o appositi punti meccanizzati. Secondo l'opera da realizzare, i gabbioni possono avere caratteristiche diverse, con riferimento alla maglia della rete e alla lunghezza dei lati. Se s'intende favorire il rinverdimento dell'opera, dopo la posa d'ogni strato, sarà necessario intasare i vuoti rimasti nel pietrame con terreno vegetale; le talee devono invece essere messe in opera durante la costruzione del gabbione e devono essere lunghe abbastanza da infilarsi nel terreno a tergo del muro.

Muro cellulare rinverdito

Descrizione generale

I muri cellulari sono realizzati con elementi prefabbricati in cemento armato, associati in modo da costituire gabbie o griglie tridimensionali, da riempire con materiale inerte o terreno. Gli elementi hanno delle nicchie a vista, tali da permettere l'inserimento di talee o piantine radicate per rinverdire il terreno. Queste opere, pur non essendo molto diffuse, possono essere utili in situazioni, ove occorre garantire la stabilità di una sponda verticale senza rinunciare al rinverdimento.

Campi d'applicazione

I muri cellulari sono corpi compositi, che funzionano come muri a gravità, contrapponendosi con il proprio peso e quello del riempimento alle sollecitazioni cui sono sottoposti. Impiegati principalmente per il sostegno di scarpate e il consolidamento di versanti in dissesto, possono essere utilizzati in taluni casi anche per la difesa spondale. Uno dei principali vantaggi di queste strutture è la flessibilità, dovuta alle modeste dimensioni degli elementi ed al loro montaggio ad incastro e a secco; per tali motivi esse sono in grado di assorbire assestamenti, eventuali cedimenti e carichi concentrati imprevisti.

Il muro cellulare è considerato una tecnica - limite dell'ingegneria naturalistica (Zeh, 1993), nella quale la funzione di sostegno è assicurata dalla struttura in calcestruzzo, mentre le piante si limitano a consolidare il materiale di rinalzo, svolgendo comunque una funzione ecologica e mitigando l'impatto ambientale dell'intera opera.

Modalità d'esecuzione

Realizzato un adeguato piano d'appoggio, si procede alla posa degli elementi prefabbricati, i quali sono poi sovrapposti ortogonalmente uno sull'altro, in modo da formare dei "contenitori", in cui verrà inserito il materiale di riempimento adeguatamente compattato.

Copertura diffusa con astoni

Descrizione generale

L'opera consiste in un rivestimento della sponda, in precedenza rimodellata, mediante la messa a dimora di astoni con capacità di propagazione vegetativa. Lo strato di rami copre la superficie sin dal momento della posa e protegge immediatamente la sponda dall'erosione, cacciando e radicando in maniera intensiva (Figura 4.5), anche se non profonda come nel caso delle gradonate vive. Le coperture diffuse non sono adatte su sponde troppo acclivi e, se realizzate correttamente, possono essere considerate tra le più stabili tecniche d'ingegneria naturalistica (Florineth, 1999). Si veda anche il relativo paragrafo nel 5.

Campi d'applicazione

La copertura diffusa garantisce una protezione particolarmente efficace delle scarpate spondali minacciate dal ruscellamento e dal moto ondoso. Si può intervenire sia nel caso di nuove costruzioni sia per il risanamento di rotture e franamenti spondali.

Tale opera è di tipo intensivo e comporta una gran disponibilità di materiale vegetale. L'aumento di scabrezza generato dalla vegetazione richiede un'attenta verifica idraulica.

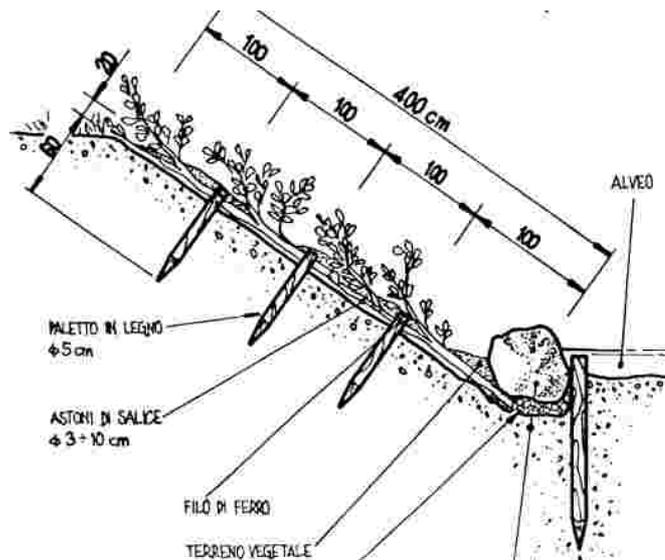


Figura 4.6: copertura diffusa con astoni (Regione Lombardia, 2000).



Figura 4.7: al piede della sponda è opportuno prevedere la posa di un'ulteriore protezione per evitare il dilavamento del suolo prima della completa radicazione delle talee (foto C.B. Naviglio Vacchelli e Naviglio della città di Cremona).

Modalità d'esecuzione

Sulla sponda da consolidare, preventivamente spianata per ridurne la pendenza, si posano l'uno accanto all'altro, con orientamento normale alla sponda, rami di salice vivi, in quantità tale da ricoprire l'intera superficie. La base dei rami deve essere infilata in terra oppure nel piede della sponda, mentre la punta deve

coprire la base della fila superiore. La copertura va ancorata con pali piantati in file distanti 80-100 cm, verghe trasversali e filo di ferro. Una volta ultimata, l'opera è leggermente coperta di terra, affinché i rami non si vedano più. Per evitare lo scalzamento al piede con mancata radicazione della fila basale (Figura 4.7), occorre posare un rinforzo con blocchi di pietra o con fascinate sommerse.

Ribalta viva

Descrizione generale

La ribalta viva è un intervento combinato, che si basa sulla sovrapposizione di fascinate e gradonate vive di ramaglia; le fascine poggiano sulle gradonate e le ancorano, orientano la corrente e prevengono erosioni longitudinali, mentre le gradonate rallentano la corrente e ancorano tutta la struttura alla sponda.

Campi d'applicazione

La ribalta è utilizzata per risanare sponde danneggiate e per consolidare sponde in erosione, a volte combinandola con scogliere o fascinate sommerse. Inoltre, essa può favorire il consolidamento di sponde non ulteriormente spianabili o la protezione di vecchie formazioni boschive ripariali di particolare pregio.

Modalità d'esecuzione

Si predispose una gradonata viva di ramaglia poggiandovi sopra, sul margine esterno della sponda, fascine, che saranno poi picchettate e ricalzate posteriormente. Superiormente si realizza un'altra gradonata e un'altra fascinata, ripetendo l'operazione più volte fino all'altezza di progetto. Le fascine sommerse vanno realizzate con materiale morto, mentre quelle sopra il livello medio dell'acqua possono essere costituite in parte da materiale vivo. Nel caso di sponde in erosione profonda, si consolida il piede posando massi sotto il livello medio dell'acqua.

Difese spondali con materassi in rete metallica

Descrizione generale

Si tratta di difese di sponda flessibili e permeabili alla vegetazione, costituite da materassi a tasche in rete metallica a doppia torsione zincata, che sono assemblati in situ e riempiti di pietrame. Dato lo spessore esiguo (max. 30 cm) ed il riempimento caratterizzato da forte porosità, queste strutture si prestano molto bene ad essere colonizzate dalla vegetazione. In particolare, è possibile accelerare i processi di rinaturalizzazione ed aumentare l'efficacia di queste protezioni inserendo talee di salice, intasando il pietrame con terra e rinverdendo successivamente.

Campi d'applicazione

I materassi spondali sono usati per contrastare l'azione erosiva della corrente al fondo e sulle sponde dei corsi d'acqua. Essi inoltre possono essere realizzati in qualsiasi tipo d'ambiente, anche in presenza d'acqua, in quanto è possibile costruirli all'asciutto e calarli successivamente all'interno dell'alveo; sono anche drenanti e flessibili, quindi non danno luogo all'insorgere di sottopressioni e si adattano ad eventuali movimenti delle sponde o fenomeni di erosione del letto.

Modalità d'esecuzione

Le fasi di realizzazione possono essere così riassunte: posa del materasso ed assemblaggio, riempimento con pietrame e inserimento di talee o piante di lunghezza opportuna, intasamento e ricopertura con terreno, posa dei coperchi e chiusura dei materassi con filo di ferro o tramite punti meccanizzati.

Scogliera in massi

Descrizione generale

La scogliera è un'opera di difesa spondale realizzata con grossi massi e disposta parallelamente alla corrente, con la superficie verso il corpo d'acqua inclinata, in modo tale da conferire all'alveo una sezione a forma trapezia (Figura 4.8). Negli spazi tra i massi vengono generalmente inseriti astoni di salice o di altre specie dotate di analoghe capacità biotecniche, le quali, radicando, permettono la stabilizzazione della struttura arginale. Gli spazi tra i massi possono anche essere semplicemente riempiti con terra, lasciando la sponda alla colonizzazione e al rinverdimento spontaneo.

Campi d'applicazione

Laddove il materiale lapideo sia facilmente reperibile, la scogliera è una delle tecniche più facili per risanare con immediatezza le erosioni, ridurre i rischi d'erosione e difendere al piede riprofilature e ricariche di versante. Gli strati inferiori dei massi costituiscono un significativo elemento di differenziazione dell'alveo, rallentando localmente la corrente e creando habitat ottimali per la colonizzazione della fauna ittica.

Modalità d'esecuzione

Per evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimozione del pietrame, è consigliabile realizzare una fondazione in massi ciclopici o con un taglione in calcestruzzo di profondità idonea. Nel caso dei canali rurali, caratterizzati da velocità non elevate, si può semplicemente procedere alla deposizione dei massi di maggiori dimensioni negli strati più bassi.

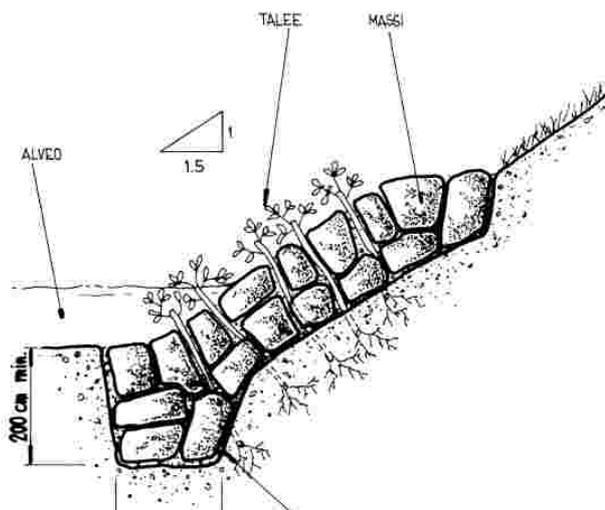


Figura 4.8: scogliera in massi rinverdita (Regione Lombardia, 2000).

E' preferibile inserire le talee contemporaneamente alla costruzione della scogliera; in questo modo si possono usare talee od astoni di maggiore lunghezza, che potranno radicare in profondità a tergo della scogliera stessa (scogliere di tipo chiuso). Questa modalità preserva eventuali sradicamenti del materiale messo a dimora.

E' comunque possibile inserire successivamente le talee, mediante operazioni manuali di intasamento con terra dei vuoti presenti (scogliera di tipo aperto); in questo caso si possono utilizzare fasci di talee, che permettono una maggiore resistenza.

4.3 Valutazione ecologica delle opere mediante modelli ecologico-idraulici

Nel contesto degli interventi di ripristino o di mantenimento della funzionalità idraulica, le opere a basso impatto ambientale possono costituire un'importante occasione per integrare la sistemazione degli alvei con il contemporaneo aumento della loro potenzialità ecologica. Queste opere, infatti, comportano la differenziazione morfologica delle sezioni, che è fondamentale per ricostituire habitat favorevoli allo stabile insediamento della flora e della fauna acquatiche. Allo scopo di garantire l'efficacia degli interventi sulla qualità degli ecosistemi, è consigliabile caratterizzare ecologicamente le variazioni indotte e valutare comparativamente diversi scenari d'intervento, ottimizzando le scelte progettuali. La valutazione utilizza specifici modelli ecologico-idraulici, che pongono in relazione la portata transitante e la potenzialità ecologica; questa relazione dipende dalle caratteristiche del canale e dei deflussi e dalle preferenze delle specie acquatiche d'interesse.

Questi modelli, sviluppati essenzialmente per valutare gli impatti sugli ecosistemi acquatici dovuti a variazioni dei regimi di deflusso, rientrano nella categoria dei modelli di microhabitat, all'interno della metodologia IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*) per la determinazione partecipata e su base biologica del Minimo Deflusso Vitale (Stalnaker et al., 1995). Recenti sperimentazioni (Conti, 2007) hanno mostrato l'applicabilità di uno dei modelli maggiormente impiegati, PHABSIM (*Physical Habitat Simulation*, Bovee et al., 1998, Milhous et al., 1989), al caso dei canali rurali, e in particolare alla

valutazione ecologica degli interventi di sistemazione/riqualificazione degli alvei; nel seguito vengono descritti qualitativamente i passaggi fondamentali di tale valutazione, a partire dalle premesse fisiche ed ecologiche fino alla costruzione dei modelli specifici.

4.3.1 Variazione delle grandezze idrauliche e fisiche indotte dalle opere di sistemazione

Gran parte delle classiche sistemazioni idrauliche di stampo ingegneristico implica non solo la diminuzione diretta del valore ecologico-paesaggistico, ma anche la banalizzazione degli alvei (si pensi alla rettificazione del tracciato ed alla cementificazione delle sezioni), che è causa indiretta della perdita delle caratteristiche tipiche dei deflussi naturali. Tali sistemazioni si propongono di ridurre al minimo la scabrezza idraulica e con essa le principali cause di perdita di carico energetico della corrente (grandezza e grado di incastro del substrato, irregolarità della superficie, della forma e delle dimensioni delle sezioni, presenza di ostacoli e vegetazione, grado di meandrazione, ecc.); ma in tal modo scompaiono anche le condizioni fondamentali per la vita acquatica, come la presenza di nicchie ecologiche e zone di rifugio, stati accelerativi e decelerativi alternati della corrente, sufficienti livelli di ossigenazione, ombreggiamento e raffreddamento delle acque, autodepurazione, ecc.

In generale, invece, le innovative opere di sistemazione dei dissesti, volte alla contemporanea riqualificazione ambientale (si veda il par. 5.2) promuovono la complessità dell'alveo, inducendo in tal modo un aumento locale (puntuale) e generalizzato (lungo l'intera sezione) della scabrezza idraulica. Ciò consente, al contempo, la ricreazione di condizioni fisiche (substrato e copertura dell'area bagnata) ed idrauliche (velocità e livelli idrometrici della corrente) variabili lungo la direzione longitudinale e trasversale, in alcuni casi con effetti dipendenti dall'entità del deflusso; tali variazioni simulano l'assetto dei corsi d'acqua naturali, ricreando in tal modo habitat acquatici potenzialmente più idonei per la colonizzazione e il mantenimento delle specie acquatiche.

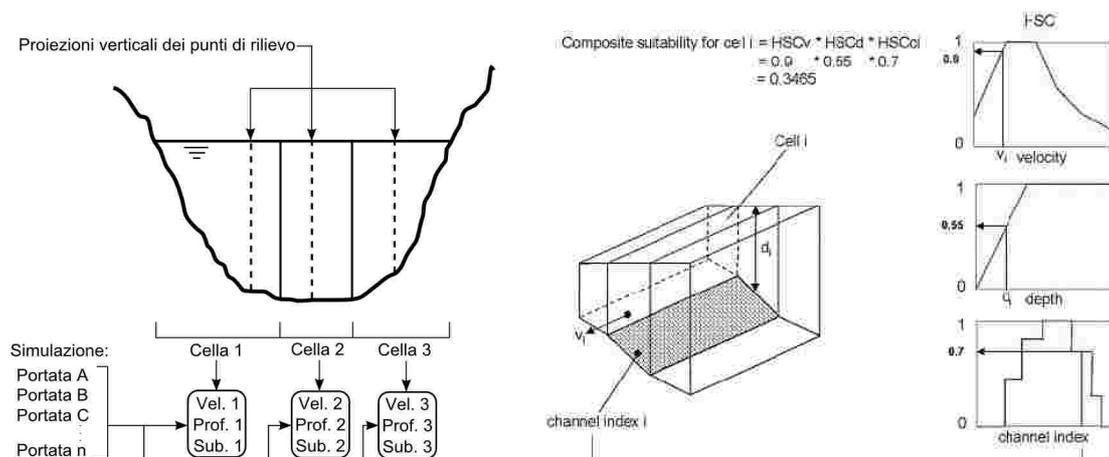


Figura 4.9: modellizzazione idraulica (a sinistra, da Conti, 2007) ed ecologica (a destra, da Waddle, 2001) con PHABSIM. Le fasi della modellizzazione idraulica sono: (1) rilievo di sezioni trasversali e suddivisione dell'area bagnata in celle, (2) rilievo in ogni cella delle caratteristiche fisiche (grandezza del substrato, espressa dal channel index) e dei dati di campo per la calibrazione del modello idraulico (profondità e velocità dell'acqua), (3) determinazione in ogni cella delle grandezze idrauliche per le portate simulate. La modellizzazione ecologica viene quindi effettuata in ogni cella e per ciascuna portata simulata: (1) valutazione delle grandezze idrauliche e fisiche tramite le curve di habitat suitability, (2) calcolo della preferenza multivariata (aggregando con diversi metodi le valutazioni operate dalle curve di habitat suitability), il cui prodotto con la superficie di ogni cella dà l'Area Disponibile Ponderata (o WUA); la somma delle singole WUA costituisce l'Area Disponibile Ponderata dell'intero tratto in esame per ciascuna portata simulata richiesta dallo studio.

4.3.2 Il modello ecologico-idraulico PHABSIM.

Come accennato precedentemente, il modello numerico PHABSIM (*Physical Habitat Simulation System*) è in grado di valutare, in corrispondenza di valori crescenti della portata transigente, la disponibilità di habitat per specie ittiche d'interesse, sulla base di parametri idraulici e fisici (profondità e velocità della corrente e

tipologia di substrato) e della preferenza per essi mostrata dalle specie considerate (Milhous et al., 1989). PHABSIM, in particolare, si compone di due sottomodelli (Figura 4.9): il primo, idraulico, consente la simulazione delle grandezze idrauliche (livelli e distribuzione delle velocità) per un intervallo predefinito di portate, calibrata con dati provenienti da specifici rilievi di campo; il secondo, ecologico, permette la valutazione dei parametri fisici (del canale) ed idraulici (delle portate simulate), tramite opportune funzioni di trasferimento chiamate curve di habitat suitability (o di preferenza per l'habitat fisico). Queste curve costituiscono il cuore dell'analisi ecologica, poiché esprimono la preferenza per i parametri fisici e idraulici mostrata dalle specie considerate. Esse dovrebbero essere elaborate attraverso analisi statistiche di campionamenti della fauna ittica sul sito di studio; spesso, in realtà, si fa riferimento a curve realizzate in contesti differenti, la cui trasferibilità al caso di studio deve essere attentamente valutata dal gruppo di lavoro, possibilmente con il giudizio di esperti (Bovee, 1986). Il risultato finale del modello prende il nome di *Weighted Usable Area*, o Area Disponibile Ponderata, e rappresenta la superficie idonea per il mantenimento delle specie ittiche considerate, distinguendo possibilmente tra diversi stadi vitali; poiché tale risultato è funzione della portata transitante, può essere utilizzato per determinare gli impatti delle variazioni di deflusso sull'ecosistema acquatico (Minimo Deflusso Vitale) e per valutare l'andamento stagionale della quantità di habitat, una volta che sia noto il regime idrologico del corso d'acqua.

4.3.3 Valutazione con il modello PHABSIM degli scenari d'intervento

Essenzialmente a causa del loro carattere artificiale, i tipici canali rurali sono contraddistinti, nel confronto con i corsi d'acqua naturali, da dimensioni contenute e da caratteristiche spesso uniformi e regolari (prescindendo in questa specifica valutazione dal loro livello di naturalità). Il passaggio dalle condizioni attuali agli scenari degli interventi di sistemazione dei canali è quindi più netto e facile da rappresentare in un modello rispetto al caso dei corsi d'acqua naturali, in cui entra in gioco un numero maggiore di cause d'incertezza e imprevedibilità (sezioni estremamente irregolari, determinazione spesso difficoltosa della scabrezza idraulica, ecc.).

Con queste premesse, il metodo PHABSIM può essere esteso dalla ricerca della gestione ottimale del deflusso alla valutazione della modifica di alcune caratteristiche costruttive, come il rivestimento delle sezioni e la morfologia dell'alveo, operata con il duplice scopo di risolvere fenomeni di dissesto e di migliorare l'idoneità ecologica dei canali. Per questa fase si rende tuttavia necessaria un'attenta modellizzazione fisica ed idraulica degli scenari proposti, in modo da rendere realistiche le grandezze idrometriche simulate e garantire al contempo la sicurezza idraulica, ossia essenzialmente il transito delle portate massime e la stabilità del substrato presente sul fondo. Ciò si traduce, in particolare, nella corretta assegnazione puntuale delle scabrezze idrauliche connesse ad interventi tipici delle tecniche d'ingegneria naturalistica, come scogliere o impianti di vegetazione (si vedano gli studi di Chiaradia, 2007 e Conti, 2004) e nel calcolo delle tensioni massime sopportabili dal materiale costituente il fondo del canale (si veda l'Allegato A).

A titolo d'esempio, Conti et al. (2007) hanno utilizzato il modello PHABSIM per valutare in termini quantitativi l'effetto d'alcuni potenziali interventi di stabilizzazione spondale su due canali agricoli. L'analisi, ha permesso di riscontrare come gli interventi proposti (scogliera, materasso di pietrame e riprofilatura dell'alveo) determinino generalmente influenze positive sulla disponibilità di habitat, anche se l'intensità dell'effetto dipende in particolare dalle dimensioni dell'alveo.

4.4 Bibliografia

Bovee K.D. (1986). "Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the Instream Flow Incremental Methodology." Instream Flow Information Paper 21. U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Report 86(7). 235 pp.

Bovee K.D., Lamb B.L., Stalnaker C., Batholow J., Taylor J., Henriksen J. (1998) "Stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology." U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report 1998-0004.

Chiaradia E.A. (2007). "Indagini sull'interazione tra vegetazione arbustiva e deflusso, ai fini della difesa e della riqualificazione del territorio agro-forestale." Tesi di dottorato, tutor Prof. Bischetti G.B., coordinatore Prof. Sangiorgi F., Università degli Studi di Milano.

Conti M. (2004). "Valutazione della scabrezza della scogliera in massi: prime prove presso il canale sperimentale di Maccastorna (LO)." Elaborato finale per il conseguimento della Laurea in Agrotecnologie per l'ambiente e il territorio, Università degli Studi di Milano.

Conti M. (2007). "Applicazione di un modello ecologico-idraulico per la riqualificazione dei canali rurali." Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Agroambientali, Università degli Studi di Milano.

Conti, M., Chiaradia, E.A., Bischetti, G.B. (2007). "Applicazione dell'instream flow incremental methodology per l'analisi della disponibilità d'habitat dei canali rurali e la loro riqualificazione." Convegno "L'acqua è una scienza – La qualità ambientale del sistema fluviale", Giardini Naxos (ME), 25-26 ottobre 2007

Ferro V. (2005). "Contributo al dimensionamento di una briglia con savanella a profilo W." In "Riqualificazione ambientale dei corsi d'acqua." Quaderni di Idronomia Montana, edizioni Nuova Bios, Cosenza.

Ferro V. (2006). "La sistemazione dei bacini idrografici." McGraw-Hill, Milano, 2a edizione, 848 pp.

Milhous R.T., Updike M.A., Schneider D.M. (1989). "Physical Habitat Simulation System." Reference manual version II – National Ecology Research Center. Fish and Wildlife service, Fort Collins, CO. Instream Flow Information Paper, 26:1-546.

Regione Lombardia (2000). "Quaderno opere tipo di ingegneria naturalistica." DGR n. 6/48740.

Stalnaker C.B., Lamb L., Henriksen J., Bovee K.D., Bartholow J. (1995). "The Instream Flow Incremental Methodology: a primer for IFIM." Midcontinent Ecological Science Center, National Biological Service, Colorado (USA), Biological Report 29.

Waddle (2001). "PHABSIM (Physical Habitat Simulation) for Windows." U.S. Geological Survey, Midcontinent Ecological Science Center, Biological Resources Division.

Zeh, H. (2000). "Méthodes de construction du génie biologique." Rapport d'étude no 9, 2000 Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication Office fédéral des eaux et de la géologie.

Capitolo 5 Azioni per il potenziamento ambientale

Il miglioramento ambientale connesso al reticolo idrografico agricolo può essere ottenuto, oltre che con interventi diretti sugli alvei, anche con interventi sulle aree limitrofe e con una diversa gestione della risorsa idrica, più attenta agli aspetti ambientali e non solo idraulico-agrari.

5.1 *La gestione della risorsa idrica per la salvaguardia del patrimonio ambientale*

Tra le pratiche più incisive per la salvaguardia della qualità ambientale dei corsi d'acqua rurali, rientra una gestione programmata della risorsa idrica durante tutto l'arco dell'anno e non solo nella stagione estiva. La tradizionale pratica delle asciutte comporta, di fatto, danni e perdite sostanziali all'ecosistema dei corsi d'acqua, tanto da rappresentare senza dubbio il primo problema da risolvere per la salvaguardia del patrimonio naturale e, in particolare, della fauna ittica. La soluzione consiste nel mantenere una portata minima nell'alveo, stimata ad esempio con i criteri del deflusso minimo vitale (Bovee et al., 1998) o altri, più sofisticati, metodi di calcolo, oppure, più genericamente, mantenendo un tirante in alveo di almeno 30 cm (AA.VV., 2005). Tuttavia tale soluzione ha effetti non trascurabili sulle quantità d'acqua impiegate durante l'intero anno e sulle attività di manutenzione, ossia, in definitiva, sull'economia della gestione. Occorre inoltre prevedere, in alcuni casi, la modifica dei manufatti esistenti (opere di presa, soglie), in modo da ridurre la frammentazione della rete e favorire il ricircolo dell'acqua anche lungo la rete minore.

Un'altra pratica d'interesse ambientale, che tuttavia non richiede interventi strutturali sulla rete, ma solo un adeguamento delle modalità di gestione e conferimento della risorsa idrica, è la costituzione di prati umidi ovvero di zone caratterizzate dalla presenza d'acqua, per promuovere la sosta dell'avifauna migratoria. A tal fine, si possono recuperare i prati marcioi, oppure allagare i campi incolti durante la stagione invernale. La tecnica è nota da tempo e gli effetti sull'avifauna sono sfruttati anche per finalità venatorie (i così detti "giochi d'acqua"). L'allagamento dei campi porta inoltre a rimpinguare le falde e, come conseguenza, facilita l'attivazione dei fontanili all'inizio della stagione irrigua. Per contro, la sommersione può incrementare la diffusione d'alcune piante infestanti e ridurre il periodo a disposizione per le operazioni colturali (ad esempio per la preparazione del terreno); perciò tale attività va coordinata con le correnti pratiche agricole o limitata ad aree marginali e di scarso valore economico.

5.2 *Misure per la creazione di meso e micro-habitat*

In concomitanza con un intervento di stabilizzazione spondale o di riordino irriguo o durante la realizzazione di opere finalizzate ad azioni compensative, è possibile attuare una serie d'interventi con finalità ambientali, di seguito descritti. Gli effetti di tali interventi non riguardano unicamente il potenziamento ecologico di una data area, ma anche la difesa del territorio da forme d'inquinamento chimico e biologico. Queste ultime sono rappresentate in prevalenza da specie animali e vegetali esotiche, contro le quali spesso non è possibile intervenire in maniera efficace se non con costi esorbitanti, e sono spesso promosse dalla distruzione degli habitat locali a vantaggio di forme ecologiche semplificate, e, per definizione più deboli nei confronti degli attacchi esterni.

Risagomature dell'alveo

L'alveo dei canali d'irrigazione e bonifica è tipicamente regolare ed uniforme per ottimizzare la funzionalità idraulica. Gli interventi di riqualificazione ambientale effettuati in alveo mirano, compatibilmente con le esigenze idrauliche, a creare elementi di diversificazione della sezione, in senso sia trasversale sia longitudinale (Figura 5.1). Tali differenziazioni creano un'alternanza di stati accelerativi e decelerativi della corrente, che è condizione fondamentale per il mantenimento della fauna ittica; esse, tuttavia, si traducono in un aumento della scabrezza totale, ovvero dei tiranti a parità di portata transitante.

Vale la pena qui ricordare quanto illustrato nel 2 sulla stabilità degli alvei in terra e le condizioni di equilibrio. Corsi d'acqua assimilabili alla tipologia dei fiumi alluvionali tendono inevitabilmente a ricercare un equilibrio tra andamento planimetrico, andamento longitudinale e sezioni trasversali, generando morfologie tipiche su cui si innesta l'ecosistema acquatico.

Quando si considera un intervento che incide su uno di questi tre aspetti, sia che si tratti di interventi per migliorare la funzionalità idraulica che, a maggior ragione, quella ambientale, occorre considerare la risposta complessiva del sistema. Sicuramente, interventi che tendono all'equilibrio fluvio-morfologico potranno essere più efficaci e duraturi, e quindi a dispetto delle apparenze anche meno onerosi economicamente.

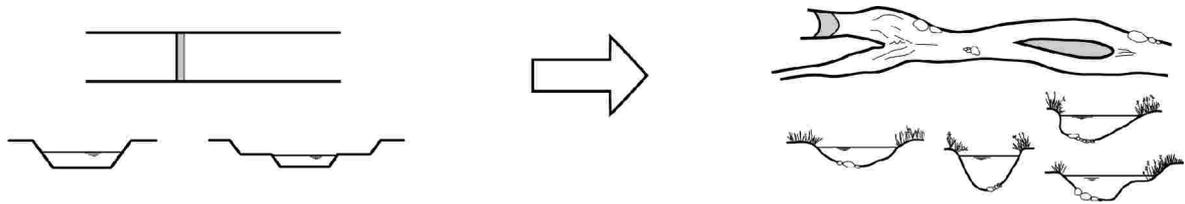


Figura 5.1: passaggio da una condizione di alveo fortemente regolare (a sinistra) a forme morfologiche naturaliformi (a destra).

Per gli interventi in alveo si distinguono tre tipologie:

Costituzione di un andamento planimetrico meandriforme

Gli interventi possono riguardare la sinuosità del canale, ricreando artificialmente, con movimenti di terra o con l'introduzione di pennelli, l'andamento meandriforme, che si forma spontaneamente negli alvei naturali e, in prossimità delle curve, genera una diversificazione della sezione trasversale, con un approfondimento dell'alveo verso l'esterno ed un maggior deposito all'interno delle curve stesse. Poiché il tracciato dell'alveo, tuttavia, deve essere mantenuto fisso, occorre valutare l'eventuale necessità di opportuni accorgimenti per la stabilizzazione della porzione di sponda esterna alla curva del canale, dove le tensioni sono maggiori.

Molti canali, soprattutto quelli di bonifica presentano una naturale forma meandriforme poiché ricalcano antichi tracciati di scoli naturali; nel caso si voglia intervenire in tali aree, è utile mantenere, per quanto possibile, la conformazione originale. Nella maggioranza dei casi, invece, l'andamento rettilineo fa parte del tipico paesaggio lombardo che ha un valore paesaggistico altrettanto rilevante di quello naturalistico e pertanto non deve essere compromesso.

È anche possibile indurre, soprattutto per canali ampi, una diversificazione planimetrica realizzando alvei pseudo-meandriformi, cioè alvei strutturati in maniera tale da avere un andamento meandriforme in condizioni di tiranti idrici piccoli e rettilineo in corrispondenza di tiranti elevati. Ciò è possibile attraverso la predisposizione di barre o di pennelli poco rilevati rispetto al fondo. Se opportunamente progettati, tali dispositivi hanno una scarsa influenza sulle condizioni idrauliche in condizioni di portate elevate, mentre per portate minime (p.es. durante le asciutte) possono garantire tiranti compatibili con il mantenimento di un deflusso che permette agli organismi acquatici di sopravvivere. Un risultato analogo può anche essere ottenuto mediante l'adozione di tecniche di manutenzione "eco-compatibile" che prevedono lo sfalcio della vegetazione riparia secondo uno schema alternato tra le due sponde (si veda il 7). Chiaramente, in tutti questi casi occorrerà valutare accuratamente le modalità di manutenzione, sia ordinaria che straordinaria, prevedendo eventuali incentivi a compensazione dei maggiori oneri.

Risagomatura della sezione

La risagomatura delle sezioni, oltre ad essere uno degli interventi classici di manutenzione per il mantenimento della funzionalità idraulica, costituisce anche una delle maggiori possibilità di miglioramento ambientale. Generalmente, infatti, i canali artificiali, mirando alla massimizzazione della funzionalità idraulica che come noto è data da forme regolari, sono di forma trapezia e spesso con scarpe molto elevate. Molto frequentemente questi canali, nella loro ricerca di equilibrio, tendono a modificare progressivamente la sezione imposta attraverso i processi di erosione-deposizione ed assumono forme irregolari, favorevoli all'insediamento di un neo-ecosistema acquatico. Tale irregolarità, infatti, crea una variabilità puntuale della maggior parte delle condizioni fisiche (profondità e velocità dell'acqua, contenuto d'ossigeno e nutrienti, temperatura e presenza di nicchie di rifugio), che favoriscono l'insediamento di diverse specie animali e vegetali. L'irregolarità dell'alveo permette, inoltre, di stabilire livelli idrometrici sufficienti per il mantenimento della vita acquatica anche nei periodi di magra, obiettivo di primaria importanza negli interventi di riqualificazione dei corsi d'acqua, nonché un principio recepito anche dalla normativa nazionale. Le modalità con cui si verificano i fenomeni d'aggiustamento e la loro localizzazione, tuttavia, frequentemente pregiudicano il buon funzionamento idraulico dei canali stessi, richiedendo il ritorno a condizioni più regolari e la distruzione del neo-ecosistema.

Le operazioni di risagomatura, di conseguenza, dovrebbero perseguire l'obiettivo assai ambizioso di realizzare la massima diversificazione morfologica, compatibilmente con il regime idraulico-sedimentologico del canale e le esigenze prettamente idraulico-agrarie. Le modalità per raggiungere tale obiettivo devono essere valutate caso per caso e, fermo restando il principio di fondo di creare sezioni in equilibrio fluviomorfologico, esso può essere concretamente realizzato anche con forme semplificate ed idraulicamente efficaci. Un esempio classico è la sezione a doppio trapezio che, pur mantenendo le caratteristiche di efficienza idraulica, permette di avere livelli idrici significativi anche in condizioni di magra.

Tra le esigenze di efficacia idraulico-agraria, infine, non deve essere trascurata la necessità di contenere le perdite (anche questo obiettivo di tipo ambientale ma di più vasta scala), che spesso sono il legittimo motivo di una trasformazione radicale da corpi idrici a fondo mobile in corpi idrici a fondo fisso, realizzata attraverso il rivestimento impermeabile e non modificabile.

In tali casi è possibile pensare a soluzioni di impermeabilizzazione sub-superficiali (in calcestruzzo, in bentonite, ecc.), mantenendo l'alveo vero e proprio in materiale sciolto. Al momento tuttavia, non esistono sperimentazioni a tale riguardo in grado di supportare i gestori nell'utilizzo di questo approccio.

Variazione del profilo longitudinale

La diversificazione morfologica longitudinale, legata anche all'assortimento granulometrico, e che si manifesta con sequenze di soglie e pozze, di rapide, ecc., come detto, aumenta la variabilità del corso d'acqua in termini di velocità e di tiranti nelle condizioni di piena e di magra. Nei canali artificiali tale diversificazione, fermo restando i limiti imposti dalla necessità di efficienza idraulica in alcuni tratti della rete, può essere facilmente ricreata ex-novo o riconvertendo strutture esistenti.

È ad esempio possibile collocare blocchi di pietra sul letto del canale, predisporre soglie o piccole briglie di contenimento (utili anche per realizzare un punto di raccolta del sedimento da ripulire periodicamente) o inserendo pennelli laterali (si veda il par. 4.1). I blocchi di pietra, disposti opportunamente, creano condizioni di turbolenza e calma favorendo alcune specie ittiche; le soglie e le briglie sono invece strutture trasversali rispetto alla corrente e, oltre a garantire una certa riduzione dei fenomeni erosivi, determinano cambiamenti dello stato di moto della corrente.

Molte delle strutture trasversali necessarie ad elevare il livello idrico, inoltre, possono essere riconvertite in piccole soglie in massi o in rampe, raggiungendo così un duplice scopo.

Recupero d'alvei abbandonati

Il recupero di vecchi alvei abbandonati, ad esempio in seguito a progetti di riordino irriguo, può essere utile per incrementare la variabilità ambientale delle aree limitrofe al canale stesso. I progetti di recupero, in genere, si basano sulla possibilità di alimentare i tracciati abbandonati, mantenendo una portata minima sufficiente per le specie idrofite che si instaurano, senza compromettere la funzionalità idraulica del sistema irriguo. Tali operazioni permettono in genere di ottenere aree interessanti dal punto di vista paesaggistico e faunistico e, data la matrice territoriale in cui si inseriscono, di straordinaria valenza ecologica.

Nella realtà lombarda, con un'antichissima tradizione irrigua e di bonifica, vi sono diversi "fasci di rogge" che corrono parallele, alcune delle quali vengono abbandonate in seguito ad interventi di riordino. In tali situazioni è possibile razionalizzare l'utilizzo del canale principale (per es. mediante l'allargamento dell'alveo) e destinare le rogge abbandonate a fini ambientali (Figura 5.2).

Fila di ceppaie

È un intervento localizzato per la protezione delle sponde da fenomeni erosivi, ma d'elevato valore ambientale, poiché riproduce condizioni facilmente rinvenibili in alvei naturali. Una fila di ceppaie, costituite da tronchi di lunghezza variabile da 2 a 4 metri, con parte dell'apparato radicale ancora intatto, viene inserita nel fondo del canale, per tutta la lunghezza del tronco, con le radici rivolte verso il centro dell'alveo ed ancorate saldamente con pali, cavi e massi posti negli interstizi (Figura 5.3). Tale opera stabilizza, entro certi limiti, la sponda, favorisce la sedimentazione e permette l'instaurarsi di un ambiente ospitale per la fauna, che trova nutrimento e protezione tra l'impalcatura radicale; occorre tuttavia valutare il suo utilizzo nei diversi contesti, in relazione all'incremento di resistenza al deflusso che essa può comportare.

ricreare una nicchia di rifugio completamente sommersa, possibilmente anche nei periodi d'asciutta; pertanto l'apertura sul lato del canale sarà posizionata ad una profondità tale da consentire la completa sommersione della struttura di legno, garantendo al contempo una durata massima dell'opera.

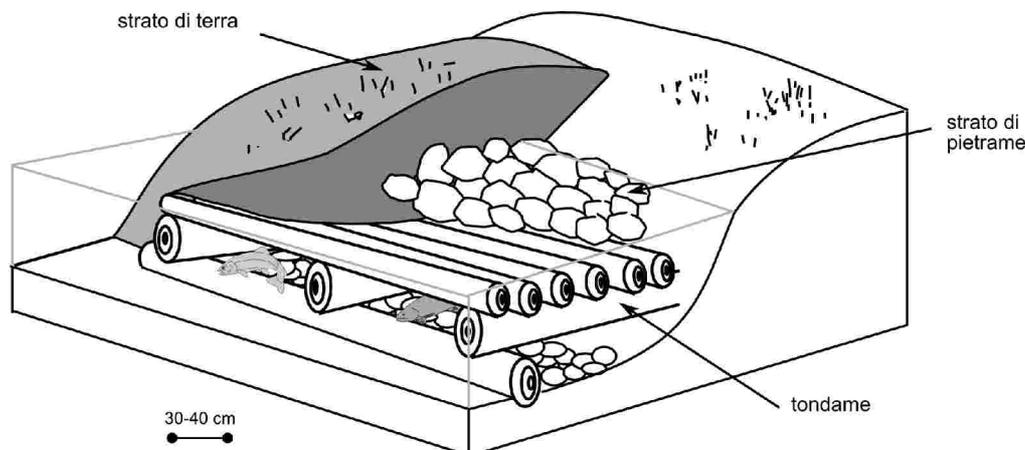


Figura 5.4: schema di un rifugio per pesci tipo realizzato con tondele.

Posa di massi o altri elementi inerti in alveo

La presenza in alveo di materiale lapideo di dimensioni rilevanti (> 10 cm) fa sì che le linee di deflusso si suddividano, formando vortici e rigurgiti, i quali, in maniera diretta o indiretta, incrementano la disponibilità di habitat locali (Figura 5.5). In canali di grosse dimensioni, la posa di massi isolati non determina sostanziali differenze nel regime di deflusso: se per portate ridotte si può assistere ad un aumento delle scabrezze d'alveo e di conseguenza dei tiranti, per portate più alte le resistenze offerte dai massi si riducono (si passa infatti da una condizione di macro-scabrezza ad una di micro-scabrezza), tanto da essere trascurabili ai fini pratici. Occorre tuttavia verificare la stabilità dei massi rispetto alla forza di trascinarsi della corrente e per questo si fa solitamente riferimento alla teoria di Shields, per la quale si rimanda agli allegati tecnici del manuale.

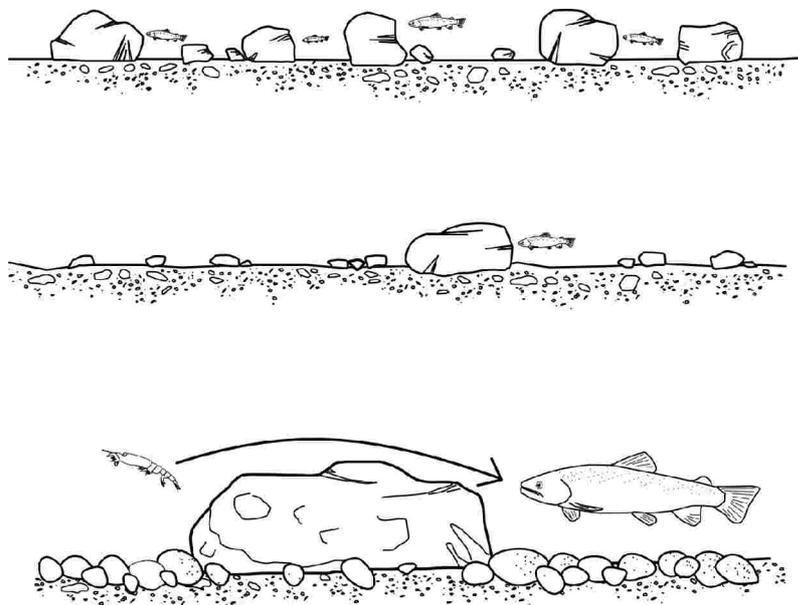


Figura 5.5: importanza della presenza in alveo di massi di grosse dimensioni per la disponibilità di habitat specifici per la fauna acquatica.

Viceversa, l'effetto sul deflusso non può considerarsi trascurabile nel caso di piccoli canali, in cui assume un ruolo rilevante l'azione d'occlusione, per l'accumulo di materiale solido a monte del masso, che in questo caso si comporta da ostacolo e il suo utilizzo va pertanto scoraggiato.

Creazione d'unità lentiche

Le “unità lentiche” (PTCP Milano, 2003) sono piccoli allargamenti, ossia incavi nella sponda, realizzati per diversificare e arricchire la struttura ecosistemica dei corsi d'acqua rurali. Questo semplice intervento è in grado di fornire utili habitat a componenti della fauna selvatica terrestre e acquatica. L'intervento consiste nella creazione di una varice lungo la sponda del canale (Figura 5.6), con la formazione di un'area a basso fondale e il rimodellamento dolce della sponda. Lungo il perimetro della pozza così creata si procede alla posa, al piede della sponda, di culmi di cannuce di palude (gen. *Phragmites*), mentre sulla parte alta della sponda e sul piano di campagna, ove possibile, si piantano alberi e arbusti, nella proporzione 30% e 70% .

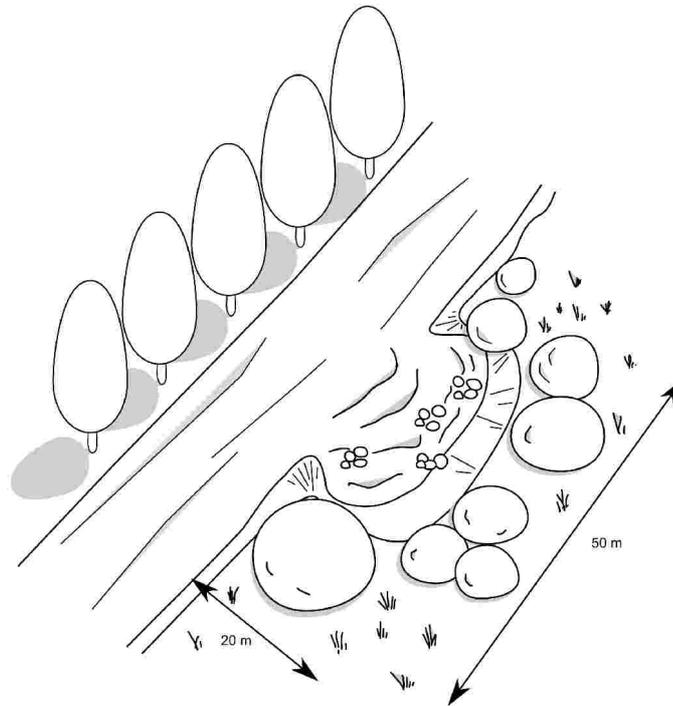


Figura 5.6: schema tipo di una unità lenticca lungo un corso d'acqua minore. L'area occuperà una estensione di circa 1000 m² attrezzati con circa un centinaio di piante a portamento arboreo - arbustivo.

Creazione d'isole galleggianti

Localmente, laddove il tracciato dei canali si allarga e la corrente dell'acqua si riduce, è possibile realizzare delle strutture galleggianti, rivestite con elementi vegetali morti o viventi. Tali strutture isolate costituiscono un utile riparo per diverse specie animali dai predatori e allo stesso tempo determinano un incremento della variabilità locale e quindi della disponibilità di habitat.

L'opera consiste in una zattera realizzata con elementi galleggianti (possono essere utilizzati anche semplici bidoni di plastica) ai quali vengono agganciati dei contenitori semirigidi adatti ad accogliere i culmi o i cespi di piante acquatiche locali. Il modulo così realizzato ha dimensioni 0,8 x 1,2 x 0,1 m per una superficie complessiva di 0,96 m² (PTCP Milano, 2003). Ciascun elemento viene quindi ancorato al fondo del canale o della pozza in modo da costituire gruppi con forma irregolare.

5.3 Misure per il superamento e/o mitigazione delle barriere ambientali

I canali rurali sono spesso caratterizzati, al pari dei corsi d'acqua naturali e a volte in misura maggiore, da una consistente frammentazione dell'asta longitudinale, causata dalla presenza di diverse tipologie di opere artificiali (traverse di derivazione, attraversamenti di strade e altre infrastrutture, ecc.). Questi sbarramenti, unitamente ai prelievi idrici massivi, sono la causa principale del blocco della “libera circolazione dell'ittiofauna”, un concetto che, come affermato nel “*Code of Conduct for Responsible Fisheries*”, edito dalla FAO nel 1995, rientra a pieno titolo nella gestione responsabile dei corsi d'acqua (AA.VV., 2006). In particolare, tale Codice, oltre a definire gli obiettivi di salvaguardia delle specie ittiche e di sostenibilità

dell'attività piscatoria, afferma l'importanza delle tecniche per la mitigazione degli impatti e per la riqualificazione fluviale, tenuto conto degli effetti ambientali delle modificazioni antropiche del sistema idrografico naturale (urbanizzazione, uso di zone umide per l'agricoltura, rimozione delle zone aride, navigazione, derivazioni per usi irrigui, industriali, energetici, potabili) e, in particolare, delle ripercussioni negative su quantità, qualità e accessibilità degli habitat e sulle specie acquatiche (AA.VV., 2006). Tra gli obiettivi di riqualificazione proposti dal Codice, assumono particolare importanza il mantenimento e il ripristino della connettività longitudinale e trasversale nei corsi d'acqua, considerati indispensabili per la sopravvivenza degli ecosistemi fluviali e delle specie ittiche (AA.VV., 2006).

I manufatti antropici interferenti con gli alvei fluviali costituiscono, come detto, un rilevante fattore di pressione sugli ecosistemi acquatici (Comoglio e Pini Prato, 2005). Essi, infatti, impediscono le migrazioni delle principali specie ittiche lungo il reticolo idrografico a fini trofici, riproduttivi e di svernamento, determinando, quindi, una frammentazione del continuum fluviale. In un corso d'acqua, infatti, i processi naturali che comportano scambi di materia ed energia possono essere irrimediabilmente compromessi dalla presenza di discontinuità artificiali; ciò soprattutto a causa della perdita di habitat, nel momento in cui le popolazioni ittiche, naturalmente colonizzanti determinate aree di frega, vengono reclusi in tratti più a valle, ove possono subire una drastica degenerazione dei cicli riproduttivi (AA.VV., 2006). La conseguente alterazione del popolamento ittico originario, in caso estremo, può causare la scomparsa di una o più specie dal corso d'acqua. Gli effetti della discontinuità sull'ecosistema fluviale si traducono, quindi, in una perdita della biodiversità, poiché il popolamento ittico originario può essere sostituito da un altro, caratterizzato da specie opportuniste, spesso di minor rarità e rappresentatività per il territorio in esame e la cui presenza ed abbondanza può essere indice di pesanti degenerazioni ambientali.

5.3.1 Definizione e obiettivi dei passaggi per pesci

I passaggi per pesci (conosciuti anche come “scale di risalita”, “scale di rimonta”, oppure “scale di monta”) rappresentano particolari opere d'ingegneria idraulica, integrate con l'ecologia fluviale e la biologia ittica e finalizzate alla salvaguardia del patrimonio ittico.

Esse consentono il mantenimento della continuità longitudinale di un corso d'acqua, frammentata da sbarramenti che compromettano i naturali spostamenti migratori; l'obiettivo, quindi, è il ripristino della libera circolazione dei pesci (Pini Prato e Comoglio, 2006). I passaggi per pesci, di fatto, svolgono il ruolo di corridoi ecologici funzionali alle esigenze delle specie ittiche, garantendo lo svolgimento degli spostamenti ciclici (svernamento, alimentazione, riproduzione) e la continuazione delle specie nel loro habitat naturale (AA.VV., 2006).

Con l'introduzione della normativa nazionale e regionale sulla VIA (Valutazione d'Impatto Ambientale), la realizzazione dei passaggi per pesci sta progressivamente divenendo una misura di mitigazione dell'impatto ambientale, causato dalle nuove derivazioni, anche se spesso è carente sul piano tecnico-scientifico (Pini Prato e Comoglio, 2006). L'efficacia di queste opere dipende, infatti, dall'applicazione di un approccio multidisciplinare, che tenga conto di fattori ingegneristici ed ecologici: velocità dell'acqua, dissipazione di potenza, turbolenza, periodi ottimali di funzionamento, riferimento specifico alla fauna ittica di interesse, caratteristiche biologiche delle specie, ecc.. I passaggi per pesci si distinguono in base alla tipologia costruttiva, agli ambiti di applicabilità e alle specie di riferimento come di seguito meglio descritto.

5.3.2 Principali tipologie di passaggi per pesci

Le soluzioni progettuali di passaggi per pesci sono raggruppabili in tre grandi classi, secondo il manuale “*Fish Passes*”, edito da DVWK-FAO (cit. in AA.VV., 2006): passaggi tecnici, passaggi seminaturali e passaggi speciali.

Passaggi tecnici

Si tratta di passaggi artificiali di varie tipologie, apparentemente simili a comuni opere d'ingegneria civile, e costituiscono la tipologia più utilizzata, che privilegia l'uso di murature e parti metalliche o meccaniche con paratoie, setti e diaframmi, rinunciando ad imitare la natura. Si distinguono le seguenti sottotipologie:

1. Fenditure verticali (Vertical slot): si tratta di un canale in muratura, con setti divisorii in muratura oppure in legno e una o due fenditure, che si estendono per tutta la lunghezza della parete. I bacini hanno dimensioni minime di 1,90 m di lunghezza e 1,20 m di larghezza, e una portata minima utilizzabile da circa 150 l/s fino a molti m³/s.

Applicabilità. Vengono usati per piccoli e medi salti d'acqua e possono adeguarsi a grandi variazioni di livello del fiume, senza compromettere la propria efficacia. Sono adatti per piccoli e grandi corsi d'acqua.

Vantaggi e svantaggi. Possono essere dimensionati per grandi portate, risultando quindi molto attrattivi. Sono più funzionali dei passaggi a bacini, per i minori rischi d'intasamento delle fenditure. La profondità dell'acqua deve essere almeno 0,5 m.

Efficacia. Sotto questo aspetto, si tratta delle strutture oggi più funzionali, essendo adatte per tutte le specie e potendo essere utilizzate anche da invertebrati.

2. Bacini successivi: sono costruiti in muratura, con setti divisorii in muratura, legno o metallo, una fenditura laterale parziale e un orifizio sul fondo (Figura 5.7 e Figura 5.8). Le pareti presentano le fenditure alternate a destra e sinistra. I bacini hanno dimensioni minime di 1,40 m (lunghezza) e 1,00 m (larghezza), con una portata minima utilizzabile da 50 fino a 500 l/s.

Applicabilità. Vengono usati per piccoli e medi salti d'acqua, e sono adatti per sbarramenti idroelettrici o per manufatti di sistemazione dell'alveo.

Vantaggi e svantaggi. Permettono soltanto l'utilizzo di piccole portate, potendo così risultare poco attrattivi. Presentano notevoli rischi d'intasamento con i detriti fluitati.

Efficacia. Si tratta di strutture adatte per tutte le specie, se le dimensioni dei bacini sono scelte in funzione della specie da favorire.



Figura 5.7: passaggio a bacini successivi sul canale Muzza all'altezza del terminale di Tripoli (foto Cremascoli, CBI Muzza Bassa Lodigiana).

3. Passaggi tipo Denil. Si tratta di canali in muratura, legno o metallo, con deflettori sagomati a "U" e con angolazione di 45° (Figura 5.8). Possono avere larghezza variabile tra 0,6 e 0,9 m, con pendenza massima 1: 5 e lunghezza di 6÷8 m; oltre queste dimensioni è prevista la costruzione di particolari pozze di sosta (*resting pools*). Utilizzano portate di almeno 250 l/s.

Applicabilità. Si tratta di strutture adatte per piccoli dislivelli, soprattutto per riabilitare vecchi mulini con poco spazio. Per dislivelli maggiori, si devono realizzare pozze di sosta tra un tratto e l'altro.

Vantaggi e svantaggi. I passaggi tipo Denil non sono adatti con forti variazioni di livello del corso d'acqua e utilizzano portate relativamente alte; occupano tuttavia poco spazio e creano correnti molto attrattive.

Efficacia. Non sono molto adatti a specie deboli o pesci molto piccoli; sono invalicabili per la fauna bentonica.

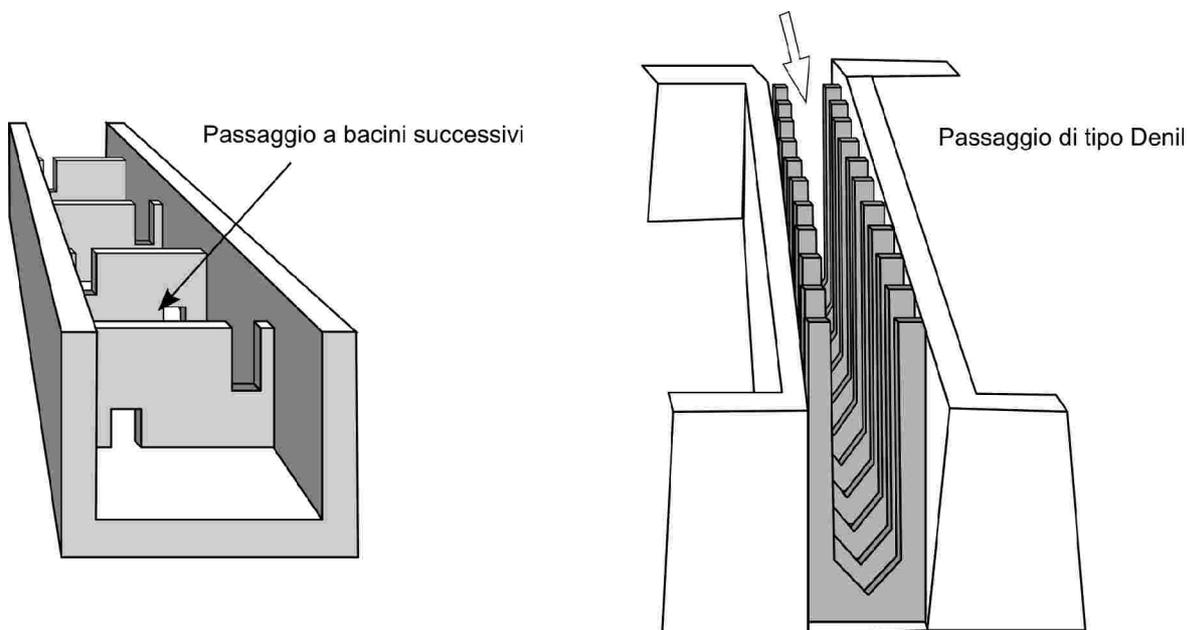


Figura 5.8: passaggi per pesci “a bacini successivi” e di tipo Denil (ridisegnato da Loro e Zabetti, 1990).

Passaggi seminaturali (“close to nature”) o “semi-naturali”

Si tratta di passaggi artificiali, ma il cui aspetto imita il più possibile le caratteristiche naturali del corso d'acqua, creando rapide, corsi d'acqua minori, ecc. Possono essere realizzati anche con tecniche di ingegneria naturalistica (rampe in pietrame). Queste strutture sono distinte nelle seguenti sotto-tipologie:

1. Rampa a blocchi (Bottom Ramp). Si tratta di rampe in pietrame ad alta scabrezza, realizzate per tutta la larghezza del corso d'acqua (Figura 5.9). La pendenza massima ammissibile è 1:5 e l'altezza massima superabile è 2 m. La portata minima d'alimentazione è pari a circa 100 l/s per metro di larghezza della rampa.

Applicabilità. La rampa può sostituire le classiche briglie di sistemazione, per contrastare l'erosione del fondo o convertire i vecchi sbarramenti, ove non sia possibile regolare il livello a monte.

Vantaggi e svantaggi. Durante i periodi di magra, le rampe possono restare in secca, se non vengono intasati gli spazi tra i massi. Le esigenze di manutenzione sono minime, l'inserimento paesaggistico è buono, la realizzazione facile, quando il materiale è reperibile in posto.

Efficacia. Si tratta di strutture superabili in tutte le direzioni da tutte le specie, secondo la velocità dell'acqua e la pendenza assegnate nella progettazione.

2. Canali paralleli (By-pass). Si tratta di corsi d'acqua artificiali, che aggirano lo sbarramento. Sono utilizzabili anche per dislivelli superiori ai 2 m, ma con pendenze inferiori a 1:20. La larghezza minima è 1,20÷1,50 m; la portata minima di funzionamento è 100 l/s per metro di larghezza.

Applicabilità. I canali paralleli sono adatti a superare qualsiasi ostacolo, se vi è sufficiente spazio per la loro costruzione. Richiedono spesso organi di regolazione, soprattutto nel caso in cui lo sbarramento del corso d'acqua abbia obiettivi multipli.

Vantaggi e svantaggi. Economicamente convenienti, ma richiedono molto spazio. Spesso occorrono lavori accessori, come sistemazione delle sponde, ponti o passaggi per pedoni e mezzi meccanici.

Efficacia. Si tratta di strutture superabili per tutte le specie, che possono anche costituire habitat seminaturali per quelle reofile.

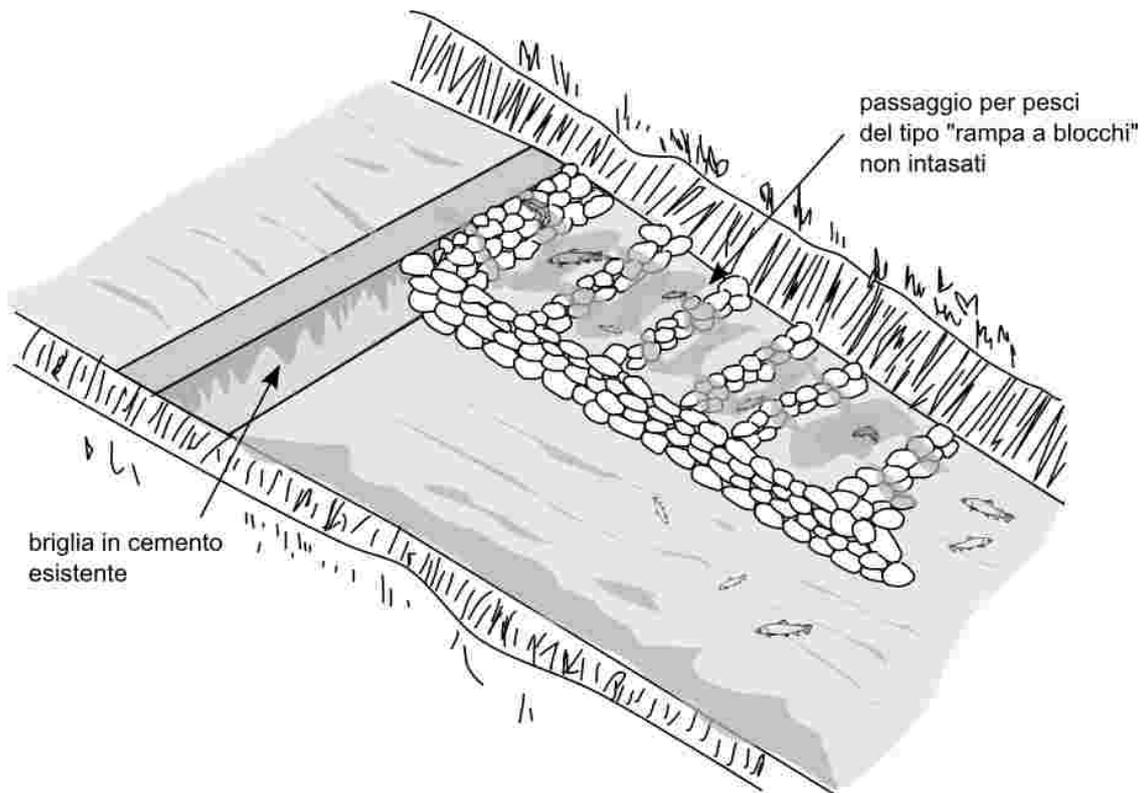


Figura 5.9: rampa a blocchi (variante parziale).

3. Rampe per pesci (Fish ramps). Si tratta di rampe che occupano parzialmente la larghezza di uno sbarramento già esistente. Sono realizzate con una gettata di massi ed un'aggiunta di ciottoli di varie dimensioni (boulders) per diversificare il fondo e ridurre la velocità di deflusso (Figura 5.10). La larghezza minima è 2 m, l'altezza superabile 3÷4 metri, la pendenza massima 1:20 e la portata minima raccomandata è 100 l/s per metro di larghezza.

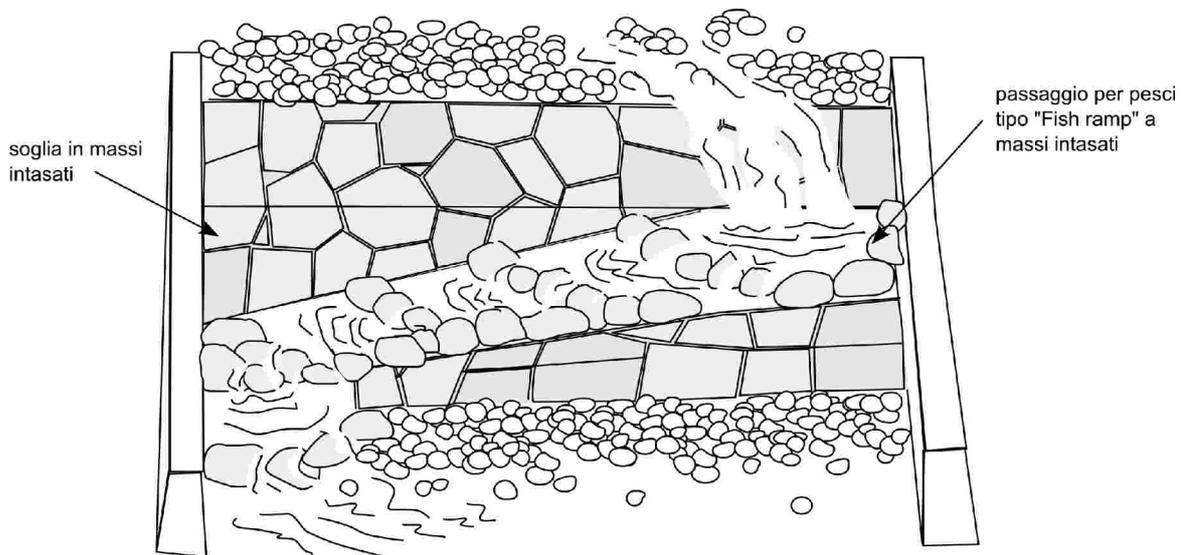


Figura 5.10: passaggio del tipo Fish ramp.

Applicabilità. Le rampe per pesci sono adatte per piccole e medie briglie in calcestruzzo, anche da ristrutturare, e meno per le derivazioni o altre situazioni di trattenuta delle acque.

Vantaggi e svantaggi. La realizzazione può essere costosa, anche per esigenze di sicurezza idraulica. Nel periodo di magra, le rampe possono disseccarsi e quindi i massi vanno intasati con cemento. La capacità di deflusso è buona e le misure di manutenzione sono minime.

Efficacia. Si tratta di strutture efficaci per qualsiasi tipo di specie, con adeguata progettazione della velocità dell'acqua e della pendenza.

Passaggi speciali

Sono opere che permettono il passaggio dei pesci senza ricostruire la continuità fluviale. I pesci vengono semplicemente spostati, passivamente oppure attivamente, ma il corso d'acqua rimane sostanzialmente interrotto. Si distinguono le seguenti sotto-tipologie:

1. Passaggi per anguille. Si tratta di canalette, spesso in plastica con setole sintetiche e sottofondo in ghiaia, permeate solo parzialmente. La larghezza è variabile da 30 a 50 cm, la pendenza da 1:5 a 1:10.

Applicabilità. Si tratta di strutture usate in associazione ad altri passaggi per pesci, oppure funzionanti da sole durante il periodo migratorio delle piccole anguille.

Vantaggi e svantaggi. Sono molto economiche, richiedono un piccolo spazio e portata molto modesta.

Efficacia. Sono efficaci soltanto per piccole anguille, ma non sono in grado di connettere due tratti di un corso d'acqua per le altre specie.

2. Chiuse per pesci. Si tratta di camere a pozzetto, regolate da chiuse per l'entrata e l'uscita dell'acqua. La portata d'attrazione è generata tramite il controllo dell'apertura della paratoia o immettendo acqua con un by-pass. Le misure dei bacini sono variabili, la portata dipende dalla grandezza di questi e dai cicli di funzionamento.

Applicabilità. Sono adatte per alti dislivelli, con spazi ridotti e modeste disponibilità d'acqua.

Vantaggi e svantaggi. Richiedono notevoli lavori e continua manutenzione per il corretto funzionamento. I costi di costruzione e di gestione sono molto elevati.

Efficacia. Queste strutture sono efficaci anche per le specie con scarse capacità natatorie, ma meno per quelle di piccole dimensioni o che vivono sul fondo.

3. Ascensori per pesci. Si tratta di vasche a sollevamento meccanico per il trasporto dei pesci da valle a monte; il collegamento tra il fiume e la vasca di cattura è realizzato con un canale, nel quale viene immessa una portata d'attrazione. Le dimensioni della vasca di carico sono comprese tra 2 e 4 m³.

Applicabilità. Gli ascensori, come le chiuse, si possono impiegare nei casi ove sia impossibile l'inserimento di un'altra tipologia di passaggio. Ad esempio sono adatti per dighe con altezza superiore a 10 m.

Vantaggi e svantaggi. Gli ascensori richiedono un impiego intensivo di tecnologia, con alti costi di costruzione, manutenzione e gestione.

Efficacia. Gli ascensori sono adatti anche per specie con scarse capacità natatorie, ma inadatti per specie piccole o che vivono sul fondo e per la migrazione verso valle.

5.3.3 Iter metodologico per la progettazione dei passaggi per pesci

La progettazione dei passaggi per pesci deve integrare diversi aspetti (ingegneristici, ecologici e biologici), in modo da minimizzare il rischio di fallimento degli obiettivi. Tali aspetti si possono ordinare schematicamente nel seguente iter metodologico (AA.VV., 2006):

Analisi della fauna ittica presente e scelta della/e specie da favorire (specie target); conoscenza dell'entità degli spostamenti e del calendario migratorio e/o riproduttivo per la/e specie target individuata/e (mobilità della specie target).

Analisi ambientale: studio del regime idrologico presso lo sbarramento (portate, livelli, velocità della corrente, ecc.) durante l'arco dell'anno e soprattutto nel periodo migratorio individuato precedentemente, e analisi geomorfologica del corso d'acqua, soprattutto in prossimità della zona in cui è previsto il passaggio (stabilità spondale, trasporto solido, ecc.) e a monte dello stesso.

Scelta della tipologia di passaggio più idonea al contesto biologico e fluviale analizzato.

Dimensionamento e progettazione del passaggio: scelta della portata d'alimentazione da destinare all'opera idraulica, in relazione alla portata media del corso d'acqua nel periodo individuato e della velocità di transito dell'acqua nel passaggio, che deve essere sostenibile dal pesce (AA.VV., 2006).

Analisi della fauna ittica

Come evidenziato nelle “Linee guida per il corretto approccio metodologico alla progettazione dei Passaggi per Pesci” pubblicate dalla Provincia di Modena (AA.VV., 2006), l’indagine preliminare sulla comunità ittica è fondamentale. Deve essere definito con chiarezza l’obiettivo per il quale si progetta un passaggio per pesci, precisando le specie ittiche cui è destinato il dispositivo, in modo che questo possa essere realmente efficace (collocato, quindi, in tratti determinanti per le specie considerate) ed efficiente (adeguatamente tarato sulle capacità natatorie ed esigenze biologiche). Questo implica la necessità di conoscere la composizione dell’ittiofauna e la dinamicità delle diverse specie, al fine di adeguare ad esse la progettazione dell’opera (AA.VV., 2006). Paradossalmente, ad esempio, un corso d’acqua molto frammentato e caratterizzato da una fauna ittica stanziale (composta in particolare da ciprinidi fitofili) avrà una priorità d’intervento minore rispetto ad un corso d’acqua meno frammentato ma caratterizzato da un’ittiofauna con elevata mobilità per esigenze trofiche e di riproduzione (composta in gran parte da ciprinidi reofili e salmonidi).

La frammentazione di un corso d’acqua, provocata da uno sbarramento, avrà quindi effetti diversi sulla fauna ittica, soprattutto in relazione al tratto del corso d’acqua in cui tale manufatto è inserito; inoltre avrà effetti diversi sulle diverse specie che compongono la comunità locale, in dipendenza dalle loro esigenze ecologiche. Le specie ittiche sono raggruppabili in varie categorie di mobilità per diversi scopi e in base alla capacità natatoria (AA.VV., 2006). Ad esempio:

- *Specie con scarsa mobilità*: specie bentoniche (con capacità natatorie ridotte), come il cobite comune (*Cobitis tenia*) e lo scazzone (*Cottus gobio*), o specie ciprinicole fitofile (relativamente stanziali), come la tinca (*Tinca tinca*), la scardola (*Scardinius erythrophthalmus*), il pesce gatto (*Ictalurus sp.*) o il persico sole (*Lepomis gibbosus*).
- *Specie con buona mobilità*: specie ciprinicole reofile (buoni nuotatori con esigenze di spostamenti per la riproduzione), come il barbo (*Barbus plebejus*), il pigo (*Rutilus pigus*), il vairone (*Leuciscus souffia*) e altre specie opportuniste, che migrano per esigenze prettamente trofiche, come il gruppo dei cefali o la spigola (*Dicentrarchus labrax*).
- *Specie con spiccata mobilità*: essenzialmente i salmonidi e altre specie, come gli storioni (*Acipenser sturio*), l’anguilla (*Anguilla anguilla*), la lampreda di fiume (*Lampetra fluviatilis*) o la cheppia (*Alosa fallax*).

La conoscenza dello stato attuale della comunità ittica locale consente, quindi, d’identificare le specie da considerare prioritarie per la progettazione del passaggio. Il “semplice” confronto tra la situazione storica e quella presente, in termini di presenza/assenza o di distribuzioni anomale delle classi di età, può evidenziare le specie che sono state danneggiate dalla realizzazione dello sbarramento, le quali divengono le specie target del passaggio (AA.VV., 2006).

Analisi dell’ambiente

La corretta progettazione dei passaggi per pesci dipende in misura rilevante dall’analisi dei parametri ambientali che caratterizzano l’area di studio. Essa si compone di:

Studio idrologico. Lo studio è focalizzato sul comportamento del corso d’acqua durante particolari periodi, in cui ci si aspetta il movimento migratorio delle specie ittiche. Interessano soprattutto i livelli e le portate minime e medie, perché dalla disponibilità d’acqua dipendono la portata da destinare al passaggio dei pesci (per garantirne il funzionamento corretto, a partire dall’attrazione dei pesci) ed i limiti di piena e di magra, entro i quali il dispositivo è efficace (AA.VV., 2006). Nel caso dei canali irrigui, le portate sono generalmente note e, soprattutto, costanti per periodi relativamente lunghi. I canali di bonifica si avvicinano maggiormente ai corsi d’acqua naturali, poiché il loro funzionamento idraulico dipende in primo luogo dall’andamento meteorologico; per tale ragione, è prioritaria un’azione di monitoraggio dei livelli, realizzando scale di portata in sezioni caratteristiche.

Studio geomorfologico. Particolare attenzione deve essere dedicata allo studio delle caratteristiche geomorfologiche del corso d’acqua, soprattutto nella zona ove si collocherà il passaggio per pesci. Ciò è importante per due motivi (AA.VV., 2006): (1) la necessità d’identificare la sponda più stabile, meno soggetta al deposito di materiale alluvionale, che porterebbe a condizioni di secca durante le magre; (2) la necessità di proteggere i dispositivi dall’intasamento e dal danneggiamento da parte degli inerti fluitati, prevedendo strategie di manutenzione ordinaria.

Studio dell'ambiente fisico a monte dello sbarramento. L'individuazione d'altre opere di sbarramento e/o regimazione delle acque e lo studio delle peculiarità ecologiche del tratto messo in connessione con il passaggio (studio dei meso e microhabitat, delle zone adatte alla frega, della fauna macrobenthonica, ecc.) hanno lo scopo di evidenziare le priorità d'intervento (una possibile strategia è stata proposta da Pini Prato (2007) ed è riassunta nel paragrafo 5.3.4) e d'indirizzare la scelta della tipologia di passaggio più idonea al contesto.

Scelta della tipologia di passaggio

La tipologia di passaggio per pesci più idonea al caso di studio viene scelta sulla base di considerazioni tecniche, economiche, ecologiche e biologiche, analizzando le esigenze e caratteristiche peculiari dei passaggi, riassunte nel paragrafo 5.3.2.

Dimensionamento e progettazione del passaggio

Per assegnare la portata d'alimentazione del passaggio, si deve definire la così detta portata media nel periodo migratorio (AA.VV., 2006). Il concetto d'attrattività di un passaggio è molto importante ed è legato al dimensionamento dell'opera ed al rapporto tra la portata d'alimentazione e la portata del corso d'acqua. E' fondamentale, infatti, destinare al passaggio un corpo d'acqua ben distinguibile e percorribile dalla fauna ittica; la percorribilità dipende dalla percezione, da parte degli individui, delle linee di deflusso, grazie ad una fila di terminazioni nervose, preposte all'individuazione delle correnti e all'induzione del nuoto in direzione opposta a quella della corrente. Spesso il fallimento di una scala di rimonta è dovuto all'assenza di una opportuna corrente di attrazione. Larinier (1994, cit. in AA.VV., 2006) consiglia di assegnare una portata di alimentazione compresa tra l'1% e il 5% della portata media nel periodo migratorio, evitando la formazione di zone di ricircolo, controcorrenti e risalti idraulici in prossimità dell'entrata. Nel caso di derivazioni, è conveniente assegnare, come portata d'alimentazione, il Minimo Deflusso Vitale (MDV), o una sua quota parte, qualora esso sia eccessivamente elevato per i criteri di dimensionamento dei passaggi per pesci (AA.VV., 2006). Altri criteri per la scelta della portata d'alimentazione sono reperibili nelle "Linee guida per la gestione della fauna ittica e degli ecosistemi fluviali in Provincia di Cuneo" (Gentili et al., 2006).

Il dimensionamento dell'opera avverrà quindi sulla base della quantità d'acqua assegnata, e dei limiti di velocità della stessa, compatibili con le esigenze delle specie ittiche e con la dimensione media degli esemplari ai quali è destinato il passaggio.

Un altro importante aspetto della progettazione, derivante dallo studio della comunità ittica, è l'identificazione della dimensione, che deve aver raggiunto l'animale appartenente alla specie target per poter superare il passaggio. Il principio basilare di funzionamento, infatti, si fonda sull'utilizzo di una portata d'alimentazione, transitante ad una velocità minore di quella sviluppabile dal pesce; poiché la velocità del pesce e la sua capacità di mantenerla dipendono dalla sua dimensione, ciò implica che solo i pesci di una certa taglia saranno in grado di utilizzare il passaggio (AA.VV., 2006). Con queste premesse, le "Linee guida" della Provincia di Modena individuano la dimensione minima del pesce, da considerare per la progettazione del passaggio, nella lunghezza media raggiunta con la maturità sessuale degli individui di sesso femminile. Secondo i casi, si devono considerare anche la possibilità di permettere il passaggio in senso opposto ai giovani esemplari e gli spostamenti trofici in altri periodi dell'anno di alcune specie (AA.VV., 2006). La dimensione così individuata può essere utilizzata per calcolare la velocità massima nel passaggio sopportabile dagli esemplari considerati, che dipende, inoltre, dalla temperatura dell'acqua (Zhou, 1982 cit. in AA.VV., 2006); tale velocità, in assenza di studi specifici, può essere desunta temporaneamente dalle curve di *habitat suitability*, ovvero dalla relazione esistente tra valori di velocità media e idoneità degli stessi per specifiche specie o per una loro fase vitale.

5.3.4 Una proposta di pianificazione degli interventi: gli Indici di Priorità

Le opere di sbarramento lungo i corsi d'acqua sono talmente numerose che non è possibile, almeno a breve termine, realizzare un passaggio per i pesci per ognuna di esse; è perciò opportuno programmare questi interventi primariamente nelle zone più interessate da migrazioni ittiche o di particolare valenza biologica ed ambientale (Pini Prato, 2007). Questo concetto è sicuramente estendibile anche ai corsi d'acqua artificiali, allo scopo di concentrare l'impiego delle risorse nelle aree che più ne necessitano.

Nella pubblicazione dal titolo "Descrittori per interventi di ripristino della continuità fluviale: Indici di Priorità d'Intervento" (Pini Prato, 2007), a cui si rimanda per un maggiore approfondimento, viene proposta

una metodologia di pianificazione dei passaggi per pesci basata su specifici Indici di Priorità, tarati per la realtà italiana, non essendo qui applicabili le metodologie di valutazione sviluppate negli altri Paesi europei all'avanguardia nel settore.

Gli Indici di Priorità d'Intervento, tramite criteri oggettivi, sintetici e di facile applicabilità, consentono d'individuare i siti più idonei alla costruzione dei passaggi per pesci. La metodologia identifica due indici:

IPs : indice di priorità d'intervento sul singolo sbarramento. Si utilizza per valutare la priorità d'intervento su uno sbarramento rispetto ad un altro (sullo stesso o su differenti corsi d'acqua).

IPt : indice di priorità d'intervento totale. Si utilizza per valutare la priorità d'intervento su un singolo bacino (o tratto fluviale) rispetto ad altri bacini (o tratti fluviali).

Si tratta di due indici numerici adimensionali, nei quali un valore più elevato indica una maggiore priorità d'intervento (su quello sbarramento o su quel tratto o bacino). Essi sono costruiti partendo dalla considerazione che la priorità dei passaggi per pesci sia da attribuire a corsi d'acqua:

- con scarsa frammentazione longitudinale (poiché è più agevole il ripristino della continuità fluviale);
- frammentati, ma con il tratto a monte dello sbarramento più lungo di quello a valle (poiché, a parità di costi, si riconnette un tratto più lungo);
- con opere di sbarramento di modesta altezza (poiché l'intervento è più semplice e meno costoso rispetto ad opere di grande altezza);
- con specie ittiche dotate di spiccate esigenze migratorie, autoctone e protette (rispetto a specie stanziali, alloctone, indesiderate e non protette).

Un aspetto di particolare interesse pratico sta nel fatto che, per le loro stesse modalità di costruzione, i suddetti indici sono adattabili ai differenti distretti ittici/idrografici presenti sul territorio nazionale (modificando semplicemente i valori attribuiti alle singole specie ittiche o aggiungendo le eventuali specie mancanti).

5.4 Costituzione di vegetazione spondale

Il mantenimento o la ricostituzione della vegetazione lungo le sponde del canale o nelle fasce immediatamente adiacenti, rappresenta uno degli interventi di primaria importanza per assicurare la funzionalità ambientale dei corsi d'acqua rurali. Spesso, tuttavia, la presenza di vegetazione sulle sponde è vista come un ostacolo al "normale" lavoro di controllo e manutenzione dei canali o, addirittura, come causa di dissesto o, più in generale, di malfunzionamento idraulico dell'alveo. Se ciò può essere vero in alcuni casi, in molti altri è possibile prevedere la formazione di una fascia vegetale "controllata", con particolari requisiti naturalistici e tecnici, in base ai quali calibrare il progetto di riqualificazione. Di seguito vengono esposti i principali interventi che è possibile attuare.

5.4.1 La scelta delle specie

La scelta delle essenze da impiegarsi nelle opere di piantagione dei canali rurali è alla base della buona riuscita dell'intervento. Essa dipende da diversi fattori, tra cui clima, suolo, esposizione e disponibilità idrica.

Prendendo come riferimento la sezione tipo di un canale rurale di forma trapezoidale, è possibile distinguere almeno quattro zone, caratterizzate da altrettante micro-condizioni ambientali, da tenere presenti all'atto della scelta delle specie da impiegarsi:

- Area centrale del canale, dove le velocità della corrente (prossima a 1 m/s) e i tiranti (maggiori di 70 cm) sono massimi ed in genere impediscono il formarsi di una vegetazione stabile (per piccoli canali questa zona può essere assente).
- Area posta al piede della sponda, caratterizzata dalla presenza costante d'acqua, velocità basse e livelli di sommergenza variabili (questa zona può essere estesa e sostituire la zona 1).
- Parte inferiore della sponda, caratterizzata da suolo saturo, sommerso per periodi di durata variabile, generalmente superiori al mese (coincidenti con la stagione irrigua nel caso dei canali agricoli).

- Parte superiore della sponda, caratterizzata da suolo con umidità variabile (da saturo ad asciutto), generalmente non soggetto a sommersione.
- Parte superiore della sponda, caratterizzata da suolo asciutto, non soggetto a sommersione.

La classificazione proposta presuppone un'esposizione soleggiata della sponda, ovvero a mezz'ombra. Occasionalmente si può assistere a fenomeni d'ombreggiamento, determinati ad esempio dalla presenza d'elementi arborei; in questo caso occorrerà considerare anche le mutate condizioni d'illuminazione, che, in parte, inibiscono la formazione di una ricca vegetazione.

In base alla classificazione zonale, sarà possibile impiegare diverse specie (Tabella 5.1). Ad esempio, se la sponda è soggetta a sommersioni occasionali, di durata non superiore alla settimana, ma il suolo si mantiene saturo per la maggior parte dell'anno, sarà utile impiegare il salice rosso o il cinerino o, in misura minore e con alcuni accorgimenti, il salice bianco per le opere di stabilizzazione. In prossimità del piede della sponda, laddove l'acqua persiste per la maggior parte dell'anno, saranno messe a dimora specie erbacee tipicamente idrofile (cannucce di palude e carici). Infine, sull'unghia della sponda (la porzione sommitale), la scelta della specie ricadrà su specie adatte a suoli asciutti (ad esempio sanguinello, nocciolo).

Oltre alle caratteristiche agronomiche, le specie da impiegare nelle opere di riqualificazione ambientale andrebbero scelte valutando alcune possibili controindicazioni, quali ad esempio:

- la produzione di pollini o altre sostanze allergeniche (se l'area è destinata ad attività ricreative);
- la diffusione di specie infestanti le colture agrarie (se il canale, come nella maggior parte dei casi, attraversa aree agricole).

Tabella 5.1: elenco delle principali specie vegetali suddivise per posizione sulla sponda.

Zona 2 (piede)	Zona 3 (parte inferiore)	Zona 4-5 (parte superiore)
Fragmites communis	Salix viminalis	Viburnum opulus
Carex spp.	Salix elaeagnos	Frangula alnus
Scirpus spp.	Salix purpurea	Ligustrum vulgare
Typha spp.	Salix triandra	Corylus avellana
Filipendula ulmaria	Alnus glutinosa	Cornus sanguinea
Salix cinerea		Rubus spp.
		Salix caprea
		Salix alba
		Sanbucus nigra
		Populus tremula
		Populus nigra
		Acer campestre
		Ulmus minor

Negli interventi di riqualificazione ambientale che prevedono l'impiego della vegetazione, è importante scegliere materiale autoctono, per due motivi principali:

- si tratta di specie vegetali "naturalmente selezionate" per vivere nei nostri ambienti e pertanto necessitano di cure ridotte;
- tali specie sono in grado di ospitare un numero maggiore di specie animali e questo favorisce la creazione di biodiversità.

L'intervento ha maggior probabilità di riuscita se le piante sono state ottenute da postime (materiale destinato alla piantagione a dimora) di provenienza locale, che permette di conseguire risultati migliori in termini d'attecchimento, rispetto al materiale di provenienza incerta, e garantisce la conservazione degli

ecotipi locali e della biodiversità. La scelta di impiegare solo materiale di provenienza locale si spiega con il fatto che, nel tempo, le specie forestali si sono adattate alle condizioni climatiche e pedologiche dei diversi luoghi. Questo processo ha dato origine ai cosiddetti ecotipi o provenienze, vale a dire popolazioni della stessa specie, distinte tra loro per alcuni caratteri genetici, in modo da rispondere meglio alle diverse condizioni ambientali. L'impiego di materiale proveniente da ambienti diversi da quello d'impianto comporta, alla lunga, un inquinamento genetico e la possibile scomparsa degli ecotipi indigeni.

Spesso, soprattutto quando si prevede l'impiego di tecniche d'ingegneria naturalistica, è utile la costituzione di vivai in loco (da impiantare 4-5 anni prima dell'intervento vero e proprio) o comunque l'organizzazione delle nuove opere in concomitanza con gli interventi di manutenzione delle vecchie.

5.4.2 La qualità delle piante

Soprattutto nelle opere d'arredo urbano (aree di sosta a lato di canali, piste ciclabili, parcheggi, etc.), è necessario prevedere la posa d'esemplari arborei e arbustivi allevati in zolle, fitocelle o contenitori, in modo da conferire una struttura abbastanza formata al nuovo impianto. In questi casi, la qualità delle piante è una delle condizioni preliminari per garantire il successo, tecnico ed ecologico, d'ogni intervento.

Nel caso d'impianti che svolgono anche una funzione di miglioramento ecologico-ambientale, la qualità del materiale vivaistico viene definita da quattro parametri:

- qualità genetica: il materiale è di provenienza adatta, cioè il seme è stato raccolto in area regionale o al massimo nell'ambito padano-alpino;
- qualità sanitaria: il materiale non presenta malattie, ferite, attacchi parassitari o difetti all'apparato radicale, al fusto o al fogliame;
- qualità culturale: il materiale presenta dimensioni e caratteristiche idonee per la riuscita dell'impianto, come un fusto principale diritto e nettamente dominante, una buona conformazione delle branche, un apparato radicale sviluppato e ricco di radici secondarie, la presenza di gemme apicali sane, i getti terminali lignificati;
- qualità attitudinale: il materiale è adatto a svolgere efficacemente le funzioni per le quali viene impiegato, in interventi sia di tipo tradizionale, come i rimboschimenti in zone montane, sia più recenti, come la forestazione urbana o il recupero di aree degradate.

5.4.3 Criteri generali e finalità dell'intervento

Le opere che prevedono l'impianto di vegetazione sulle sponde hanno le seguenti finalità:

- fornire stabilità meccanica alle sponde;
- ridurre le azioni erosive della corrente;
- ricostruire l'ecotono a lato dei corsi d'acqua (naturalizzazione dei canali rurali).

Per contro possono presentare i seguenti svantaggi:

- riduzione della capacità idraulica della sezione;
- minore controllo visivo dello stato della sponda (la vegetazione può nascondere alla vista imprevisti cedimenti della sponda e tane di animali);
- inaccessibilità delle sponde (specialmente per i pescatori);
- necessità di un adeguamento logistico degli interventi di manutenzione (macchine operatrici programmazione dei tagli, rimozione del materiale di risulta).

La scelta di porre vegetazione sulle sponde presuppone una verifica delle potenzialità dell'intervento e delle procedure di manutenzione, e un complessivo bilancio costi - benefici. Di seguito sono illustrate alcune tra le principali tipologie d'intervento, già introdotte nel capitolo precedente e qui approfondite.

5.4.4 Tipologie d'intervento

Le opere presentate, tra quelle più studiate e applicate nella pratica, sono in genere descritte nei manuali d'Ingegneria Naturalistica, a cui si consiglia di fare riferimento per ulteriori approfondimenti. Esistono diverse varianti, secondo gli usi e le tradizioni locali, le risorse economiche, la disponibilità di materiale e manodopera, le limitazioni delle condizioni operative.

Copertura diffusa con astoni

Questa sistemazione si adatta a sponde con inclinazione minore di 35° e ha generalmente una funzione di protezione dall'erosione e di stabilizzazione meccanica, oltre all'aumento delle qualità ambientali. Sulla superficie della sponda si stende ramaglia viva, di specie vegetali con capacità di propagazione vegetativa (Salici, Tamerici, ecc.), disposta perpendicolare alla direzione della corrente e fissata al substrato mediante filo di ferro, teso tra picchetti e paletti vivi e/o morti. E' fondamentale che i rami siano orientati con le cime verso l'alto e la base della ramaglia sia conficcata nel terreno umido o a contatto con l'acqua; qualora siano presenti più file, queste devono sormontarsi parzialmente. La ramaglia viene coperta con un sottile strato di terreno (Figura 5.11).



Figura 5.11: copertura diffusa con astoni (fiume Oglio, marzo 2005). Si noti il rinforzo del piede della sponda con massiciata e la copertura degli astoni con terra.

Il piede dell'opera rappresenta un punto critico, poiché viene meno la continuità tra la copertura con ramaglia e il fondo del canale o perché l'azione di stabilizzazione delle piante è compromessa dal permanere per lunghi periodi della condizione di sommersione. Per tali ragioni, nella maggioranza dei casi, è necessario fondamentale rinforzare il piede dell'opera con massi, palizzate, palificate o fascinate.

Nel caso in cui si utilizzi materiale legnoso, esso potrà essere di diverse essenze, preferibilmente di legni duri e tronchi scortecciati. In condizione di sommersione costante, è possibile usare legni dolci come il pioppo, l'ontano e il salice purché la paleria non subisca cicli di sommersione; infatti, il passaggio da umido ad asciutto determina un rapido deterioramento di tali essenze, che è possibile evitare valutando, in sede di progetto, il tirante minimo previsto all'interno del canale.

Le essenze da impiegare come talee sono quelle a portamento tipicamente arbustivo (si suggerisce cautela nell'uso del salice bianco, a causa dell'eccessivo sviluppo della chioma). I salici, generalmente, resistono a periodi di sommersione lunghi; tuttavia condizioni di sommersione prolungata possono causare danni alla

copertura vegetale e ridurre la funzionalità dell'opera. Se si prevede di sommergere la sponda per periodi superiori alla settimana, è meglio scegliere altre specie adatte ad ambienti umidi (*Phragmites* spp.).

Posa di materiale inerte (in associazione con talee e piante)

In alternativa alla copertura diffusa, è possibile la posa sulla sponda di materiale lapideo, che garantisce una immediata protezione dai fenomeni erosivi e dall'azione degli animali selvatici (nutrie e gamberi rossi). Il pietrame può essere di varia pezzatura, secondo le tensioni a cui è soggetto l'alveo, la disponibilità e gli usi locali; generalmente, in ambiti di pianura, si usano da ciottoli (diametro 10-15 cm) a pietre (30-40 cm) a massi ciclopici (50-100 cm). Nella maggior parte dei casi, l'opera si rinverdisce naturalmente con vegetazione erbacea, se regolarmente falciata (1-2 volte/anno), o altrimenti arbustiva o arborea, spesso di scarso valore ambientale (specie alloctone ed infestanti). Per evitare questa deriva ecologica, che porta a diffondere specie alloctone e di difficile gestione, è consigliabile la posa di materiale di propagazione (semi, talee e piante a radice nuda o allevate in fitocella) appartenente a specie di pregio.

Gradonate

L'opera prevede la realizzazione di banchine sub-orizzontali, costituite da uno scavo inclinato di circa 5-10° a reggipoggio, nel quale viene disposto materiale vegetale vivo, che può essere costituito da talee o piante radicate o misto. L'opera è adatta anche a sponde con scarpa piuttosto ripida, e ha una sola controindicazione, derivante dall'ombreggiamento esercitato dalle file superiori su quelle più basse. Ciò determina una scarsa capacità protettiva della vegetazione, soprattutto in corrispondenza del piede della sponda, di cui occorre prevedere la protezione, ad esempio mediante la posa di massi o altro materiale inerte (tavolate, fascine o tondame). L'effetto di rinforzo sulla sponda è diretto, nel caso della posa di talee lunghe, se queste attraversano il piano di scivolamento della sponda; per il dimensionamento dell'opera, si rinvia agli allegati tecnici. In alcuni casi, la protezione da fenomeni erosivi può essere insoddisfacente, a causa della disposizione delle file di talee in senso parallelo alla corrente, che favorisce la formazione di flussi locali, i quali erodono il terreno privo di vegetazione; tuttavia, questo comportamento si manifesta soltanto con forti correnti d'alveo. Si veda anche il relativo paragrafo nel capitolo precedente.

5.5 Creazione di siepi e filari, macchie boscate

In Lombardia, come in buona parte della pianura padana, tradizionalmente le siepi costituivano un elemento fondamentale del paesaggio agricolo, di cui il progressivo mutamento delle tecniche agricole ha segnato la scomparsa. Recentemente, l'affermarsi di nuove esigenze ambientali d'interesse collettivo ha permesso la riscoperta dell'antica pratica di piantagione delle siepi, con le seguenti finalità:

- migliorare la qualità del paesaggio (recupero di forme tradizionali, schermatura di aree degradate, arredo d'infrastrutture ricreative).
- incrementare le potenzialità ecologiche (corridoi ecologici di connessione tra aree ad elevata naturalità, siti di rifugio e alimentazione per la fauna).
- proteggere le colture dal vento, riducendo l'evapotraspirazione, con conseguente aumento della produzione.
- ombreggiare i canali, con conseguente riduzione delle infestanti.

Per contro, nell'impianto di nuove siepi, occorre considerare:

- la riduzione delle aree colturali e le difficoltà di movimento delle macchine agricole,
- l'ombreggiamento dei campi,
- i costi di modifica del sistema colturale e l'aumento dei costi di gestione.

La piantagione di siepi ben progettata lungo i canali può costituire un elemento di paranaturalità, che incrementa le qualità della rete idrica, senza necessariamente ridurne le caratteristiche funzionali e gestionali.

Le siepi e i filari sono, in genere, osteggiati da una parte degli agricoltori, i quali vedono nella loro presenza una riduzione dei guadagni, dovuta alla perdita secca di superficie agricola, non compensata dallo scarso valore produttivo della siepe, che fornisce materiale legnoso, di cui oggi c'è ridotta richiesta; tuttavia, l'obiezione che la presenza delle siepi determina una riduzione di produttività dei campi limitrofi non è del

tutto vera. Diversi studi (citati in Franco, 2000; PIF Lodi, 2003) hanno dimostrato un'effettiva riduzione della produttività nella fascia colturale limitrofa (ad una distanza massima pari all'altezza del frangivento), pari al 50-60%, a causa della competizione diretta dell'impianto agroforestale. Nel resto del campo, invece, è riscontrabile un incremento di produzione che, anche se non palesemente percettibile, determina un aumento della produttività complessiva; questo, ad esempio, nel caso di coltura a mais in condizioni pedoclimatiche simili a quelle padane, è risultato pari al 3-11% (Franco, 2000). È quindi evidente che, al crescere della dimensione dell'appezzamento, l'effetto della vegetazione a margine dei canali diviene via via sempre più irrilevante.

Le siepi ed i filari sono ambienti di natura artificiale, i quali, tuttavia, per la loro millenaria presenza nei paesaggi agro-forestali italiani ed europei, ospitano un numero molto elevato di specie animali e vegetali, che si sono adattate nel corso dei secoli. Le siepi, infatti, sono un sito importante di svernamento per un elevato numero d'invertebrati, che fungono da predatori di specie dannose ai raccolti. Allo stesso tempo, esse rappresentano un sito di rifugio e foraggiamento per numerose specie d'interesse venatorio; infine, possono costituire fonti energetiche e riserve d'anidride carbonica.

Adottando la classificazione proposta da Sergio (1999), le siepi possono essere distinte in base alla loro finalità primaria:

- siepi di tipo naturalistico,
- siepi costituenti area di rifugio per specie d'interesse venatorio,
- siepi di tipo produttivo.

La classificazione proposta comporta opportune valutazioni, specifiche per le diverse tipologie, ma in generale, per le finalità di progettazione, valgono i seguenti principi:

- *eterogeneità di composizione*: siepi con più specie erbacee, arbustive ed arboree autoctone sostengono un maggior numero di specie animali e garantiscono una maggiore resistenza alle malattie rispetto a siepi dominate da un numero ristretto di specie vegetali.
- *età e disetaneità*: vale il principio che le siepi più antiche sostengono un maggior numero di specie vegetali e animali rispetto alle siepi di recente installazione; allo stesso tempo è utile mantenere una certa differenza d'età tra gli individui che le compongono.
- *struttura articolata*: le siepi caratterizzate da formazioni intricate ed irregolari sostengono un maggior numero di specie rispetto alle siepi caratterizzate da forme regolari e ordinate.
- *dimensioni rilevanti*: le siepi più grandi presentano una maggior diversità di specie rispetto alle siepi più piccole; inoltre maggiore altezza e spessore permettono la presenza di un ampio volume interno della siepe, protetto da fattori esterni di natura climatico-ambientale (freddo, neve, pesticidi) o ecologica, quale la sottrazione di nidi da parte di vari uccelli predatori.

In conformità a questi principi, è possibile realizzare siepi di elevato valore paesaggistico, naturalistico e funzionale.

5.5.1 Progettazione dell'intervento

Gli interventi per la creazione di nuove siepi, o la gestione di siepi preesistenti, presuppongono un sopralluogo preliminare, durante il quale è bene annotare le seguenti caratteristiche:

- tipo di suolo del sito in esame;
- età della siepe, se già presente;
- gestione passata della siepe, o uso del suolo entro il sito di nuovo impianto;
- tipo e abbondanza delle specie vegetali che compongono la siepe;
- presenza di alberi, loro età e precedente forma di governo (a capitozza, a ceduo, ecc.);
- struttura e dimensioni della siepe;
- condizioni della base della siepe (presenza di uno strato erbaceo, sua altezza, ecc);
- posizione della siepe, tipologie di ambienti nei dintorni o messi in connessione dalla siepe;

- presenza di specie rare.

In conformità alle caratteristiche pedo-climatiche dell'area d'impianto, è possibile scegliere il miscuglio di specie adatte, tenuto conto delle finalità prefissate e delle esigenze locali. In termini generali, per siepi con finalità naturalistiche e venatorie (Sergio, 1999) si dovrà fornire alla fauna presente sostentamento per un periodo prolungato dell'anno, scegliendo specie a fioritura scalare dalla primavera all'estate e frutti persistenti anche nel periodo invernale.

A tale scopo, una composizione tipo del gruppo d'essenze può essere quella riportata in Tabella 5.2. Per la costituzione di siepi a indirizzo prevalentemente produttivo (legname) si può fare riferimento alla Tabella 5.5.3.

Tabella 5.2: composizione tipo di una siepe con finalità naturalistica e faunistica (modificato da Sergio, 1999).

Specie	Percentuale di composizione
Biancospino	50 %
Prugnolo	20 %
Altre specie: Sanguinello, Lantana, Spincervino, Pallon di maggio, Rosa selvatica, Fusaggine, Ligustro, Acero campestre, Rovo comune, Sambuco, Caprifoglio, Melo selvatico.	30 % (un misto di molte specie)

Tabella 5.5.3: composizione tipo di una siepe con finalità produttiva (modificato da Sergio, 1999).

Associazioni e forme di governo	Composizione
Pioppo nero e Pioppo bianco	Si consiglia un miscuglio composto di Pioppo nero all'80 % e Pioppo bianco al 20 %. Singoli individui di Farnia, Olmo campestre o Ciliegio selvatico possono essere aggiunti e sparsi lungo i filari. La forma finale di governo della siepe è a fustaia, con piante mature alte 15-20 m.
Acero campestre e Platano Ceduo semplice: entrambe le specie sono gestite a ceduo, con turni di 15-20 anni. Ceduo matricinato: entrambe le specie sono gestite a ceduo, lasciando crescere almeno una matricina ogni 7-10 m d'ogni filare e mantenendola per almeno 2-3 turni del ceduo sottostante. Occorre assicurare la presenza di almeno 4-5 alberi maturi (alti almeno 17-20 m) ogni 100 m d'ogni filare. Ceduo composto: una delle due specie, preferibilmente l'Acero campestre, è governata a fustaia, mentre l'altra, preferibilmente il Platano, è gestita come ceduo sottostante. Fustaia: entrambe le specie vengono lasciate crescere fino a diventare piante mature > 16-20 m di altezza.	Si consiglia una mistura composta da Acero campestre al 60-70 % e Platano al 30-40 %
Farnia e Frassino maggiore Fustaia: Farnia e Frassino maggiore, con aggiunte di singole piante mature di Ciliegio selvatico, sono governate a fustaia. Turni minimi di 40 anni per il Frassino, 60 per il Ciliegio e 80 anni per la Farnia (potenzialmente prolungabili a 100-120 per ottenere grandi diametri e legname d'alta qualità).	Mantenere circa il 70-80 % a Farnia e il 20-30 % a Frassino maggiore

<p>Ceduo composto: una fustaia di Farnia e Frassino maggiore, con potenziali aggiunte di Ciliegio selvatico (turni come nel governo a fustaia), sovrasta un ceduo d'Acero campestre, oppure di Nocciolo, con turno di 15-20 anni.</p> <p>Ceduo semplice: ceduo di Farnia e Frassino maggiore, con turno rispettivamente di 25 e 15 anni.</p>	
<p>Pioppo bianco, o nero e Frassino maggiore</p> <p>Soprassuolo a fustaia di Pioppo e Frassino, con turno di 15-20 anni;</p> <p>Ceduo sottostante d'Acero campestre o Nocciolo con turno di 15-20 anni.</p>	<p>Mantenere circa il 60 % a Pioppo bianco, o a Pioppo nero e il 40 % a Frassino maggiore</p>
<p>Salice bianco da gestire a fustaia con turni di almeno 20-25 anni</p>	<p>Popolamenti puri di Salice bianco a cui aggiungere eventualmente Pioppo bianco, Pioppo nero, Ontano nero, Olmo campestre, o Farnia come specie aggiuntive in piccole proporzioni (< 10 %).</p>
<p>Ontano nero</p> <p>Su suoli acquitrinosi, piantare Ontano nero e gestire a ceduo matricinato, con turni di 20 anni.</p>	<p>Aggiungere qualche individuo di Pioppo bianco, Pioppo nero, Olmo campestre, o Farnia in piccole proporzioni (< 5-10 %).</p>
<p>Filari d'alberi con governo a capitozza</p>	<p>Utilizzare preferibilmente Salice bianco, Pioppo nero, e Frassino maggiore. Tale forma di governo può essere utilizzata anche su Querce, Acero campestre, Olmo campestre, Tiglio selvatico e Biancospino, ma con minori risultati e maggiori difficoltà di gestione.</p>

Le composizioni sopra riportate si possono ritenere valide per la maggior parte delle stazioni pedoclimatiche presenti nella pianura lombarda.

La probabilità di successo dell'impianto può essere incrementata dai lavori preparatori del sito, che possono essere così schematizzati, secondo tre differenti modalità d'impianto:

- aratura della striscia di terreno e successiva messa a riposo come incolto, per un periodo variabile secondo le esigenze, quindi applicazione di un erbicida per il controllo chimico delle erbe infestanti e successiva messa a dimora delle piantine.
- collocamento di una striscia di politene sul sito d'impianto e, dopo un certo periodo, messa a dimora delle piantine, scavando un'intaccatura a "V" nel terreno attraverso il foglio di politene stesso.
- lo scavo di uno-due solchi paralleli d'i aratro entro la striscia di terreno del sito d'impianto, la successiva messa a dimora delle piantine entro il solco, e il riempimento della buca con la terra rimossa. Quest'ultimo metodo tradizionale è probabilmente il più semplice ed, economico, e tradizionale.

Le piantine vanno collocate in buchi o solchi profondi circa 30 cm, e preferibilmente ad una profondità simile a quella in cui giacevano in vivaio. Il periodo della messa a dimora è compreso tra ottobre e marzo per le piante a radice nuda, e può essere esteso a tutto l'anno per le piante allevate in vaso, evitando comunque i periodi particolarmente siccitosi o freddi. In zone con gran abbondanza di conigli, è preferibile evitare la messa a dimora in autunno, periodo in cui i danni causati da tali leporidi sono massimi.

Le piantine sono messe a dimora in due file parallele, con una distanza di 25 cm tra quelle limitrofe entro la stessa fila, e una distanza tra le due file parallele di 50-100 cm, con una densità complessiva di 9 piantine per metro di siepe. Distanze maggiori (60-100 cm) tra le due file creano condizioni migliori per la fauna, ma possono facilitare la crescita di malerbe: quando possibile, si consiglia di progettare impianti molto fitti (distanza tra le piantine = 25 cm in ogni direzione) e prevedere eventuali diradamenti futuri a struttura già formata. Per facilitare le operazioni di diserbo, le piante devono essere poste in file singole, distanti almeno 100 cm o più, o in file appaiate (Figura 5.12). I due filari di piantine devono inoltre essere sfasati l'uno

rispetto all'altro, in modo che ad ogni piantina su un filare corrisponda lo spazio vuoto tra due piantine successive nel filare parallelo.

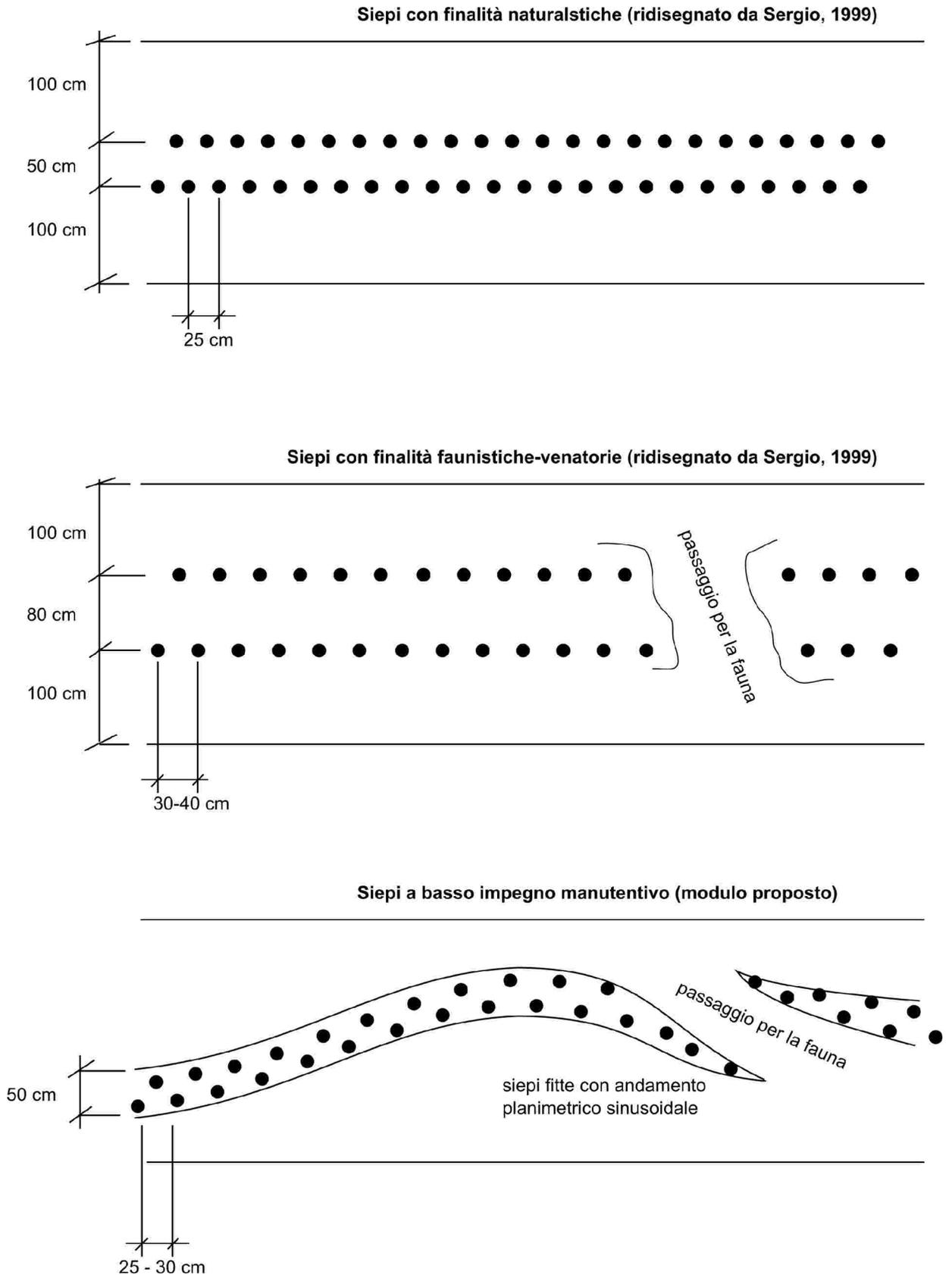


Figura 5.12: sesto di impianto per siepi con diverse finalità.

Gli arbusti devono essere piantati in gruppi di 2-12, e preferibilmente 5 individui ravvicinati della stessa specie. Tale procedura evita il problema della rapida espansione di specie molto invadenti, che tendono a dominare le altre, creando siepi troppo omogenee.

Al momento dell'impianto, si procede al taglio di tutte le piantine messe a dimora ad un'altezza di 15 cm da terra, oppure ad un'altezza pari a un terzo di quella originale delle piante; in questo modo si favorisce la crescita di siepi fitte e compatte. Vanno escluse da quest'operazione le piante destinate ad assumere portamento arboreo.

In zone con abbondanza di conigli, lepri, o altri animali che potrebbero brucare le piante, può essere necessario applicare protezioni attorno ad ogni pianta, per esempio formate da cilindri di rete di metallo, plastica o altro materiale, con diametro di circa 20 cm e altezza di 60 cm per danni potenziali da conigli e 75 cm per danni da lepri.

Per le piante di specie arboree è necessario prevedere un tutore, costituito ad esempio da una cannuccia.

Nel primo anno d'impianto è necessario prevedere almeno un'irrigazione di soccorso.

5.5.2 Cura e manutenzione

La competizione tra le piante della siepe e le possibili erbe infestanti, per luce, acqua, e nutrienti, è spesso molto accentuata su suoli fertili, soprattutto se in precedenza d'uso agricolo (Figura 5.13). La scerbatura manuale rimane l'unica soluzione valida, soprattutto in ambienti con un certo interesse naturalistico, ma è anche quella più costosa. In alternativa, è possibile collocare al piede delle giovani piante materiale pacciamante d'origine organica (cortecce, cippato di legno), fogli di biostuoie o materiale plastico nero. Tali soluzioni, tuttavia non escludono completamente la formazione d'infestanti; perciò occorre prevedere l'utilizzo d'erbicidi. La lotta alle erbe infestanti va prevista per i primi 3-4 anni dall'impianto o comunque fino a quando la formazione a siepe è completamente chiusa. L'applicazione dell'erbicida può essere limitata all'immediato intorno delle singole piante, mentre nell'interfila si può ricorrere allo sfalcio con mezzi meccanici, evitando assolutamente di danneggiare la corteccia delle giovani piante.



Figura 5.13: manutenzione di una siepe a lato del canale: (a) a maggio la vegetazione spontanea ha completamente sommerso le giovani piante; (b) lo stato dopo lo sfalcio manuale dell'erba.

La prima potatura avverrà a circa 6 anni dall'impianto. In seguito le potature devono avvenire con un turno di 3 anni; potature più frequenti, infatti, deprimono la quantità di bacche e frutti prodotti dalla siepe (Andrews e Rebane 1994). Per una gestione ideale, mirata a rendere massima la biodiversità, converrà dividere la siepe in tratti ed eseguire alternativamente la potatura ogni anno, in modo tale che ciascun tratto venga potato ogni 3 anni, e che tratti confinanti vengano potati in anni successivi (questo permette a molti artropodi di passare facilmente da un settore all'altro della siepe e disperdersi verso zone con struttura vegetazionale idonea alle loro esigenze). Tale tecnica di gestione consente di avere siepi che presentano stadi di sviluppo diversi in ogni momento della loro vita e quindi una struttura varia, in grado di sostenere un numero elevato di specie animali.

Nel caso in cui, per una qualsiasi ragione, sia impossibile mantenere un turno di 3 anni e siano necessarie potature più frequenti, sarà necessario che alcune parti della siepe siano lasciate libere da potature per almeno tre anni. Per esempio, tali settori potrebbero essere gli angoli finali o parti lungo boschi, o il lato posto lungo i canali.

Le operazioni di potatura possono essere eseguite con mezzi meccanici o manualmente. Le macchine facilitano la manutenzione, ma peggiorano la qualità ecologica e funzionale della siepe. Potature eseguite a mano, con tagli di ritorno a livello delle ramificazioni, favoriscono lo sviluppo armonioso dei palchi, il mantenimento di rami giovani e il ricambio dalla vecchia vegetazione, il controllo dello stato fitosanitario della siepe e la salvaguardia di specie ornamentali in essa nidificanti; per contro, esse comportano un ovvio incremento dei costi di manutenzione. Un utile compromesso tra le varie esigenze può essere costituito da una gestione che alterna le due metodologie di taglio.

Le potature devono sempre essere eseguite in gennaio-febbraio. Potature troppo precoci in autunno, infatti, rischiano di asportare le bacche della siepe, mentre potature primaverili rischiano di danneggiare molti uccelli nidificanti entro la siepe durante tale stagione.

La siepe andrà gestita in modo da assumere dimensioni minime di 1.5 m di spessore e 2 m d'altezza. Si consiglia di non superare i 4 m d'altezza; recenti ricerche hanno evidenziato che molte specie d'uccelli presentano tassi di predazione elevati in siepi di tale grandezza e tendono quindi ad evitarle. Lo stesso problema si presenta per le siepi sotto i due metri d'altezza, che costituisce quindi il limite inferiore. Un altro fattore importante è la continuità della copertura vegetazionale fino al suolo: è opportuno gestire la siepe in modo che l'attaccatura della chioma sia molto bassa e quasi in contatto con il suolo; inoltre, la siepe dovrà assumere una forma trapezoidale, in modo da mantenere anche alla base una copertura sufficientemente fitta.

Nel caso in cui nella siepe siano presenti alberi vetusti, con cavità rilevanti o edera, è buona norma mantenerli in piedi, laddove possibile ovvero, quando non creano pericoli d'instabilità o di ribaltamento. In alternativa, è anche possibile prevedere la potatura degli stessi individui, in modo da alleggerirne il carico complessivo. Nel caso d'alberi allevati a capitozza e poi abbandonati, è possibile intervenire con tagli drastici di ringiovanimento, in modo da stimolare l'emissione di nuovi fusti.

5.6 Aree umide, pseudo lanche, bacini d'accumulo, sedimentazione e laminazione

Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento d'interesse per i sistemi naturali ricostruiti, tesi al miglioramento della capacità autodepurante dei corsi d'acqua, fra i quali anche le aree umide. Queste, infatti, assolvono diverse funzioni ambientali: depurazione delle acque, riserva idrica, protezione dalle piene, serbatoi ecologici ed elementi di pregio paesaggistico. Nel caso dei canali rurali, la creazione di un'area umida va intesa come un'opera che incrementa le caratteristiche funzionali del sistema irriguo e, per tale ragione, progetti vanno considerati come interventi di riordino della rete. Di seguito vengono illustrati alcuni noti esempi applicativi.

5.6.1 Bacini di laminazione dei deflussi in alveo e di ritenzione delle acque meteoriche urbane

In un contesto territoriale caratterizzato da una crescita delle superfici impermeabili (edifici, strade, parcheggi), a scapito di quelle permeabili (aree agricole e forestali), assume un certo interesse la realizzazione di strutture in grado di accogliere le acque pluviali in eccesso, che, in caso di eventi meteorologici intensi, vengono sempre più frequentemente recapitate nel reticolo di bonifica. Spesso, infatti, capita che l'attuale rete dei canali di bonifica non sia più in grado di garantire il mantenimento della funzionalità per la quale era stata progettata, ma allo stesso tempo risulta impraticabile la ristrutturazione complessiva della rete stessa, mentre appaiono maggiormente perseguibili interventi mirati e localizzati, quali ad esempio i bacini di laminazione.

I serbatoi di laminazione, o casse d'espansione o vasche volano (Di Fidio, 1995), sono aree delimitate da arginature, realizzate allo scopo di contenere un certo volume d'acqua. Essi possono essere collegati a corsi d'acqua naturali o canali di bonifica (Figura 5.14), in modo da ridurre i colmi di portata in caso di piena, oppure raccogliere le acque provenienti da aree impermeabilizzate (acque di prima pioggia), prima della loro immissione nella rete scolante principale e, in questo modo, ridurre il carico idraulico su di essa.

Le casse d'espansione possono essere classificate, sulla base dell'altezza e del volume d'invaso, in tre categorie (Di Fidio, 1995):

- serbatoi piccoli ($0 < H < 5$ m; $0 < I < 0,1$ 106 m³)

- serbatoi medi ($0 < H < 15$ m; $0,05 \cdot 10^6 < I < 1,0 \cdot 10^6$ m³)
- serbatoi grandi ($H > 5$ m; $I > 0,5 \cdot 10^6$ m³)

L'afflusso e il deflusso dalla vasca può avvenire attraverso manufatti diversi (luci di fondo, stramazzi superficiali) fissi o regolabili. Se è previsto un emissario, il progetto prevede generalmente la realizzazione di due manufatti: uno per lo sgombero delle portate di magra, posizionato sul fondo, l'altro per le portate di piena.

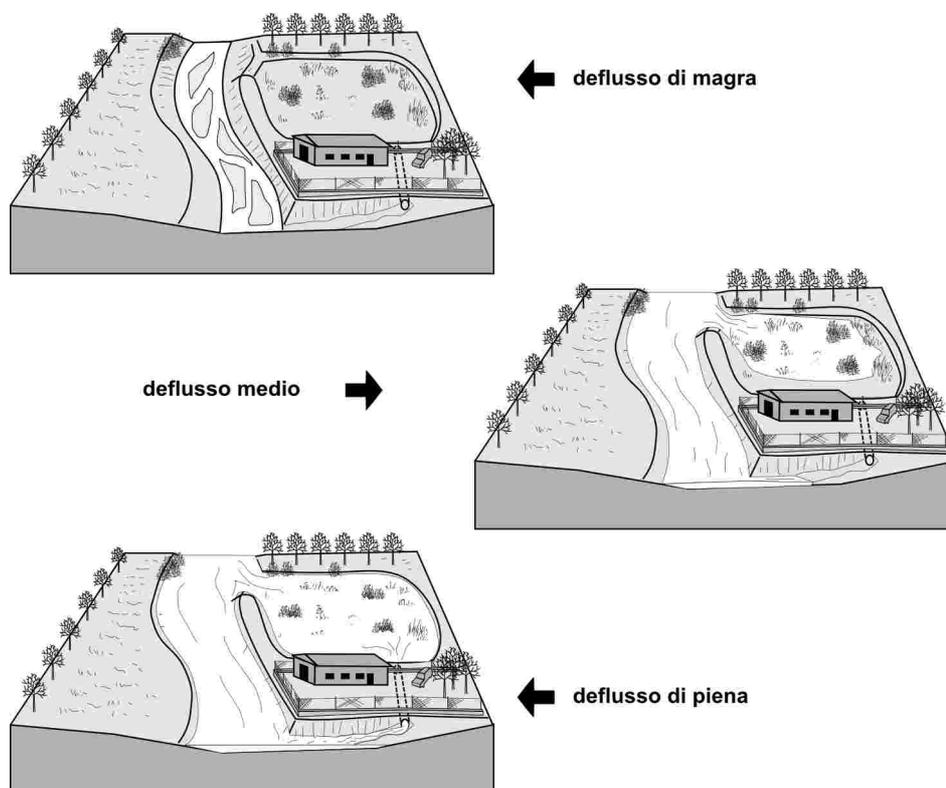


Figura 5.14: funzionamento di una vasca di laminazione (Di Fidio e Bischetti, 2008).

In alcuni casi, può risultare conveniente attribuire al serbatoio anche altri scopi oltre a quelli di difesa idraulica, come ad esempio la costituzione di biotopi ad elevato valore naturalistico o la realizzazione di aree verdi attrezzate per finalità turistiche. In questi casi occorre prevedere il rilascio nella vasca di laminazione di una portata minima, adatta al mantenimento della funzionalità della struttura.

Dal punto di vista ambientale, nelle aree destinate alle vasche di ritenzione, è possibile prevedere la creazione d'ambienti palustri che, con il tempo, sono in grado di generare nicchie ecologiche diversificate, capaci di giocare un ruolo ai fini della biodiversità regionale (Malchevski et al., 1996) e, nello specifico, consentire la sosta dell'avifauna migratrice e favorire lo sviluppo delle comunità ittiche e bentoniche.

5.6.2 Lanche artificiali

Nei corsi d'acqua naturali, le lanche costituiscono un elemento d'elevato pregio ambientale. Nel caso dei canali rurali, è possibile creare strutture simili, mediante più piccoli canali paralleli, che derivano da quello principale una portata minima, in grado di mantenere allagata un'area delimitata da arginature, all'interno della quale si forma una zona umida.

La creazione di una lanca artificiale comporta la disponibilità di una certa superficie a lato del canale. Tale area può essere ricavata o da progetti di riordino irriguo con successivo abbandono d'alvei in disuso, o dall'acquisto di terreni marginali o, ancora, da forme di contratto con le proprietà interessate. L'intervento consiste in movimenti di terra e sagomatura dell'area, in modo da creare il canale "by-pass" e i campi da allagare, compresi tra questo e il canale principale (Figura 5.15).

Inoltre, nel progetto occorre prevedere la costruzione di due manufatti (chiaviche) per il controllo dell'afflusso e del deflusso; tali opere dovranno garantire l'afflusso di una portata minima, anche quando i

tiranti nel canale principale sono più bassi, e non dovranno rappresentare un ostacolo alla fauna acquatica, salvo specifiche finalità ambientali (ad es. sito per la riproduzione della batracofauna). Sarà altresì opportuno prevedere attraversamenti, necessari all'ingresso nell'area dei mezzi necessari alla sua manutenzione.

L'impianto di una vegetazione palustre, contornata da siepi e filari posti secondo le modalità descritte in precedenza (par. 5.5) completano il progetto dal punto di vista ambientale.

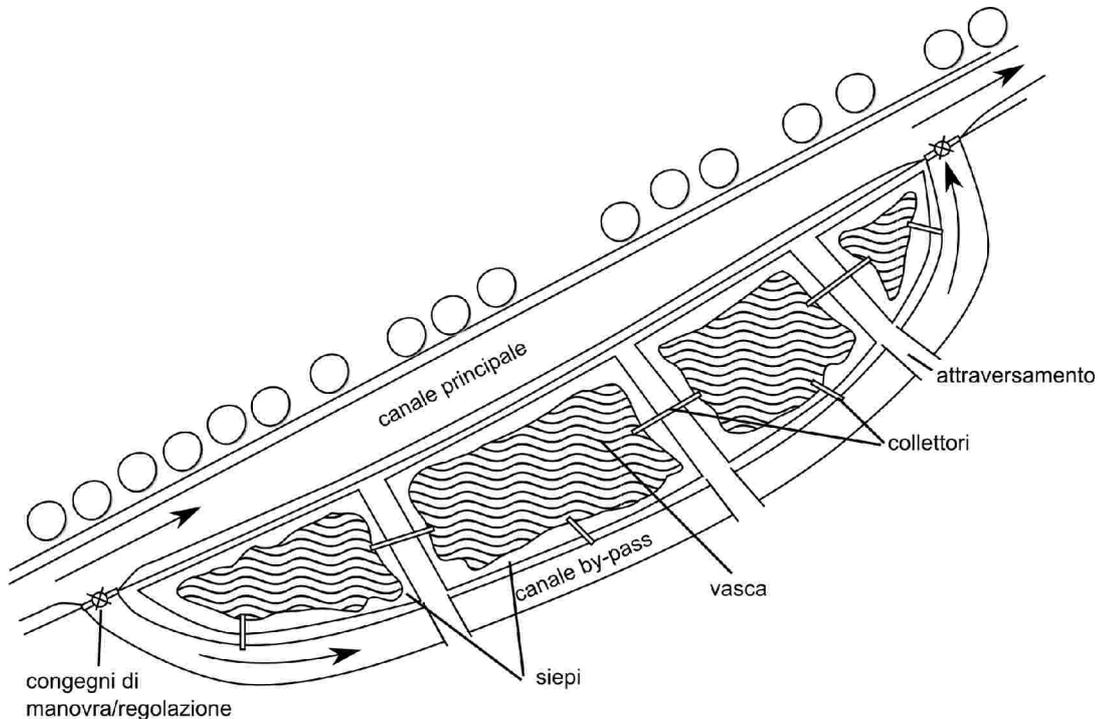


Figura 5.15: esempio di lanca artificiale a lato di un canale.

Il valore ambientale di un'opera siffatta è rilevante, tuttavia occorre prendere in considerazione i seguenti aspetti:

- il costo di realizzazione dell'opera, soprattutto quando occorre espropriare i terreni,
- le perdite per infiltrazione (anche se, nella maggior parte dei casi, non sono rilevanti),
- i costi di gestione e manutenzione dell'area umida.

5.6.3 Bacini per la fitodepurazione

I sistemi di trattamento d'acque inquinante mediante aree umide artificiali, comunemente definiti "impianti di fitodepurazione", sono sistemi ingegnerizzati, progettati e costruiti per riprodurre i naturali processi autodepurativi in un ambiente maggiormente controllabile (Pucci, 2000).

La fitodepurazione, attraverso l'attività delle piante e dei microrganismi batterici, sottrae alle acque gli inquinanti e i nutrienti presenti in eccesso. Si tratta di una delle soluzioni più appropriate per il trattamento delle acque inquinate, sia che provengano da fonti puntuali, come lo scarico di un'attività produttiva o anche l'effluente di un depuratore comunale, sia che provengano da fonti diffuse (agricoltura), come le colature raccolte dai canali rurali.

In tutta Europa, questi sistemi di trattamento oggi garantiscono il miglior rapporto tra costi e benefici, tanto da rientrare tra le Migliori Pratiche di Gestione (Best Management Practices), adottate per la riduzione dei fattori d'impatto, grazie alla loro elevata affidabilità, anche in assenza di gestione specializzata (AA.VV 2007).

La fitodepurazione viene citata nel D.M. 185/2003 e nel D.L. 152/2006, pilastri normativi del trattamento delle acque reflue. In particolare, la Direzione Generale Agricoltura della Regione Lombardia promuove su più fronti le aree umide artificiali, attraverso iniziative divulgative, di sensibilizzazione e di scambio

d'esperienze con realtà diverse. Come conseguenza, nel 2007 sono stati finanziati dodici nuovi impianti di fitodepurazione (AA.VV. 2007).

La fitodepurazione è consigliabile in contesti urbani ridotti, con popolazione equivalente compresa tra i 50 e i 2000 abitanti (D.L. 152/2006). Per quanto riguarda insediamenti più estesi, l'adozione di questa tecnica è un buon sistema per eseguire trattamenti secondari, di finissaggio e di punta (quando si registrano le punte massime di carico), a valle dei depuratori tradizionali. I costi di gestione contenuti e il buon effetto depurativo degli impianti fanno sì che, in certe condizioni, la fitodepurazione abbia una resa maggiore del trattamento in impianti tradizionali, che si presenta molto più complesso e oneroso, con investimenti ammortizzabili in base al principio delle economie di scala.

In contesti agricoli, la fitodepurazione risulta utile per migliorare le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche delle acque, per la riduzione dei nitrati e dei fitofarmaci. L'attuale Politica Agricola Comunitaria e il Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013 prevedono la possibilità, da parte delle aziende agricole, di "vendere" il servizio di depurazione delle acque, contribuendo contestualmente a valorizzare il territorio rurale e l'ambiente nel suo insieme.

La Direzione Generale Agricoltura, attraverso il decreto N. 19655 del 23/12/2005, ha emanato le disposizioni applicative per la costruzione degli impianti di fitodepurazione e prevenzione dell'apporto diffuso di nutrienti d'origine agricola, ai sensi dell'allegato 1B della D.G.R. n° 20935 del 16/02/2005. Gli obiettivi prefissati sono:

- integrare l'attività di fitodepurazione e prevenzione dell'apporto diffuso di nutrienti d'origine agricola nella gestione e nella riqualificazione del territorio rurale;
- migliorare la qualità delle acque superficiali e sotterranee;
- affermare il ruolo multifunzionale e di servizio del settore agricolo.



Figura 5.16: impianto di depurazione del comune di Villadose – Rovigo (foto C.B. Polesine Adige Canalbianco – Rovigo).

Il decreto precisa le modalità di concessione di contributi regionali, per realizzare o ricostituire aree umide, ad enti locali e consorzi di bonifica e miglioramento fondiario, dando priorità agli interventi che prevedono la compartecipazione finanziaria d'altri enti, il coinvolgimento d'imprese agricole e di consorzi di bonifica e miglioramento fondiario, la localizzazione dell'impianto in zone vulnerabili e a valle d'impianti di

depurazione, la produzione di biomasse a fini energetici. Sono state finanziate le seguenti tipologie d'interventi:

- realizzazione di aree umide con creazione di filtri vegetali;
- ricostituzione di aree umide con creazione di filtri vegetali;
- realizzazione di aree a parziale sommersione, con impiego di essenze arboree ed erbacee e creazione di filtri vegetali.

La fitodepurazione utilizza piante spontanee degli ambienti palustri, che favoriscono la creazione di microhabitat idonei alla crescita della flora microbica, protagonista della depurazione biologica; l'apparato radicale delle macrofite funge da punto d'adesione per i microrganismi, la cui attività viene favorita dalla liberazione di ossigeno atmosferico. Una volta assorbito dagli apparati aerei delle piante, l'ossigeno prodotto viene trasferito alle radici, dalle quali, in parte, si diffonde nell'ambiente circostante, nella rizosfera. In tal modo si formano "nicchie ossigenate", che permettono l'attività di microrganismi aerobici, con rendendo possibile un buon livello d'abbattimento della sostanza organica (Dal Cin et al., 2002, Romagnoli, 2002).

La tecnica di fitodepurazione consente di rimuovere solidi sospesi, sostanza organica, azoto, fosforo, metalli pesanti e batteri patogeni. I processi in atto sono di varia natura (biologici, fisici e chimici) e vanno sotto il nome di nitrificazione, denitrificazione, fissazione, accumulo, adsorbimento, etc., come meglio descritto nei manuali specializzati, a cui si rimanda.

Nel caso dei metalli pesanti (rame, nichel, zinco, piombo e cadmio), presenti in modo significativo negli scarichi industriali, ma anche negli scarichi urbani, i processi di rimozione sono fisici (sedimentazione, filtrazione, precipitazione), biologici (adsorbimento da parte di batteri e piante) e chimici (ossidazione).

I microrganismi patogeni sono rimossi per filtrazione/adsorbimento, per effetto delle radiazioni UV, per predazione da parte d'altri microrganismi, per la presenza di sostanze antibiotiche secrete dalle radici delle piante acquatiche presenti. Il passaggio da una zona più ad una meno areata, ovvero l'alternarsi di condizioni diverse di ossigenazione, può causare la morte di quei microrganismi che mal si adattano a tali oscillazioni.

Tipologie d'impianto

In base al regime idraulico implementato, all'organizzazione delle strutture vegetali presenti e alla tipologia di substrato impiegato, gli impianti sono suddivisi in *ecosistemi filtro*, *sistemi a flusso superficiale* e *a flusso sommerso*, che costituiscono i sistemi tradizionali, e i nuovi sistemi sperimentali *VIS* e *SIF*.

Ecosistemi filtro. Sono interessanti per la loro efficacia nell'abbattimento della carica batterica, per esempio ai fini della balneazione. Sono costituiti da unità ecosistemiche diverse (specchi lentici, unità palustri, unità di prato umido, canali a corrente lenta), organizzate in modo da sviluppare capacità autodepurative molto elevate tra l'emissario di un impianto di depurazione convenzionale e il corpo idrico recettore (Comino et al., 2005).

Sistemi a flusso superficiale. Si tratta di ambienti artificiali, ma che tendono a riprodurre il più possibile la naturalità degli ecosistemi umidi. Sono consigliati alla presenza di grandi volumi d'acqua con una concentrazione di nutrienti relativamente ridotta, poiché ottimizzano la depurazione come trattamenti terziari di affinamento e finissaggio. In Italia sono stati impiegati per la gestione dei reflui d'impianti industriali che utilizzano grandi volumi d'acqua, come ad esempio gli zuccherifici. Sono costituiti da vasche o canali profondi non oltre 1 metro, al cui interno vengono fatte crescere piante acquatiche galleggianti e macrofite sommerse o emergenti. L'acqua è sempre esposta all'atmosfera e il suolo fa da supporto alle radici delle piante. Questo sistema prevede la possibilità di alternare le zone vegetate a specchi d'acqua libera con una maggiore profondità. Detti anche lagunaggi, richiedono spazi molto ampi e possono dare problemi per la liberazione d'odori e la riproduzione d'insetti (Mazzoni, 2005).

Sistemi a flusso sommerso, o sub-superficiale. Consistono in bacini impermeabilizzati in modo naturale o artificiale, su cui poggia un substrato inerte, destinato alla piantumazione di macrofite radicate emergenti, che provvedono al trasferimento di ossigeno dalla parte aerea alla zona sommersa. In questi impianti l'acqua non è mai esposta al contatto diretto con l'atmosfera, mantenendosi sempre 5-10 cm sotto al livello di contatto suolo-atmosfera; in tal modo si riduce drasticamente l'emissione di odori. Il materiale inerte costituisce il substrato dei microrganismi attivi nei processi di decomposizione, con un sostanziale aumento della superficie disponibile rispetto ai sistemi a flusso superficiale. I sistemi a flusso sommerso si

distinguono ulteriormente per le modalità di distribuzione dei volumi d'acqua: verticale od orizzontale (Mazzoni, 2005).

Sistema VIS (Verticale Intermittente Sabbia). Innovativo impianto d'origine tedesca a flusso sub-superficiale verticale. Dopo una prima fase di trattamento convenzionale, le acque reflue vengono distribuite su un filtro di sabbia e ghiaia piantumato con *Phragmites australis* (cannuccia di palude) e, percolando verticalmente, sono depurate per effetto dell'azione di batteri e piante, e successivamente convogliate ad un pozzetto di controllo o ad uno stagno, da dove possono essere rilasciate in corsi d'acqua superficiali. Il substrato del filtro è costituito da sabbia e ghiaia miscelati in percentuali e granulometrie determinate, tali da permettere all'acqua di filtrare alla giusta velocità. Il ferro contenuto nella sabbia contribuisce alla precipitazione dei fosfati (Mazzoni, 2005).

Sistema SIF (Sistema Integrato di Fitodepurazione). Si tratta di un sistema, che integra, ai metodi convenzionali di trattamento, processi di fitoassorbimento, a carico delle piante radicate sempreverdi e del fitoplancton (fitodepurazione a lagunaggio). Il SIF si distingue per l'uso di specie vegetali radicate e sempreverdi, inserite in una particolare struttura e allevate come in coltura idroponica; esso inoltre valorizza la potenzialità d'assorbimento dei nutrienti da parte del fitoplancton presente nel laghetto a valle della struttura. All'interno del bacino fitoassorbente avvengono i processi biologici tipici dei sistemi naturali, che determinano la completa trasformazione della sostanza organica residua in nutrienti. Il bacino è composto di due settori con funzioni distinte: settore fitoassorbente a piante radicate, dove sono inserite piante arbustive sempreverdi e/o stagionali, in coltura idroponica; settore a lagunaggio, dove avviene la riossigenazione dell'acqua attraverso la naturale attività fitoplanctonica.

Tabella 5.5.4: elenco delle principali specie impiegate nella realizzazione dei bacini di fitodepurazione (Dal Cin et al., 2002, AA.VV. 2007, Romagnoli, 2002, Mazzoni, 2005)

Elofite	Idrofite	Piante arboree/arbustive
<i>Phragmites australis</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	Genere <i>Salix</i>
<i>Typha latifolia</i>	<i>Azolla caroliniana</i>	<i>Populus nigra</i> (pioppo nero)
<i>Typha angustifolia</i>	<i>Azolla filiculoides</i>	<i>Alnus glutinosa</i> (ontano nero)
<i>Juncus conglomeratus</i>	<i>Hydrocharis morsus ranae</i> (morso di rana)	<i>Fraxinus oxycarpa</i> (frassino)
<i>Juncus effusus</i>	Lemnaceae (<i>Lemna poliryza</i> , <i>Spirodela</i> , <i>Wolffia</i> , <i>Wolffiella</i>)	<i>Quercus robur</i> (farina)
<i>Juncus tenuis</i>	<i>Potamogeton natans</i>	<i>Laurus cerasus</i>
<i>Carex elata</i> , <i>gracilis</i> , <i>riparia</i>	<i>Salvinia natans</i> (erba pesce)	<i>Cornus alba</i>
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	<i>Trapa natans</i> (castagna d'acqua)	<i>Cornus stolonifera</i>
<i>Butomus umbellatus</i> (giunco fiorito)	<i>Potamogeton</i> spp (brasca)	<i>Cornus florida</i>
<i>Calpha palustris</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Spirea salicifolia</i>
<i>Cyperus longus</i>	<i>Ceratophyllum submersum</i>	<i>Thuya canadensis</i>
<i>Equisetum palustre</i>	<i>Elodea canadensis</i>	
<i>Iris pseudacorus</i> (iris giallo)	<i>Littorella uniflora</i>	
<i>Lythrum salicaria</i> (salterella)	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	
<i>Nymphaea</i> spp.	<i>Myriophyllum spicatum</i> (millefoglie)	
<i>Nuphar luteum</i>	<i>Polygonum amphibius</i> (poligonio anfibio).	
<i>Sagittifolia latifolia</i>		
<i>Scirpus lacustris</i> spp. (lisca)		
<i>Schoenoplectus lacustris</i> (giunco di palude)		
<i>Sparganium erectus</i> e spp. (biodo, coltellaccio).		

Le specie vegetali utilizzate

Negli impianti di fitodepurazione vengono utilizzate piante acquatiche superiori (macrofite) o alghe (microfite) caratteristiche delle zone umide naturali, in particolare elofite (macrofite radicate emergenti), idrofite liberamente natanti o flottanti ed idrofite sommerse (Tabella 5.5.4). La maggior parte delle piante delle aree umide non è legnosa, perché nell'acqua andrebbe incontro a deperimento.

Nella scelta delle piante è necessario considerare una serie di fattori, come qualità e quantità dell'acqua da depurare, contesto ambientale d'inserimento, profondità dell'impianto, potenziale di crescita, resistenza agli agenti esterni, costi di messa a dimora e di manutenzione delle piante. Di norma, nei sistemi a flusso sommerso, s'impiegano piante elofite, soprattutto *Phragmites australis* che offre una buona resa depurativa; nei sistemi a flusso libero, dove la profondità dell'acqua cambia e si hanno microhabitat diversi, è possibile ricorrere ad una maggior varietà d'essenze.

Inoltre, ai margini degli impianti, possono essere piantati esemplari di specie arboree ed arbustive di completamento (anche diverse fra loro), con capacità di crescita rapida su terreni umidi (Tabella 5.5.4).

Queste piante garantiscono protezione alle rive poiché le loro solide radici impediscono l'erosione. Inoltre esse costituiscono un buon frangivento nell'area umida, oltre a creare un ambiente con una molteplicità di microhabitat disponibili per la nidificazione degli uccelli.

5.7 Costituzione di colture arboree a ciclo breve

L'arboricoltura a ciclo breve (*Short Rotation Forestry* = SRF) costituisce il più moderno modello di coltura arborea per scopi energetici; essa, essendo, di fatto, una coltura agricola intensiva, è applicabile in contesti diversi, dalle aziende dedite all'arboricoltura pura a quelle a prevalenza di seminativi. In quest'ultima realtà, la SRF può rappresentare una valida alternativa ai seminativi, poiché presenta una nuova opportunità di reddito, sostenuta anche economicamente. Attualmente, dal punto di vista della contribuzione PAC, la SRF è paritaria con i seminativi, e addirittura migliore, in relazione al contributo per le colture energetiche di 45 Euro/ha e per il previsto contributo d'impianto del Piano di Sviluppo Rurale 2007-2013 (Allasia, 2007).

Di conseguenza, la biomassa prodotta con questi sistemi è recentemente venuta alla ribalta nel mondo agricolo, in quanto costituisce:

- un'importante opportunità per le aziende che intendono differenziare la propria produzione nella direzione delle nuove misure agroambientali (colture a basso *input* energetico, *fitoremediation*, fasce tampone boscate, ecc.);
- una valida alternativa alle produzioni cerealicole, che denunciano una continua riduzione di remuneratività, dovuta al calo dei prezzi del prodotto sul mercato, associato all'incremento dei prezzi dei derivati del petrolio;
- un'occasione per valorizzare la funzione energetica della nuova agricoltura sostenibile (finalità ambientali del protocollo di Kyoto: immagazzinamento nel legno di CO² – che costituisce un serbatoio di carbonio (*carbon sink*) - e produzione di energia da fonti rinnovabili).

Le colture agricole legnose dedicate alla produzione di biomassa rappresentano, in particolare, un'importante fonte energetica, più vantaggiosa rispetto alle bioenergie provenienti dai residui dell'industria del legno e dai boschi esistenti, sotto il profilo economico (minori costi del megajoule prodotto) e ambientale (minor uso di fertilizzanti e pesticidi; miglior contributo alla difesa del suolo, alla creazione di reti ecologiche, alla depurazione delle acque, ecc.) (Mezzalana, 2005a). L'incremento delle fonti rinnovabili d'energia soddisfa così le esigenze tanto degli agricoltori quanto dell'ambiente, senza dimenticare le nuove opportunità legate alla minor dipendenza dai combustibili fossili.

Tuttavia, è necessario precisare che, come qualsiasi altra coltura agricola, anche questa, se rimane relegata a condizioni edafiche marginali, avrà produzioni altrettanto marginali. Il successo delle colture arboree a ciclo breve è, infatti, collegato alla corretta applicazione delle moderne pratiche agronomiche, in particolare nella preparazione del sito d'impianto e nelle prime fasi di sviluppo, come la scelta delle specie più idonee, la preparazione dei terreni, i diserbi, il contenimento meccanico delle malerbe, le concimazioni, le irrigazioni, ecc. L'indotto economico, a sua volta, dipenderà dalla qualità del materiale prodotto e dal livello organizzativo della filiera di trasformazione, vendita e utilizzazione dei prodotti.

5.7.1 SRF e riqualificazione dei corsi d'acqua

L'emergente interesse economico e ambientale per le bioenergie può dare un forte incentivo alla diffusione dei diversi sistemi forestali, di cui l'agricoltura può avvalersi per svolgere ulteriori servizi a vantaggio del territorio e dell'ambiente. Particolarmente interessanti, al riguardo, sono le colture legnose destinate a coprire terreni vincolati per la tutela delle risorse idriche. Tra queste, rientrano: i sistemi forestali-filtro, che si stanno diffondendo anche in Italia per il finissaggio delle acque reflue dei depuratori civili, le aree d'esondazione controllata per dare sicurezza idraulica al territorio, le aree d'infiltrazione regolata delle acque derivate dai fiumi per rimpinguare le falde freatiche (Mezzalira, 2005a).

Depurazione dell'acqua

I cedui a rotazione corta possono contribuire sia ad assorbire inquinanti diffusi d'origine agricola, sia a perfezionare il trattamento dei reflui zootecnici e delle acque urbane in uscita da impianti di depurazione convenzionali (Mezzalira, 2005b). In particolare, si sta lentamente affermando l'utilizzo delle aree o fasce boscate nel finissaggio degli effluenti da impianti di depurazione urbani (Boz, 2007).

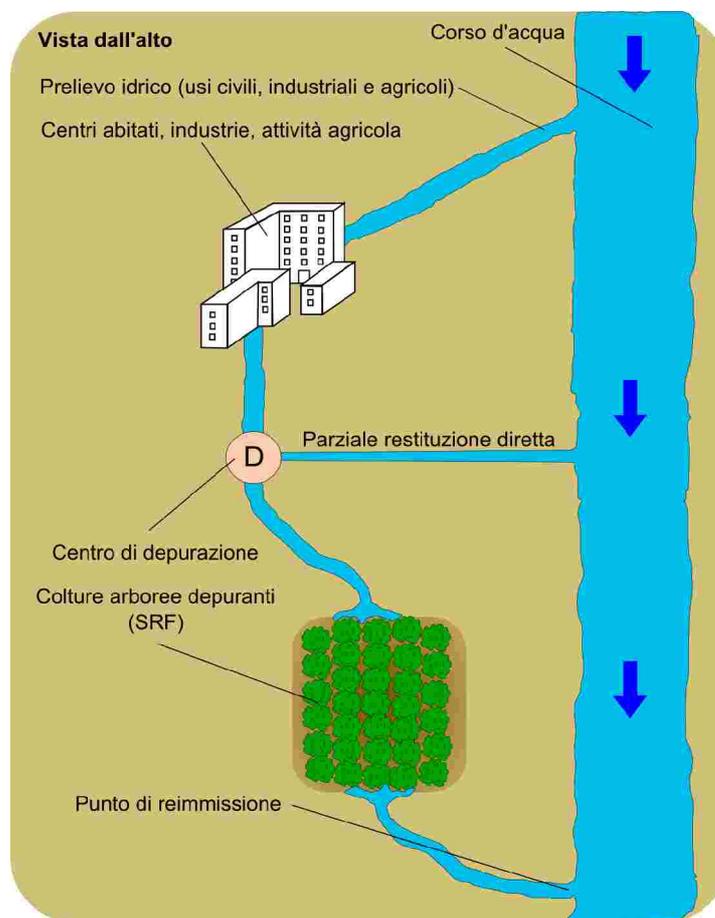


Figura 5.17: impianto di SRF a valle di centri di depurazione. Il riutilizzo irriguo nelle SRF delle acque depurate e l'ubicazione del depuratore subito dopo l'utilizzo mantengono nel corso d'acqua una buona portata e una buona capacità depurante (la diluizione, in particolare) (immagine modificata di G. Sansoni in CIRF, 2006).

La logica che sottende questa soluzione è la seguente: invece di scaricare direttamente i reflui nel corpo idrico recettore, è possibile sfruttare gli stessi come “fertilizzante”, attraverso la fertirrigazione di superfici forestali, sfruttabili prevalentemente per la produzione di biomassa legnosa (Figura 5.17). Perché si sviluppi l'azione disinquinante, bisogna che l'acqua venga infiltrata al di sotto delle fasce di vegetazione arborea, consentendo così l'instaurarsi dei complessi fenomeni che portano all'eliminazione degli inquinanti; per quanto riguarda le Salicacee, ad esempio, in letteratura viene riportato l'effetto positivo di pioppo e salice per l'assorbimento e l'accumulo di Zinco, Piombo e Arsenico, oltre che sulla riduzione nel suolo dei contenuti di nitrati, di pesticidi, di solventi organici e di radionuclidi (Facciotto e Pinazzi, 2006).

Un'interessante soluzione è la creazione di sistemi forestali-filtro solcati da reticoli di fossi d'infiltrazione e drenaggio (Gumiero et al., 2006). Oltre ai grandi benefici ambientali legati al miglioramento della qualità delle acque (si vedano i risultati delle sperimentazioni di Gumiero et al., 2006), la realizzazione del reticolo di scoline disperdenti/drenanti ha il diretto vantaggio di favorire il rapido sviluppo degli alberi della SRF, a cui vengono forniti sia nutrienti sia acqua in modo non limitante (Figura 5.18).

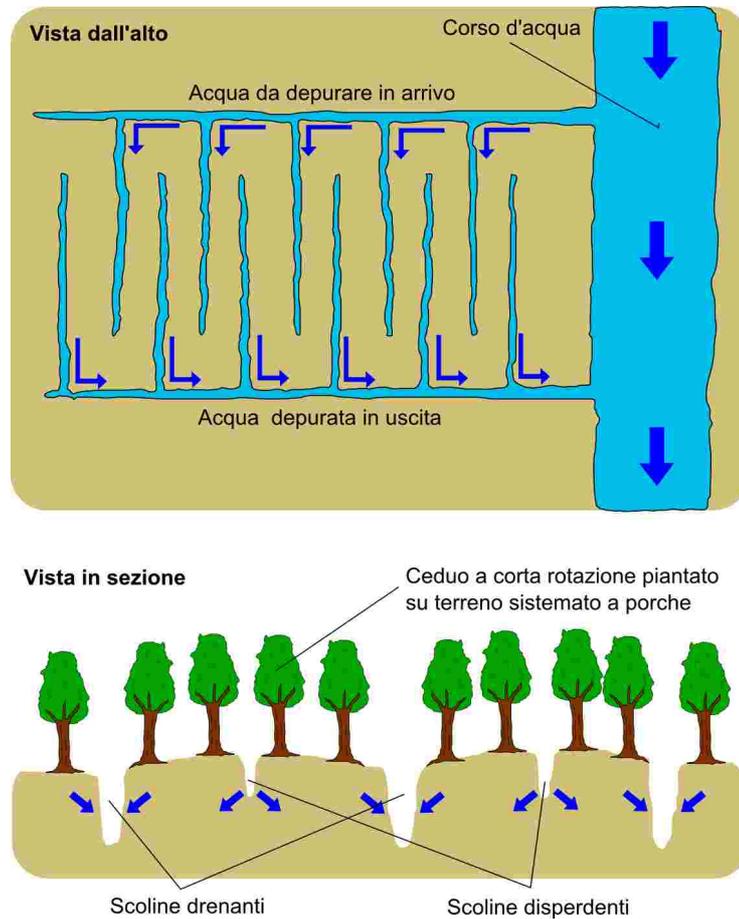


Figura 5.18: schema di ceduo a corta rotazione con funzione depurativa. Dal reticolo delle scoline disperdenti l'acqua da depurare prelevata dal corso d'acqua si infiltra nel terreno ed entra in contatto con gli apparati radicali degli alberi della SRF, che depurano l'acqua fisicamente e biologicamente. Il reticolo delle scoline drenanti, più profonde a causa della sistemazione a baulature (o a porche) del terreno, cattura l'acqua depurata e la restituisce al corso d'acqua (disegno modificato di Giovanni Trebbiani, da Mezzalira, 2005b).

Sicurezza idraulica

Sebbene in generale abbia poco senso parlare di rischio idraulico connesso ad esondazioni della rete idrografica artificiale, nella fascia della bassa pianura, in cui prevale l'attività di bonifica del territorio, esistono alcuni casi (canali di grosse dimensioni, ubicazione a valle d'infrastrutture o centri abitati, ecc.) in cui è proponibile la creazione di casse d'espansione per l'esondazione controllata dell'acqua in eccesso (Figura 5.19). Si tenga inoltre presente che la L.R. 7/2003 assegna ai Consorzi di Bonifica competenze nella gestione delle opere di quarta, quinta categoria e non classificate sui corsi d'acqua naturali che interessano il territorio consortile.

Tali zone, caratterizzate da un maggiore tenore idrico dei suoli, sono adatte ad essere coltivate con specie igrofile (salice bianco, platano, ontano nero, pioppo, ecc.), utili anche alla depurazione delle acque invase (si veda il paragrafo precedente). I cedui a corta rotazione piantati in zone depresse possono diventare facilmente un'area d'espansione dell'acqua, opportunamente arginata e dotata d'opere di derivazione dell'acqua da sfiorare e di chiuse di fondo per lo scarico controllato (Mezzalira, 2005b).

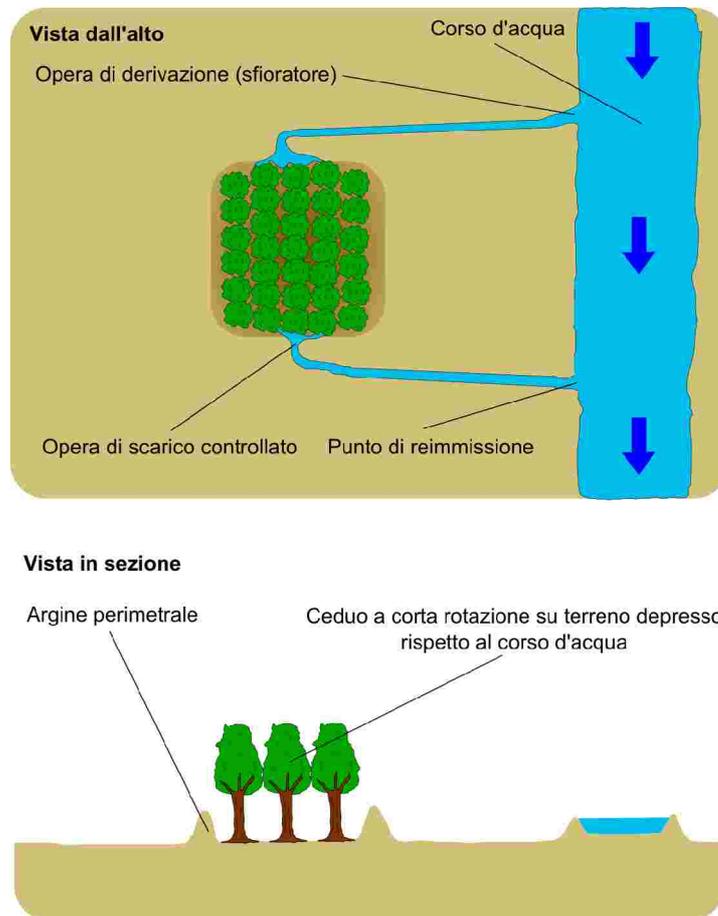


Figura 5.19: schema di piccolo bacino di espansione delle acque coltivato a ceduo a corta rotazione. Se l'acqua si alza oltre un certo livello esce naturalmente attraverso lo sfioratore realizzato lungo la sponda del corso d'acqua, riversandosi nel terreno coltivato a SRF opportunamente arginato e dotato di opere di restituzione (disegno modificato di Giovanni Trebbiani, da Mezzalira, 2005b).

Infiltrazione dell'acqua

Negli ultimi anni, in tutte le aree pianiziali del Paese, si è assistito ad un progressivo abbassarsi della falda freatica ed alla conseguente riduzione della portata complessiva dei corsi d'acqua e dell'acqua disponibile per le attività agricole. La riqualificazione dei canali comporta anche l'aumento indiretto della loro dotazione idrica (che allontana l'esigenza di massimizzare l'efficienza idraulica impermeabilizzando gli alvei), effettuabile anche attraverso l'infiltrazione dell'acqua nella fascia dell'alta pianura, caratterizzata da terreni a tessitura grossolana e da falda profonda, con notevoli tassi di percolazione. La coltivazione di cedui a corta rotazione, con l'impianto di scoline disperdenti a partire dai corsi d'acqua principali (naturali o canali), consente di creare un sistema d'immagazzinamento regolato dell'acqua (Figura 5.20), con funzionamento turnato durante la stagione irrigua e continuo durante il resto dell'anno (ad eccezione dei periodi siccitosi), a patto di rispettare il minimo deflusso vitale del corso d'acqua oggetto della derivazione. In tal modo s'intercetta parte dell'acqua che scorre velocemente nei tratti pedemontani e collinari dei corsi d'acqua di pianura in periodo non irriguo, accumulandola nella falda freatica. Nelle superfici a SRF, inoltre, l'acqua percolata incontra un efficace filtro, costituito dagli apparati radicali; nei terreni dell'alta pianura con falda profonda, essi si approfondiscono notevolmente (fino a 10 metri), creando un'ampia fascia di suolo depurante, attraverso processi fisici e biologici (Mezzalira, 2005b).

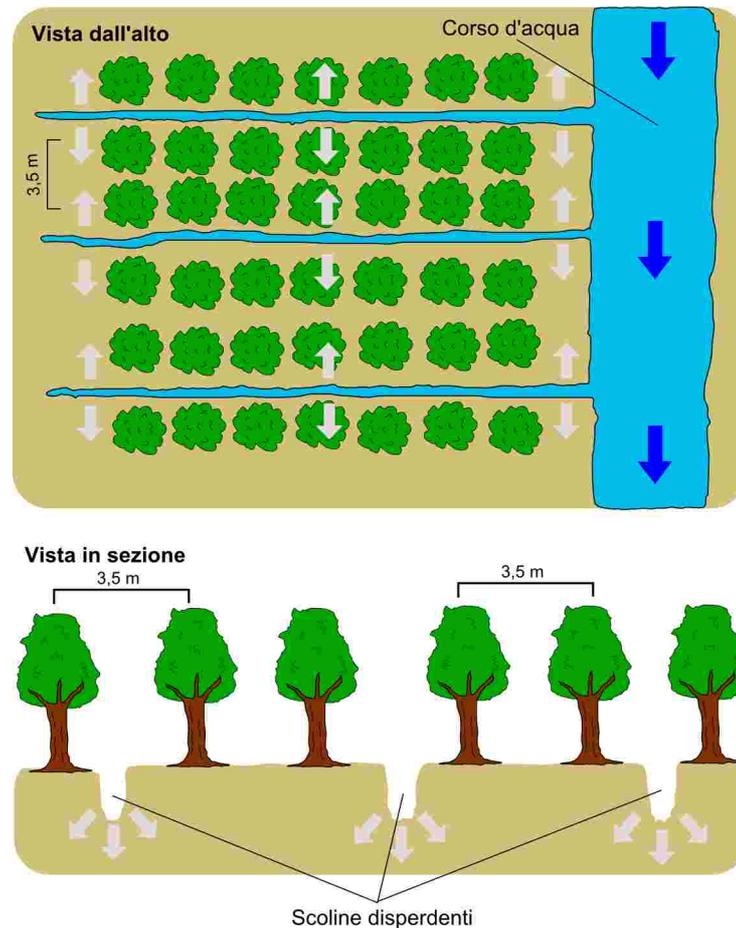


Figura 5.20: schema di ceduo a corta rotazione con impianto a scoline disperdenti. La composizione è uguale a quella del sistema depurante, ad eccezione dell'assenza della scolina drenante di raccolta delle acque in uscita (disegno modificato di Giovanni Trebbiani, da Mezzalira, 2005b).

Manutenzione degli alvei e biomassa legnosa

Sebbene non si tratti direttamente di SRF, la sistemazione delle sponde con materiale vegetale (tecnica afferente all'ingegneria naturalistica) consente la copertura di queste fasce di terreno, generalmente non produttive, con essenze arbustive come il salice, la cui manutenzione ordinaria prevede sfalci periodici. Considerata l'affermazione, in alcuni contesti, del mercato delle biomasse legnose, la raccolta del materiale di risulta di queste operazioni può risultare economicamente vantaggiosa, integrandosi nei più ampi sistemi a SRF.

5.7.2 Specie, modelli d'impianto e turni colturali

Le specie

Le specie idonee alla SRF devono avere come caratteristica principale un elevato tasso di crescita, in secondo luogo devono ben adattarsi alle condizioni edafiche e climatiche ed infine devono essere resistenti ad infestanti, parassiti, agenti patogeni, ecc.

Le specie e i cloni più adatti, governati essenzialmente a ceduo monospecifico con turno breve, sono i seguenti (Figura 5.21):

Pioppo (*Populus* ssp.): specie autoctone come *Populus nigra* e *P. alba*, o altre introdotte da diversi continenti, come *P. deltoides* (Pioppo nero americano), o ibridi come *P. x canadensis*, *P. x generosa* o derivanti da incroci come gli ibridi a tre vie. I migliori risultati si ottengono impiegando *Populus* ibrido euroamericano, molto resistente alle malattie e, in seguito a selezione genetica, con forte ricaccio dopo la ceduzazione. I pioppi sono entità eliofile ed igrofile, richiedono una temperatura media annua compresa tra 8,5 e 17°C e precipitazioni medie annue di almeno 700 mm; non tollerano siccità estive prolungate.

Prediligono terreni poco tenaci, con contenuto di limo e argilla inferiori al 50%, pH compreso tra 5,5 e 7,5 e buona disponibilità idrica (profondità della falda ottimale appena al disotto dei 100 cm di profondità). Non sono molto indicati i terreni pesanti, che possono causare problemi d'asfissia radicale, o i suoli troppo sciolti, con possibili problemi di stress idrico (Facciotto, 2006).



Figura 5.21: da sinistra: coltivazioni di pioppo, robinia, salice, eucalipto (foto Allasia Plant - www.allasiaplant.com).

Salice (Salix spp.): la specie più indicata è il *Salix alba*, salice bianco spontaneo, idrofilo, tollerante delle condizioni avverse. Interessanti sono anche *S. viminalis* e gli ibridi della specie asiatica *S. matsudana*. Per i salici vale in generale quanto detto per i pioppi, rispetto ai quali manifestano semmai esigenze idriche superiori; non tollerano assolutamente periodi prolungati di carenza idrica, mentre sopportano maggiormente l'asfissia radicale e si adattano anche a terreni a tessitura più fine. Le Salicacee sono specie pioniere in grado di utilizzare suoli minerali, trovano quindi un ambiente ottimale in prossimità dei corsi d'acqua. Esse hanno un elevato tasso di crescita giovanile; per le specie sopra elencate, sono già disponibili cloni resistenti alle principali malattie fogliari e ad un insetto, l' Afide laniero (*Phloeomyzus passerinii*) (Facciotto, 2006).

Robinia (Robinia pseudoacacia): è una buona alternativa agli ibridi di pioppo, per l'adattabilità a quasi tutti i tipi di terreno e per l'accentuata resistenza alle malattie. Il cippato prodotto ha un elevato potere calorifico. La specie è utilizzabile nelle zone non irrigue.

Eucalipto (Eucalyptus spp.): è adatto alle condizioni climatiche dell'Italia centro – meridionale, grazie alla resistenza alla siccità.

I modelli e i turni colturali

I modelli colturali tipici si dividono in due grandi gruppi:

- *a ciclo breve* (sistema svedese per la produzione d'energia): 10.000-15.000 piante/ha, in file semplici o binate (in quest'ultimo caso si avranno maggiori problemi di controllo delle infestanti nelle fila); cicli agamici di 2-4 anni e reimpianto dopo 3-5 cicli di ceduzione, per consentire una soddisfacente capacità pollonifera.
- *a ciclo lungo* (sistema americano per pasta da carta): 1600-2500 piante/ha; cicli di 5-7 anni con reimpianto finale.

Le operazioni colturali comuni a tutti i tipi d'impianto, necessarie per la riuscita dello stesso e per una soddisfacente resa produttiva, prevedono (AA.VV., 1995):

- preparazione del terreno d'impianto con arature profonde (fino a 50 cm, in autunno), seguita da frangizollatura;
- diserbo pre-impianto (fine estate-inizio autunno) e post-impianto (dopo ogni ceduzione);
- limitate concimazioni e irrigazioni, da effettuare soprattutto durante le prime fasi dell'impianto;
- impianto meccanizzato di talee verticali (messa a dimora di singole piantine) o di astoni orizzontali (distesi sul suolo e dalle cui gemme si svilupperanno i polloni) tra fine febbraio e fine aprile (Gci, 1999, citato in Facciotto, 2006); il materiale va conservato in celle frigorifere a 0°C e immerso in acqua qualche giorno prima dell'impianto per indurre la radicazione;

- trattamenti antiparassitari, preferibilmente da evitare scegliendo cloni resistenti;
- raccolta con macchine specifiche, che possono effettuare l'immediata triturazione (con il rischio, tuttavia, di fermentazioni) o la creazione di fascine conservabili.

Per la realtà dell'Italia settentrionale (informazioni tratte da www.allasiaplant.com), è proponibile un modello colturale a fini energetici, che prevede la messa a dimora di un numero di talee variabile da 2000 a 8000 piante/ha. Tale modello è intermedio tra gli impianti ad alta e quelli a bassa densità, descritti in precedenza, mostrando i seguenti vantaggi:

- adattabilità alle condizioni edafico-climatiche stagionali e comunque uno sfruttamento del suolo non eccessivo;
- produzioni maggiori, grazie all'assenza della competizione, che invece s'instaura con impianti eccessivamente densi;
- ottima qualità del prodotto, con contenuto minore di corteccia e in genere una miglior lignificazione;
- elasticità nella scelta del turno (taglio); negli impianti molto fitti, il turno attualmente è annuale o al massimo biennale, mentre con densità minori esso può anche essere traslato.

I turni effettuabili sono di 2-3-5 anni; i turni più lunghi (Figura 5.22) consentono:

- un miglior prodotto (cippato);
- un miglior sfruttamento della capacità di crescita delle piante;
- una collocazione differenziata dei prodotti sul mercato (tronchetto e cippato).



Figura 5.22: esempio di impianto a ciclo quinquennale (foto Allasia Plant - www.allasiaplant.com).

Un differente modello ad alta sostenibilità ambientale, fatta salva l'esigenza di potenzialità produttive medio-alte, è rappresentato dai **“cedui misti a media rotazione”** (Correale Santacroce e Agostinetto, 2005), caratterizzati da:

- impianto a struttura razionale e densità medio-bassa (1500 piante/ha);
- composizione multispecifica, di specie con ritmi d'accrescimento differenziati (oltre alle specie tipiche, anche frassino ossifillo, olmo campestre, olmo “San Zanobi”, platano ibrido, ecc.);
- turni medi (4-12 anni);
- polifunzionalità degli impianti;
- meccanizzazione medio-bassa.

La funzione principale di questi arboreti, lineari o a pieno campo, è quella di produrre biomassa legnosa sotto forma di cippato, di legna in pezzi o di ambedue gli assortimenti. Nel progettare questi moduli, oltre all'aspetto paesaggistico (formazioni simili a boschi), gran rilievo viene dato alla sostenibilità ambientale; infatti, la media rotazione consente di ottenere una produzione annua prevedibile, garantendo al contempo una copertura del suolo più stabile nel tempo, ancorché soggetta a tagli relativamente frequenti. La capacità di rigenerazione delle ceppaie, ed il loro conseguente ciclo di vita, è maggiore, in ragione delle specie utilizzate e della scansione dei tagli più diluita nel tempo. Inoltre, le modalità e le tecniche colturali applicate non prevedono di norma né il ricorso a trattamenti antiparassitari né periodiche fertilizzazioni, né diserbanti (se si esclude la fase della prima manutenzione post-impianto). Le essenze devono essere disposte in modo da :

- facilitare l'ingresso delle macchine operatrici;
- frenare eventuali epidemie di malattie specie-specifiche;
- consentire i tagli in tempi diversi a carico delle diverse specie, senza il pericolo di danneggiare i giovani polloni delle altre specie; la disposizione sarà dipendente dai turni applicati, e, per questo, si deve raggiungere un'elevata conoscenza delle specie.

5.8 Bibliografia

AA.VV. (1995). "Short Rotation Forestry Handbook." Wood Supply Research Group, Department of Forestry, University of Aberdeen, Scotland UK.

AA.VV. (2006). "Linee guida per il corretto approccio metodologico alla progettazione dei passaggi per pesci. Il caso studio del medio corso del Panaro." Provincia di Modena.

AA.VV. (2007). "La natura sa come – viaggio nella fitodepurazione." Regione Lombardia (Direzione Generale Agricoltura - Unità Operativa Interventi per la competitività e l'innovazione tecnologica delle aziende) e Fondazione Minoprio, 2007.

Allasia E. (2007). "Le produzioni di biomassa da coltivazioni arboree a ciclo breve in Piemonte." Regione Piemonte, Progetto BIOFIL.

Boz B. (2007). "Aree filtro forestali per il trattamento dei reflui." Alberi e Territorio 7/8-2007. Edagricole.

CIRF (2006). "La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio." A. Cardini e G. Sansoni (curatori) e collaboratori, Mazzanti editori, Venezia.

Comino E., Quaglini A., Cerrato D. (2005). "La fitodepurazione come tecnologia per la riduzione del carico eutrofico. Progetto e realizzazione di un impianto." XV Congresso della società Italiana di Ecologia – Torino 2005.

Comoglio C., Pini Prato E. (2005). "Recenti iniziative per la messa a punto di criteri tecnico-operativi per la realizzazione di passaggi di risalita per l'ittiofauna." Atti del XV Congresso della Società Italiana di Ecologia, Torino.

Correale Santacroce F., Agostinetto L. (2005) "Srf ad alta produttività e compatibilità ambientale." Alberi e Territorio 9-2005. Edagricole.

Dal Cin L., Bendricchio G., Coffaro G. (2002). "Linee guida per la ricostruzione di aree umide per il trattamento di acque superficiali." Manuali e Linee guida 9/2002 ANPA – Dipartimento Prevenzione e Risanamento Ambientale, pp. 128.

Facciotto G. (2006). "La short rotation forestry con le salicacee." Alberi e Territorio 10/11-2006. Edagricole.

Facciotto G., Pinazzi P. (2006). "Selvicoltura a turno breve, uso energetico e potenzialità." Alberi e Territorio 1/2-2006. Edagricole.

Francescato V. (2006). "Gli esempi italiani della strada europea del legno energia." Alberi e Territorio 9-2006. Edagricole.

Gentili G., Romanò A., Bucchini A. (2006). "Linee guida per la gestione dei Salmonidi in Provincia di Cuneo." Collana "Quaderni tecnici del Settore Tutela Flora e Fauna", n.2 - Provincia di Cuneo, Settore Tutela Flora e Fauna.

Gumiero B., Boz B., Cornelio P. (2006). "Fasce tampone arboree nella riduzione dei carichi di azoto." Alberi e Territorio 1/2-2006. Edagricole.

Loro R., e Zanetti M. (1990). "Effetti delle modificazioni idrauliche dei corsi idrici naturali sulla fauna ittica." Bioprogramm s.c.r.l., Padova.

Mazzoni, M. (2005). "Linee guida per la progettazione e gestione di zone umide artificiali per la depurazione dei reflui civili." APAT, Firenze, Luglio 2005, pp. 95.

Mezzalana G. (2005a). "Agricoltura ed energia: binomio che fa bene all'ambiente." Alberi e Territorio 6-2005. Edagricole.

Mezzalana G. (2005b). "I possibili servizi al ciclo dell'acqua." Alberi e Territorio 9-2005. Edagricole.

Pini Prato E. (2007). "Descrittori per interventi di ripristino della continuità fluviale: Indici di Priorità di Intervento." *Biologia Ambientale*, 21 (1): 9-16, 2007.

Pini Prato E., Comoglio C. (2006). "Applicazioni dell'idraulica all'ecologia dei sistemi fluviali: i passaggi artificiali per pesci." *Atti del XXX° Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche – IDRA 2006*, Roma.

Pucci B.(2000). "La fitodepurazione per il trattamento delle acque reflue civili ed il loro riuso." *Atti del Convegno: Il Riuso delle acque reflue: l'esperienza pilota nel settore vivaistico*, ARPAT, Provincia di Pistoia e Università di Firenze, Pistoia 2000.

Romagnoli, F. (2002). "Manuale di fitodepurazione." Comune di Reggio Emilia, Assessorato Ambiente e Città Sostenibile, pp. 106

Capitolo 6 Azioni per l'integrazione territoriale, la fruizione e il recupero storico

Come accennato nel primo capitolo, i canali della pianura lombarda sono elementi territoriali di grande rilievo, da proteggere e valorizzare. Essi, infatti, abbinano interessanti caratteristiche paesaggistiche e di naturalità, sono la testimonianza delle tradizioni storiche legate all'acqua e all'agricoltura, costituiscono un'importante occasione fruitiva, rappresentano, per le proprie caratteristiche di linearità, un elemento di connessione preferenziale, alternativo alle infrastrutture di trasporto tradizionali (strade carrabili e ferrovie) e adatto, invece, a forme di movimento eco-compatibili.

Nell'ottica di una riqualificazione ambientale del reticolo idrografico rurale, di conseguenza, gli aspetti legati all'integrazione con il territorio circostante, alla fruizione ed al recupero del patrimonio storico, in molte situazioni possono rivestire un'importanza notevole ed un'occasione di sviluppo socio-economico del comparto rurale a cui, in forza della l.r. 7/2003, i Consorzi di Bonifica sono chiamati a contribuire.

Le azioni per realizzare gli obiettivi succitati possono essere inquadrare nell'ambito della più ampia tematica dei percorsi attrezzati, con particolare riferimento ai percorsi verdi (*greenway*) ed ai percorsi d'acqua (*blueway*), le cui basi teoriche possono costituire un utile appoggio e le cui pratiche applicazioni possono fornire interessanti esempi.

Nel presente capitolo viene fornita una sintesi degli aspetti della progettazione di tali opere, con un approfondimento particolare per le tematiche che caratterizzano i canali agricoli. Per altri dettagli si rimanda alla manualistica specializzata (p.es. Toccolini et al., 2004).

6.1 Percorsi verdi (*greenways*)

La letteratura anglosassone sul tema dell'utilizzo di percorsi legati alla "mobilità dolce" ed alla fruizione, ha coniato il neologismo *greenway* che si traduce letteralmente in "percorso verde" dove il primo termine sta ad indicare la possibilità di movimento non solo per le persone, ma anche per gli animali, l'aria e l'acqua, e quindi di collegamento, mentre con "verde" si vuole indicare non solo ciò che è vegetato, ma tutto ciò che è apprezzabile dal punto di vista ambientale e quindi naturalistico, paesaggistico, storico, architettonico e culturale (Toccolini et al., 2004).

Le *greenways* costituiscono quindi, un sistema di percorsi dedicati ad una circolazione dolce (piedi, bicicletta, cavallo) e non motorizzata, in grado di connettere le popolazioni con le risorse del territorio (naturali, agricole, paesaggistiche, storico culturali) e con i centri di vita degli insediamenti (aree residenziali, centri amministrativi e commerciali).

Le *greenways* possono inoltre contribuire alla creazione di un sistema di attività "minori" vantaggiose per le economie locali, sia dirette (derivanti dalle attività di costruzione e manutenzione dei percorsi) sia indirette (piccole attività turistiche/ricreative, ospitalità e ristoro).

Nel caso dei canali di interesse rurale, le *greenways* rappresentano un'iniziativa per il miglioramento ambientale di alcune porzioni del territorio marginali in stato di abbandono, contribuiscono al mantenimento funzionale delle infrastrutture connesse al sistema di distribuzione/regolazione delle acque, favoriscono (se ben progettate) il mantenimento delle caratteristiche di naturalità degli ambienti, mantengono "vivo" il legame tra i centri cittadini e le aree agricole con tutte le benefiche conseguenze sulla percezione del mondo agricolo da parte dell'opinione pubblica, consentono un contatto diretto tra aziende agricole e cittadini particolarmente utile per la commercializzazione diretta.

La progettazione di una *greenway* prevede, a monte, un'accurata attività di analisi delle caratteristiche e delle potenzialità del territorio considerato. Tale processo viene solitamente svolto considerando scale di dettaglio differenti (trans-nazionale, nazionale, regionale e locale) in modo da poter meglio coordinare le risorse e ottimizzare i risultati dell'analisi della ricerca. La determinazione dei punti di interesse (centri urbani, valenze architettoniche e ambientali, servizi e trasporti), dell'utenza e dei possibili percorsi e collegamenti, possibilmente lungo sistemi già presenti nel territorio, sono tutte attività alla base di un progetto di percorso verde e garantiscono il suo successo.

La progettazione dell'opera vera e propria dovrà poi rispondere ai canoni di fruibilità, sicurezza e rispetto delle caratteristiche ambientali prefissati. Tali parametri sono solitamente riportati nella manualistica

dedicata ma, nel caso dei canali rurali, occorrerà adottare alcuni accorgimenti specifici come descritto nel paragrafo successivo.

L'ultima fase riguarda il far conoscere il nuovo percorso attraverso un opportuno meccanismo di divulgazione che può prevedere l'organizzazione di incontri pubblici, anche sul posto ("biciclettate"), collaborazione con le associazioni di volontari per le operazioni di pulizia e manutenzione, posa di pannelli informativi anche a distanza dal tracciato (nei pressi di una piazza, di un centro commerciale, ...) e attività pubblicistica di vario genere (articoli sui giornali locali, brochure, siti internet).

6.1.1 Aspetti tecnici della progettazione di una green way

Una corretta attività di progettazione deve seguire alcuni criteri di base che, nello specifico delle *greenways*, si sintetizzano nel seguente modo (Toccolini et al., 2004):

- linearità del percorso e riconoscibilità dello stesso;
- inserimento paesaggistico del percorso nel contesto attraversato; particolare cura andrà riposta quando si attraversano aree di pregio naturalistico (parchi e riserve);
- sicurezza e confort dei diversi utilizzatori: nel caso dei canali, le sponde possono risultare ripide e non sufficientemente protette come anche gli stessi manufatti idraulici);
- fattibilità delle soluzioni progettuali proposte;
- rispetto delle disposizioni normative del settore.

Esistono, inoltre, alcuni requisiti tecnici da rispettare quando si voglia realizzare un percorso verde di seguito riassunti.

Caratteristiche costruttive del percorso

Le caratteristiche costruttive del percorso dipendono in primo luogo dal tracciato. Nel caso dei canali rurali, spesso questi sono accompagnati da una o due strade di servizio in grado di permettere il transito a mezzi motorizzati anche di dimensioni rilevanti (trattrici, camion). Il fondo è solitamente in terra naturale o in pietrisco, più raramente stabilizzato con asfalti e cementi. Strade con queste caratteristiche richiedono uno sforzo minimo di adattamento alle nuove funzionalità richieste dalle *greenways*.

Spesso, però, per dare continuità al percorso verde, occorre prevedere la realizzazione ex novo di alcuni tratti e in questo caso occorrerà prevedere una serie di operazioni preliminari tra cui la stabilizzazione del fondo e il convogliamento delle acque superficiali o l'attraversamento di strutture lineari esistenti.

Contemporaneamente alla definizione del percorso, occorre prevedere la tipologia di utenza (popolazione locale o turisti), il mezzo di trasporto impiegato dai visitatori (a piedi, bicicletta, pattini o a cavallo) e l'uso preferenziale del percorso (spostamenti quotidiani per raggiungere il posto di lavoro e altri centri di vita o escursioni di medio/lungo raggio).

Una volta definiti tali parametri è possibile procedere alla scelta delle tipologie costruttive più opportune e al loro dimensionamento. Per quanto riguarda il fondo, ad esempio, vi sono diverse opzioni di scelta anche se, generalmente, è opportuno limitare le coperture impermeabilizzanti ai tratti che attraversano aree cittadine o in prossimità di punti critici (incroci) mentre per il rimanente tracciato è sufficiente mantenere il fondo naturale (Figura 6.1) od eventualmente stabilizzato con la posa di geotessuti, materiale inerte rullato, con o senza l'aggiunta di additivi per il consolidamento.

Per quel che concerne le dimensioni (la larghezza) del tracciato, quelle imposte dal transito dei mezzi per la manutenzione dei canali sono, di norma, più che sufficienti per la realizzazione della pista, tuttavia, se si prevedono afflussi concentrati di visitatori o utenze di diverso carattere (pedoni e ciclisti e cavalli contemporaneamente) è opportuno realizzare, in alcuni tratti, almeno due corsie per distinguere i flussi.

Le pendenze dei tracciati, nel caso dei canali, sono solitamente compatibili con la maggior parte delle utenze anche se in alcuni punti, in prossimità ad esempio dei salti di fondo, le pendenze naturali del tracciato esistente possono diventare critiche o di difficile superamento. Se ciò avviene, è opportuno valutare una modifica del percorso in modo da rendere il superamento dei dislivelli più agevole.



Figura 6.1: le strade alzaie dei canali con fondo in pietrisco sono già un ottimo punto di partenza per la realizzazione di un percorso verde. Nelle aree più “naturali” si manterrà inalterata la copertura della strada, adatta alla maggior parte delle utenze.



Figura 6.2: area attrezzata (in costruzione) per la sosta con panchine, tavoli, staccionate di delimitazione.

Un altro aspetto da tener presente è sicuramente il mantenimento della visibilità lungo il tracciato per ovvie esigenze di sicurezza: sulle strade di servizio, questo aspetto è solitamente di scarsa rilevanza per il ridotto numero di mezzi che solitamente transitano contemporaneamente. Nel caso invece di un percorso attrezzato, questo aspetto è rilevante e si dovrà prevedere quindi la modifica delle curve cieche (aumentando ad esempio la distanza delle siepi sul lato interno della curva, quando sono presenti o se ne prevede l'impianto) o la posa di opportuni sistemi di rallentamento (sbarre e tornelli).

Infine, per creare percorsi piacevoli anche durante le più calde giornate estive, non si potrà dimenticare nel progetto, la posa di siepi e soprattutto filari posti ai lati della pista e del canale, nel rispetto dei vincoli dettati dalle necessità di manutenzione (Figura 6.1).

Aree di sosta ed elementi di arredo

Lungo il percorso, soprattutto se di lunghezza rilevante, è opportuno prevedere la realizzazione di aree di sosta al fine di garantire punti dove i visitatori possano fermarsi, sedere, bere acqua e rifocillarsi in ambienti riparati, protetti ed ombrosi. Solitamente si stabilisce un'area a lato del percorso principale per separare gli utenti in sosta da quelli in movimento e in questa maniera ridurre la formazione di intoppi e, di conseguenza, anche di incidenti. Inoltre, è opportuno dimensionare le aree di sosta in modo da consentire anche ai mezzi di servizio di fare inversione di marcia rapidamente, soprattutto per quelli di soccorso. La posizione dei punti di sosta dipende ancora una volta dall'utenza che si prevede utilizzerà il percorso, dalla presenza di punti di interesse (piazzole di avvistamento, coni visuali, elementi di pregio) e, ovviamente, dalle disponibilità di spazio. Le aree di sosta devono essere attrezzate con sedute, tavoli, cestini per la raccolta dei rifiuti e cartelli illustrativi (Figura 6.2).

Segnaletica orizzontale e verticale

La segnaletica distingue in primo luogo un percorso attrezzato da una strada qualsiasi. Tramite essa si fornisce assistenza agli utenti dando indicazioni sulle direzioni, informazioni turistiche ed avvertenze, oltre a conferire al visitatore un certo senso di sicurezza e organizzazione.

La segnaletica è solitamente costituita da cartelli montati su pali o da segni grafici tracciati sul fondo, quando questo lo permette. La posizione è scelta in base alle necessità: cartelli che illustrano i divieti e gli obblighi da rispettare vanno posizionati solitamente all'inizio della pista, i cartelli con le indicazioni delle direzioni in prossimità di qualsiasi incrocio con altri percorsi/strade, i cartelli informativi in prossimità dei punti di sosta (Figura 6.3). Nel caso di piste ciclabili che interagiscono con strade carrabili occorre rispettare le norme dettate dal codice della strada.



Figura 6.3: esempio di bacheca illustrativa.

Misure per la sicurezza: attraversamenti ed incroci, delimitazioni di fonti di pericolo

Il percorso verde, oltre che piacevole ed attrattivo deve essere anche sicuro e per tale ragione occorre prendere le più opportune misure di protezione al fine di evitare rischi e danni all'utenza.

In questo senso, gli incroci e gli attraversamenti con altre strutture lineari adibite al traffico motorizzato, possono generare situazioni di pericolo. A seconda del rischio previsto, che dipende a sua volta, ad esempio, dal tipo di strada e dal traffico che la caratterizza, si potranno prevedere diverse soluzioni come la sola segnalazione dell'incrocio per le situazioni meno rischiose, il rallentamento degli automobilisti, l'installazione di semafori e, nei casi più pericolosi, la realizzazione di sottopassi e ponti (Toccolini et al., 2004). A tale riguardo, tuttavia, si deve tenere sempre presente che il rallentamento degli automobilisti, dal punto di vista della sicurezza, è sempre la soluzione meno sicura. Nel nostro paese, infatti, sia per velocità di marcia che per "forma mentis" ormai consolidata, è più agevole rallentare i ciclisti e i pedoni piuttosto che gli automobilisti (specie in ambito extra-urbano). L'utenza ciclo-pedonale, di fatto, è la più debole e, sempre dal punto di vista della sicurezza, trascurare questo dato di fatto può portare ad incidenti anche gravi, come purtroppo periodicamente accade.

In prossimità dei punti di inizio/fine dei percorsi verdi, sarà necessaria l'installazione di sbarre, pali o tornelli al fine di precludere la pista al traffico motorizzato. I canali rurali sono principalmente delle infrastrutture tecnologiche. Per tale ragione possono presentare delle caratteristiche tali da generare pericolo per una utenza generica (sponde ripide e lisce, impianti tecnologici di regolazione, presenza di passerelle di servizio). In questi casi, soprattutto se si prevedono afflussi elevati di utenti, occorre procedere alla delimitazione fisica degli elementi pericolosi, oltre alla segnalazione di rischi con opportuna cartellonistica.

Inoltre, lungo i tratti ad uso promiscuo agricolo – ciclo-pedonale su strade poderali e secondarie, che hanno una frequenza giornaliera minima di mezzi agricoli a motore, occorre opportunamente evidenziare i possibili rischi di incrocio con mezzi pesanti.

Parcheggi e punti di connessione

Per allargare il bacino di utenza del percorso verde, occorre valutare attentamente la possibilità di connessione con i principali centri di vita (aree residenziali, di lavoro e ludiche) oltre che con le forme di trasporto tradizionale (auto, bus e ferrovie). Per tale ragione può essere necessario prevedere l'individuazione di piccoli tratti secondari, anche lungo strade poco trafficate, al fine di garantire tali connessioni.

Anche i parcheggi per auto risultano molto importanti dato l'ampio utilizzo di questo mezzo. Tali aree permettono l'interscambio tra l'uso di mezzi a motore (auto) e altre forme di trasporto, compatibili con il percorso verde.

Valorizzazione del patrimonio culturale locale

I corsi d'acqua, come già più volte accennato, qualificano il paesaggio non solo attraverso i loro caratteri naturali (geomorfologia, specchio d'acqua, vegetazione), ma anche attraverso gli elementi culturali che si sono aggiunti, nel corso dei secoli, lungo l'alveo e le aree adiacenti o, in ogni caso, visivamente collegati con l'alveo: le colture agricole, divisioni di proprietà, insediamenti e presenze architettoniche emergenti (centri storici, edifici signorili e religiosi, borghi e insediamenti rurali, mulini e edifici d'archeologia industriale, vecchi ponti, ecc.).

Il reticolo artificiale della pianura lombarda, in particolare grazie alla sua pluri-centenaria presenza sul territorio rappresenta un elemento di elevato valore ambientale, paesaggistico e naturale, cui sono associati numerosi elementi di pregio architettonico ed ingegneristico quali ad esempio: piccole opere idrauliche di regolazione (chiaviche in pietra e mattoni, ponti canale in pietra), ponti storici o realizzati secondo tecniche costruttive tradizionali, opere di presa anche di dimensioni rilevanti (per non dire colossali, vista l'epoca di realizzazione), sistemi di superamento degli ostacoli morfologici del terreno quali trafori e sottopassi testimonianza della perizia costruttiva di un'epoca passata, senza dimenticare le opere di ingegneria della bonifica e quindi impianti di sollevamento, le chiuse, gli edifici industriali quali i mulini, le strutture per la navigazione (conche), ecc.

I corsi d'acqua rurali, poi, grazie alla loro densità che li rende praticamente onnipresenti nel territorio lombardo a dispetto dell'intensa urbanizzazione, continuano a far parte anche oggi, sebbene in misura meno

rilevante che in passato e spesso quasi inosservati, della quotidianità, di quella piccola patria locale, luogo delle consuetudini, degli affetti e dei ricordi, al pari e forse più d'altri elementi del paesaggio.



Figura 6.4: ex impianto idrovoro convertito in ostello con annesso bar-ristorante, museo locale e laboratorio sperimentale per opere di ingegneria naturalistica (Rovigo, 2007).

La modernità, però, tende a stravolgere, occultare o cancellare questo insieme di segni identitari, sia per quanto riguarda la rete vera e propria, sia per quanto riguarda i manufatti e le opere. Riallacciare le comunità locali, che in genere non hanno più la necessità di percorrere ed attraversare il corso d'acqua negli

spostamenti abituali, ha il grande valore di recuperare alla memoria collettiva il corso d'acqua stesso che, altrimenti, viene progressivamente cancellato dalla nozione della sua esistenza.

In questo contesto, il percorso verde avrà un ruolo di unione, collegamento e valorizzazione degli elementi di pregio presenti sul territorio, anche non immediatamente e fisicamente collegati ad esso.

A tale proposito, di grande interesse è lo strumento delle cosiddette “mappe culturali locali”, d'origine inglese, da qualche anno introdotte anche in Italia (Di Fidio e Bischetti, 2008). Si tratta di strumenti che, a prescindere dalle modalità tecniche con cui vengono realizzate (iconografiche, fotografiche, testuali, narrative, multimediali), si propongono d'illustrare e celebrare ciò che la gente pensa sia speciale, unico e distintivo del luogo in cui vive: storie umane, cose materiali ed immateriali amate ed apprezzate, che si vogliono registrare prima che vadano perdute, o per focalizzare aspetti particolari dell'identità culturale locale e per impostare azioni future di recupero e valorizzazione.

Le mappe culturali locali esprimono idee sul territorio particolarmente radicate nelle comunità locali ed è ciò che le rende uno strumento efficace nella politica di conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale, strettamente connesso con quello naturale e paesistico. Ciò che è cruciale nella costruzione di tali mappe, quindi, è il coinvolgimento delle popolazioni locali, che sono invece solitamente escluse dalla realizzazione delle mappe tematiche specialistiche che riguardano il loro territorio.

Uno dei tanti esempi di come l'abbandono delle opere legate all'acqua ed inutilizzate a causa delle mutate esigenze economiche e dell'affermarsi di nuove tecnologie, possa costituire un'occasione di recupero e rilancio è dato dagli impianti di bonifica. Quelli di una certa dimensione erano dotati di un edificio per le caldaie (necessarie per il movimento delle pompe prima dell'avvento dei motori diesel e di quelli elettrici poi) e di un altro stabile in grado di ospitare i guardiani adibiti all'impianto e le rispettive famiglie. Tali edifici, se ancora debitamente conservati, possono essere convertiti in locali per contenere piccole mostre sul tema dell'acqua, dell'agricoltura irrigua e della bonifica (come già di fatto avviene in molte realtà territoriali) o per ospitare strutture ricettive, possibilmente inserite in un più organico e razionale contesto di promozione turistica rivolta anche alla popolazione locale mediante progetti di educazione scolastica mirata alla diffusione della conoscenza del territorio tra i giovani (Figura 6.4).

6.1.2 Caso di studio: un percorso verde per i pescatori

In molti contesti periurbani, la pesca amatoriale, come anche quella sportiva, assume una certa importanza e viene sentita come una necessità da parte della popolazione, insieme a numerose altre attività ricreative. Ne consegue che, la presenza di strutture in grado di accogliere questa tipologia di utenza costituisce senza dubbio un valore aggiunto per il territorio e le infrastrutture gestite dai consorzi irrigui e di bonifica.

In diverse aree della pianura, sono stati realizzati diversi interventi di riqualificazione funzionale per la pesca amatoriale; a titolo di esempio si riporta l'esperienza condotta dal Consorzio di Bonifica della Muzza Bassa Lodigiana.

L'intervento denominato “Progetto Pescatori” è stato realizzato in accordo con la sede territoriale della Regione, la provincia di Lodi e le associazioni di pesca lodigiane che hanno contribuito con suggerimenti, verifiche e proposte di azione e consiste nella realizzazione di un percorso perimetrale la città di Lodi attrezzato con parcheggi, punti informativi e postazioni di pesca (Figura 6.5). Il progetto è stato finanziato dalla D.G. Agricoltura della Regione Lombardia nell'ambito dell'obiettivo di governo M02.

La prima fase dell'intervento ha visto la realizzazione di uno studio sulla fauna ittica per valutarne la consistenza nelle acque della rete di canali nelle vicinanze della città di Lodi ed in particolare lungo il canale Muzza e il canale Belgiardino. La limpidezza e l'elevata ossigenazione dell'acqua, dovute alla costante condizione di corrente, insieme alla vegetazione subacquea spontanea, assicurano la presenza di numerose specie ittiche tra le quali il cavedano, il barbo, la scardola l'alborella e la carpa.

Successivamente sono stati individuati alcuni tratti di canali caratterizzati dalla presenza di una strada alzaia già attrezzata come pista ciclabile ed in particolare lungo il canale Belgiardino a nord della città di Lodi e, quindi, lungo il canale Muzza dalla centrale elettrica di Montanaso-Tavazzano fino al termine del canale in località Tripoli, da qui il percorso prosegue fino al comune di S. Martino lungo il colatore Muzza. Il percorso assume la forma di semicerchio attorno alla città di Lodi ma è strettamente collegato con il centro cittadino mediante diverse piste ciclabili che dalla città si diramano verso la campagna in tutte le direzioni.

Lungo il percorso sono stati realizzati quattro parcheggi per i visitatori che raggiungono le postazioni in auto. In prossimità dell'abitato di S. Martino si è provveduto a dare continuità al percorso ciclabile mediante la realizzazione di un tratto di pista. In prossimità dei parcheggi e di alcuni punti di particolare interesse sono stati posizionate alcune bacheche illustrative l'attività del Consorzio, le specie ittiche presenti e il tracciato del percorso.

Per facilitare l'avvicinamento dei pescatori all'acqua in condizione di sicurezza e senza recare danno da calpestio alle sponde, si è provveduto alla realizzazione di diverse postazioni di pesca. Tali opere sono state realizzate in pietra e legname secondo due tipologie principali a seconda delle caratteristiche locali.

Regione Lombardia
Comunità Bonifica
Muzza Belgiardino
A.P.S.S.L. P.L.P.S.A.S. - Lodi
Associazione Ittologica Pescatori Lodigiani

Progetto per la valorizzazione della rete di canali del Consorzio e dei corsi d'acqua del demanio regionale, per la pesca sportiva

Pescare sulla Muzza e il Belgiardino

Il "Progetto Pescatori"

La D.G. Agricoltura della Regione Lombardia nell'ambito dell'obiettivo di governo M02 ha finanziato un "progetto per la valorizzazione della rete di canali gestita dai consorzi di bonifica, e dei corsi d'acqua all'interno del demanio regionale, ai fini dell'utilizzo da parte dei pescatori sportivi, d'intesa con le associazioni di pesca dilettantistica".

Il territorio lodigiano è sicuramente vocato, per la presenza di numerosi canali di bonifica ma anche di corsi d'acqua naturali, nonché per il contesto ambientale generale, all'attuazione di un intervento del tipo sopra accennato.

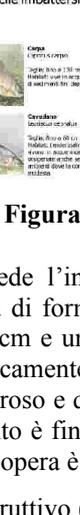
Da tali presupposti ha avuto avvio la redazione del "Progetto Pescatori" che è stato sviluppato in collaborazione fra Sede Territoriale di Lodi della Regione Lombardia e Consorzio di Bonifica, che hanno recepito gli spunti ed i suggerimenti della Provincia di Lodi e delle associazioni di pesca lodigiane.

Le opere realizzate riguardano: postazioni di pesca, un parcheggio per autovetture, studio ittologico, scala di rimonta dei pesci e impianti a verde.



Le postazioni di pesca

Le postazioni sono state costruite con materiali naturali: pali in legno e pietrame; esse permettono di avvicinarsi il più possibile all'acqua, evitando di erodere le sponde e creare frane. La loro ubicazione è descritta nella planimetria sottostante.





P parcheggio per autovetture
I bacheca informativa
— itinerario di pesca sulla Muzza e il Belgiardino
--- tratti attrezzati con postazioni di pesca
— strade statali e provinciali

Le specie ittiche prevalenti

La limpidezza e l'elevata ossigenazione dell'acqua, dovute alla costante condizione di corrente, insieme alla spontanea vegetazione subaquea, assicurano la presenza di numerose specie ittiche, tra le quali il cavedano, il barbo, la scardola, l'alborella e la carpa; di quest'ultima in particolare non sarà difficile imbattersi con qualche bell'esemplare.

Alborella
Alburnus alburnus
Taglia: fino a 15 cm.
Abita in acque correnti limpide, ricche di vegetazione con fondo di ghiaia e sabbia.



Carpa
Cyprinus carpio
Taglia: fino a 150 cm.
Molto comune in acque ferme o a lento corso, in stagni, canali e fiumi.



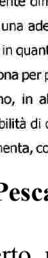
Scardola
Gambusia holbrooki
Taglia: fino a 10 cm.
Molto comune in acque correnti, in canali e fiumi, in particolare nei tratti a corrente veloce.



Barbo
Barbus haasi
Taglia: fino a 60 cm.
Molto comune in acque correnti, in canali e fiumi, in particolare nei tratti a corrente veloce.



Cavedano
Carassius auratus
Taglia: fino a 100 cm.
Molto comune in acque correnti, in canali e fiumi, in particolare nei tratti a corrente veloce.



Tecniche di cattura

Le postazioni consentono ai pescatori di poter sostare in prossimità dell'acqua con lo spazio necessario per la sistemazione dell'attrezzatura. È consigliata la pesca a passata: con esche naturali terminali molto sottili ed una canna anche fissa di lunghezza massima intorno ai sei metri, si potranno raggiungere i migliori "giri d'acqua" dove sarà sicura la presenza di cavedani, scardole e, nei punti in cui la corrente diminuisce, qualche bella carpa. Ben praticabile sarà anche la tecnica del legering: con una adeguata pasturazione si potrà facilmente popolare il retino di barbi, una specie presente in quantità elevate sul canale a dimostrazione che la qualità delle acque debba essere molto buona per poter ospitare questi lussuosi inquilini. La corrente e la scarsa profondità permetteranno, in alcuni punti, di effettuare anche qualche lancio a spinning, anche con elevate probabilità di cattura. L'accessibilità di ogni postazione anche nei periodi in cui il livello dell'acqua aumenta, consentirà ai pescatori di poter utilizzare la bilancia.

Figura 6.5: locandina illustrativa il "Progetto Pescatori".

Il primo modulo prevede l'infissione al piede della sponda di un certo numero di pali scortecciati a costituire una palizzata di forma circolare o sub-esagonale con raggio da 1 a 1,5 m (Figura 6.6a). I pali hanno diametro 18-20 cm e una lunghezza di 2-2,5 m e vengono infissi nel terreno per almeno 1 m, non legati tra loro ma praticamente contigui. La cavità che si forma all'interno della palizzata viene riempita prima con materiale terroso e quindi, sulla sommità con pietrame di pezzatura grossolana (25-30 cm). Se il materiale di riempimento è fine, è consigliabile foderare le pareti interne della palizzata con geotessuto. Il costo complessivo dell'opera è di circa 3.500 euro.

Il secondo modulo costruttivo (Figura 6.6b) consiste nella posa di una platea di massi al piede della sponda del canale in modo che parte di essa rimanga sommersa e parte sia invece calpestabile all'asciutto. Il coronamento della platea può essere rinforzato mediante la posa di pali infissi verticalmente allorquando si tema il formarsi di processi erosivi o quando si impiega materiale lapideo di piccola pezzatura (30-40 cm).

L'accesso alla postazione è garantito mediante la realizzazione di una gradonata sempre in pietra o misto legname-pietrame. Il costo dell'opera dipende dallo sviluppo della platea e delle gradonate e può arrivare a 13.500 euro per una superficie di circa 30 m².

La prima tipologia costruttiva si presta bene nel caso di sezioni caratterizzate da sponde piuttosto ripide e da canali con sezioni contenute; la seconda tipologia invece si inserisce meglio in situazioni con sponde dolci e alvei larghi. Le postazioni permettono la posa delle attrezzature da parte dei pescatori che praticano la pesca a passata, piuttosto che la tecnica a *legering* e, in alcuni casi, il lancio a *spinning*.

A più di un anno dalla realizzazione del progetto, le postazioni risultano frequentemente utilizzate dai pescatori che le apprezzano per la loro comodità e sicurezza.

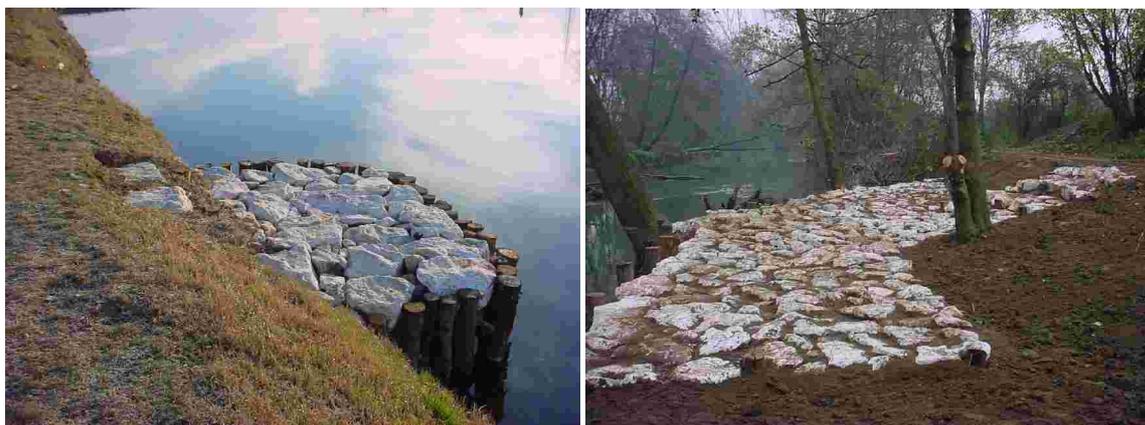


Figura 6.6: postazioni per pescatori: tipologia 1 (sinistra) e tipologia 2 (destra).

6.2 Percorsi d'acqua (Blueway)

L'occasione di incontro tra uomo e territorio offerta dalle "greenways" può essere riproposta in ottica diversa anche sui corsi d'acqua, in riferimento alle opportunità di fruizione ecoturistica (attività di svago, ricreazione, sport e osservazione naturalistica) connesse all'utilizzo delle imbarcazioni a remi. Oltre alla fruizione "passiva", intesa come contemplazione dell'acqua stando o muovendosi lungo i percorsi laterali, è proponibile ed effettuabile, infatti, anche una fruizione "attiva", nel senso della pratica di attività sportive o ricreative all'interno del corso d'acqua utilizzandolo come una vera e propria "via d'acqua" o "blueway" (Toccolini et al., 2004). Questo termine esprime il logico sviluppo del concetto di "greenway" (percorso in cui è possibile coniugare aspetti ambientali, urbanistici, paesaggistici e turistici), riferito tradizionalmente alla mobilità dolce terrestre e trasposto in questo caso al potenziale utilizzo delle vie d'acqua.

La navigazione a remi (attività di canottaggio e canoa/kayak) è diffusa in Italia a vari livelli, sia sportivo-agonistici che amatoriale-turistici. La FICK (Federazione Italiana Canoa e Kayak) si occupa soprattutto dei primi aspetti, mentre nella FICT (Federazione Italiana Canoa Turistica) prevale l'aspetto di svago e scoperta del territorio: la canoa, infatti, viene descritta come "sport per tutti" e tra gli aspetti principali vengono indicati quelli del "turismo culturale" in "armonia con l'ambiente" (dall'Art. 1 dello Statuto della FICT). Il canottaggio, ad eccezione di alcune aree di antichissima tradizione, costituisce ancora un elemento poco esplorato e valorizzato in Italia, ma che potrebbe rivestire una significativa importanza, come dimostrato dalla presenza nella sola Regione Lombardia di oltre 40 tra Canoa Club e Società di Canottaggio, di cui alcune (Canottieri Olona, Canottieri Milano, ecc.) sono solite navigare i grandi Navigli milanesi a livello essenzialmente turistico. La promozione della canoa e del canottaggio, nel contesto della rete dei canali artificiali, deve essere affrontata proprio dal punto di vista dell'attività amatoriale e ricreativa, in quanto l'attività agonistica (allenamento, gare, ecc.) necessita di condizioni idriche particolari ed uniformi che, in generale, non possono essere ricreate all'interno dei canali artificiali (larghezze notevoli dell'alveo, acqua praticamente ferma senza variazioni di livello, con tirante minimo di 1÷1,5 m per il canottaggio e 50 cm per la canoa, assenza di vegetazione sommersa). A ciò si aggiunge l'esigenza di attrezzare dei veri e propri campi di gara ed allenamento, con pontili, cancelli di partenza e arrivo, porte per lo slalom e deflettori per la realizzazione di rapide artificiali (CIRF, 2006). Per questi motivi l'attività agonistica si svolge essenzialmente in bacini naturali o artificiali (per la canoa e il canottaggio velocità) e in corsi d'acqua naturali dal carattere torrentizio (per la canoa slalom). L'attività turistica ed amatoriale ha, invece, maggiori prospettive di sviluppo, essendo meno esigente dal punto di vista idraulico e, potenzialmente, connessa in misura maggiore alla fruizione alternativa di massa dei corsi d'acqua (intesi,

quindi, come “blueways”) e alla promozione di questo sport tra la popolazione. Un'altra possibilità di navigazione, meno impegnativa e maggiormente turistica rispetto alla canoa/kayak, è costituita dall'utilizzo di pedalò o di semplici barche a remi o a motore (a supporto, ad esempio, dell'attività di pesca), per il quale valgono le stesse considerazioni descritte nel seguito circa le caratteristiche dei tratti navigabili e delle zone di accesso per canoe/kayak.

Per promuovere la navigazione a remi, qualsiasi sia la tipologia di imbarcazione, è necessario identificare i canali e i tratti idonei, predisponendo inoltre adeguate aree di approdo.

6.2.1 Identificazione tratti idonei

I corsi d'acqua navigabili devono avere particolari caratteristiche minime che devono essere rispettate per tutta la loro lunghezza; tali requisiti riguardano: (1) la larghezza dell'alveo e il tirante, (2) la configurazione delle sponde, (3) la vegetazione (spondale e sommersa), (4) il valore paesaggistico intrinseco, (5) l'assenza di elementi di pericolo. In particolare:

- I tratti utilizzabili devono avere una larghezza minima di 5÷6 m per la canoa/kayak e 10÷12 m per il canottaggio, in modo da permettere ad almeno due imbarcazioni di affiancarsi, con un tirante minimo rispettivamente di 30÷40 cm e 60÷80 cm (Schwarz, 1993) per permettere l'affondamento degli scafi, delle pagaie (nella canoa/kayak) e dei remi (nel canottaggio); la velocità dell'acqua costituisce, al contrario di quanto accade a livello agonistico, un fattore meno critico soprattutto per la canoa.

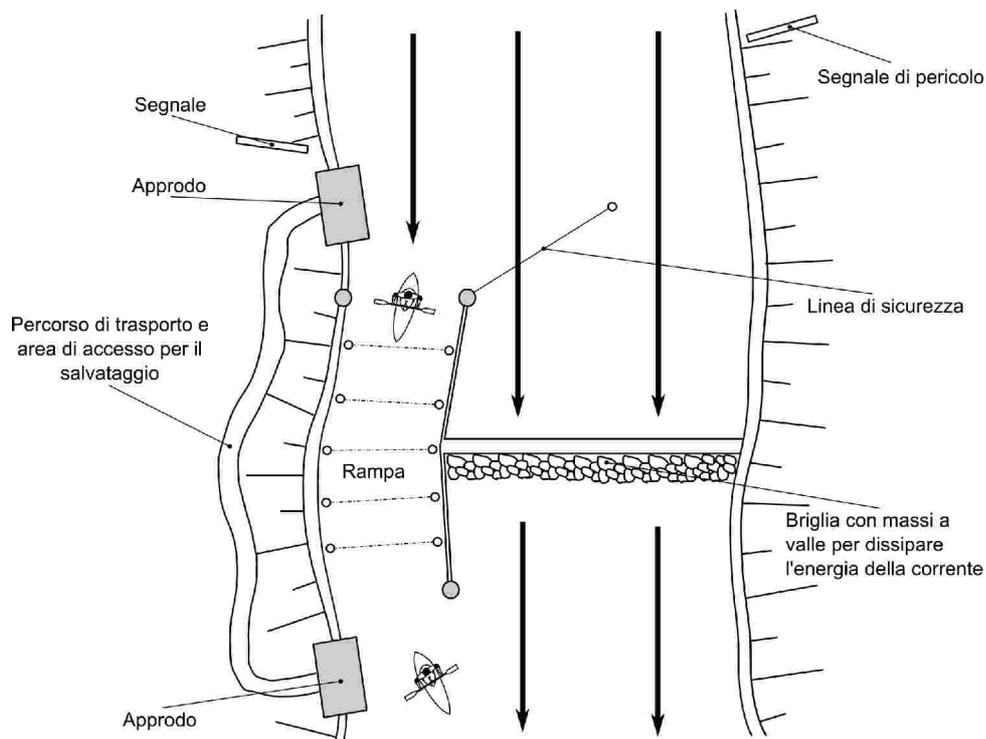


Figura 6.7: schema di una rampa per canoe con approdi per il trasbordo (disegno modificato tratto da Schwarz, 1993).

- Le sponde devono avere pendenze limitate ed essere per la maggior parte inerbite o con aperture nella vegetazione arborea e/o arbustiva eventualmente presente, in modo da permettere la facile risalita in caso di rovesciamento; anche in prossimità degli sbarramenti trasversali deve essere permessa la possibilità di effettuare facilmente i trasbordi per passare da un tratto all'altro attraverso opportuni approdi (Figura 6.7) descritti nel paragrafo successivo.

- La vegetazione non crea particolare disturbo, ad eccezione di evidenti ostruzioni della sezione navigabile dovute all'eccessivo sviluppo algale e all'ingombro causato da rami bassi, tronchi incastrati e dalle chiome di alberi ed arbusti sulle sponde in prossimità di restringimenti; per questo aspetto, tuttavia, la manutenzione ordinaria può essere sufficiente a mantenere le condizioni ottimali per permettere la navigabilità.
- I tratti devono avere un valore paesaggistico intrinseco (attraversamento di aree naturali di pregio, presenza lungo il percorso di cascine, ville, edifici storici, ecc.), in modo da attirare i canoisti e favorire la fruizione integrata dei canali da un punto di vista differente (attività sportiva e ricreativa annessa all'osservazione ambientale e alla scoperta di valori paesaggistici, il tutto effettuato dall'interno dell'alveo).
- Lungo il canale non devono essere presenti elementi di pericolo come, ad esempio, piccole briglie o le bocche di uscita delle acque turbinate dalle centrali idroelettriche; a valle di questi punti, infatti, la turbolenza crea vortici e mulinelli che possono risultare molto pericolosi. Tali fenomeni possono essere controllati con apposite strutture mitigative o evitati con rampe per canoe e approdi per effettuare il trasbordo (Figura 6.7).

6.2.2 Realizzazione degli approdi

L'accesso al canale deve essere facilitato dalla presenza di approdi. Possono risultare sufficienti tratti di sponda inerbita lunghi 5÷10 m e degradanti dolcemente nel canale; alternativamente, nei tratti urbani, possono essere sfruttate strutture come antichi lavatoi, ecc. In generale, si deve considerare che la corrente è più veloce al centro dell'alveo e più lenta ai bordi, e diventa assai più modesta in prossimità delle anse (Figura 6.8): in tal senso è opportuno collocare i punti di accesso e le relative attrezzature (scivoli, pontili, ecc.) in zone tranquille del corso d'acqua (Toccolini et al., 2004).

Gli approdi, inoltre, vanno posizionati in punti strategici e attrezzati adeguatamente, in modo da incentivare l'attività; in particolare:

- è preferibile predisporre gli accessi ove sono presenti piste ciclabili, in prossimità delle aree di sosta posizionate vicino alle strade principali e con superfici a parcheggio idonee al carico ed allo scarico, in modo da favorire il raggiungimento degli approdi con mezzi motorizzati e limitando il trasporto a piedi delle imbarcazioni; la presenza di piste ciclabili, inoltre, consente a gruppi di persone di muoversi contemporaneamente lungo il canale con mezzi diversi (canoa, bicicletta, cavallo, ecc.);
- nelle aree di sosta così attrezzate è necessario predisporre un'adeguata e specifica segnaletica, indicante la possibilità di navigare il canale e le finestre temporali di navigabilità (connesse al regime idrologico e alle variazioni di tirante), la difficoltà del tratto secondo i sei gradi della scala ICF (International Canoe Federation), le precauzioni da osservare (obbligo di indossare giubbetti di salvataggio e caschi) e gli eventuali elementi ambientali e paesaggistici osservabili (Schwarz, 1993). E' possibile, inoltre, attrezzare le aree con strutture specifiche (ricoveri per le imbarcazioni, punti di ristoro, scivoli e zone di alaggio (messa in acqua o in secco dell'imbarcazione), ecc. Figura 6.9), con una grandezza dipendente da più fattori (popolarità del canottaggio e livello di fruizione del particolare corso d'acqua, ecc.) (Schwarz, 1993).

Alternativamente alle zone di approdo degradanti nel canale è possibile predisporre dei pontili, utili soprattutto per l'accesso e l'ormeggio delle piccole barche a remi o a motore. I pontili sono centri galleggianti attrezzati per l'alaggio, l'ormeggio e la sistemazione delle imbarcazioni nel caso di prolungata permanenza in acqua. Possono essere costruiti in maniera differente a seconda della dimensione del corso d'acqua: i pontili più grandi ed efficienti sono costituiti da casette o baracche galleggianti posizionate su barconi; da queste partono una o più pedane sorrette da barili, in cui è possibile ormeggiare le imbarcazioni (Figura 6.10). Per risolvere il problema dei continui e repentini cambiamenti del livello dell'acqua, tali pontili sono spesso muniti di una passerella mobile, in modo da garantire sempre l'accesso alle imbarcazioni. I pontili medio-piccoli sono di dimensioni e costituzione più modeste, le cui pedane sono fissate su pali ad un'altezza di 45÷60 cm rispetto al pelo libero della portata massima; questi centri vengono installati e situati in luoghi riparati dalla corrente del corso d'acqua (anse, rientranze di massicciate o pennelli).

Lungo il canale, inoltre, è possibile predisporre a distanze regolari brevi specifici tratti (lunghi al massimo alcuni metri) per la risalita in caso di rovesciamento, qualora le sponde abbiano una pendenza eccessiva o presentino una fitta copertura arbustiva ed arborea.

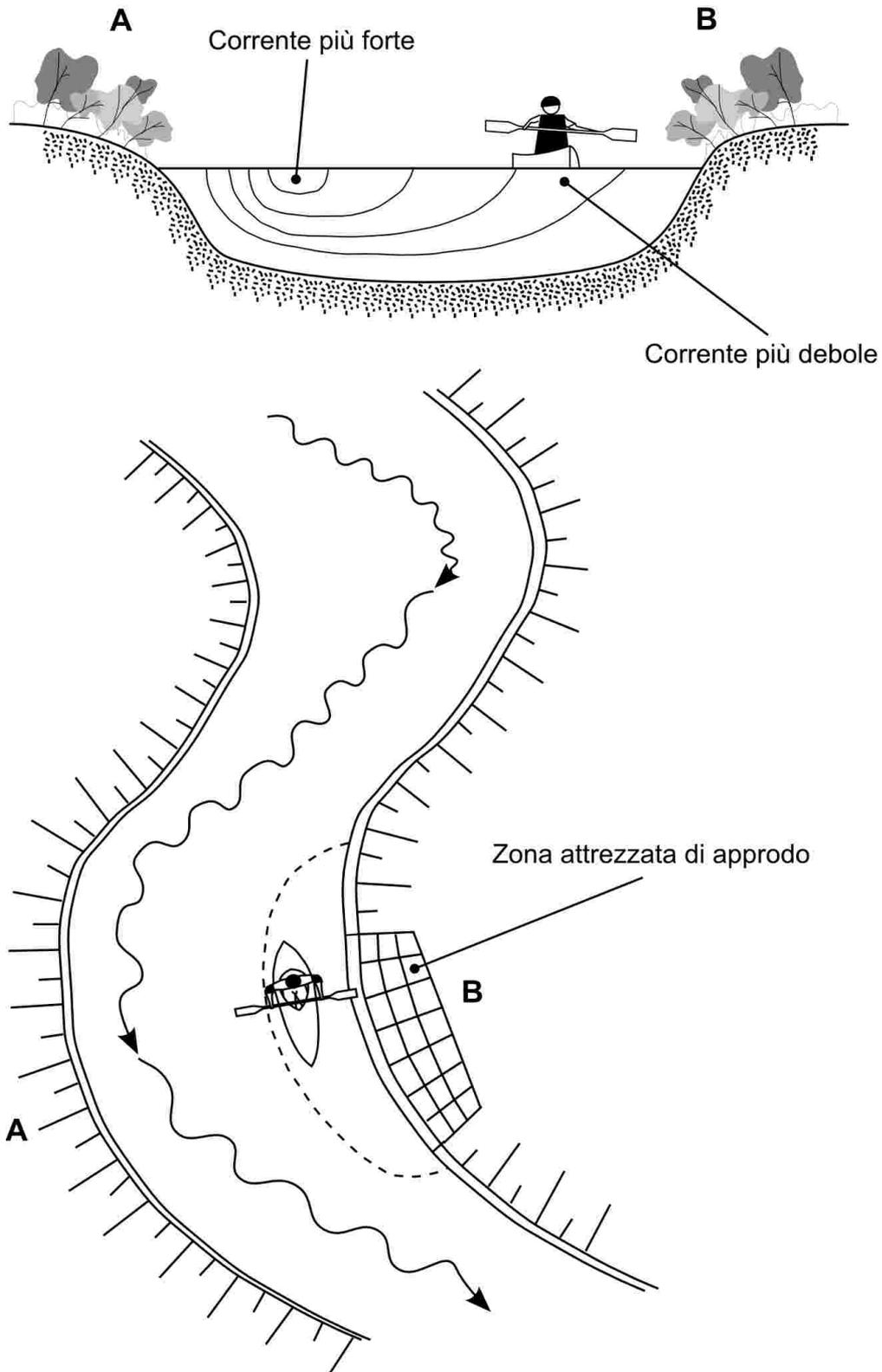


Figura 6.8: nel progettare le zone di accesso al corso d'acqua si devono tenere presente le differenti velocità della corrente nella sezione, localizzando gli approdi nelle zone più "tranquille" (disegno modificato di Toccolini et al., 2004).

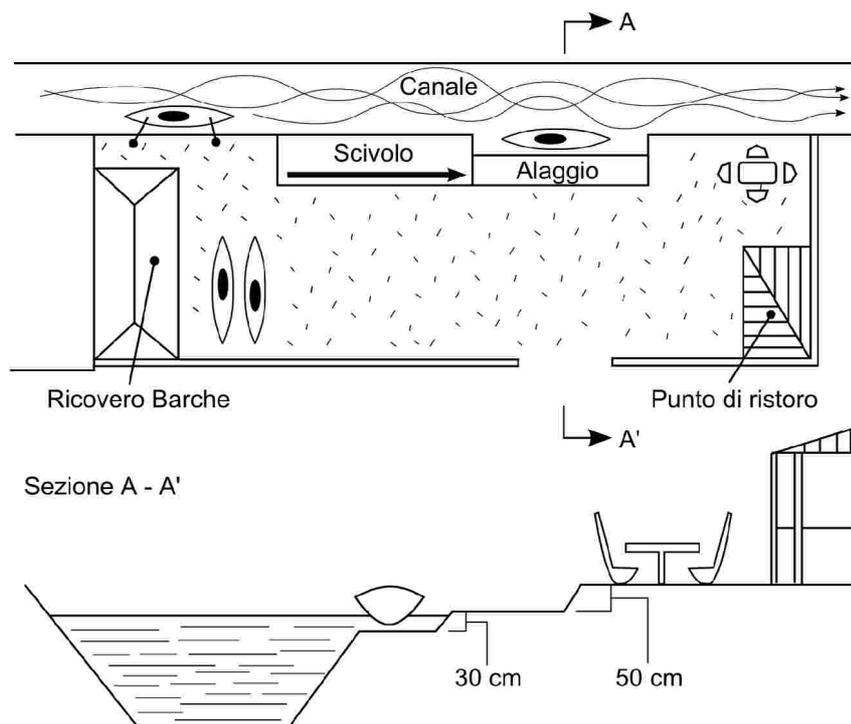


Figura 6.9: schema di realizzazione di un'area attrezzata specificamente per le canoe (modificato da Toccolini et al., 2004).

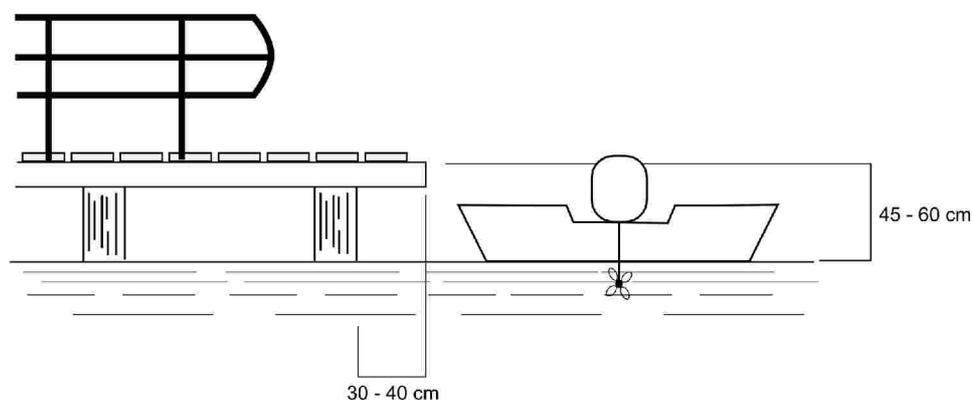


Figura 6.10: schema di un pontile fisso (disegno modificato tratto da Toccolini et al., 2004).

6.3 Bibliografia

CIRF (2006). "La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio." A. Cardini e G. Sansoni (curatori) e collaboratori, Mazzanti editori, Venezia.

Schwarz L. (1993). "Greenways." Island Press, Washington DC, USA.

Toccolini A., Fumagalli N., Senes G. (2004). "Progettare i percorsi verdi - Manuale per la realizzazione di greenways." Maggioli Editore.

Capitolo 7 Interventi di manutenzione ecocompatibili

Il mantenimento della funzionalità idraulico-agraria della rete idrografica rurale, che ha lo scopo di rendere efficiente la distribuzione dell'acqua e il drenaggio dell'eccesso idrico verso e dai campi, è stato effettuato per molti secoli essenzialmente a mano. Le operazioni di manutenzione, di conseguenza, erano estremamente onerose e si limitavano a mantenere gli organi di regolazione, a risanare i cedimenti di sponda più rilevanti (prevenuti con la piantumazione) ed a risezionare brevi tratti. Con il progressivo aumento della capacità di movimentazione del terreno, avvenuto a partire dalla seconda metà del secolo scorso, per tali operazioni si è sempre più fatto ricorso alle macchine operatrici. Se ciò, da una parte ha ridotto consistentemente la fatica e gli oneri di manutenzione, dall'altra ha rotto un sostanziale equilibrio e generato un impatto sempre maggiore sulla componente ambientale dei canali. Per consentire la meccanizzazione delle operazioni di manutenzione, infatti, si è giunti alla sostanziale eliminazione della vegetazione spondale non erbacea, con conseguenze sia sulla stabilità delle sponde stessa per il venir meno dell'azione di rinforzo delle radici, sia sullo sviluppo della vegetazione algale e di macrofite in alveo per il mancato ombreggiamento. La meccanizzazione delle operazioni di manutenzione, paradossalmente, può avere come conseguenza la necessità di dover effettuare con maggior frequenza ed incisività il controllo della vegetazione, la stabilizzazione delle sponde e il ripristino della sezione utile, in una rincorsa senza fine e con oneri finanziari che talvolta divengono poco sostenibili. Dal punto di vista prettamente ambientale, poi, la banalizzazione della vegetazione costituisce un sicuro impoverimento della biodiversità, mentre ogni operazione che movimenta terra nell'alveo e sulle sponde costituisce uno stravolgimento del substrato con relativa distruzione del periphyton, che come si è visto nel capitolo 2 costituisce la base dell'intero ecosistema acquatico.

Nel nuovo contesto di una maggior consapevolezza ambientale e della ricerca di soluzioni tecniche che permettano di conseguire risparmi, trovano spazio soluzioni di manutenzione innovative che, basandosi sui progressi conseguiti nella conoscenza dei processi fluviali, ricercano un equilibrio tra le diverse istanze. Tali soluzioni possono essere definite di manutenzione eco-compatibile o, con una non brillante traduzione dall'inglese, di "manutenzione gentile". Tali soluzioni mirano ad invertire la spirale secondo cui un intervento di manutenzione genera a sua volta le condizioni per la necessità di nuova manutenzione, perseguendo, come detto, l'equilibrio geomorfologico dei canali senza pregiudicare la funzionalità idraulica in maniera insostenibile rispetto agli usi.

Secondo le esperienze più avanzate in Europa, i piani di manutenzione ecocompatibile sono differenziati in funzione della situazione ecologica specifica dei singoli sistemi di canali e questa è anche la prospettiva che si affaccia per i canali lombardi. D'altra parte, le conoscenze specialistiche già acquisite nelle suddette esperienze possono essere utilizzate per definire principi e criteri generali, validi anche per la Lombardia. Nel presente capitolo verranno sintetizzati i più recenti orientamenti, cercando di calarli nella particolare realtà della pianura lombarda, che come detto più volte può essere considerata unica.

E' possibile innanzi tutto valutare sotto il profilo ecologico le tipologie fondamentali dei lavori per la manutenzione dei canali e le numerose attrezzature meccaniche messe a disposizione dall'industria moderna per tali lavori. Il quadro che emerge appare aperto ad interessanti possibilità applicative immediate, per modificare la prassi vigente, senza penalizzare la funzionalità idraulica e l'economicità delle operazioni. In tal modo, si forniscono ai singoli consorzi di bonifica e irrigazione i criteri generali per elaborare piani specifici di manutenzione, i quali, grazie a conoscenze più approfondite della situazione locale, consentiranno di realizzare ulteriori progressi.

Per quanto riguarda gli aspetti esecutivi, le presenti indicazioni forniscono l'elenco delle prestazioni che dovranno eventualmente essere precisate in sede d'appalto dei lavori, per tener conto delle esigenze ecologiche.

7.1 Nuovi obiettivi ecologici della manutenzione dei canali

7.1.1 I canali come habitat sostitutivi di specie vegetali ed animali rare

Nei canali almeno parzialmente in terra s'insedia una tipica vegetazione naturale, che varia secondo la morfologia della sezione (larghezza, profondità) e le condizioni idrauliche (escursioni del livello idrico,

velocità della corrente). Il fattore localizzativo più importante è l'umidità del suolo, massima sul fondo del canale e minima sul coronamento delle scarpate.

La Figura 7.1 illustra la tipica zonazione vegetazionale che si instaura in canali di drenaggio sufficientemente larghi e profondi, caratterizzati da una forte escursione del livello idrico:

- il fondo è colonizzato da piante acquatiche (per es. *Ranunculus aquatilis* - ranuncolo acquatico, *Berula erecta* - sedanina d'acqua, *Veronica beccabunga*);
- sullo specchio d'acqua s'insediano piante galleggianti (per es. *Lemna* - lenticchia d'acqua, *Nuphar lutea* - ninfea gialla);
- gli ambiti spondali al piede delle scarpate ospitano le piante tipiche del canneto (per es. *Phragmites australis* - cannuccia palustre, *Sparganium erectum* - coltellaccio maggiore, *Glyceria maxima* - gramignone maggiore);
- gli ambiti superiori delle scarpate, meno frequentemente sommersi, ospitano piante erbacee alte (per es.: *Lythrum salicaria* - salcerella comune, *Filipendula ulmaria* - olmaria comune);
- infine, le spalle e il coronamento della scarpate, meno umidi, possono ospitare cespugli e, in condizioni povere di nutrienti, piante erbacee tipiche dei prati magri.

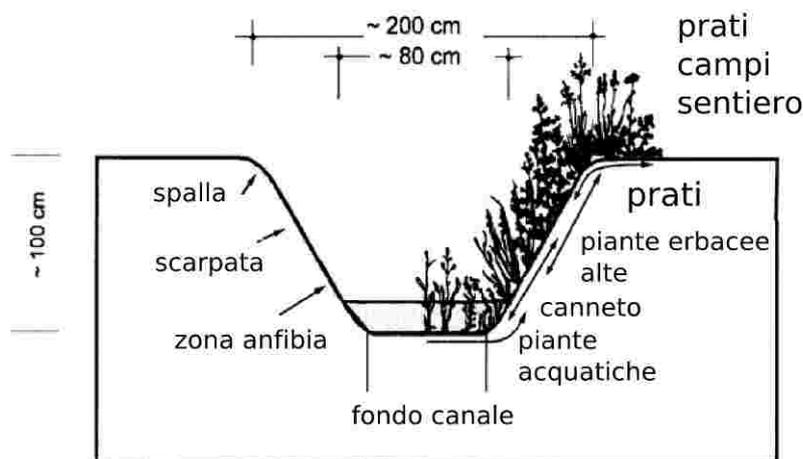


Figura 7.1: zonizzazione vegetazionale di un canale di drenaggio, con forti escursioni delle portate e condizioni eutrofiche medie (ridisegnato da LfU, Land Baden – Württemberg, 2000).

Lo schema della Figura 7.1 può subire modifiche anche radicali. Nei canali più stretti e superficiali, la zonazione verticale si riduce drasticamente e la vegetazione che colonizza il fondo confina direttamente con quella della campagna circostante. I canali con funzioni promiscue (irrigazione e drenaggio) nel periodo estivo sono permanentemente riempiti d'acqua e questo fattore favorisce la crescita delle piante acquatiche e galleggianti rispetto alle altre specie erbacee; nel periodo in cui viene a cessare l'irrigazione, la portata è molto variabile poiché dipende dagli eventi meteorologici e quindi si allarga lo spettro della zonazione vegetale. Con canali drenanti interessati solo temporaneamente da corpi idrici, il fondo può essere completamente colonizzato da popolamenti di piante erbacee alte.

Un aspetto importante (e in parte controverso) della cura dei canali come habitat di specie rare, attiene allo sviluppo della vegetazione arborea ed arbustiva sulla fascia spondale oltre il coronamento delle scarpate. Mentre per i piccoli corsi d'acqua naturali si tende a ricostruire fitte cortine di vegetazione arbustiva ed arborea, tipiche dello stato naturale, nei canali può essere preferibile un limitato ombreggiamento dell'alveo, come è tipico di molte situazioni tradizionali in cui spesso i canali erano corredati da filari d'alberi governati a ceduo. Per i canali, infatti, il forte ombreggiamento, che pur riduce la crescita della vegetazione acquatica e le esigenze di manutenzione, oltre ad ostacolare le operazioni meccaniche e l'accessibilità al canale, può essere nocivo a molte specie vegetali e animali rare, relativamente amanti della luce, che hanno scelto proprio i canali come habitat sostitutivi.

La ricchezza floristica complessiva delle vaste reti di canali è potenzialmente rilevante a causa della varietà di condizioni, anche se i singoli canali sono spesso dominati da poche specie. Nelle campagne moderne,

interessate da usi intensivi (agricoli ed extragricoli), numerose specie che richiedono un'alta umidità sono ormai diventate rare e come tali sono state inserite nelle liste rosse ed i canali possono svolgere (e spesso svolgono) la funzione di habitat sostitutivi di quelli originali, scomparsi o rarefatti.

La fauna dei canali è simile alla flora, per molteplicità delle specie, densità delle popolazioni e situazioni di rarità. Ivi sono rappresentati molti gruppi d'animali acquatici, come pesci, anfibi, molluschi lamellibranchi, mosche effimere, libellule, sanguisughe, coleotteri idrofili.

Nei paesaggi culturali poveri di piccoli corpi idrici naturali, spesso i canali sono gli unici habitat idonei per molte specie di fauna acquatica. Per esempio, essi rivestono grande importanza come quartieri di svernamento e di frega e come percorsi di migrazione degli anfibi. La Rana temporaria, ad esempio, prima dell'inverno scava rifugi nel fango molle sul fondo dei canali per resistere al gelo ed in primavera nei canali soleggiati si trovano grosse comunità d'anfibi in frega.

I canali possono anche svolgere importanti funzioni nel ciclo vitale d'altri animali non specializzati per l'ambiente acquatico. Per esempio:

- nei larghi canali ricchi di canneti, trovano luoghi adatti alla cova alcune specie d'uccelli, come *Acrocephalus palustris* (cannaiola verdognola) ed *Emberiza schoeniclus* (migliarino di palude). Per altre specie d'uccelli, come la Pernice, le piante ai margini dei canali offrono possibilità di riparo in campo aperto;
- la vegetazione dei canali, con la sua ricchezza di fioriture, offre nutrimento per gli insetti;
- animali predatori, come *Natrix natrix* (Biscia d'acqua) e *Argiope bruennichi* (ragno vespa), utilizzano i margini dei canali come riserve di caccia;
- insetti e ragni svernano nei canneti e costituiscono il nutrimento invernale per alcune specie d'uccelli come le Cince;

I canali, con il loro corredo vegetale, svolgono funzioni reticolanti di gran rilevanza per l'equilibrio ecologico dei nostri paesaggi culturali, recentemente evidenziate dalla ricerca e dai programmi di riquilibrificazione dello spazio rurale. Per esempio:

- costituiscono sistemi lineari di collegamento dei biotopi umidi. Le specie migratrici (per es. anfibi, libellule) possono orientarsi su queste direttrici, purché non si applichi una manutenzione drastica, con distruzione totale della vegetazione in vasti spazi;
- hanno effetti favorevoli (analoghi a quelli delle siepi ai margini di campi e prati) sulla fauna delle superfici agricole circostanti, a cui offrono rifugio dopo il raccolto;
- sottraggono sostanze nutrienti alle acque che colano dalla campagna circostante, riducendo quindi l'eutrofizzazione del sistema idrico a valle.

Pertanto una moderna manutenzione deve porsi come obiettivo non solo la conservazione e il ripristino della capacità di deflusso, ma anche la tutela e lo sviluppo del potenziale ecologico complessivo dei canali.

7.1.2 Promozione della molteplicità ecologica dei canali

L'importanza ecologica dei canali è essenzialmente fondata sulla loro molteplicità strutturale ed è quindi questa che deve essere promossa.

Si osserva che i principali fattori morfologici dei canali hanno carattere permanente, perché l'uomo li ha definiti in sede di costruzione: in relazione alle caratteristiche dei luoghi ed alle funzioni tecniche svolte, ai canali sono state attribuite diverse larghezze, profondità, scarpe trasversali e pendenze longitudinali.

Sull'assetto morfologico si può incidere poco in sede di manutenzione, anche se per i canali in terra sono possibili talune limitate misure di rimodellamento locale, per promuovere lo sviluppo di particolari biotopi. Possibilità assai più incisive di modellamento, che tenga conto delle esigenze naturali e paesistiche, si aprono in sede di costruzione o ricostruzione di canali in terra, come alvei artificiali ma in equilibrio idrogeologico, sede di processi ecologici paranaturali, che tra l'altro ridimensionano le esigenze di manutenzione (si veda il 5).

La manutenzione ha la massima possibilità di promuovere la molteplicità strutturale dei canali governando opportunamente la successione vegetazionale. La Figura 7.2 illustra il tipico sviluppo ciclico della vegetazione in un canale di drenaggio, ritmato da interventi convenzionali di manutenzione: subito dopo la

pulizia, il canale è completamente sgombro; gradualmente cresce la vegetazione e sedimenta il fango, finché la sezione è ancora quasi totalmente ostruita e si rende necessaria una nuova operazione di pulizia per ripristinare la capacità di deflusso originaria.

Va rilevato che, in se stesso, l'intervento periodico dell'uomo, per l'asportazione meccanica della vegetazione e dei sedimenti, può favorire la molteplicità ecologica, poiché nel corso del ciclo la flora e la fauna locali sperimentano profonde variazioni, con l'avvicinarsi di specie diverse. Realizzando gli interventi di manutenzione a piccola scala e con modalità tecniche ecologicamente più corrette, non solo le popolazioni faunistiche possono sopravvivere rifugiandosi in ambienti simili vicini, ma è anche possibile creare un mosaico di diversi microhabitat a stretto contatto uno dell'altro, ciascuno dei quali è utilizzato da diverse specie, aumentando la molteplicità e la ricchezza ecologica complessive del territorio.

Viceversa, quando – come abitualmente nella prassi attuale – gli interventi di manutenzione sono realizzati su ampia scala, ossia contemporaneamente su un intero canale o sistema di canali, le popolazioni faunistiche esistenti sono periodicamente distrutte e si creano vasti sistemi di biotopi omogenei nelle varie fasi cronologiche di sviluppo. In tal modo, pertanto, diminuiscono la molteplicità e la ricchezza ecologica complessive del territorio.

Le suddette considerazioni rivelano una differenza sostanziale tra i programmi di manutenzione dei corsi d'acqua naturali e rispettivamente dei canali. I primi aspirano a promuovere il graduale sviluppo di tutti i corsi d'acqua verso uno stato ideale (il cosiddetto "stato naturale potenziale"), nei limiti consentiti dai vincoli del territorio e degli usi antropici; raggiunto quello stato, è lo stesso corso d'acqua che autonomamente crea e distrugge con continuità, su scala locale, i vari habitat, assicurando così la molteplicità del mosaico ecosistemico. Anche quando, a causa dei vincoli esistenti, è necessario limitare lo spazio di libertà dei corsi d'acqua, si può sempre far conto su un contributo importante assicurato dalla residua dinamica naturale.

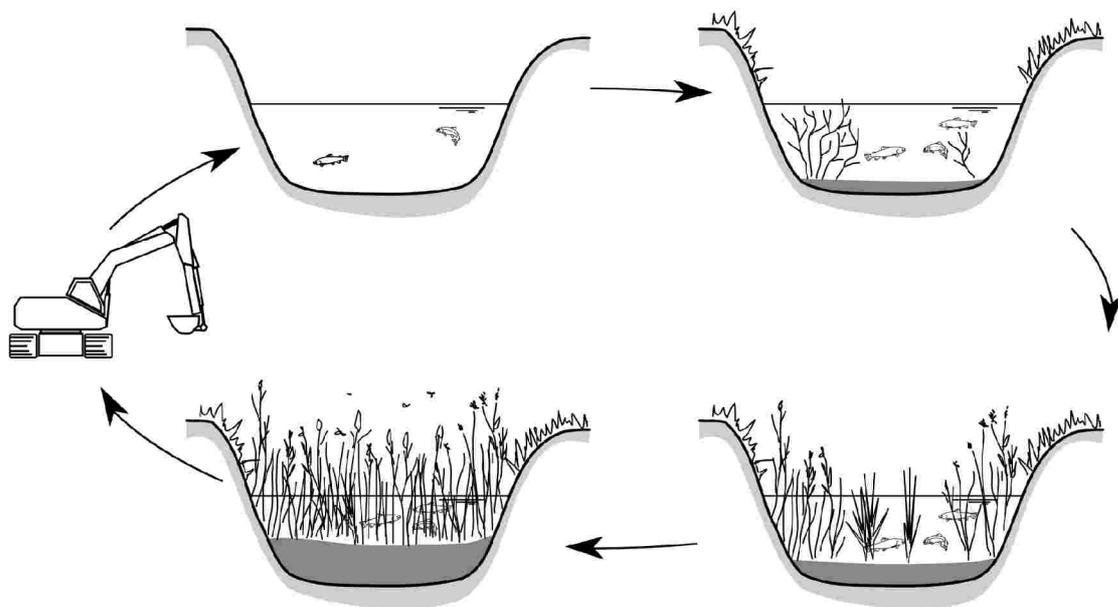


Figura 7.2: dopo il taglio delle piante e lo spurgo radicali, nei canali si avvia un tipico processo di sviluppo graduale della vegetazione e deposito dei sedimenti, che porta nuovamente al riempimento. La velocità di tale processo dipende dalla morfologia della sezione, dall'immissione di nutrienti e dalle condizioni di deflusso (ridisegnato da LfU, Land Baden – Württemberg, 2000).

Per i canali artificiali, invece, non esiste uno "stato ecologico ottimale", in cui essi si possono autoregolare, ma è possibile realizzare, con interventi mirati dell'uomo, un insieme di stati i quali, opportunamente alternandosi nello spazio e nel tempo, garantiscono condizioni complessive ottimali per la molteplicità ecosistemica e la ricchezza delle popolazioni floristiche e faunistiche.

7.1.3 Rinnovo della prassi di manutenzione

Secondo quanto illustrato, si aprono quindi ampi spazi di compromesso tra ecologia ed economia, che peraltro sollecitano un profondo rinnovamento dei lavori di manutenzione, fondato su criteri più completi e rigorosi, che riguardano gli aspetti idraulici, tecnici ed organizzativi.

Dal punto di vista idraulico, è evidente il potenziale conflitto tra la presenza della vegetazione in alveo e la capacità di deflusso del canale; questo conflitto influenza in misura decisiva l'estensione e la frequenza degli interventi di manutenzione e deve quindi essere preliminarmente chiarito. Nuove sperimentazioni hanno rivelato la mancata correlazione lineare tra il taglio della vegetazione in alveo e il livello dell'acqua nei canali, aprendo la prospettiva di nuovi metodi di calcolo per verificare la compatibilità tra la necessaria capacità di deflusso e l'auspicabile, parziale presenza di vegetazione in alveo (v. allegato A).

Dal punto di vista tecnico, occorre valutare criticamente le attuali operazioni periodiche di manutenzione dei canali, scegliendo le apparecchiature e i processi che meglio conciliano le esigenze dell'efficienza e dell'economicità con quelle dell'ecologia, in particolare per ridurre i danni alla fauna dei canali ed assicurare il corretto smaltimento del materiale di risulta.

Dal punto di vista organizzativo, è necessario concepire un vero e proprio piano di manutenzione, per definire in forma coordinata processi, luoghi, stagioni e frequenza degli interventi sull'intera rete dei canali, con un'impostazione che tenga conto delle esigenze ecologiche del comprensorio servito.

7.2 Valutazione analitica dei lavori per la manutenzione dei canali

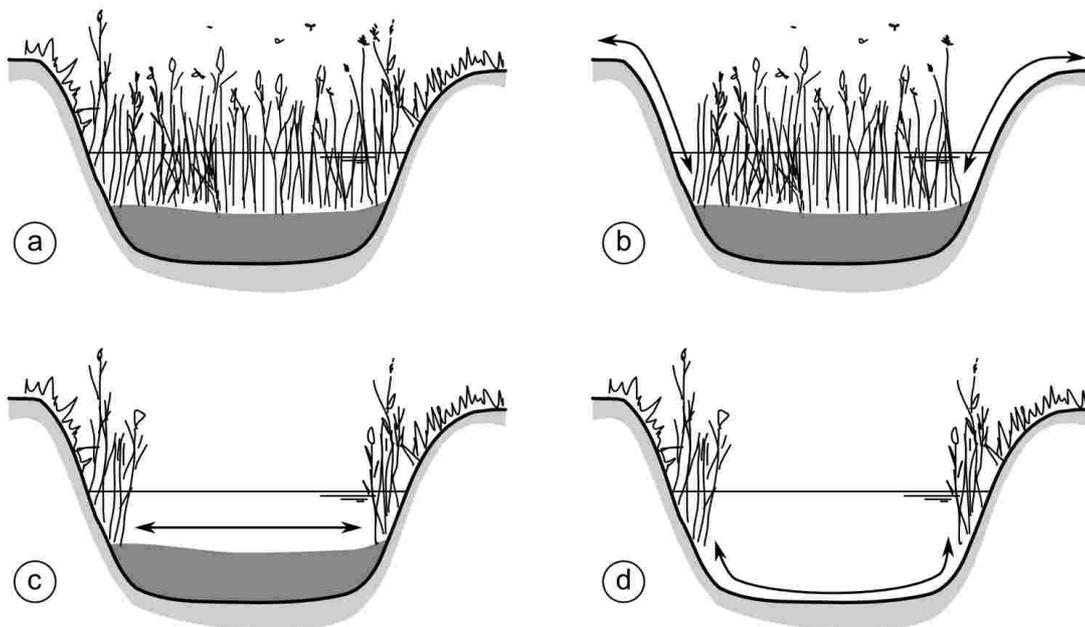


Figura 7.3: nella manutenzione dei canali invasi dalla vegetazione e dai sedimenti (a), si distinguono i seguenti lavori principali: sfalcio della vegetazione sulle scarpate e le fasce spondali (b); diserbo, con rimozione della sola vegetazione acquatica sul fondo (c); spurgo, con rimozione del materiale sedimentato sul fondo, assieme alla vegetazione (d) (LfU, Land Baden – Württemberg, 2000).

Per valutare criticamente i lavori di manutenzione dei canali, questi sono innanzi tutto classificati nelle seguenti categorie (Figura 7.3), a cui di seguito si farà riferimento:

- sfalcio: taglio della vegetazione erbacea presente sulle fasce spondali e sulle scarpate del canale, evitando di danneggiare il suolo e le radici delle piante, con l'obiettivo d'impedire la crescita di piante legnose e l'ostruzione della parte superiore della sezione di deflusso.
- diserbo: rimozione meccanica della vegetazione acquatica radicata sul fondo del canale, incluso lo strappo delle radici, con l'obiettivo di migliorare la capacità di deflusso.
- spurgo: rimozione dei sedimenti minerali e organici presenti sul fondo dei canali, assieme alla vegetazione acquatica, con l'obiettivo di ripristinare la sezione e la capacità di deflusso originarie.

- cura della vegetazione legnosa: ceduzione con varie modalità (ceppaia, capitozza, ecc.), rimozione o viceversa piantagione d'alberi ed arbusti nelle fasce spondali del canale, con diverse finalità (gestionali, ambientali).
- smaltimento: Rimozione dalle sponde del canale dei materiali che cadono nei precedenti lavori e loro conferimento a suoli agricoli, impianti di compostaggio o discariche.

Dopo un richiamo sintetico all'evoluzione storica delle modalità di lavoro ed allo stato attuale della manutenzione dei canali in Lombardia, si procede all'analisi delle principali attrezzature utilizzate nelle varie fasi di lavoro, sotto il profilo tecnico, economico ed ecologico, con una comparazione finale. I dati riportati nell'analisi delle attrezzature sono dedotti da un documento del Land Baden -Württemberg (LfU): *Unterhaltung und Pflege von Gräben* (Karlsruhe, 2000), che sintetizza vaste esperienze dell'area germanica.

7.2.1 Evoluzione storica della manutenzione dei canali

L'attuale prassi della manutenzione differisce profondamente da quella tradizionale, presente fino a circa la metà del secolo scorso, in cui predominava il lavoro manuale, con l'uso di falce e scure per la rimozione della vegetazione e della vanga per la rimozione dei sedimenti sul fondo dei canali.

La manutenzione dei canali era in prevalenza affidata a mano d'opera contadina, compatibilmente con gli altri lavori agricoli, intervenendo di volta in volta in settori parziali della rete irrigua e drenante. I lavori erano per lo più eseguiti in autunno e il materiale di risulta era totalmente riciclato nell'economia rurale dell'epoca: la vegetazione erbacea era utilizzata come strame, quella legnosa come combustibile, il fango come concime.

Oggi nella manutenzione dei canali prevale largamente l'impiego di macchine, con una gamma molto estesa di dispositivi di sfalcio, trinciatura, scavo, caricamento, ecc, montati su veicoli terrestri gommati o cingolati e su natanti. Nell'esecuzione dei lavori prevale l'affidamento a ditte specializzate. Infine, il materiale di risulta viene, almeno in parte, destinato a discarica a causa del possibile contenuto in sostanze tossiche (fanghi) o riciclato in impianti centrali di compostaggio.

Per una valutazione ecologica, si deve concentrare l'attenzione sui seguenti aspetti dell'attuale prassi di manutenzione:

- s'interviene in breve tempo su vasti sistemi interconnessi di canali;
- i lavori possono svolgersi in ogni stagione dell'anno, in relazione alla costante disponibilità di personale ed attrezzature, forniti da ditte esterne;
- le misure di manutenzione sono molto radicali, grazie alla potenza dei mezzi meccanici disponibili;
- i canali maggiori, in particolare, sono sottoposti a diserbo o spurgo a brevi intervalli di tempo, anche più volte l'anno.

Questi sviluppi hanno in molti luoghi gravemente danneggiato la funzionalità ecologica dei canali. I danni possono essere così riassunti:

- l'introduzione d'attrezzature o modalità d'applicazione inadatte provoca direttamente il ferimento e la morte di una parte considerevole delle popolazioni faunistiche più sensibili;
- ampi sistemi di canali, sottoposti contemporaneamente ad operazioni radicali di spurgo e quindi assai poveri di strutture ecologiche, non offrono sufficienti spazi di rifugio per le popolazioni sopravvissute all'impatto diretto delle attrezzature. In particolare le specie poco mobili, come i molluschi, possono localmente estinguersi;
- l'asportazione totale della vegetazione in ampi sistemi di canali riduce fortemente i processi d'autodepurazione delle acque ed aumenta l'immissione di nutrienti nei sistemi idrografici a valle;
- intervalli temporali troppo brevi tra interventi di manutenzione radicale non lasciano possibilità di sviluppo locale agli organismi pluriennali (per es. alcune specie di libellule);
- la scelta di stagioni ecologicamente sfavorevoli per l'esecuzione dei lavori di manutenzione minaccia la sopravvivenza di molte specie animali. Per esempio gli spurghi invernali/primaverili sono una condanna a morte per gli anfibi che svernano nel fango sul fondo dei canali.

7.3 Scelta degli strumenti di lavoro adatti

Per i lavori di manutenzione dei canali sono disponibili numerose macchine ed attrezzature, da valutare separatamente con riferimento alle modalità di lavoro, al campo d'applicazione, alle caratteristiche economiche delle prestazioni ed agli effetti ecologici. Alcune attrezzature sono in grado di eseguire contemporaneamente diversi lavori (per es. sfalcio della vegetazione sulle scarpate e spurgo del fondo del canale). Di seguito verranno analizzate le principali.

7.3.1 Attrezzature per lo sfalcio e il diserbo dei canali

Le seguenti attrezzature possono essere impiegate per lo sfalcio delle fasce spondali e delle scarpate e per il diserbo del fondo del canale:

Falce, decespugliatori a spalla, motofalciatrici

Modalità di lavoro:

Taglio manuale o assistito. Nel primo caso, l'operatore interviene con l'ausilio di falci a mano montate su manici di varia lunghezza; nel secondo mediante macchinari dotati di motore a scoppio portati a spalla o trasportati su macchine monoasse guidate a mano. Nel caso di attrezzature a motore, gli organi taglienti possono essere semplici fili di nylon, catene o lame a disco.

Campo d'applicazione:

Metodo duttile, adatto allo sfalcio di superfici con varia pendenza. Per il diserbo del fondo di canali stretti, l'operatore può lavorare sulle sponde, mentre per i canali più larghi deve scendere in acqua. Con corrente sufficiente, la vegetazione tagliata può essere lasciata fluitare verso valle fino ad un punto di prelievo con una pala caricatrice. La vegetazione che cade sulle scarpate e sulla fascia spondale viene sgomberata a mano od a macchina. Questa tecnica, sebbene impieghi un forte impegno in manodopera, è spesso l'unica attuabile laddove le dimensioni e la localizzazione del canale non permettano l'utilizzo di attrezzature meccaniche o quando è richiesta una certa cura nelle operazioni di taglio (aree attrezzate con finalità ricreative o di rilevante valore naturalistico).

Valutazione economica:

Il processo è relativamente lento e dispendioso, ma tuttavia presenta alcuni vantaggi grazie ai modesti costi delle attrezzature e alla flessibilità e rapidità d'impiego rispetto agli attrezzi meccanici. Inoltre, normalmente non si riscontrano danni alla cortina erbosa o alle opere di sostegno delle sponde, frequenti invece con l'uso di macchine. Il lavoro manuale può risultare molto gravoso per gli operatori ma, in alcune situazioni, è l'unico realmente attuabile. In generale, lo sgombero del materiale di risulta costituisce un processo di lavoro separato, con un proprio bilancio economico.



(a)



(b)

Figura 7.4: in alcune situazioni più semplici, ancor oggi la vegetazione dei canali può essere tagliata con la falce manuale(a); il processo è più costoso, ma presenta grossi vantaggi ecologici (LfU, Land Baden – Württemberg, 2000). Per facilitare le operazioni di manuali è possibile impiegare motofalciatrici con organo tagliatore rotante a fili di plastica (b). Questo attrezzo, molto duttile poiché guidato a mano, può essere utilizzato per lo sfalcio di fasce spondali e scarpate dei canali.

Valutazione ecologica:

Lo sfalcio manuale è un processo molto vantaggioso dal punto di vista ecologico. A causa della sua lentezza, è abbastanza ridotto il rischio di ferire animali nella vegetazione e in acqua. Durante il taglio della vegetazione, infatti, gli animali hanno il tempo di allontanarsi. E' possibile risparmiare in modo mirato singole piante e popolamenti vegetali, quando questi risultano di particolare interesse.

Barra falciante**Modalità di lavoro:**

Attrezzo con organo tagliatore costituito da una barra (in prevalenza rettilinea) che si sposta con moto traslatorio, sulla quale sono fissate delle lame, con varie modalità secondo i brevetti (per es. lame su due barre affiancate, che si muovono in senso opposto, oppure su una barra fissa e l'altra mobile). La barra falciante può essere montata su vari veicoli terrestri (per es. trattori, fuoristrada, motofalciatrici) o anche su natanti ed ha propulsione meccanica o idraulica. L'altezza di taglio è regolabile: assieme alle piante erbacee possono essere tagliate anche quelle legnose giovani. Lo sgombero del materiale di risulta costituisce un'operazione separata.



Figura 7.5: barra falciante a azione frontale per il taglio di vegetazione arborea (fino a 5-10 cm di diametro).

Campo d'applicazione:

Il metodo si può applicare per lo sfalcio e il diserbo di tutte le categorie di canali. Le macchine (per es. trattori) con barra falciante orizzontale (in genere montata sul retro del veicolo) sono adatte per lo sfalcio

della fascia spondale e, con larghezza del canale $\geq 1,2$ m, anche per il diserbo del fondo, in cui scende il trattore. Per lo sfalcio delle scarpate e il diserbo del fondo dei canali più stretti, la barra falciante è collegata lateralmente, attraverso un braccio girevole, al veicolo trainante, che percorre le sponde. Esistono barre falcianti curve all'estremità, che consentono di tagliare contemporaneamente la vegetazione sulla scarpata e su una parte del fondo. Per superare gli ostacoli (per es. piante legnose) si aziona un dispositivo idraulico di sollevamento verticale della barra falciante. Talvolta lungo il canale mancano spazi sufficienti per gli spostamenti di un trattore; in questo caso la barra falciante può essere applicata a motofalciatrici monoassiali guidate a mano, più facilmente manovrabili negli spazi stretti.

Infine, esistono moderne macchine che permettono di tagliare anche la vegetazione legnosa di una certa dimensione (fino a 10 cm) con il vantaggio di eseguire operazioni di potatura nette e maggiormente rispettose delle piante (Figura 7.5).

Valutazione economica:

Il rendimento del processo (superficie trattata nell'unità di tempo) è differente secondo il dispositivo di taglio e il veicolo di trasporto utilizzato. La resa massima è garantita dalle barre falcianti con doppia fila di lame contrapposte che si muovono in senso contrario. La spesa per affilare le lame – soggette a forte usura – può essere alta, secondo le condizioni d'impiego. In una giornata lavorativa di 8 ore, mediamente sono necessarie 2-3 sostituzioni di lame.

Valutazione ecologica:

Le barre falcianti comportano un modesto pericolo di ferire anfibi e insetti. Pertanto questo dispositivo, indipendentemente dal veicolo su cui è montato, è raccomandabile ecologicamente sia per lo sfalcio delle scarpate e fasce spondali, sia per il diserbo del fondo dei canali.

Benna falciante

Modalità di lavoro:

L'attrezzo, collegato al braccio girevole di un veicolo trainante (trattore, fuoristrada, ecc.), è costituito da un organo tagliatore con una doppia fila di lame (simile a quello delle barre falcianti), fissato allo spigolo anteriore di una benna ed azionato idraulicamente (Figura 7.6). La vegetazione tagliata rimane impigliata nella benna e viene quindi rimossa dal canale nel medesimo processo di lavoro. Essa può essere accatastata a lato del canale, oppure direttamente caricata su un autoveicolo ed allontanata.

Campo d'applicazione:

Metodo adatto per lo sfalcio delle scarpate e il diserbo del fondo del canale nel medesimo processo di lavoro, a partire da circa 50 cm di larghezza del fondo. In realtà la benna falciante è adatta anche per la rimozione del fango organico sul fondo del canale, purché associato alla vegetazione e quindi costituisce un attrezzo che si può utilizzare per quasi tutti i lavori di manutenzione dei canali.



Figura 7.6: benna falciante, montata sul braccio girevole d'un trattore, utilizzata per la manutenzione dei canali.

Valutazione economica:

Si tratta di un processo razionale, che peraltro richiede sufficiente potenza per la propulsione idraulica. Inoltre, quando la benna falciante opera sul fondo fangoso del canale per il diserbo, la guida è spesso difficile per l'assenza di presa. Questo problema può essere superato installando sulla benna dispositivi distanziatori, che consentono di raggiungere il fondo compatto del canale sotto lo strato di fango; inoltre tali dispositivi evitano danni alla cuticola erbosa delle scarpate.

Valutazione ecologica:

Grazie alla modalità di lavoro della benna falciante (secondo lo stesso principio della barra falciante), il pericolo di ferire direttamente la fauna acquatica è modesto. La vegetazione che resta impigliata nella benna agisce come una rete filtrante, che trattiene gli animali; per contrastare quest'effetto nocivo, si può evitare di falciare in un solo processo le scarpate e il fondo del canale e si può lasciar gocciolare sulla sponda la vegetazione tagliata.

*Macchine potatrici***Modalità di lavoro:**

Solitamente impiegate in frutticoltura (Pellizzi, 1996), sono generalmente costituite da un telaio portato da un trattore o da un mezzo semovente, alla cui estremità sono posti gli elementi di taglio. Questi sono costituiti da una lama dotata di moto rettilineo alternativo e contro lama fissa (per rami fino a 1,5 cm di diametro), oppure da una o più seghe circolari (per rami fino a 5 cm di diametro). La potenza al motore delle trattatrici richiesta si aggira attorno ai 25.35 kW per i modelli a lama alternata mentre è di almeno 50 kW per i modelli a disco.

Campo d'applicazione:

Possono essere impiegati per il taglio di contenimento di siepi e filari oppure per lo sfalcio a raso di formazioni arbustive non troppo sviluppate, in sostituzione o in aiuto alle operazioni manuali.

Valutazione economica:

Il rendimento è comparabile alle altre operazioni di taglio meccanizzate e di sicura può facilitare i successivi interventi secondari di rifinitura manuale: taglio dei rami fuori misura, asportazione delle parti malate, tagli di ritorno, ecc.

Valutazione ecologica:

La potatura non selettiva può non essere adatta a tutte le specie che compongono ad esempio una siepe mista e comunque non permette il taglio mirato ad esempio della vegetazione infetta da patologie. Il taglio può determinare la formazione di ferite o danni agli apparati aerei. La siepe trattata in questa maniera, può risultare molto regolare e quindi perdere parte del suo valore naturalistico.

*Tamburi/dischi falcianti***Modalità di lavoro:**

L'organo tagliatore è costituito da una coppia di tamburi o dischi rotanti ad alta velocità in senso contrario, su cui sono fissate delle lame, che non richiedono manutenzione mediante periodica riaffilatura (Figura 7.7). Il materiale di risulta deve essere rimosso in un processo di lavoro separato. Entrambi gli attrezzi sono disponibili in diverse versioni, per esempio montati sulla parte posteriore di trattori, oppure con propulsione idraulica, sul braccio girevole di un veicolo di trasporto (per es. fuoristrada).

Campo d'applicazione:

Per lo sfalcio delle fasce spondali, possono essere utilizzati dispositivi fissati lateralmente o sul retro di trattori. Per lo sfalcio di scarpate ripide, sono adatti dispositivi fissati al braccio girevole di veicoli di trasporto. Questo tipo di macchine non può lavorare in acqua e quindi è utilizzato per il diserbo del fondo soltanto con la completa asciutta del canale.

Valutazione economica:

Entrambi i dispositivi falcianti a rotazione sono robusti ed hanno un elevato rendimento, a fronte tuttavia di una sufficiente potenza motrice. Inoltre, nel caso del tamburo rotante, il rilevante peso proprio costituisce uno svantaggio operativo. Con scarpate irregolari, si può facilmente danneggiare la cuticola erbosa.

Valutazione ecologica:

Con entrambi i dispositivi falcianti a rotazione, è alta la probabilità di ferire gli animali presenti nella vegetazione. Di conseguenza, il loro uso è sconsigliabile nel periodo vegetativo, mentre in inverno non è preoccupante.



Figura 7.7: macchina per lo sfalcio di fasce spondali e scarpate di canali, basata sul principio dei tamburi/dischi rotanti contrapposti.

*Trinciatrice a mazzuoli***Modalità di lavoro:**

L'organo tagliatore è costituito da un albero orizzontale rotante, su cui sono fissati mazzuoli di metallo, che tagliano e contemporaneamente trinciano la vegetazione (Figura 7.8). Il dispositivo è, di regola, fissato al braccio di un veicolo ed ha propulsione idraulica. L'altezza di taglio delle piante è regolabile. Il materiale vegetale trinciato è depositato sulla sponda del canale.

Campo d'applicazione:

Il metodo è adatto per lo sfalcio della vegetazione, anche con molte piante legnose, sulle fasce spondali e le scarpate di tutti i tipi di canali, purché accessibili al veicolo di trasporto dell'attrezzatura, il quale si può utilizzare solo all'asciutto.



Figura 7.8: macchina per falciare e trinciare la vegetazione sulle fasce spondali e le scarpate dei canali. Il materiale di risulta rimane in posto.

Valutazione economica:

Si tratta di un processo razionale, con un'alta resa. Per lo più non è necessario smaltire il materiale trinciato, che rimane sulla fascia spondale.

Valutazione ecologica:

Durante i lavori, è alto il rischio di ferire gli animali presenti nella vegetazione, ma esso può essere ridotto regolando l'altezza di taglio. Il materiale trinciato che rimane sul posto, in certe condizioni, può danneggiare la cotica erbosa; inoltre, le sostanze nutrienti che si concentrano nel suolo, durante la decomposizione del materiale organico, promuovono l'affermazione di alcune specie dominanti (per es. l'ortica), a scapito della molteplicità floristica. Infine, il materiale accatastato sulle sponde può scivolare in acqua. Complessivamente, quindi, questo metodo è pericoloso dal punto di vista ecologico.

Barca falciante

Modalità di lavoro:

Esistono varie forme di natanti, attrezzati con dispositivi falcianti per il diserbo del fondo di canali sufficientemente larghi ed eventualmente anche per lo sfalcio delle scarpate (Figura 7.9). Fondamentalmente si può distinguere tra due tipologie:

- barche leggere (pontoni), comandate dalla sponda del canale, con propulsione mediante ruota a pale; pescaggio circa 10-15 cm, larghezza da 0,9-1,0 m;
- barche più grandi in acciaio o alluminio, con comando a bordo e propulsione a vite motrice o ruota a pale; pescaggio circa 20-30 cm, larghezza da 1,3 m.

Come organo tagliatore, i pontoni possono utilizzare falci a strascico. Le barche più grandi consentono anche l'uso di barre falcianti o motozappe. La vegetazione tagliata deve essere rimossa in una fase di lavoro separata. Alcune barche utilizzano dispositivi per spingere la vegetazione verso il centro del canale, da cui viene prelevata.

Campo d'applicazione:

Le barche possono essere utilizzate soltanto con sufficiente profondità (con i pontoni, min. 20 cm, con le altre barche min. 40 cm) e larghezza (da 1 a 2 m) del canale. In alcuni canali, i requisiti minimi di navigabilità sono realizzati mediante sbarramento e invaso provvisorio, durante le operazioni di sfalcio; queste possono essere ostacolate dalla presenza di fitti canneti. Le barche con dispositivi di sfalcio laterali possono essere utilizzate anche per la manutenzione delle scarpate.



Figura 7.9: natante equipaggiato con barre falcianti utilizzato per il diserbo del fondo di corsi d'acqua e grandi canali.

Valutazione economica:

Con l'uso di natanti è possibile il diserbo meccanico del fondo e lo sfalcio delle scarpate anche dove la fascia spondale non è transitabile per i veicoli terrestri o è sbarrata dalla vegetazione o da edifici. Tuttavia

questa modalità di lavoro è conveniente solo, quando il natante può percorrere lunghe tratte del canale, prive di tombinature e sbarramenti, poiché altrimenti la spesa per trasportare a terra la barca è molto alta. Generalmente, le operazioni eseguite con le barre falcianti hanno effetti di durata inferiori a quelle eseguite con le motozappe.

Valutazione ecologica:

Con dispositivi a barra falciante montati sulla barca, si può lavorare in modo rispettoso dall'ambiente. I dispositivi falcianti a strascico o a martelli rotanti (motozappa), a causa del loro contatto continuo con il fondo del canale, determinano in un primo momento, un notevole impatto anche sulla fauna acquatica presente e, successivamente alla forte torbidità generata dai vortici, l'ambiente diventa anossico. Analogamente, quando il pescaggio del natante non è sufficiente, il meccanismo di propulsione solleva il fango sul fondo.

Attrezzature per la raccolta della vegetazione tagliata

Per raccogliere le piante tagliate e disperse sulle sponde e le scarpate dei canali, si utilizzano (in alternativa ad operazioni manuali) rastrelli centrifughi o a nastro, montati su trattori, con una larghezza di lavoro fino a circa 3 m. I dispositivi a rastrello possono essere combinati anche con quelli falcianti, in modo tale da realizzare le due operazioni in un unico processo di lavoro.

Queste attrezzature, con un alto numero di giri del rastrello e una regolazione bassa dell'altezza di lavoro, spesso danneggiano la cuticola erbosa delle scarpate; inoltre, gli animali presenti nella vegetazione sono facilmente feriti dai denti d'acciaio del rastrello. Per motivi ecologici, si dovrebbe quindi adottare una regolazione del dispositivo il più possibile alta. E' inoltre consigliabile interporre un certo tempo tra lo sfalcio e lo sgombero della vegetazione, per consentire agli animali di fuggire.

7.3.2 Attrezzature per lo spurgo del fondo dei canali

Vanga

Modalità di lavoro:

Spurgo a mano

Campo d'applicazione:

La vanga può essere utilizzata per la rimozione dei sedimenti minerali ed organici dal fondo di canali debolmente interrati, asciutti o con un modesto tirante d'acqua.

Valutazione economica:

Lo spurgo manuale è molto faticoso e costoso, in particolare se il fondo del canale è occupato da canneto. Esso tuttavia è particolarmente adatto per la rapida rimozione di modeste quantità di sedimenti locali (per es. davanti all'imbocco di tombinature)

Valutazione ecologica:

Si tratta di un metodo molto rispettoso dell'ecosistema, poiché consente agli animali presenti nel canale di fuggire. Il pericolo di ferimento è modesto. Le irregolarità tipiche delle operazioni manuali garantiscono la conservazione di una struttura morfologica relativamente ricca.

Escavatori a fresa (scavafossi)

Si tratta di macchine sviluppate inizialmente per lo scavo dei canali, che oggi trovano spesso applicazione anche per lo spurgo del fondo. Esistono in commercio due tipologie fondamentali: frese a disco e a tamburo, equipaggiate con corpi aggettanti, che rompono e frantumano la vegetazione e i sedimenti sul fondo del canale e li proiettano fuori della sezione.

Questi dispositivi possono lavorare dall'alto, quando il veicolo di trasporto (per es. un trattore), più largo del canale, si sposta a cavaliere dello stesso, oppure lateralmente, quando la fresa è fissata al braccio del veicolo, che si sposta sulla sponda del canale.

Gli escavatori a fresa possono lavorare ad alta o a bassa velocità; nel primo caso, il loro impiego è incompatibile con la presenza d'acqua, nel secondo consente soltanto un basso tirante d'acqua.

Gli escavatori a fresa hanno effetti molto negativi sulla fauna e quindi sono sconsigliabili (in alcuni Länder tedeschi sono stati proibiti).

Fresa a disco

Modalità di lavoro:

L'attrezzo, che lavora dall'alto, consente d'eseguire lo spurgo del fondo e contemporaneamente lo sfalcio delle scarpate del canale. Esso può essere applicato alla parte posteriore di un trattore con sufficiente potenza (minimo 80-100 CV). La propulsione avviene attraverso una presa di forza sull'albero motore. L'abbassamento può essere regolato in funzione della profondità del canale. L'esercizio può essere a rotazione lenta o veloce. Il materiale di risulta, con rotazione lenta delle frese, viene accumulato a mo' di vallo ristretto su entrambe le sponde del canale, mentre con rotazione veloce viene proiettato su fasce spondali larghe parecchi metri; esso può rimanere sul posto.

Campo d'applicazione:

Il metodo è adatto per piccoli canali con larghezza del fondo fino a circa 30 cm.

Valutazione economica:

Si tratta di un processo rapido e razionale. Tuttavia le ruote del trattore, che passano vicino alle scarpate del canale, possono provocare la compattazione del suolo, con conseguenze negative per l'effetto drenante dello stesso; anche i condotti che sfociano nel canale e i rivestimenti spondali possono essere leggermente danneggiati.

Valutazione ecologica:

Con lo spurgo, la struttura ecologica del canale è fortemente impoverita. La fauna ha scarse possibilità di fuga, anche se l'esercizio a rotazione lenta può ridurre un poco il pericolo di ferire gli anfibi. Le aree adiacenti al canale, utilizzate per lo spandimento del materiale di risulta, sono arricchite di nutrienti.

Fresa a tamburo

Modalità di lavoro:

L'attrezzo è dotato di propulsione propria e fissato al braccio laterale regolabile di un trattore, che percorre la sponda del canale; esso è in grado d'eseguire lo spurgo del fondo e il diserbo di una scarpata del canale. A causa dell'alta velocità di rotazione del tamburo, il materiale di risulta viene proiettato su un'ampia fascia spondale; esso può rimanere sul posto.

Campo d'applicazione:

Il metodo è adatto per canali più grandi, con larghezza del fondo ≥ 40 cm.

Valutazione economica:

Si tratta di un processo rapido e razionale. Regolando opportunamente la testa porta fresa, si possono anche addolcire le scarpate troppo ripide dei canali in terra. Tuttavia le ruote del trattore possono compattare il suolo e danneggiare leggermente i condotti drenanti e i rivestimenti spondali.

Valutazione ecologica:

L'alta velocità di rotazione lascia poche possibilità di sopravvivenza alla fauna presente nel canale. La sezione del canale, dopo lo spurgo, è strutturalmente molto povera. E' da considerare favorevolmente la possibilità di eseguire lo spurgo soltanto su metà canale.

Cucchiaio escavatore

Modalità di lavoro:

Secondo il veicolo di trasporto, la forma del cucchiaio e l'ampiezza del canale, questo dispositivo può lavorare sopra oppure a lato del canale. Sono preferibili le macchine con cucchiaio rovescio rispetto a quelle con disposizione frontale (Figura 7.10). Il materiale di scavo può essere depositato sulla fascia spondale; per evitare la formazione di un argine, esso deve essere ripartito e conguagliato, oppure caricato su un autocarro e smaltito altrove.



Figura 7.10: escavatore a cucchiaio, montato su un veicolo tipo “ragno”, che lavora frontalmente per lo spurgo di una sezione “critica” (Foto CBI Muzza Bassa Lodigiana).

Campo d’applicazione:

Il metodo si presta a spurgare canali d’ogni dimensione, variando la grandezza del cucchiaio, la lunghezza del braccio e la potenza del veicolo di trasporto. Con escavatori leggeri montati su veicoli cingolati, si può lavorare bene anche su terreni bagnati. Con cucchiai relativamente piccoli, è possibile spurgare anche canali stretti, salvaguardando la vegetazione.

Valutazione economica:

Si tratta di un processo razionale, che può essere realizzato anche con attrezzature spesso disponibili presso le imprese agricole. La ripartizione e soprattutto la rimozione del materiale di scavo comportano costi aggiuntivi. Quando il materiale viene depositato troppo vicino, c’è il pericolo che scivoli nuovamente nel canale.

Valutazione ecologica:

Con l’escavatore a cucchiaio, si può lavorare in modo molto preciso e variabile, evitando l’eccessiva monotonia della sezione del canale. La fauna catturata può in parte sfuggire al cucchiaio, quando questo è lasciato colare sopra il canale, prima di scaricare il contenuto e può eventualmente sfuggire ancora dal materiale depositato sulla sponda. I pesci e i grandi molluschi possono essere raccolti e rigettati nel canale. Rispetto all’escavatore a fresa, quello a cucchiaio è più vantaggioso anche perché provoca minor torbidità nell’acqua del canale, riducendo il consumo d’ossigeno; esso consente inoltre di risparmiare taluni settori di vegetazione.

Benna falciante

Modalità di lavoro:

Abbassando l’attrezzo, la benna falciante consente di realizzare lo spurgo del canale.

Campo d’applicazione:

Il metodo è adatto per lo spurgo di canali con sedimenti organici (fanghi) senza pietre (che rovinerebbero l’organo tagliatore) e con depositi di modesto spessore.

Valutazione economica:

Il rendimento del processo è un po’ inferiore a quello dell’escavatore a cucchiaio. Vantaggiosa è la possibilità di falciare contemporaneamente le scarpate del canale. Per lo spurgo di fanghi senza vegetazione, l’attrezzo è inadatto, poiché il materiale fuoriesce dalla benna.

Valutazione ecologica:

Complessivamente, anche la benna falciante, come l'escavatore a cucchiaio, consente di lavorare in modo rispettoso dell'ecosistema; tuttavia è un po' maggiore il pericolo di ferire la fauna, che può rimanere impigliate nell'organo tagliatore.

7.3.3 Smaltimento del materiale di risulta

Il materiale che cade nei lavori di sfalcio, diserbo e spurgo dei canali dovrebbe essere rimosso e smaltito correttamente, poiché il suo accumulo permanente nella fascia spondale porta a svantaggi economici ed ecologici come ad esempio:

- il materiale può essere dilavato nel canale con le precipitazioni atmosferiche;
- le componenti organiche, nel corso della decomposizione, cedono nutrienti, che promuovono la crescita di specie eutrofiche (per es. ortiche), le quali si affermano con popolamenti monotoni dominanti;
- la vegetazione spondale è soffocata dal materiale depositato. Si possono così formare aree denudate, sensibili all'erosione;
- con il continuo accumulo del materiale di risulta sulle sponde, si forma una specie di argine, che ostacola il deflusso delle acque superficiali. Nel corso del tempo, il canale stesso tende a sopraelevarsi sopra il livello della campagna.

Secondo la quantità e la qualità del materiale di risulta, sono possibili diversi processi di smaltimento:

- interrimento mediante aratura nei campi circostanti;
- spandimento su superfici a prato mediante spandiletame;
- compostaggio in impianti gestiti da agricoltori o Comuni.

Si deve valutare il contenuto di sostanze inquinanti (per es. metalli pesanti). In ogni caso, occorre evitare lo spandimento su superfici ecologicamente pregiate (per es. torbiere, prati umidi).

Prima di rimuovere il materiale di risulta, è in ogni caso consigliabile lasciarlo sul bordo del canale per un periodo di 1-2 giorni fino a 6 giorni, al fine di consentire possibilità di fuga alle popolazioni faunistiche oltre che la riduzione del contenuto idrico, in modo tale da aumentarne la palabilità e ridurre l'ingombro.

7.3.4 Confronto tra le attrezzature per la manutenzione dei canali

Volendo disporre le varie attrezzature esaminate nei punti precedenti in una scala con crescente intensità dell'impatto sull'ecosistema, all'estremo inferiore si trovano la falce e la vanga (come attrezzi manuali applicabili selettivamente ed a piccola scala) ed all'estremo superiore gli escavatori a fresa (come macchine non selettive e livellatrici). In posizione intermedia si trovano le barre falcianti, la benna falciante, i dischi/tamburi falcianti, la trinciatrice a mazzuoli e l'escavatore a cucchiaio (Tabella 7.1). Rispetto ai dischi/tamburi falcianti, le barre falcianti provocano perdite d'anfibi ed insetti nettamente minori; inoltre esse hanno un campo d'applicazione più esteso.

Complessivamente, per le diverse operazioni di manutenzione dei canali, una scelta ecologicamente sostenibile può essere così orientata:

- sfalcio delle scarpate e delle fasce spondali: falce manuale, motofalciatrice, barra falciante;
- diserbo del fondo: benna falciante;
- spurgo del fondo: vanga, piccoli escavatori a cucchiaio.

Per tutti i dispositivi, l'altezza di sfalcio e di diserbo deve essere almeno 10 cm sopra la cotica erbosa delle scarpate e – rispettivamente – il fondo del canale.

Fondamentalmente, devono essere utilizzati veicoli leggeri, con una pressione superficiale il più possibile piccola, per ridurre la compattazione del suolo e il pericolo di danneggiare le strutture dei canali e si deve operare di preferenza su suoli asciutti.

Tabella 7.1: valutazione comparativa degli attrezzi per la manutenzione dei canali (Land Baden-Württemberg, LfU, 2000).

Attrezzo utilizzato	Campo d'applicazione			Valutazione economica	Valutazione ecologica
	Sfalcio di scarpate e fasce spondali	Diserbo del fondo	Spurgo del fondo		
Falce	X	X		--	++
Motofalciatrice	X	(X) ¹		-	++
Barra falciante	X	X		+	++
Benna falciante	X	X	X	+(-) ²	+(-) ³
Dischi/tamburi falcianti	X			++	(+/-) ⁴
Trinciatrice a mazzuoli	X			++	--(-) ⁵
Vanga			X	--	++
Fresa a disco			X	++	--(+/-) ⁶
Fresa a tamburo			X	++	--
Cucchiaio escavatore			X	+	+
Barca falciante	X	X		+ ⁷	+ ⁸
Valutazioni ++ : molto buona + : buona - : cattiva -- : molto cattiva	Note 1. Possibile solo con determinate tipologie. 2. In certe condizioni, lo spurgo comporta forte usura delle lame falcianti. 3. Gli effetti ecologici dipendono dalle modalità d'impiego. 4. La valutazione è più favorevole in caso di sfalcio nel tardo autunno/inverno. 5. La valutazione è più favorevole in caso di regolazione alta dell'organo tagliatore e sfalcio nel tardo autunno/inverno. 6. La valutazione è più favorevole nelle applicazioni con basso numero di giri, in piccoli canali asciutti. 7. In canali con condizioni d'impiego favorevoli 8. Nell'uso con barre falcianti				

La Tabella 7.2 fornisce un quadro riassuntivo dei costi per la manutenzione dei canali, elaborato in Germania nel 1995 da KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft). I calcoli si basano su un salario orario medio pari a circa 15 €/h; i noli unitari delle macchine (in €/h) sono riportati in tabella. Ovviamente, dato il tempo trascorso, i suddetti dati unitari devono essere aggiornati e verificati rispetto alla situazione locale. Con quest'aggiornamento, la tabella fornisce un quadro di confronto economico delle varie attrezzature, utile per una valutazione di massima.

Tabella 7.2: quadro riassuntivo dei costi dei lavori per la manutenzione dei canali (Germania, KTBL, 1995).

Attrezzo utilizzato	Campo d'applicazione	Ore lavorate per ha (n°)	Noli delle macchine (€/ora)	Costi totali (€/ha)
Falce manuale	Sfalcio delle scarpate	45 - 31	-	1150 - 3349
	Diserbo del fondo	170 - 280	-	4346 - 7158
Motofalciatrice (2,5 kW)	Sfalcio delle scarpate	30 - 78	3,37	868 - 2257
Falciatrice monoassiale (16 kW) con barra falciante (larghezza 1,2 m)	Sfalcio delle scarpate	5 - 10	7,26	164 - 328
Barra falciante (larghezza 1,9 m) montata sul braccio di un trattore (circa 100 CV). Due operai	Sfalcio delle scarpate	0,7- 6,2	56,60	75 - 509
Trinciatrice a mazzuoli (larghezza 1,2 m), montata sul braccio di un trattore (circa 100 CV). Due operai	Sfalcio delle scarpate	0,7- 5,9	53,22	73 - 615
Tamburi falcianti (larghezza 1,8 m), montati sulla parte posteriore di un trattore (45 kW)	Sfalcio delle scarpate	1,4 - 5,5	27,81	75 - 293
Barca con barre falcianti (larghezza 2,2 m)	Diserbo del fondo	2,1 - 3,9	31,59	120 - 223
Rastrello manuale	Raccolta della vegetazione tagliata	9	-	230
Rastrello a nastro (larghezza 2,2 m), montato sulla parte anteriore di un trattore (45 kW)	Raccolta della Vegetazione tagliata	1,2 - 3,6	21,52	56 - 170
Carro trainato da un trattore (circa 100 CV). Distanza 3 km	Caricamento e trasporto	2,4 - 13	76,69	245 - 1329
Benna falciante montata su un veicolo di trasporto (escavatore, trattore)	Diserbo/spurgo del fondo			0,46 - 1,53
Cucchiaio escavatore montato su un veicolo di trasporto	Spurgo del fondo			0,92 - 1,23
Fresa a disco	Spurgo del fondo (*)			0,15 - 0,51
Fresa a tamburo	Spurgo del fondo (*)			0,46 - 0,92
(*) : Lo smaltimento del materiale di risulta non è necessario				

7.4 Valutazione sistematica dei lavori per la manutenzione dei canali

Indipendentemente dalla scelta delle attrezzature più adatte, a seguito della valutazione analitica svolta in precedenza, per ridurre i danni all'ecosistema e promuovere la molteplicità ecologica dell'intera rete di canali, occorre concepire un'oculata distribuzione spaziale e temporale dei lavori di manutenzione, che sfocia nell'elaborazione di uno specifico piano.

7.4.1 La distribuzione spaziale dei lavori di manutenzione

Secondo le dimensioni dei canali, i lavori di manutenzione possono essere spazialmente distribuiti secondo diversi modelli processuali, di seguito illustrati. Il modello deve essere scelto dopo attenta valutazione delle esigenze funzionali dei canali, contrapposte a quelle ecologiche del territorio. Sono possibili anche combinazioni tra diversi modelli (per es. sfalcio delle scarpate per “settori” e diserbo del fondo risparmiando alcune “isole”).

Manutenzione di settori a scacchiera

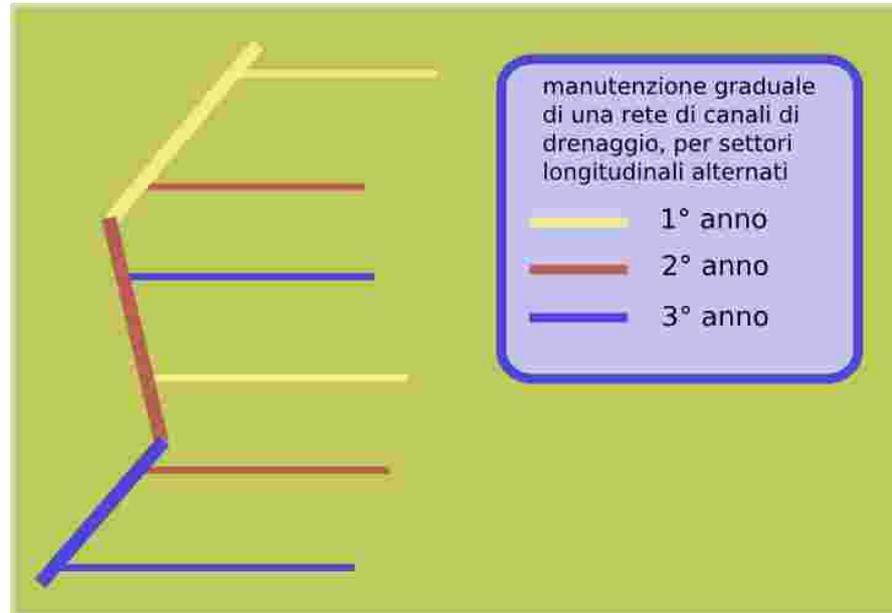


Figura 7.11: manutenzione graduale di un sistema di canali di drenaggio, in tratte ripartite in tre anni successivi, per proteggere l'ecosistema locale (ridisegnato da LfU, Land Baden – Württemberg, 2000).

Ogni anno alcuni settori longitudinali dei canali più grandi e lunghi sono sottoposti a misure di manutenzione bilaterali o unilaterali, mentre altri settori, alternati ai precedenti, sono risparmiati. Un approccio simile è stabilito anche per i canali più piccoli e corti, includendo o escludendo alternativamente dalle misure di manutenzione l'intero canale. Di regola, i settori longitudinali sottoposti a misure alternate di manutenzione non dovrebbero superare i 100 m e il 20% della lunghezza totale del canale.

La Figura 7.11 illustra il suddetto modello operativo, applicato ad una vasta rete di canali di drenaggio, in cui i settori sono alternati a scacchiera sul territorio secondo un ciclo triennale, che ogni anno interessa 1/3 dell'intera rete.

Risparmio di piccole isole vegetali

Nella manutenzione, si risparmiano modesti popolamenti vegetali, sulle scarpate e sulle fasce spondali dei canali, che formano così caratteristiche isole. Questo modello è adatto per piccoli canali, che devono assicurare un'alta capacità di deflusso, incompatibile con la conservazione d'interi settori di vegetazione, come nel modello precedente.

La formazione d'isole vegetali consente di conservare un minimo di molteplicità strutturale nel canale e impedisce un troppo forte impoverimento ecologico dopo la manutenzione. Nel canale, le isole promuovono condizioni di flusso variabile, con effetti favorevoli sugli organismi acquatici. Per contro si possono verificare processi erosivi localizzati, a scapito della stabilità delle sponde.

Manutenzione di un solo lato del canale

I lavori di manutenzione interessano circa la metà del fondo ed una sola scarpata del canale (Figura 7.12). Questo modello è adatto per i canali più grandi, con larghezza minima sul fondo pari a 1 m; inoltre la capacità di deflusso richiesta non deve essere troppo alta.

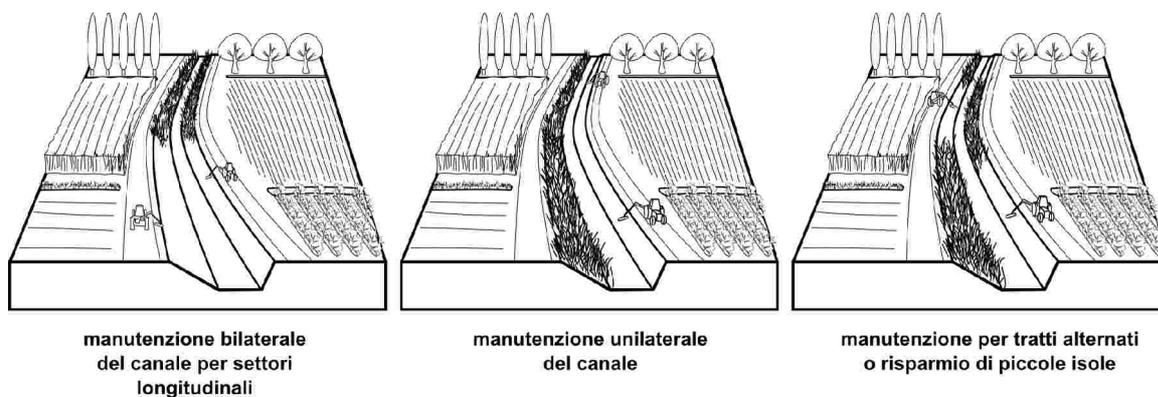


Figura 7.12: modelli di manutenzione dei canali spazialmente differenziati, per salvaguardare l'ecosistema locale (LfU, Land Baden – Württemberg, 2000).

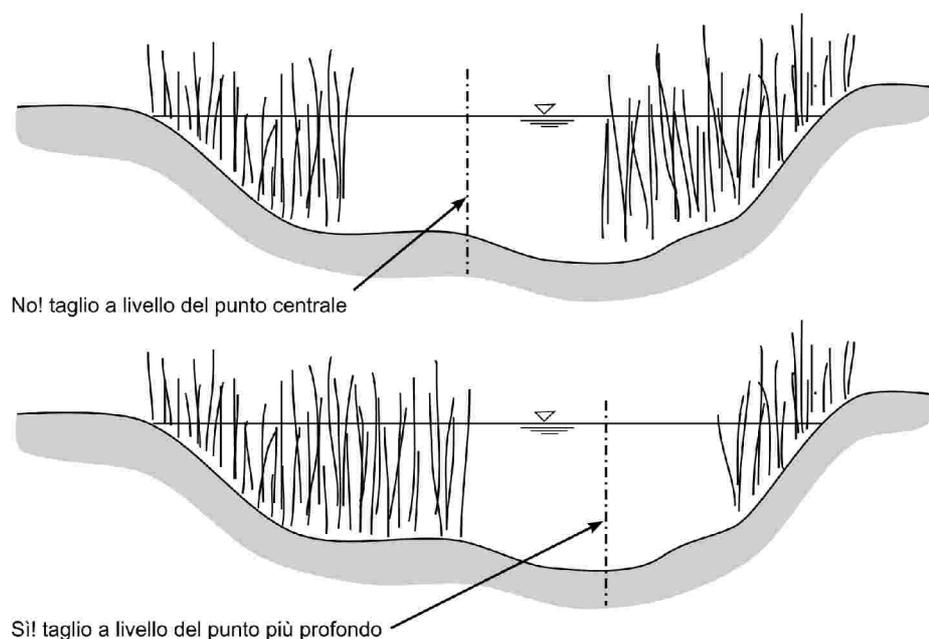


Figura 7.13: modalità di taglio di un corridoio centrale in una sezione semi-naturale (ridisegnato da “Danish Watercourses-Ten Years with the New Watercourse Act”-1995).

Il lato risparmiato nella manutenzione, con la sua vegetazione, consente di conservare una parte rilevante dei popolamenti faunistici. Esso inoltre aduggia lo specchio l'acqua, rallentando la crescita della vegetazione acquatica.

Risparmio di un corridoio vegetale

Nelle operazioni di diserbo del fondo, la vegetazione acquatica è falciata solo in parte, in modo tale da risparmiare un corridoio longitudinale (Figura 7.13). Questo modello è adatto per canali con una larghezza minima del fondo pari a 2 m, i quali per motivi idraulici devono essere diserbati più volta l'anno.

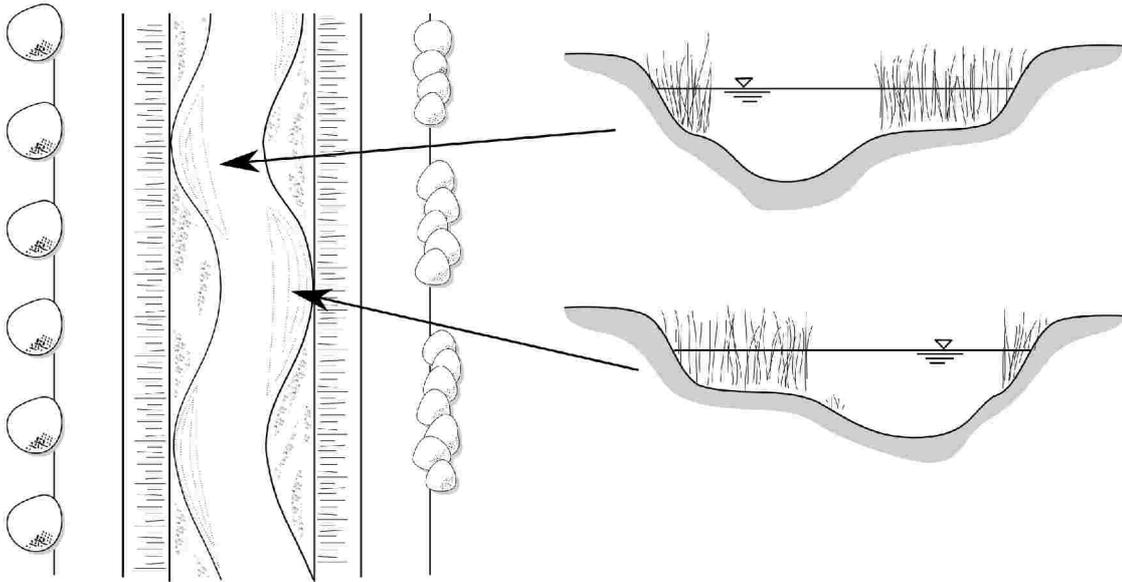


Figura 7.14: canali di corrente sinuosi, realizzati con tagli parziali della vegetazione in alveo, sfalsati tra le due sponde.

Canale di corrente sinuoso

Si eseguono tagli parziali della vegetazione in alveo (1/3 o 2/3 del totale), procedendo con andamento sinuoso a mezzelune sfalsate tra le due sponde (Figura 7.14); per evitare erosioni, si deve risparmiare una fascia, anche ridotta, di vegetazione lungo il piede delle scarpate. Si ottiene così un assetto del canale più simile a quello di un corso d'acqua naturale e quindi si promuove la molteplicità ecologica, pur senza giungere a rimodellare la struttura morfologica complessiva del canale (tracciato a sezioni), operazione che travalica i limiti della manutenzione.

Il canale di corrente sinuoso crea zone con differenti velocità di corrente, in cui s'insediano vari microhabitat. Le forze naturali tendono a promuovere la diversità ambientale, con la formazione di buche, raschi e barre di meandro. Ovviamente, il modello è adatto per canali di grandi dimensioni.

La distribuzione temporale dei lavori di manutenzione

I lavori di manutenzione dei canali devono essere realizzati nelle stagioni in cui si può far conto su minori danni alle piante e agli animali (Figura 7.15). Occorre tener conto, in particolare, che:

- gli anfibi s'interrano nel fango dei canali prima del gelo invernale e dalla primavera utilizzano i canali per deporre le uova o come percorsi di migrazione;
- le piante devono poter completare il loro ciclo vitale fino alla disseminazione;
- gli insetti (per es. le libellule) utilizzano la primavera e l'estate per deporre le uova e sviluppare le larve;
- per molti piccoli pesci, il periodo di frega si estende da marzo a luglio;
- gli uccelli nidificano nei canneti dei canali.

Infine, in Tabella 7.4, si riportano a titolo esemplificativo per alcune specie ittiche presenti nei canali agricoli, i periodi di riferimento durante i quali assolutamente non bisognerebbe intervenire con operazioni di manutenzione in alveo e, allo stesso modo, occorrerebbe garantire condizioni ambientali le più costanti possibile.

Sistemi di prevenzione dei danni all'ittiofauna

Molti canali presentano un patrimonio ittico notevole, sia per quantità che per qualità, e sicuramente da preservare. Le manutenzioni straordinarie di spurgo, riassetto degli impianti e ristrutturazione dei rivestimenti e dei manufatti, possono comportare operazioni che determinano l'uccisione dei pesci sia in maniera diretta (ferite) che indiretta (deterioramento delle condizioni ambientali per mancanza d'acqua, aumento della torbidità, inquinamento da parte di prodotti chimici o di cementi e asfalti). Per evitare tali danni si può procedere o allontanando gli animali dal luogo interessato dai lavori o adottando accorgimenti particolari nella realizzazione del cantiere.

Una tecnica spesso impiegata per l'allontanamento dei pesci è la loro cattura, stoccaggio provvisorio e liberazione in corpi recettori "sicuri". Una soluzione alternativa consiste nell'abolizione dell'asciutta totale, mantenendo in alveo una portata minima vitale di alcune centinaia di litri ovvero un corridoio con almeno trenta centimetri di tirante nel punto più profondo. Per far questo occorre organizzare il cantiere in modo da poter eseguire i lavori comunque in condizioni asciutte e quindi ad esempio mediante la posa di ponteggi o passaggi sospesi per le operazioni che interessano le sponde oppure la realizzazione di ture in terra, argini provvisori con sacchi di sabbia o blocchi del tipo New Jersey con fogli plastici impermeabilizzanti (AA.VV., 2005b). Lungo piccoli tratti è possibile intervenire mediante la posa di tubazioni. Tali operazioni, ovviamente, determinano un aumento dei costi di cantiere in parte compensati dalla non necessità di eseguire la raccolta e, sicuramente, da un maggior effetto di salvaguardia.

La realizzazione di sezioni irregolari in fase di risezionamento (si veda il 5), risolverebbe buona parte di questi problemi.

7.4.2 Il piano di manutenzione

L'esecuzione degli interventi per la manutenzione ecocompatibile dei canali richiede un'adeguata organizzazione, che concili le esigenze idrauliche, ecologiche ed economiche, prevenendo i conflitti ed assicurando la massima efficienza.

Per le grandi reti di canali, come quelle che sono gestite dai consorzi di bonifica e irrigazione, è sempre necessaria l'elaborazione di un piano di manutenzione, con i seguenti contenuti di massima:

Rilevamento tecnico dei canali:

- dati cartografici ed idraulici di base: tracciati, sezioni, rivestimenti, pendenze, portate, aree servite, corsi d'acqua naturali interconnessi;
- tendenza allo sviluppo della vegetazione ed all'interramento dei canali.

Rilevamenti naturalistici:

- inventario dei principali gruppi di specie floristiche e faunistiche presenti nei canali (per il settore faunistico, occorre rilevare pesci, anfibi, molluschi, odonati, plecotteri ed efemeroteri);
- inventario dei biotopi protetti o degni di protezione presenti lungo i canali e nelle aree adiacenti.

Valutazione storico-culturale dei canali:

- descrizione delle misure di manutenzione che sono state attuate in passato: metodi, attrezzature, stagioni, turni, soggetti incaricati;
- formulazione dei nuovi obiettivi della manutenzione, per soddisfare congiuntamente le esigenze idrauliche ed ecologiche dei canali e del comprensorio servito;
- rappresentazione, il più possibile dettagliata, dei previsti interventi di manutenzione, compresi:
 - ✓ l'articolazione territoriale: canali o loro settori e sponde interessate alle singole misure;

- ✓ l'articolazione temporale: stagioni e turni delle singole misure, in forma coordinata e flessibile, per tener conto delle caratteristiche atmosferiche variabili;
- ✓ la descrizione delle attrezzature utilizzate per le singole misure;
- ✓ i metodi di smaltimento del materiale di risulta;
- ✓ i soggetti incaricati dell'esecuzione dei lavori;
- indicazione del previsto sistema di monitoraggio, per controllare periodicamente l'efficacia ecologica delle misure di manutenzione (per es. rilevamento delle popolazioni di specie indicatrici);
- preventivo dei costi. Atti d'appalto, con la descrizione precisa delle prestazioni richieste.

L'importanza attribuita alla nuova componente ecologica del piano per la manutenzione dei canali comporta l'acquisizione di uno specifico sistema informativo, che potrà essere costruito gradualmente, dai consorzi di bonifica e irrigazione, a partire dai dati già disponibili presso altre istituzioni (enti gestori di aree protette regionali e PLIS, province, università ed istituti di ricerca) o presso associazioni locali. In ogni caso, è opportuno che i consorzi confrontino i propri obiettivi e programmi con quelli delle autorità competenti per la protezione della natura, al fine di promuovere una sistematica collaborazione.

7.5 *L'appalto dei lavori di manutenzione*

In molti casi, i consorzi di bonifica e irrigazione appaltano a terzi i lavori per la manutenzione dei canali e lo smaltimento dei materiali di risulta. Le nuove modalità ecocompatibili d'esecuzione dei suddetti lavori comportano una particolare attenzione agli aspetti contrattuali, per assicurare che le imprese prescelte abbiano le attrezzature e la competenza necessarie. Mediante accesso congiunto ai luoghi, si dovranno inoltre ulteriormente chiarire con l'appaltatore le attrezzature da utilizzare, le tratte della rete su cui intervenire, i tempi e le modalità tecniche delle singole operazioni.

In Tabella 7.5 si riporta nel dettaglio l'elenco delle prestazioni che dovrebbero essere richieste negli atti d'appalto (capitolato ed elenco prezzi) per assicurarsi della loro conformità della agli obiettivi di manutenzione eco-compatibile.

Tabella 7.5: elenco delle prestazioni per la manutenzione dei canali.

1. Sfalco delle scarpate e delle fasce spondali
<p>1.1 Taglio della vegetazione, rastrellamento del materiale di risulta e suo accatastamento provvisorio ai margini del canale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attrezzo da utilizzare • Tipologia della misura: intervento esteso a settori longitudinali alternati, bilaterale o unilaterale, risparmiando isole vegetali, ecc. • Lunghezza del tronco di canale (m) • Larghezza della scarpata/fascia spondale (m) • Superficie trattata (m²)
2. Diserbo del fondo
<p>2.1 Sfalco della vegetazione sul fondo del canale fino allo specchio d'acqua. Allontanamento del materiale di risulta e suo accatastamento provvisorio in punti di raccolta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attrezzo da utilizzare • Tipologia della misura: intervento esteso all'intera superficie o soltanto alla metà del fondo, risparmiando bordure o isole residuali della vegetazione, ecc. • Rimozione contestuale del materiale di risulta: si/no • Larghezza del fondo (m) • Superficie trattata (m²)

<ul style="list-style-type: none"> • Nota: nel caso in cui sia falciata soltanto la metà del fondo o un corridoio centrale, si deduce dal calcolo la superficie non trattata.
3. Taglio di piante legnose
<p>3.1 Ceduzione di arbusti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lunghezza della fascia arbustiva (m) • Larghezza della fascia arbustiva (m) • Superficie totale della fascia arbustiva (m²) • Parte da tagliare (%) • Si risparmiano cespugli isolati: si/no • Nota: se sì, indicare le specie
<p>3.2 Ceduzione di alberi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lunghezza dell'alberatura (m) • Parte da tagliare (%) • Numero degli alberi trattati • Altezza media degli alberi (cm) • Diametro medio del tronco (cm)
4. Spurgo del fondo
<p>4.1 Sgombero del materiale sedimentato sul fondo dal canale e suo accatastamento provvisorio sulla sponda</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attrezzo da utilizzare • Tipologia della misura: estesa all'intera larghezza o soltanto alla metà del canale
<p>4.2 Sgombero del materiale sedimentato sul fondo del canale e suo spandimento sulle superfici adiacenti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Attrezzo da utilizzare • Tipologia della misura: intervento esteso all'intera larghezza o soltanto alla metà del canale
5. Rimozione e smaltimento del materiale di risulta
<p>5.1 Caricamento sui mezzi di trasporto e rimozione del materiale di risulta dalle operazioni di sfalcio, diserbo e spurgo, accatastato parallelamente alle sponde dei canali o in punti centrali</p> <ul style="list-style-type: none"> • Processo: caricamento manuale o meccanico • Superficie d'accatastamento (m²) • Volume da caricare (m³) • Distanza di trasporto (km)
<p>5.2 Spandimento, sulle superfici agricole adiacenti, previo conguaglio, del materiale di risulta dalle operazioni di sfalcio, diserbo e spurgo dei canali, con eventuale uso di cippatrice</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso di cippatrice: si/no • Spandimento • Conguaglio • Volume trattato (m³)
<p>5.3 Caricamento sui mezzi di trasporto e rimozione del materiale legnoso, previamente tagliato in pezzi grossolani ed accatastato, con eventuale uso di cippatrice</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso di cippatrice: si/no

<ul style="list-style-type: none"> • Volume del materiale (m³) • Distanza di trasporto (km)
<p>5.4 Smaltimento in discarica, o in un impianto per il ricupero delle componenti organiche, del materiale di risulta dalla manutenzione dei canali</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discarica • Impianto di compostaggio • Volume trattato (m³)

7.6 *Bibliografia*

AA.VV. (2005a). “Progetto definitivo: Riqualificazione idraulico-ambientale del colatore Addetta, caratterizzazione generale, ecologica ed ambientale.” C.B. Muzza Bassa Lodigiana, Lodi, pp. 120.

AA.VV. (2005b). “Il sistema dei canali gestiti dal Consorzio di Bonifica Est Ticino – Villorosi. Studio per la mitigazione degli impatti sull’ittiofauna.” Provincia di Milano Servizio Gestione Attività Venatoria e Piscatoria, Regione Lombardia D.G. Agricoltura, Milano, pp. 92.

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (2000). “Lebensraumtyp Gräben.” Landschaftspflegekonzept Bayern, Bd II.10, München.

CIRF (2003). “Progetto Life Econet – I Canali di bonifica e i corsi d’acqua delle Province di Modena e Bologna.” Relazione finale.

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau – DVWK (1002). “Methoden und Auswirkungen der maschinellen Gewässerunterhaltung.” DVWK – Merkblätter zur Wasserwirtschaft n. 224.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL (1995). “Landschaftspflege – Daten zur Kalkulation von Arbeitszeit und Maschinenkosten.” Landwirtschaftsverlag, Münster.

Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten (LÖBF) Nordrhein-Westfalen (2004). “Gräben in Nordrhein-Westfalen.” LÖBF-Mitteilungen, 4.

Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg (2000). “Unterhaltung und Pflege von Gräben.” Karlsruhe.

Pellizzi G. (1996). “Meccanica e meccanizzazione agricola.” Ed. Edagricole – Edizioni Agricole della Calderini srl, Bologna; pp. 739.

Allegato A Elementi per la verifica idraulica e della stabilità

Nel presente allegato si richiamano, senza pretesa di completezza ed esaustività, alcuni dei fondamenti necessari per effettuare i calcoli idraulici e di stabilità del fondo e delle sponde, su cui si dovrebbero fondare tutti gli interventi sui corsi d'acqua ed in particolare quelli di riqualificazione. In particolare, vengono trattati gli aspetti legati alla valutazione della scabrezza per alvei naturaliformi e in presenza di vegetazione e la stabilità fisica degli alvei.

Spesso, infatti, per il calcolo idraulico della portata in un alveo naturaliforme la determinazione del coefficiente di scabrezza dell'intera sezione è meno scontato di quanto possa sembrare e la trattazione che ne viene fatta nei manuali può risultare insufficiente. Ad onor del vero occorre anche precisare che si tratta di un argomento che è ancora oggetto di dibattito e sperimentazioni nella comunità scientifica.

Per una trattazione più completa e per approfondimenti dei punti qui trattati si rinvia ai numerosi testi specializzati.

A.1 Richiami di idraulica dei corsi d'acqua

A.1.1 Tipologia di moto

In termini generali, il moto dell'acqua in un corso d'acqua può essere schematizzato secondo diverse modalità. Il moto viene definito vario quando gli elementi caratteristici del processo, velocità e pressioni, variano sia nello spazio (da punto a punto), che nel tempo (da istante ad istante), permanente o stazionario se lungo una traiettoria le velocità e le pressioni puntuali sono costanti nello tempo ma non nello spazio, uniforme se la distribuzione delle pressioni e delle velocità all'interno del fluido in movimento lungo una traiettoria sono costanti anche nello spazio, oltre che nel tempo.

La condizione di moto uniforme si realizza più facilmente in tratti di canale caratterizzati da pendenza modesta, forma della sezione regolare e portata costante e costituisce il riferimento per molti casi applicativi. In tale condizione la cadente energetica i_E (-), quella piezometrica i_w (-) (che nel caso di corsi d'acqua a pelo libero coincide con la quota della superficie liquida), e quella altimetrica i_f (cioè la pendenza del fondo), sono uguali tra loro (Figura A.1).

A.1.2 Caratteristiche geometriche delle sezioni

Dato un corso d'acqua di geometria nota in cui defluisce una corrente liquida a superficie libera, per ciascuna sezione è possibile definire alcune caratteristiche geometriche legate all'altezza h del deflusso: il contorno bagnato P , l'area della sezione bagnata A e il raggio idraulico della sezione R pari al rapporto A/P (Figura A.1).

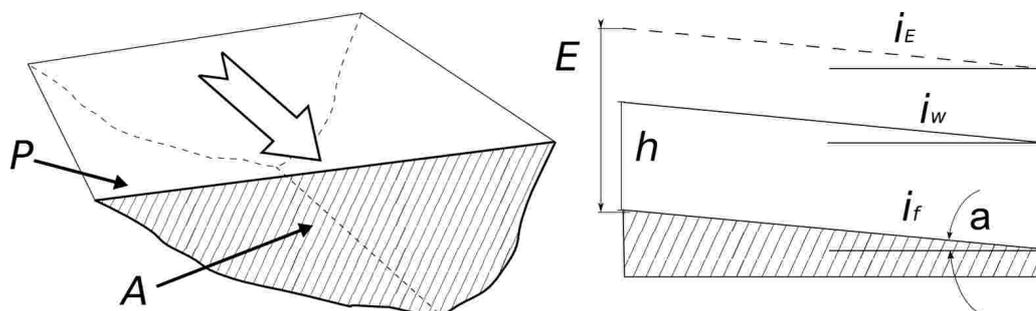


Figura A.1: geometrie di riferimento.

A.1.3 Resistenze idrauliche

Le irregolarità nella forma e nella superficie degli alvei determinano turbolenze sia a livello microscopico che macroscopico, con conseguente perdita di energia. Le irregolarità macroscopiche sono quelle di dimensioni confrontabili con la larghezza del canale (curve, meandri, barre, salti di fondo); le irregolarità microscopiche sono identificabili con gli elementi di rugosità della superficie (rivestimento spondale,

presenza di vegetazione e sedimenti). In entrambi i casi, le perdite d'energia conseguenti possono essere espresse attraverso un coefficiente di scabrezza.

In generale le resistenze idrauliche possono essere espresse attraverso un coefficiente adimensionale di resistenza (o di Chezy) dato dal rapporto tra la velocità media della corrente (V) e la velocità al fondo (V_0):

$$\frac{V}{V_0} = C \quad (A.1)$$

Nel caso di moto uniforme, la velocità al fondo è calcolata come:

$$V_0 = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{gRi_f} \quad (A.2)$$

dove τ_0 è la tensione tangenziale della corrente pari a $\gamma R S$, ρ è la densità dell'acqua (kg/m^3), g l'accelerazione di gravità (m/s^2).

Di conseguenza la velocità media della corrente può essere espressa tramite l'equazione di Chezy:

$$V = C\sqrt{gRi_f} \quad (A.3)$$

Allo stesso modo, nel mondo anglosassone è maggiormente in uso, la formula di Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} i_f^{1/2} \quad (A.4)$$

dove n è il coefficiente di scabrezza secondo Manning ($\text{s/m}^{1/3}$) che è l'inverso dell'omologo coefficiente maggiormente utilizzato in Europa k_s , o coefficiente di Strickler ($k_s = 1/n$).

L'ASCE (*American Society of Civil Engineers*) Task Force on Friction Factors (1963), invece, raccomanda di utilizzare il coefficiente di resistenza di Darcy-Weisbach, f , che porta ad esprimere la velocità media della corrente come:

$$V = \sqrt{\frac{8gRi_f}{f}} \quad (A.5)$$

Confrontando la A.3 con la A.4 e la A.5 si ottiene la seguente uguaglianza, utile per comparare studi di Autori diversi:

$$n = \frac{1}{k_s} = \frac{1}{C\sqrt{g}} R^{1/6} = \sqrt{\frac{f}{8g}} R^{1/6} \quad (A.6)$$

Solitamente nella pratica, si preferisce utilizzare il coefficiente di Manning (o l'equivalente di Strickler) poiché viene considerato indipendente dal raggio idraulico, mentre la comunità scientifica preferisce riferirsi al coefficiente adimensionale di scabrezza di Darcy-Weisbach. Nel presente documento si farà riferimento principalmente agli indici di Gaukler Strickler Manning (GSM) per le ovvie finalità pratiche del manuale.

A.1.4 Alvei compatti e alvei articolati

La struttura di un alveo naturale è molto complessa e la stessa conformazione della sezione può determinare resistenze aggiuntive. Semplificando, si può distinguere tra due fondamentali geometrie dell'alveo, rispettivamente compatta ed articolata (Figura A.2).

Si considera “compatto” un alveo di forma regolare (generalmente trapezoidale) con una profondità della corrente pressoché costante. La forma della sezione fa sì che la velocità sia poco variabile, nonostante le variazioni di scabrezza. Un alveo compatto viene in genere definito tale sulla base di alcune considerazioni geometriche: da ciascun punto delle scarpate si può tracciare una linea fino al punto più profondo della sezione, senza che si incontrino altri punti appartenenti alla sponda. Ciò non è invece possibile con una sezione articolata (Figura A.2).

Negli alvei articolati non si verifica la condizione fisica tipica degli alvei compatti, ossia l'approssimativa uguaglianza della velocità in tutte le parti della sezione di deflusso. Gli alvei articolati sono spesso costituiti da sezioni irregolari, spesso caratterizzati in natura da elementi vegetazionali in parte eterogenei, distribuiti trasversalmente nell'alveo. In particolare, le sezioni di molti fiumi hanno un letto centrale percorso in permanenza dalla corrente e con scarsa vegetazione, e golene laterali sommerse soltanto durante le piene.

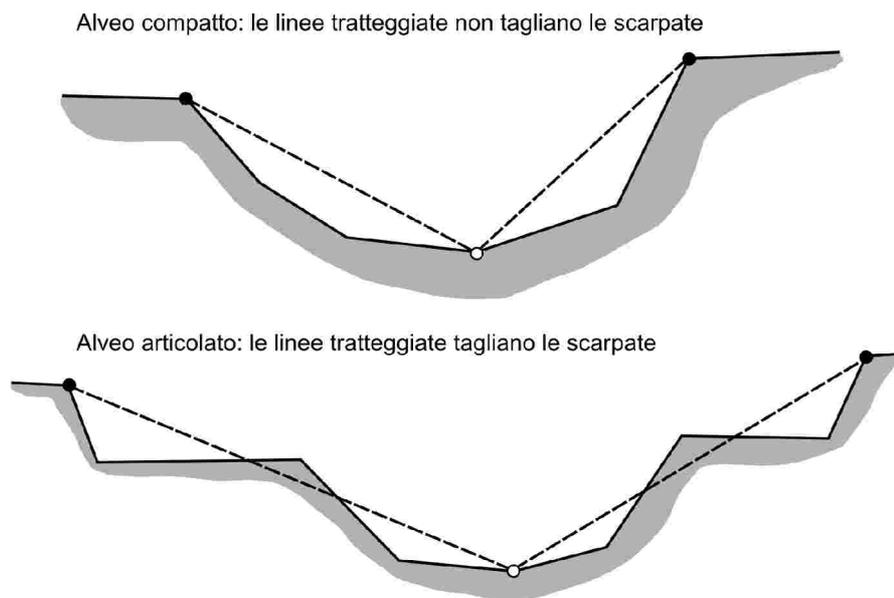


Figura A.2: differenza tra alveo compatto e articolato.

A.1.5 Verifica della capacità idraulica della sezione

Per le finalità progettuali si è soliti fare riferimento alla formula del moto uniforme per un primo quanto speditivo dimensionamento idraulico dell'opera da realizzare, per poi passare ad una verifica con modelli di precisione maggiore laddove sia ritenuta necessaria un'ulteriore conferma dei risultati.

La verifica della capacità idraulica di una sezione consiste nella stima della portata massima transitabile in condizioni di sicurezza nella sezione o nella stima del tirante massimo ammissibile; nel primo caso, dato un tirante di progetto, si valuta la portata transitabile che dovrà soddisfare le esigenze di progetto; nel secondo caso, invece, data una portata di progetto, si valuta il tirante e si verifica che quest'ultimo, moltiplicato per un opportuno fattore di sicurezza, sia inferiore all'altezza minima delle sponde. In entrambi i casi si utilizza, in prima approssimazione, il modello del moto uniforme per poi eventualmente verificare i risultati con modelli di maggior complessità.

Stima della portata, noto il tirante di progetto

La soluzione del problema è diretta. Nota la geometria della sezione e il tirante, impostato secondo le necessità di progetto (ad esempio si tratta di un canale di bonifica che deve mantenere un franco di bonifica di almeno 0,5 m), le fasi di calcolo sono le seguenti:

- si valutano le grandezze geometriche descrittive (area e perimetro della sezione bagnata, raggio idraulico e pendenza dell'alveo);
- si stima un opportuno coefficiente di scabrezza;
- si valuta la portata transitante mediante la formula del moto uniforme.

Stima del tirante, nota la portata

Ad eccezione di alcune condizioni particolari (sezione regolare), per la stima del tirante associato ad una portata di progetto (Q_p) occorre seguire un procedimento iterativo secondo il seguente schema

- fissato un tirante di progetto di tentativo h_1 , si valutano le principali grandezze geometriche (A_1, P_1, R_1, i) e si calcola la portata Q_1 .
- Se $Q_1 - Q_p > e$, dove e è l'errore accettabile, allora si procede individuando un nuovo valore del tirante di tentativo h_2 da si ricava Q_2
- se $Q_2 - Q_p < e$, si accetta come soluzione al problema l'altezza h_2 , altrimenti occorre ipotizzare un nuovo tirante ($h_3 \dots n$) fino al soddisfacimento della condizione ricercata.

A.2 Determinazione del coefficiente di scabrezza in canali naturaliformi

A.2.1 Valori tabulati

Tabella A.1: coefficiente di scabrezza k_s e n ($k_s = 1/n$) per i canali (Chow, 1959).

Tipo di alveo	k_s ($m^{1/3} s^{-1}$)	n ($s/m^{1/3}$)
Pareti di cemento perfettamente lisciate, di legno piallato, di metallo senza risalti nei giunti.	100÷85	0,01 ÷ 0,0118
Pareti di cemento non perfettamente lisciate; muratura di mattoni molto regolare; metallo con chiodatura.	85÷75	0,0118 ÷ 0,0133
Pareti di cemento in non perfette condizioni; muratura ordinaria più o meno accurata; pareti di legno grezzo, eventualmente con fessure.	70÷65	0,0143 ÷ 0,0154
Pareti di cemento solo in parte intonacate; qualche deposito sul fondo; muratura irregolare o di pietrame; terra regolarissima senza vegetazione.	62÷50	0,0161 ÷ 0,2
Terra abbastanza regolare; muratura vecchia, in condizioni non buone, con depositi di limo sul fondo.	50	0,02
Terra pulita, dopo prolungata esposizione.	45 (56 ÷ 40)	0,0222 (0,0179 ÷ 0,025)
Terra con erba sul fondo.	40	0,0250
Ghiaia, sezione uniforme, pulita	40 (45 ÷ 33)	0,0250 (0,0222 ÷ 0,0303)
Erba corta, pochi cespugli.	37 (45 ÷ 30)	0,0270 (0,0222 ÷ 0,0333)
Canali scavati o dragati senza vegetazione	36 (40 ÷ 30)	0,0278 (0,0250 ÷ 0,0333)
Terra in cattive condizioni.	35	0,0286
Fondo in terra e sponde in pietrisco.	33 (36 ÷ 29)	0,0303 (0,0278 ÷ 0,0345)
Canali in abbandono con grande vegetazione.	30	0,0333
Fondo in pietrame e sponde in cespugli.	29 (40 ÷ 25)	0,0345 (0,0250 ÷ 0,04)
Canali in roccia	29 (40 ÷ 20)	0,0345 (0,0250 ÷ 0,05)
Cespugli o piante acquatiche in canali profondi.	29 (33 ÷ 25)	0,0345 (0,0303 ÷ 0,04)
Fondo in ciottoli e sponde pulite.	25 (33 ÷ 20)	0,0400 (0,0303 ÷ 0,05)
Canali scavati o dragati con cespugli sparsi sulle sponde	20 (29 ÷ 17)	0,0500 (0,0345 ÷ 0,0588)
Canali senza manutenzione, con fondo pulito e cespugli sulle sponde	20 (25 ÷ 12)	0,0500 (0,0400 ÷ 0,0833)
Canali senza manutenzione, con sterpaglia densa e alta quanto il tirante idrico.	20 (12 ÷ 8)	0,0500 (0,0833 ÷ 0,1250)
Canali senza manutenzione, con sterpaglia e cespugli densi e acque profonde.	10 (12 ÷ 7)	0,1000 (0,0833 ÷ 0,1429)

In genere nelle pratiche applicazioni viene utilizzato un valore del coefficiente di scabrezza rappresentativo dell'intera sezione. In Tabella A.1 si riportano i valori del coefficiente di Strickler per i canali artificiali.

A.2.2 *Coefficiente di scabrezza equivalente in situazioni eterogenee*

In molte situazioni, soprattutto quelle naturaliformi e/o in presenza di opere, è più semplice e vantaggioso suddividere le sezioni in porzioni a scabrezza differente ed identificabile nelle tabulazioni. In tali casi occorre poi ricondursi ad un coefficiente di scabrezza efficace da utilizzare nelle consuete formule dell'idraulica. A tal fine nel corso di numerosi decenni sono state proposte, da diversi ricercatori, una ventina di relazioni differenti per ipotesi e risultati (Chiaradia et al., 2006). Tra queste se ne ripropongono alcune tra le più indicate per il tema in oggetto.

Il metodo di Lotter

Il metodo di Lotter si basa sulla somma delle portate che transitano per le sub sezioni di un alveo composito. Nell'ipotesi originale, non si considerano le perdite di energia che si verificano all'interfaccia tra le sub-sezioni. La formulazione originale può dare risultati incoerenti nel caso di alvei a scabrezza omogenea, per cui è opportuno utilizzare la formula proposta da Ida-Engelund riportata di seguito:

$$n_{eq} = \frac{\sum P_i R_i^{5/3}}{\sum \frac{P_i}{n_i} R_i^{5/3}} \quad (A.7)$$

Il metodo di Horton-Einstein

Per alvei compatti caratterizzate da rivestimenti eterogenei ma complessivamente confrontabili, è possibile calcolare il coefficiente di scabrezza equivalente mediante la formula di Horton/Einstein. L'ipotesi di base è che la velocità media della sezione sia pari alle velocità medie delle i -esime sub-sezioni di pertinenza delle singole porzioni di rivestimento. La scabrezza equivalente n_{eq} è calcolata come:

$$n_{eq} = \left[\frac{1}{P} \sum (n_i^{3/2} P_i) \right]^{2/3} \quad (A.8)$$

Il metodo di Felkel

Per alvei con presenza di vegetazione sulle sponde è possibile impiegare il metodo di Felkel (1960). Esso si basa implicitamente sull'ipotesi che la portata che transita in una sezione vegetata sia pari alla somma delle portate che defluiscono nella porzione di sezione non vegetata e vegetata. La scabrezza equivalente è calcolata come:

$$n_{eq} = \frac{P}{\sum (P_i/n_i)} \quad (A.9)$$

Si noti che viene utilizzato il perimetro bagnato per determinare la superficie di pertinenza delle singole sezioni.

Il metodo di Sellin

Sellin propone un metodo per il calcolo della portata in alvei compositi eterogenei che riassume i precedenti. Supposto ad esempio un alveo con vegetazione sulle sponde, la portata transitante è la somma delle portate transitanti per le singole sub-sezioni. Alle sub aree con vegetazione si attribuisce un opportuno coefficiente di scabrezza, nella sub area non vegetata il coefficiente di scabrezza è calcolato applicando la

formula di Horton/Einstein, considerando un valore di scabrezza all'interfaccia con la vegetazione (indicativamente $n = 0,02-0,03$).

A.2.3 Coefficiente di scabrezza di alvei con letto in terra, ciottoli o massi

In Tabella A.2 si riportano alcuni valori di riferimento per la stima della scabrezza indotta da materiale coerente o incoerente. In letteratura è anche possibile reperire relazioni sono natura diversa (logaritmica, potenza, lineare) che legano il coefficiente di scabrezza ad un diametro rappresentativo del sedimento.

Il risultato è solitamente espresso con il coefficiente di Darcy-Weisbach ma, come precedentemente descritto, è possibile ottenere il coefficiente di scabrezza nella forma GSM. Di seguito si riportano due equazioni verificate per alcune condizioni comuni.

Formula di Strickler (1923)

$$k_s = \frac{21,1}{d_{50}^{\frac{1}{6}}} \quad (A.10)$$

valida per piccoli diametri (argille-sabbie).

Formula di Henderson (1966)

$$k_s = \frac{26}{d_{90}^{\frac{1}{6}}} \quad (A.11)$$

valida per massi di grosse dimensioni (30-40 cm), valida anche per la stima della scabrezza di scogliere (Conti, 2005).

Tabella A.2: valori di scabrezza per alcune tipologie di materiale coerente ed incoerente (modificato da Aldridge e Garnett, 1973).

Materiale	Diametro riferimento	di	n minimo	n massimo
Cemento	-		0,011	0,018
Roccia	-		-	0,025
Suolo compatto	-		0,020	0,032
Sabbia grossolana	1-2 mm		0,026	0,035
Ghiaia fine	-		0,024	-
Ghiaia	2-64 mm		0,028	0,035
Ghiaia grossolana	-		0,026	-
Ciottoli	64 – 256 mm		0,03	0,05
Massi	> 256 mm		0,04	0,07

A.2.4 Coefficiente di scabrezza in tratti naturaliformi (il metodo di Cowan)

Oltre all'irregolarità della sezione, del profilo di fondo ed alla presenza di vegetazione, vi sono altri fattori che determinano un incremento delle resistenze complessive in alveo quali le variazioni che si hanno lungo il tracciato del corso d'acqua (variazioni delle caratteristiche tra sezioni consecutive, meandricizzazione, presenza di ostacoli, ecc.). Al fine di valutare le resistenze dovute a tutti questi fattori, è possibile stimare

dei valori addizionali del coefficiente di scabrezza rispetto ad una situazione standard, costituita da canale rettilineo a sezione trapezoidale con fondo e sponde in terra privi di vegetazione.

Su tali basi, il coefficiente di Manning (n) complessivo di un tratto naturaliforme può essere calcolato attraverso la metodologia proposta da Cowan (1956), adottata dal *U.S. Geological Survey* e richiamata anche dall'Autorità di Bacino del fiume Po (1999), secondo cui:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (A.12)$$

dove:

n_b = valore di base per n valido per un canale rettilineo, uniforme, in materiale naturale (Tabella A.3);

n_1 = valore aggiuntivo per tenere conto delle irregolarità della superficie (Tabella A.4);

n_2 = valore aggiuntivo per tenere conto delle variazioni di forma e dimensioni del canale (Tabella A.5);

n_3 = valore aggiuntivo per tenere conto di ostacoli (Tabella A.7.6);

n_4 = valore aggiuntivo per tenere conto della vegetazione e delle condizioni di deflusso (Tabella A.7.7);

m = fattore di correzione per tenere conto della meandrazione (Tabella A.6).

Il metodo di Cowan, oltre ad essere un metodo estremamente semplice, rappresenta un primo tentativo di discriminazione dei contributi dei differenti fattori che insieme partecipano alla formazione delle forze di resistenza complessive. La scomposizione in sottofattori, oltre a rendere più agevole la stima del coefficiente di scabrezza, permette di valutarlo in funzione di diversi scenari progettuali.

Tabella A.3: valore di base n_b secondo la metodologia di Cowan.

Materiale costituente l'alveo	Dimensione media del materiale (mm)	Valore di base per n
Sabbia fine	0,2	0,012
Sabbia media	0,5	0,022
Sabbia grossolana	1,0	0,026
Sabbia molto grossolana	1-2	0,026-0,035
Ghiaia	2-64	0,028-0,035
Ciottoli	64-256	0,030-0,050
Massi	>256	0,040-0,070

Tabella A.4: valori del fattore di correzione n_1 (irregolarità della superficie della sezione).

Irregolarità della superficie della sezione (n_1)	Fattore di correzione per n	Caratteristiche
Trascurabile	0,000	Canali che presentino quel determinato materiale costituente l'alveo il più regolari possibile.
Bassa	0,001-0,005	Canali in buone condizioni aventi però le sponde leggermente erose.
Moderata	0,006-0,010	Canali dragati aventi scabrezza dell'alveo da moderata a considerevole e sponde moderatamente erose.
Elevata	0,011-0,020	Canali aventi sponde pesantemente erose.

Tabella A.5: valori del fattore di correzione n2 (variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale).

Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale (n2)	Fattore di correzione per n	Caratteristiche
Graduale	0,000	La dimensione e la forma della sezione trasversale del canale varia gradualmente.
Variazione occasionale	0,001-0,005	Sezioni trasversali grandi e piccole si succedono occasionalmente.
Variazione frequente	0,010-0,015	Sezioni trasversali grandi e piccole si succedono frequentemente.

Tabella A.7.6: valori del fattore di correzione n3 (ostruzioni).

Effetto relativo di ostruzioni (n3)	Fattore di correzione per n	Caratteristiche
Trascurabile	0,000-0,004	Ostruzioni poco diffuse: queste comprendono depositi di detrito, ceppi, tronchi, radici esposte o massi isolati che occupino meno del 5% della sezione.
Modesto	0,005-0,015	Le ostruzioni occupano dal 5% al 15% della sezione e la distanza tra di esse è tale che la sfera di influenza intorno ad una ostruzione non si estende fino alla sfera che si trova intorno ad un'altra.
Apprezzabile	0,020-0,030	Le ostruzioni occupano dal 15% al 50% della sezione o la distanza tra di esse è sufficientemente piccola da far sì che gli effetti delle diverse ostruzioni si sommino, in modo che viene ostruita, di conseguenza, una frazione equivalente della sezione.
Elevato	0,040-0,050	Le ostruzioni occupano più del 50% della sezione o la distanza fra di esse è sufficientemente piccola da causare turbolenza attraverso la maggior parte della sezione.

Tabella A.7.7: valori del fattore di correzione n4 (vegetazione).

Effetto della vegetazione (n4)	Fattore di correzione per n	Caratteristiche
Basso	0,002-0,010	Fitta vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è da una a due volte l'altezza della vegetazione stessa; vegetazione arbustiva flessibile, come il salice, che si sviluppi dove la profondità media della corrente è almeno tre volte l'altezza della vegetazione stessa.
Medio	0,010-0,025	Vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è da due a tre volte l'altezza della vegetazione stessa; vegetazione arbustiva moderatamente fitta, simile a delle piante di salice di 1 o 2 anni durante la stagione invernale, che cresca lungo le rive e dove non sia presente vegetazione significativa lungo il fondo del canale dove il raggio idraulico è maggiore di 0,61 m.
Alto	0,025-0,050	Vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è circa uguale all'altezza della vegetazione stessa; piante di salice di 8-10 anni (in riposo vegetativo) cresciute insieme a vegetazione erbacea dove il raggio idraulico sia superiore a 0,60 m; salici di 1 anno circa cresciuti insieme a vegetazione erbacea lungo le sponde (durante la stagione

		vegetativa), dove non sia presente vegetazione significativa lungo il fondo del canale con un raggio idraulico maggiore di 0,61 m.
Molto alto	0,050-0,100	Vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è meno della metà dell'altezza della vegetazione stessa; piante di salice di circa 1 anno con vegetazione erbacea lungo le sponde (durante la stagione vegetativa), o fitta vegetazione di typha lungo il fondo del canale.

Tabella A.6: fattore moltiplicativo m che considera il grado di sinuosità dell'alveo.

Grado di sinuosità dell'alveo (m)	Fattore moltiplicativo	Caratteristiche
Modesto	1,00	Il rapporto fra la lunghezza effettiva del canale ed il percorso rettilineo compiuto dallo stesso è compreso fra 1,0 e 1,2.
Apprezzabile	1,15	Il rapporto fra la lunghezza effettiva del canale ed il percorso rettilineo compiuto dallo stesso è compreso fra 1,2 e 1,5.
Elevato	1,30	Il rapporto fra la lunghezza effettiva del canale ed il percorso rettilineo compiuto dallo stesso è maggiore di 1,5.

A.2.5 Determinazione del contributo della vegetazione alle resistenze in alveo

Ad oggi, la stima della scabrezza determinata dalla presenza di vegetazione rappresenta un argomento ancora di discussione a causa della complessità dei fenomeni che interessano sia aspetti idraulici che meccanici. Non essendo lo scopo del presente manuale approfondire il dibattito in atto, sembra comunque doveroso trattare l'argomento, almeno per quanto riguarda le sue conseguenze pratiche, descrivendo alcuni casi particolarmente frequenti nella pratica e fornendo alcune indicazioni di calcolo.

Erba totalmente sommersa

Il comportamento della vegetazione erbacea in condizione di totale sommersione, in termini di resistenza al moto, varia in funzione del grado di sommersione cui è sottoposta e in relazione alla sua densità e caratteristiche meccaniche. Estese sperimentazioni in campo, condotte dal S.C.S. U.S.D.A. (Figura A.3), evidenziano come la scabrezza diminuisca al crescere del prodotto VR (velocità media per raggio idraulico) secondo una relazione del tipo:

$$n = \frac{1}{[2,08 + 2,30x + 6 \ln(10,8VR)]} \quad (A.13)$$

con x compreso tra 1 e 7 in funzione delle caratteristiche della vegetazione quali la densità e l'altezza media (Tabella A.7).

Il metodo SCS, tuttavia, per la sua forte natura empirica può essere applicato solo nelle condizioni simili a quelle di sperimentazione, cioè nell'ipotesi di canale di grosse dimensioni e tiranti di molto maggiori rispetto all'altezza delle piante e vegetazione con caratteristiche simili a quella utilizzata durante le prove.

Sempre nella condizione di vegetazione totalmente sommersa, un'analisi di maggior dettaglio può essere fatta sulla base del profilo di velocità che s'instaura in condizioni di scabrezza sul fondo.

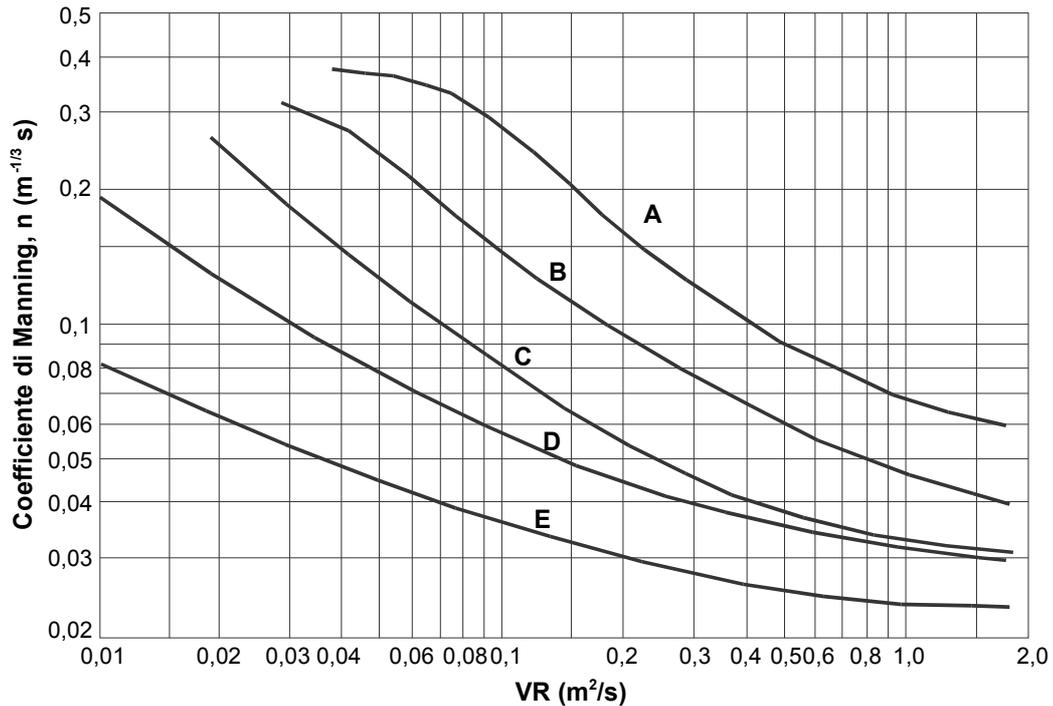


Figura A.3: coefficiente di Manning in funzione del prodotto VR (SCS, U.S. Department of Agriculture, 1947 in Schwab et al., 1981).

Tabella A.7: valori del parametro x in funzione delle caratteristiche di densità della vegetazione (SCS, U.S. Department of Agriculture, 1947 in Schwab et al., 1981).

Condizione	Densità	altezza media (cm)	X
A	Buona	> 76	-0.5
B	"	28 - 61	2
C	"	15 - 25	5
D	"	5 - 15	7
E	"	< 5	11
B	Scarsa	> 76	2
C	"	28 - 61	5
D	"	15 - 25	7
D	"	5 - 15	7
E	"	< 5	11

Nel caso di canali molto larghi ($R = h$), in analogia al caso di un tubo scabro, il profilo di velocità della corrente è descritto con sufficiente accuratezza dalla nota equazione di Prandtl – von Karman dalla quale si ottiene, integrando sulla verticale, l'espressione su base fisica del coefficiente di scabrezza di Darcy – Weisbach:

$$\frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{8}{f}} = A \ln \frac{h}{k_w} + B \quad (A.14)$$

che esprime il rapporto tra la velocità media della corrente e la velocità d'attrito (V/V_0) in funzione del logaritmo della scabrezza relativa (h/k_w) attraverso i coefficienti di calibrazione A e B .

Nel caso di vegetazione eretta, il parametro A assume valore pari a 1,85 mentre B è pari a 0,15; nel caso di vegetazione prona A vale 0,6 – 0,8 e B 7,6 – 9,9.

La vegetazione disposta sul fondo tende, per effetto della corrente a compattarsi e in tal modo a modificare il proprio termine di scabrezza (k_w). Kouwen et al. (1969) e Kouwen (1988) propongono, per primi, un metodo per la determinazione di k_v in funzione di alcune proprietà meccaniche della vegetazione. In tale approccio le caratteristiche di rigidità (o flessibilità) della vegetazione sono descritte dal MEI , ovvero il prodotto tra la densità di vegetazione M (numero di fusti/m²), il modulo di elasticità del singolo fusto E (N/m²) e dal momento di inerzia I (m⁴).

La scabrezza equivalente dovuta alla vegetazione può essere quindi espressa come:

$$k_v = 0,14h_{veg} \left(\frac{\left(\frac{MEI}{\tau_0} \right)^{0,25}}{h_{veg}} \right)^{1,59} \quad (A.15)$$

Il termine di rigidità può essere calcolato conoscendo i singoli fattori oppure attraverso la metodologia di campo proposta da Kouwen (1988). Per i casi considerati, l'Autore individua tre condizioni tipiche espresse dalle seguenti relazioni:

$$MEI = 319h_{veg}^{3,3} \quad \text{per vegetazione verde}$$

$$MEI = 2,54h_{veg}^{2,26} \quad \text{per vegetazione morta e dormiente}$$

$$MEI = 233h_{veg}^{3,125} \quad \text{valore medio}$$

A.2.6 Erbe flottanti, alghe

Nei canali rurali è facile riscontrare la presenza di vegetazione acquatica sul fondo. La stima della scabrezza in tali situazioni può essere fatta mediante l'applicazione della (A.14) utilizzando come k_w l'altezza media dello strato vegetato h_{veg} . Si noti che h_{veg} si mantiene costante mentre i parametri A e B variano a seconda della specie (vedi Tabella A.8).

Tabella A.8: parametri A e B per la stima del coefficiente di Darcy-Weisbach per canali con vegetazione acquatica flottante.

Specie	A	B	Autore
Piante acquatiche (Alisma plantago)	4,28	1,24	Keugelan, 1938
Potamogeton (P. compressus), piante acquatiche (Alisma plantago), alghe (Cladophora), elodea	5,22	1,19	“
Elodea americana (Elodea canadensis), cerastio (Callistriche spp.), e alghe	1,61	0,32	Plate e Quraishi, 1965
Erbe flottanti (Glyceria fluitans), lattuga arricciata (Potamogeton crispus e P. pectinatus)	2,55	1,45	“
Erbe flottanti (Glyceria fluitans), lattuga arricciata (Potamogeton crispus)	2,09	0,70	“

Piante a portamento arboreo

La vegetazione arborea viene comunemente trattata in analogia ai corpi rigidi immersi in un flusso e per la quantificazione delle resistenze si fa in genere riferimento all'inquadrimento teorico proposto da Petryk e Bosmanjian (1975) in cui il tirante idrico è posto inferiore o al più uguale all'altezza delle piante che manifestano comportamento rigido (Figura A.4).

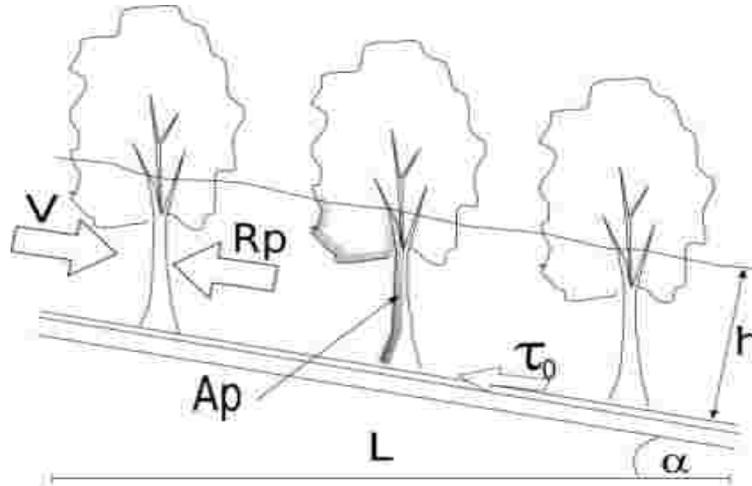


Figura A.4: schema dell'ingombro di una singola pianta e delle forze agenti su corpi rigidi.

In condizioni di moto uniforme, la componente della forza peso nella direzione del moto di un tratto di canale (γALi) è bilanciata dagli sforzi alla parete agenti sul contorno $\tau_0 PL$ e dalla somma delle resistenze

idrodynamiche offerte dalle singole piante ($\sum_{i=1}^N Rp_i$):

$$\gamma ALi = \tau_0 PL + \sum_{i=1}^N Rp_i \quad (A.16)$$

Risolviendo la (A.16) si ottiene l'espressione per il calcolo della scabrezza in presenza di vegetazione rigida, parzialmente sommersa:

$$n_{eq} = \sqrt{n_0^2 + \frac{R^{1/3} C_D Ap}{2g a_x a_y}} \quad (A.17)$$

Tabella A.9: parametri geometrici tipici della vegetazione in funzione delle diverse tipologie (DVKW, 1991, modificato da Armanini, 1999).

Tipo di vegetazione	Grado di sviluppo	Diametro del tronco (m)	a_x (m)	a_y (m)
Canneto	Annuale	0.003-0.01	0.01 – 0.03	0.01 – 0.03
Arbusti (salici)	1 anno	0.01 – 0.03	0.25 – 0.35	0.25 – 0.35
“	+ anni	0.03 – 0.06	0.15 – 0.25	0.15 – 0.25
Alberi (betulla)	5 anni	0.04 – 0.10	1.0 – 5.0	1.0 – 5.0
“	> 5 anni	0.15 – 0.50	3.0 – 10.0	3.0 – 10.0

Alcuni valori di a_x , a_y , riferiti a diverse forme arboree ed arbustive, sono riportate in Tabella A.9. Nel caso in cui l'altezza del tirante sia superiore a quella delle piante, lo schema proposto dal Petryk non è più valido perché la velocità di riferimento per la valutazione della resistenza al moto indotta dalla vegetazione risulta

significativamente più bassa della velocità media nel canale, intesa come rapporto tra portata liquida e area della sezione di deflusso.

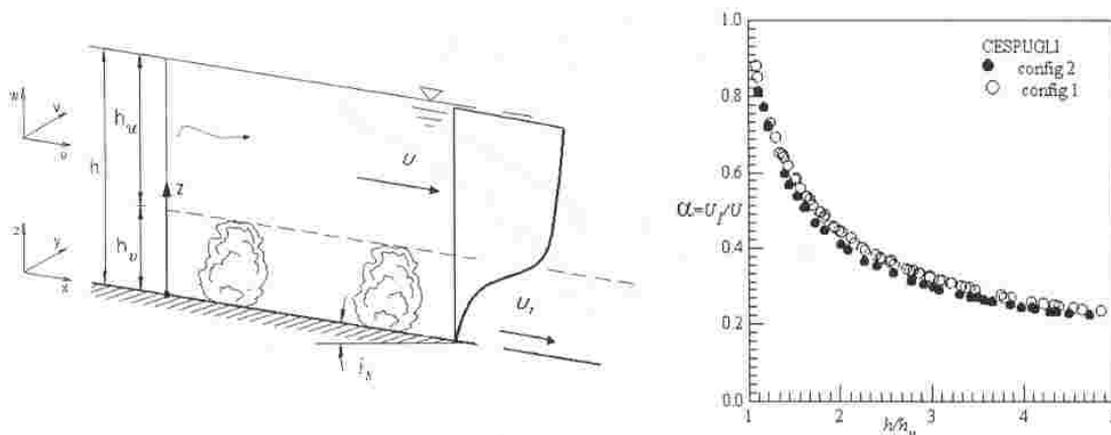


Figura A.5: rappresentazione schematica delle variabili in gioco nel modello di turbolenza in caso di vegetazione sommersa (a sx). Valori sperimentali di α in funzione del grado di sommergenza delle piante (a dx). (○ bassa densità, • alta densità) (Righetti, 2004).

Righetti (2004) evidenzia la necessità di considerare un opportuno modello di turbolenza (Figura A.5) e suggerisce quindi un fattore correttivo α pari al rapporto tra la velocità media dello strato vegetato (U_i) e quella della sezione (U), da inserire nella relazione precedente che diventa quindi:

$$n_{eq} = \sqrt{n_0^2 + \alpha^2 \frac{R^{1/3}}{2g} \frac{C_D A_p}{a_x a_y}} \quad (A.18)$$

I valori di α (sempre minori di 1) decrescono all'aumentare del livello di sommergenza come riportato a titolo d'esempio nel grafico di Figura A.5 (Righetti e Armanini, 2002).

Arbusti in condizione di parziale o totale sommersione

La vegetazione arbustiva in condizione di parziale o totale sommergenza costituisce un caso intermedio rispetto a quelli precedentemente presentati. Diversi studi (Fathi e Kouwen, 1997; Vischer e Oplatka, 1998; Kouwen e Fathi, 2000; Freeman et al., 2000; Järvelä, 2002; Chiaradia, 2006) hanno infatti dimostrato come la scabrezza di un alveo con vegetazione arbustiva non rimanga costante ma, al contrario, in talune condizioni tenda addirittura a decrescere come conseguenza del piegamento delle chiome che presentano comportamento elastico. Allo stato attuale non esistono molti riferimenti per la stima della scabrezza in tali condizioni; un approccio empirico al problema è quello proposto da Freeman et al. (2000), suffragato da un notevole numero di prove eseguite su materiale vivo e considerando diverse condizioni idrauliche.

I fenomeni determinati dalla presenza di vegetazione arbustiva in alveo, vengono descritti attraverso quattro parametri secondo una relazione del tipo:

$$\frac{V_0}{V} = f \left(\frac{\rho V^2 A_i}{E_s A_s}, \frac{h}{h_{veg}}, MA_p, R_e \right) \quad (A.19)$$

dove E_s è il modulo di elasticità caratteristico della vegetazione (N/m^2), A_s è l'area della sezione del fusto di diametro D_s (m), h è il tirante (m), h_{veg} è l'altezza della vegetazione eretta in condizioni di riposo (m), M è il numero di piante per unità di superficie e A_p è la superficie frontale di ciascuna pianta (m^2). Il primo parametro identifica il rapporto tra la forza della corrente e la resistenza meccanica offerta dalla pianta; quest'ultima viene schematizzata come una vela di dimensioni note (la chioma) montata su di un perno (il fusto) su cui si scaricano le forze. Il secondo parametro adimensionale indica il livello di sommergenza, il terzo la densità della vegetazione ovvero la superficie totale assorbente la quantità di moto, mentre il quarto

rappresenta il numero di Reynolds che esprime l'equilibrio tra le forze di inerzia e le forze di resistenza viscosa (Ghetti, 2004).

Dall'analisi numerica delle sperimentazioni sono state estrapolate due funzioni che descrivono la variazione del coefficiente di scabrezza dell'alveo vegetato in condizione di sommersione totale ($h > 0,8 h_{veg}$):

$$n = 0,183 \left(\frac{E_s A_s}{\rho V_0^2 A_i} \right)^{0,183} \left(\frac{h_{veg}}{h} \right)^{0,243} (MA_i)^{0,278} \left(\frac{v}{V_0 R} \right)^{0,115} \left(\frac{R^{2/3} S^{1/2}}{V_0} \right) \quad (A.20)$$

e parziale ($h < 0,8 h_{veg}$):

$$n = 3,487 E - 05 \left(\frac{E_s A_s}{\rho V_0^2 A_i} \right)^{0,150} (MA_i)^{0,166} \left(\frac{V_0 R}{v} \right)^{0,622} \left(\frac{R^{2/3} S^{1/2}}{V_0} \right) \quad (A.21)$$

Si noti che nelle relazioni viene usata la velocità al fondo V_0 al posto della velocità media V per rendere l'equazione immediatamente utilizzabile in condizioni di moto uniforme. L'applicazione delle formule descrive l'andamento della curva in Figura A.6.

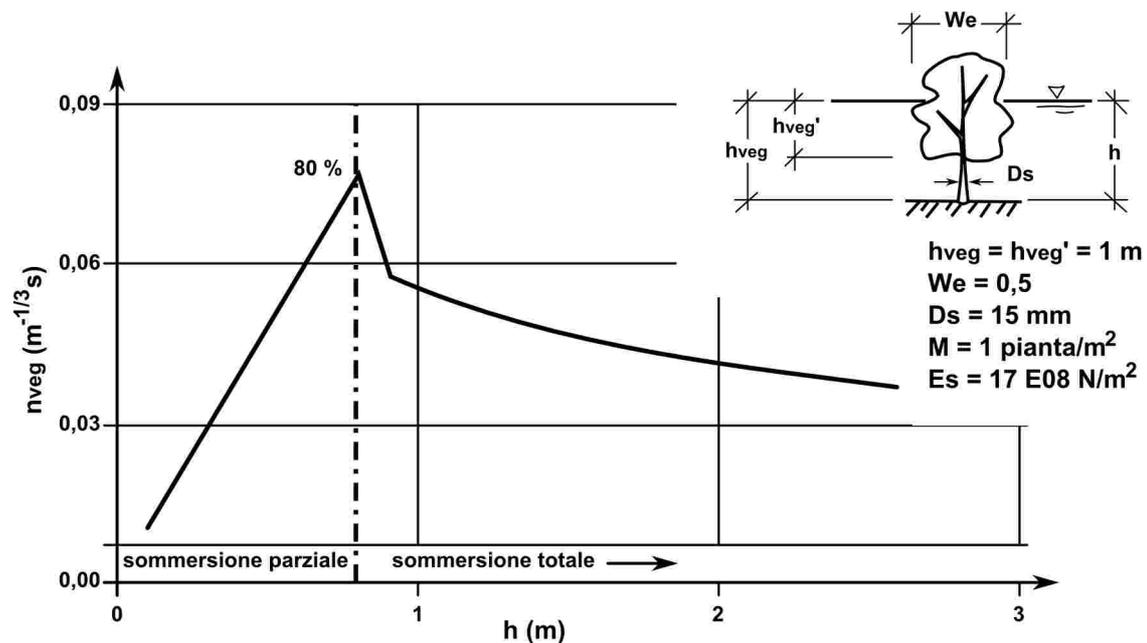


Figura A.6: esempio di calcolo della scabrezza con vegetazione con la formulazione di Freeman (et al., 2000).

La differenza sostanziale riscontrata rispetto alla formulazione proposta da Kouwen, riguarda la dipendenza del coefficiente di scabrezza con il numero di Reynolds anche se le condizioni medie indagate sono di totale turbolenza ($1,4 E05 - 1,6 E06$). Inoltre, vengono prodotte due formulazioni per meglio distinguere il caso di parziale sommersione da quello di totale sommersione che si applicano rispettivamente per livelli di sommersione inferiori o superiori all'80% dell'altezza delle piante.

L'applicazione del modello USACE deve tener presente i limiti della attività sperimentale su cui si basa. Chiaradia (2006) dimostra che, ad esempio, la soglia di discriminazione tra condizione di parziale sommersione e sommersione totale è tutt'altro che costante ma varia, a sua volta, a seconda delle caratteristiche della vegetazione e della corrente.

Il modello di Freeman è quindi valido nelle seguenti condizioni:

- tiranti compresi tra 0,4 e 1,4 m
- velocità tra 0,15 e 1,1 m/s

- n di Manning compreso tra 0,04 a 0,14
- altezza delle piante da 0,20 a 1,52 m
- larghezza della chioma da 0,076 a 0,91 m
- densità di piante da 0,53 a 13 piante / m²
- modulo di elasticità da $5,3 \times 10^7$ a $4,8 \times 10^9$ N/m²
- numero di Reynolds da $1,4 \times 10^5$ a $1,6 \times 10^6$

Gli intervalli di validità delle equazioni dell'USACE ricoprono la maggior parte delle condizioni di interesse pratico (limitatamente alla rete di canali) per cui il loro uso sembra plausibile. Per valori velocità della corrente e valori di sommergenza piccoli, le formule di Freeman forniscono valori simili a quelli ricavati con il metodo dei corpi rigidi.

A.2.7 Metodi pratici per il calcolo della portata transitante in un alveo con vegetazione

Metodo di Kauch

Un metodo speditivo per la stima della portata transitante in alvei con vegetazione arbustiva sulle sponde è l'applicazione di coefficienti di riduzione della portata, da applicare una volta nota la portata che transiterebbe nell'alveo senza vegetazione. Tali coefficienti possono essere stimati ad esempio mediante i diagrammi di Kauch (Figura A.7) i quali esprimono la percentuale di riduzione della portata in funzione delle caratteristiche geometriche della sezione (b/h), della densità della vegetazione e del grado di copertura della sponda. I diagrammi di Kauch si basano su un notevole numero di prove eseguite negli anni sessanta da Felkel.

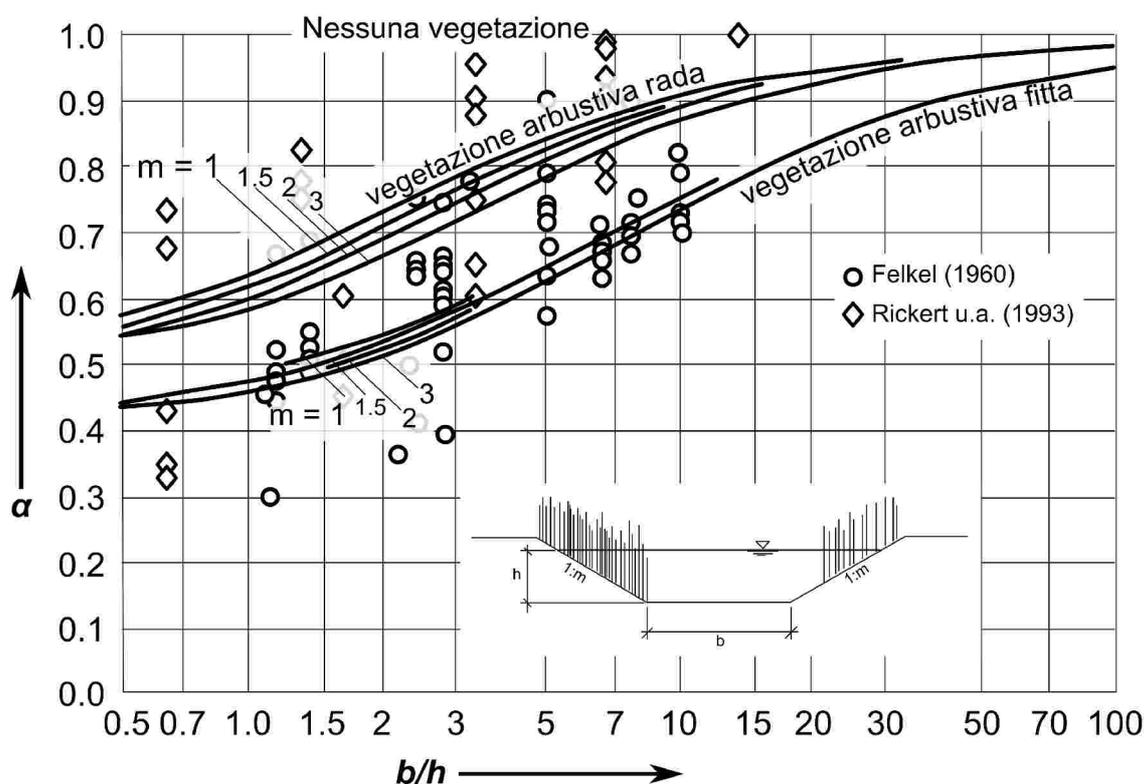


Figura A.7: diagrammi di Kauch (Kauch, 1998).

La procedura di calcolo consiste nel seguente schema;

- si stima la portata (Q_0) che transiterebbe nella sezione in assenza di vegetazione con la formula GSM;

- si valuta il coefficiente di riduzione ($\alpha \leq 1$) in base alle dimensioni della sezione (b/h), alla percentuale di copertura delle sponde (a partire dall'alto) e in funzione della densità di vegetazione (alta = 100 rami con foglie/m² o 200 rami senza foglie/m²; bassa 50 rami con foglie/m²);
- si valuta la portata in presenza di vegetazione $Q = \alpha * Q_0$.

I diagrammi di Kauch trovano applicazione pratica per una stima sommaria della riduzione della portata in alvei con vegetazione, tuttavia presentano alcuni limiti:

- si riferiscono a sezioni standard (anche se la casistica considerata copre la maggior parte delle esigenze pratiche per i canali artificiali);
- considerano solo due tipologie di vegetazione, distinte per densità di impianto;
- non considerano altre caratteristiche della vegetazione quali l'età delle piante, le proprietà meccaniche, la presenza di foglie o l'assenza, il livello di sommersione.

Sottrazione di superfici

Questo processo di calcolo si applica ai corsi d'acqua con forte equipaggiamento di piante con comportamento rigido (scarsa deformabilità della chioma). Il metodo è indipendente dalla forma dell'alveo (compatta o articolata) anche se non esclude gli effetti ad essa correlati.

L'ipotesi fondamentale è che l'acqua fluisca a stento nelle parti dell'alveo interessate da vegetazione e quindi tali parti debbano essere sottratte alla sezione di deflusso. Il processo tiene quindi conto dell'effetto riduttivo sulla portata del corso d'acqua, esercitato dalla vegetazione, sottraendo alla sezione bagnata, anche le superfici della sezione occupate da vegetazione.

Nella determinazione del contorno bagnato, si deve tener conto dei margini della vegetazione, poiché essi, come superfici d'attrito, influenzano ulteriormente il deflusso idrico.

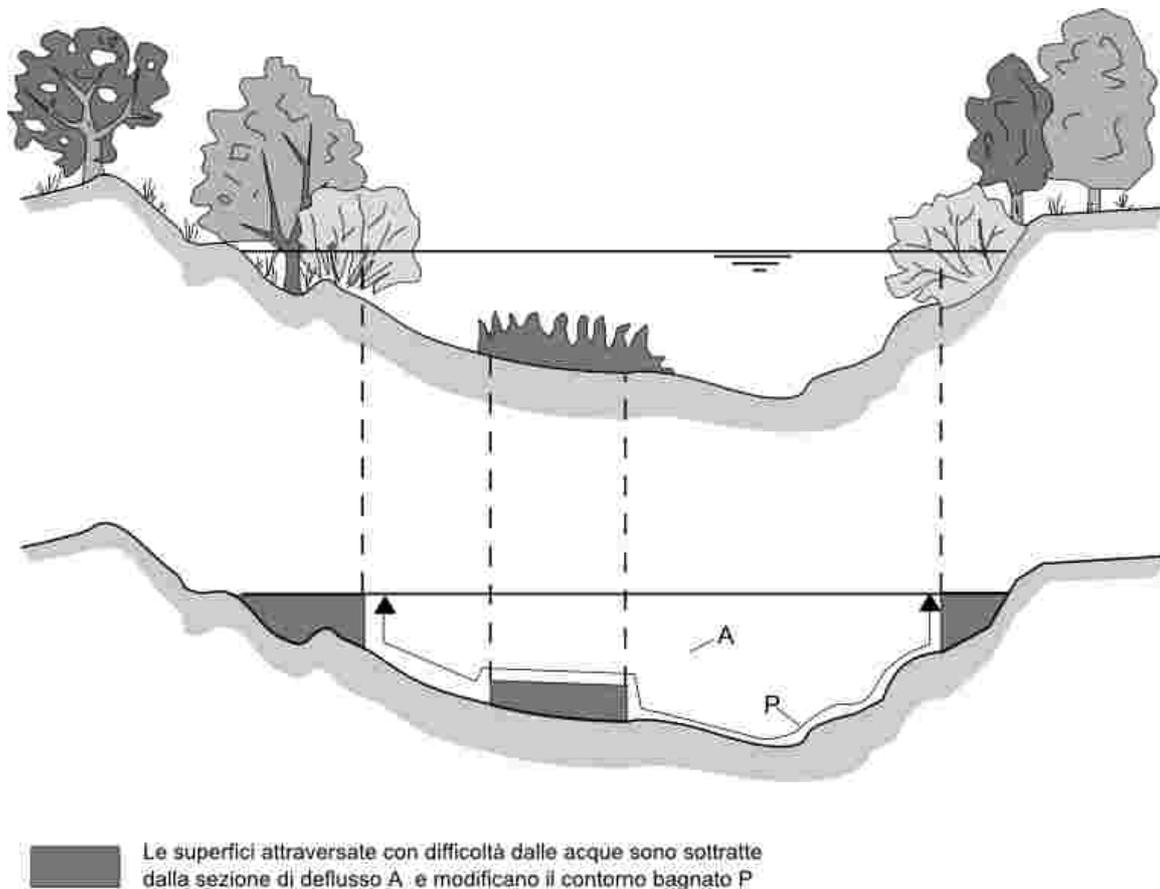


Figura A.8: rielaborazione geometrica di una sezione di deflusso interessata da vegetazione, per il calcolo idraulico con la formula GMS (Land Baden – Württemberg, LfU, 2002).

Il problema principale nel suddetto processo è la determinazione esatta della superficie da sottrarre. A tale riguardo, giocano un ruolo essenziale sia la densità dei popolamenti vegetali sia la tipologia delle specie (piante di legno dolce o di legno duro) e la loro capacità di piegarsi sotto l'influsso della corrente. Come regola generale e di natura assolutamente empirica, si considera un valore pari a circa due terzi l'altezza sommersa della vegetazione.

Allo stesso modo, il contorno bagnato comprenderà anche l'interfaccia acqua-piante a cui è attribuito un determinato valore di scabrezza. Tale valore risulta simile a quello riscontrabile in canali regolari in terra ($n = 0,025$) dal momento che Querner (1997) dimostra come, applicando il suddetto criterio di sottrazione delle superfici, la variabilità della scabrezza complessiva, in termini di coefficiente di Manning, di canali rurali con vegetazione fitta si riduce drasticamente.

A.3 Verifica della stabilità del fondo e delle sponde alla tensione esercitata dalla corrente

In fase di progettazione delle sezioni e delle opere in alveo, oltre alla verifica della portata massima transitabile è necessario verificare la stabilità delle sezioni stesse e delle opere in relazione alla tensione che la corrente esercita sia sul fondo che sulle sponde del canale oggetto d'intervento. Tale verifica va fatta in generale per prevedere eventuali fenomeni d'instabilità a carico dell'alveo e delle opere o, preventivamente, per dimensionare le dimensioni dei grani che costituiscono un rivestimento in pietrame piuttosto che una scogliera o una rampa di risalita per pesci.

A.3.1 Calcolo delle tensioni in alveo

In condizioni di moto uniforme, la tensione media che si genera al contorno di una sezione può essere calcolata mediante la seguente relazione:

$$\tau_0 = \gamma R i_f \quad (A.22)$$

mentre la tensione massima (τ_h) nella sezione può essere calcolata come

$$\tau_h = \gamma h i_f \quad (A.23)$$

La τ_h viene presa come punto di partenza per il dimensionamento del materiale stabile al fondo e alle sponde.

Prendendo come esempio un alveo a sezione trapezoidale, la distribuzione delle tensioni assume l'andamento di Figura A.9: con riferimento alla tensione massima (τ_h), la tensione massima del fondo sarà pari a $k_f * \tau_h$ mentre quella massima delle sponde è pari a $k_{sp} * \tau_h$. I valori di k_f e k_{sp} si ricavano dai grafici di Figura A.10. In genere, per la maggior parte dei canali i valori di k_f sono prossimi a 1 mentre i valori di k_{sp} oscillano tra 0,75 e 0,80. La tensione massima sulle sponde si esercita a circa un terzo dell'altezza del tirante. Tali differenze sono da imputare alla particolare forma delle isotachie che influenza la distribuzione delle tensioni nelle sezioni.

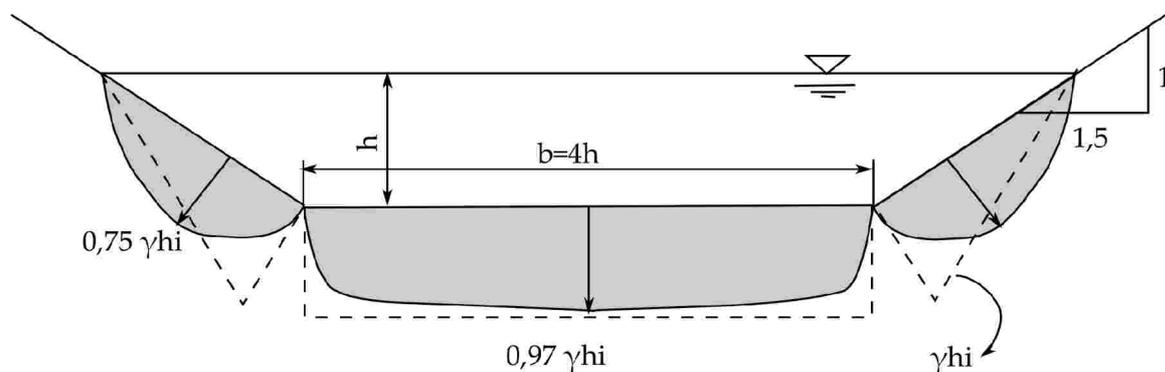


Figura A.9: distribuzione reale delle tensioni in un alveo trapezoidale (modificato da Lane e Carlson, 1953). La linea tratteggiata rappresenta i valori che si avrebbero nel caso si applicasse la sola relazione $\gamma h i$, con h decrescente sulla sponda.

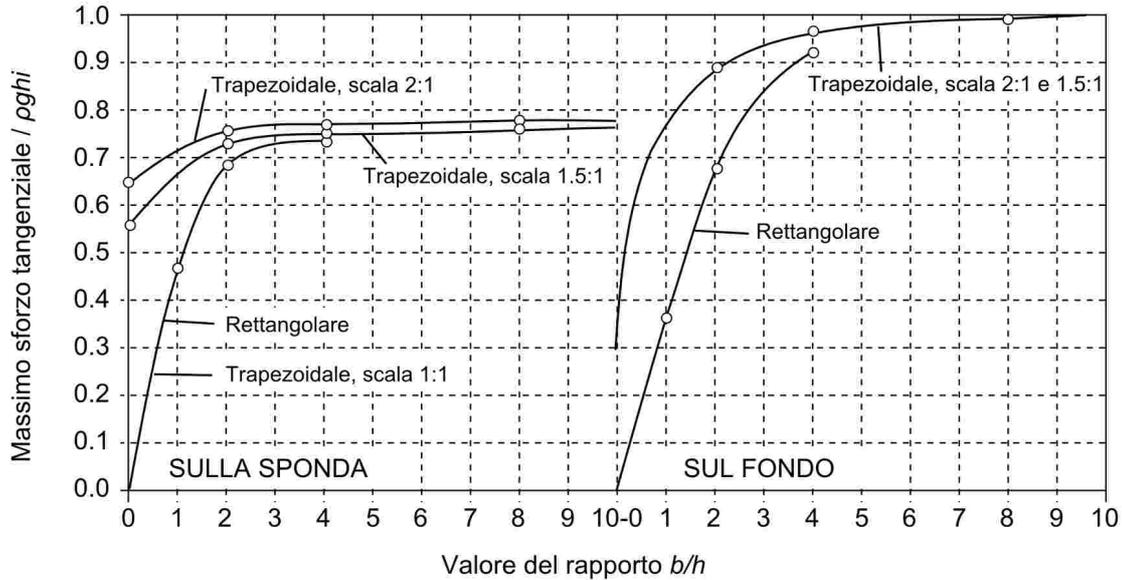


Figura A.10: valori dei coefficienti correttivi per fondo, k_f , e sponde, k_{sp} per sezioni trapezoidali e rettangolari (modificato da Lane e Carlson, 1953).

Accettando un certo grado d'approssimazione, in sezioni con forma irregolare è possibile calcolare le tensioni al contorno mediante l'applicazione della formula generale della tensione massima, precedentemente introdotta, a ciascuna sub-area. Ovviamente, tale suddivisione non tiene conto della distribuzione reale delle velocità né, tanto meno, degli effetti di forma, di scabrezza eterogenea, la formazione di correnti secondarie o d'altri fenomeni che possono condizionare la distribuzione delle forze in alveo; tuttavia, essa consente di definire una procedura di calcolo semplice e sicuramente a favore di sicurezza (Figura A.9, linea tratteggiata).

A.3.2 Stabilità dei sedimenti

Nella verifica della stabilità dei grani che costituiscono il fondo di canali in terra o il rivestimento, nel caso di alcune opere di protezione quali la posa di pietrame sulle sponde o la costituzione di scogliere, si fa comunemente riferimento alla teoria di Shields che viene sinteticamente, espressa dal grafico di Figura A.11.

Tale grafico riporta sulle ascisse il numero di Reynolds del grano, Re^* , calcolato sulla base del diametro medio d del granulo di riferimento e della velocità d'attrito V_o , mentre sulle ordinate un fattore di mobilità, Y , calcolato come rapporto tra la tensione esercitata dalla corrente e il prodotto tra il peso sommerso e il diametro del granulo. In formula diventa:

$$Y = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_w)d} \quad (A.24)$$

e

$$Re^* = \frac{V_o d}{\nu} \quad (A.25)$$

dove γ_s è il peso specifico del suolo (indicativamente pari a 26000 N/m^3), γ_w è il peso specifico dell'acqua e ν è la viscosità cinematica posta approssimativamente pari a 10^{-6} . La curva di Shields delimita la condizione limite di stabilità (funzione di incipiente movimento), ovvero l'area sottesa dalla curva rappresenta l'insieme delle possibili condizioni di stabilità. La curva ha andamento decrescente per valori di Re^* da 0,2 a 10, mentre cresce da 10 a 400; oltre tale valore la curva assume andamento costante e il parametro Y assume valore pari a 0,056.

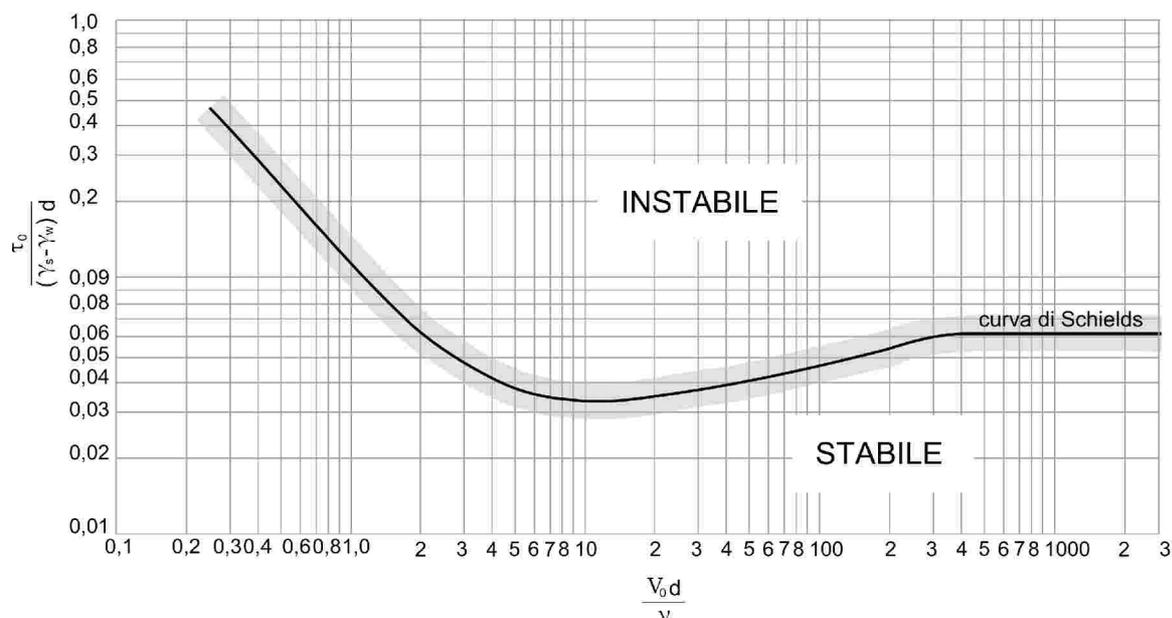


Figura A.11: diagramma di Shields (in Ferro, 2002, ridisegnato).

L'andamento della curva di Shields è stato descritto dalla relazione proposta da Brownlie (Armanini, 1999) secondo cui:

$$Y = 0,22D^{-0,6} + 0,06e^{-17,77D^{-0,6}} \quad (A.26)$$

dove D rappresenta il diametro caratteristico (o anche di attrito) calcolato come:

$$D = d \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\nu^2} \right)^{1/3} \quad (A.27)$$

Dato quindi un diametro caratteristico del fondo, è possibile valutare il valore di Y critico che delimita la condizione di stabilità, ovvero ricavare in maniera diretta la tensione ammissibile sopportabile dal granulo sottoposto alle forze della corrente.

La pendenza dell'alveo o della sponda giocano un ruolo molto importante nella determinazione dei processi di trasporto solido ed erosione. Tali fattori possono essere valutati con opportune formule come di seguito descritte che permettono di stimare un coefficiente correttivo (F_c) da applicare ad Y ; tale fattore ha in genere come effetto l'abbassamento della curva che stabilisce il limite di stabilità, ovvero aumenta la possibilità che una combinazione (Y, Re^*) ricada in un'area del grafico di instabilità.

L'effetto della pendenza dell'alveo può essere valutato mediante la seguente relazione (Ferro, 2002):

$$F_c = \cos\alpha \left(1 - \frac{\tan\alpha}{\tan\phi} \right) \quad (A.28)$$

con ϕ angolo d'attrito interno del materiale costituente l'alveo. Considerando le pendenze tipiche degli alvei di pianura e le caratteristiche geomeccaniche delle più diffuse tipologie di suolo e di materiale da rivestimento, i valori assunti dal coefficiente correttivo sono prossimi ad uno (Tabella A.10) e la correzione può ritenersi trascurabile.

L'effetto della pendenza delle sponde può essere valutato dalla seguente relazione (Ferro, 2002):

$$F_c = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \phi}} \quad (A.29)$$

Alcuni valori di esempio di F_c sono riportati in Tabella A.11. I valori calcolati portano a volte ad un dimezzamento della Y_{cr} .

Tabella A.10: F_c calcolato per tenere conto dell'effetto della pendenza dell'alveo.

	I	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02
	$\phi \setminus \alpha$	0,06	0,11	0,29	0,57	1,15
argille	20	1,00	0,99	0,99	0,97	0,94
argilla limosa	25	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96
sabbia mediamente argillosa	30	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97
sabbia uniforme	35	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97
ghiaia	40	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98
pietrisco	50	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98

Tabella A.11: F_c calcolato per tenere conto dell'effetto della pendenza delle sponde (NS = non stabile).

	O:V	0,5	1	2	2,5	3
	$\phi \setminus \beta$	63	45	27	22	18
argille	20	NS	NS	NS	NS	0,38
argilla limosa	25	NS	NS	NS	0,48	0,66
sabbia mediamente argillosa	30	NS	NS	0,45	0,67	0,77
sabbia uniforme	35	NS	NS	0,63	0,76	0,83
ghiaia	40	NS	NS	0,72	0,82	0,87
pietrisco	50	NS	0,38	0,81	0,87	0,91

A.3.3 Verifica della stabilità in canali in terra o rivestiti con materiale incoerente (pietrame o massi)

Verifica della stabilità del granulo:

9. è noto il diametro del sedimento che costituisce il fondo;
10. si calcola la tensione di riferimento in condizione di moto uniforme τ_0 ;
11. si calcola la velocità d'attrito V_0 ;
12. si calcola il numero di Reynolds del granulo;
13. si valuta graficamente o mediante la funzione di Brownlie il valore di Y_{cr} (limite di stabilità del granulo);
14. si moltiplica il valore di Y_{cr} per il fattore correttivo che tiene conto della pendenza della sponda;
15. dal valore di Y_{cr} corretto si ricava la tensione critica τ_{cr} ;

16. se $\tau_0 < \tau_{cr}$ il granulo è stabile, altrimenti occorre aumentare il diametro del granulo ed eseguire di nuovo la procedura dal punto (4).

Valutazione del diametro stabile:

1. nelle applicazioni pratiche spesso il valore di Re^* supera il valore di 400 per cui il valore di Y_{cr} è costante e pari a 0,056;
2. si moltiplica il valore di Y_{cr} per il fattore correttivo che tiene conto delle pendenze d'alveo (fondo e sponda);
3. si calcola la tensione di riferimento in condizione di moto uniforme τ_0 ;
4. si esplicita il diametro d in funzione del valore di Y_{cr} e del valore di τ_0 ;
5. qualora il valore di Re^* non superi il valore di 400, occorre proceder per tentativi.

Verifica della stabilità di opere

Le opere di riqualificazione sono spesso la somma d'elementi di varia natura e caratteristiche o, nel caso delle tecniche che impiegano le piante come materiale da costruzione, i fenomeni che si instaurano durante l'evento di progetto sono complessi e difficilmente modellizzabili. Per tali ragioni solitamente ci si riferisce a valori sperimentali, frutto di osservazioni di campo. In Tabella A.12 si riportano i valori reperibili nella letteratura. Tali valori, tuttavia, devono essere considerati indicativi ed utilizzati con estrema cautela; frequentemente, infatti, essi derivano da osservazioni effettuate su opere in campo ma, proprio per questo, il calcolo delle tensioni esercitate dalla corrente non è sempre rigoroso a causa delle difficili condizioni sperimentali.

La verifica prevede che la tensione della corrente sia minore di quella critica, sopportabile dalla tipologia di opera in esame; nel caso sia presente della vegetazione occorre osservare che, in talune condizioni di densità di piante e caratteristiche meccaniche dei tessuti, le tensioni generate dalla corrente si esauriscono all'interfaccia fronde-canale principale, salvaguardando la stabilità dei sedimenti che costituiscono il fondo. Questo fenomeno si manifesta in particolare per vegetazione fitta e flessibile, in grado cioè di piegarsi completamente e creare una sorta di manto protettivo. Per contro, la presenza di vegetazione rada e rigida può indurre la formazione di vortici in grado di generare erosioni localizzate in grado di stabilizzare le stesse piante e quindi la sponda.



Figura A.12: cedimento di sponda.

Tabella A.12: tensioni o velocità d'attrito massime sopportabili per alcune opere di sistemazione d'alveo mediante tecniche di I.N.

Opera	τ_{cr} (N/m ²)	V (m/s)	Autore
Prato/inerbimenti			
	30	1.8	Zeh e Binel (1991)
(per breve tempo)	(60÷80)	(4,5)	
Inizio	10		Florineth (1982)
periodi vegetativi successivi	30		
Piote erbose	>60	>3,5	LfU (1996)
Prato rado su ghiaia	30	1,5	LfU (1996)
Prato seminato	40	1,3	LfU (1996)
< 5 cm (fine lavori)	20		Calò e Palmieri (1996)
>5 cm 1 anno	15		Calò e Palmieri (1996)
2 anno	25		Calò e Palmieri (1996)
3 anno	30		Calò e Palmieri (1996)
	10÷30		Maccaferri (1996)
Prato naturale	50÷100		Witzig (1970)
Salici			
Talee			
Fine lavori	10		Calò e Palmieri (1996)
1 anno	20		
2 anno	60		
3 anno	60		
	10÷60		Maccaferri (1996)
	165		Witzig (1970)
	100÷150	3,0÷3,5	LfU (1996)
Fine lavori	10		Di Fidio (1995)
1 anno	30		
2 anno	30		
3 anno	30		
Piantagioni			
Inizio	0		Florineth (1982)
1 periodo vegetativo	10		
2 periodo vegetativo	30		
3 periodo vegetativo	>30		

Opera	τ_{cr} (N/m ²)	V (m/s)	Autore
Piante assicurate			Florineth (1982)
Inizio	15		
1 periodo vegetativo	-		
2 periodo vegetativo	75		
3 periodo vegetativo	120		
Piante naturali			
Salici (1° e 2° anno)	50÷70	2,0	Zeh e Binel (1991)
Salici (più di 3 anni)	100÷140	2,5	Zeh e Binel (1991)
Salici (20 anni)	800		Zeh e Binel (1991)
Copertura diffusa			
	100		Witzig (1970)
	50÷300		Maccaferri (1996)
	309		Florineth (1995)
Inizio	50		Di Fidio (1995)
1 periodo vegetativo	150		
2 periodo vegetativo	300		
3 periodo vegetativo	300		
con ramaglia viva	195÷218		Florineth (1982)
con ramaglia viva			Florineth (1982)
Inizio	50		
1 periodo vegetativo	150		
2 periodo vegetativo	300		
3 periodo vegetativo	>300		
con ramaglia viva			Florineth (1982)
Inizio	32		
1 periodo vegetativo	40		
2 periodo vegetativo	100		
3 periodo vegetativo	300		
protetta con scogliera o palificata	300	3,5	Florineth (1999a); (1999b)
Protetta con armatura al piede			Calò e Palmieri (1996)
Inizio	150		
1 periodo vegetativo	200		
2 periodo vegetativo	300		
3 periodo vegetativo	450		
Fascinata			
Morta	70÷100	2,5÷3,0	LfU (1996)

Opera	τ_{cr} (N/m ²)	V (m/s)	Autore
Viva	100÷150	3,0÷3,5	LfU (1996)
Viva			Calò e Palmieri (1996)
Inizio	20		
1 periodo vegetativo	50		
2 periodo vegetativo	60		
3 periodo vegetativo	60		
Fascinata alternata a gradonate	150	2,0	Florineth (1999a); (1999b)
Fila di fascine	200	3,5	Florineth (1999a); (1999b)
Parete con fascinate	250	3,0	Florineth (1999a); (1999b)
Graticciata			
ramaglia viva			Florineth (1982)
Inizio	100		
1 periodo vegetativo	200		
2 periodo vegetativo	-		
3 periodo vegetativo	>300		
Fila di ceppaie	80	1,5	Florineth (1999a); (1999b)
Viminata			
	140	3,5	Florineth (1999a); (1999b)
	50		Steiger (1981)
In ghiaia			Calò e Palmieri (1996)
Inizio	10		
1 periodo vegetativo	10		
2 periodo vegetativo	15		
3 periodo vegetativo	20		
In sabbia			Calò e Palmieri (1996)
Inizio	0		
1 periodo vegetativo	10		
2 periodo vegetativo	10		
3 periodo vegetativo	10		
Graticciata			
Semplice			Calò e Palmieri (1996)
Inizio	10		
1 periodo vegetativo	20		
2 periodo vegetativo	30		

Opera	τ_{cr} (N/m ²)	V (m/s)	Autore
3 periodo vegetativo			
Repellente (pali e ghiaia)			Calò e Palmieri (1996)
Inizio	100		
1 periodo vegetativo	200		
2 periodo vegetativo	300		
	10		Maccaferri (1996)
Inizio	100		Di Fidio (1995)
1 periodo vegetativo	200		
2 periodo vegetativo			
3 periodo vegetativo	>300		
Gradonata			
Inizio	20		Calò e Palmieri (1996)
1 periodo vegetativo	100		
2 periodo vegetativo	120		
3 periodo vegetativo	140		
Rinforzata con geotessuto	120	2,5	Florineth (1999a); (1999b)
Costruzioni vive e combinate		3,5	Zeh e Binel (1991)
Rulli di canne			
Inizio	10		Calò e Palmieri (1996)
1 periodo vegetativo	20		
2 periodo vegetativo	30		
3 periodo vegetativo	50		
Ribalta viva			
Inizio	20		Calò e Palmieri (1996)
1 periodo vegetativo	60		
2 periodo vegetativo	80		
3 periodo vegetativo	100		
	20÷100		Maccaferri (1996)
Palificata viva			
Inizio	500		Calò e Palmieri (1996)
1 periodo vegetativo	600		
2 periodo vegetativo	600		
3 periodo vegetativo	600		
Opere con pietrame			
Lastricato	160		Zeh e Binel (1991)

Opera	τ_{cr} (N/m ²)	V (m/s)	Autore
Pietre alla rinfusa	200		Zeh e Binel (1991)
Pietre compattate e bloccate con picchetti	250		Zeh e Binel (1991)
Muro a secco	600		Zeh e Binel (1991)
Gabbionata	1500		Zeh e Binel (1991)
Massi con talee	20÷350		Maccaferri (1996)
Massi rinverditi			Calò e Palmieri (1996)
Inizio	100		
1 periodo vegetativo	150		
2 periodo vegetativo	300		
3 periodo vegetativo	350		
Scogliera con talee	350		Zeh e Binel (1991)
Scogliera rinverdita			Di Fidio (1995)
Inizio	75		
1 periodo vegetativo	100		
2 periodo vegetativo	300		
3 periodo vegetativo	>350		
Scogliera con talee			Florineth (1982)
Inizio	75		
1 periodo vegetativo	100		
2 periodo vegetativo	300		
3 periodo vegetativo	>350		
Scogliera con picchetti			Florineth (1982)
Inizio	50		
1 periodo vegetativo	-		
2 periodo vegetativo	100		
3 periodo vegetativo	2500		

A.4 Verifica della stabilità delle sponde

Frequentemente nei canali si verificano movimenti di massa sulle sponde a causa della loro ripidità e della mancanza di vegetazione in grado di esercitare un'azione di rinforzo. Tali fenomeni possono risultare irrilevanti per il mantenimento della capacità idraulica o, al contrario, generare una drastica perdita di funzionalità con possibile aumento dei rischi per la sicurezza idraulica e per la stabilità delle opere poste a monte della sponda (in genere strade alzaie).

Nel presente paragrafo vengono illustrate le principali forme di dissesto riscontrabili sulle sponde dei canali ed uno dei metodi semplificati per valutarne la stabilità. Questa tematica richiederebbe un'analisi ben più complessa che però esula dagli obiettivi del presente manuale. Spesso, infatti, le condizioni ambientali risultano molto più articolate rispetto al modello considerato, che è comunque un utile riferimento di prima approssimazione.

In condizioni più complesse si può adottare una metodologia di calcolo basata sulla suddivisione del cuneo instabile in conci a ciascuno dei quali viene applicato il modello di stabilità dell'equilibrio limite. Esistono, inoltre, diversi programmi (commerciali e no) creati allo scopo di agevolare i calcoli in condizioni complesse; a titolo d'esempio il foglio di calcolo "Bank Stability and Toe Erosion Model" (Simon e Langendoen, <http://www.ars.usda.gov/>) implementa un modulo specifico per le sponde ed è in grado di tenere in considerazione la presenza di vegetazione.

A.4.1 Tipologie di dissesti

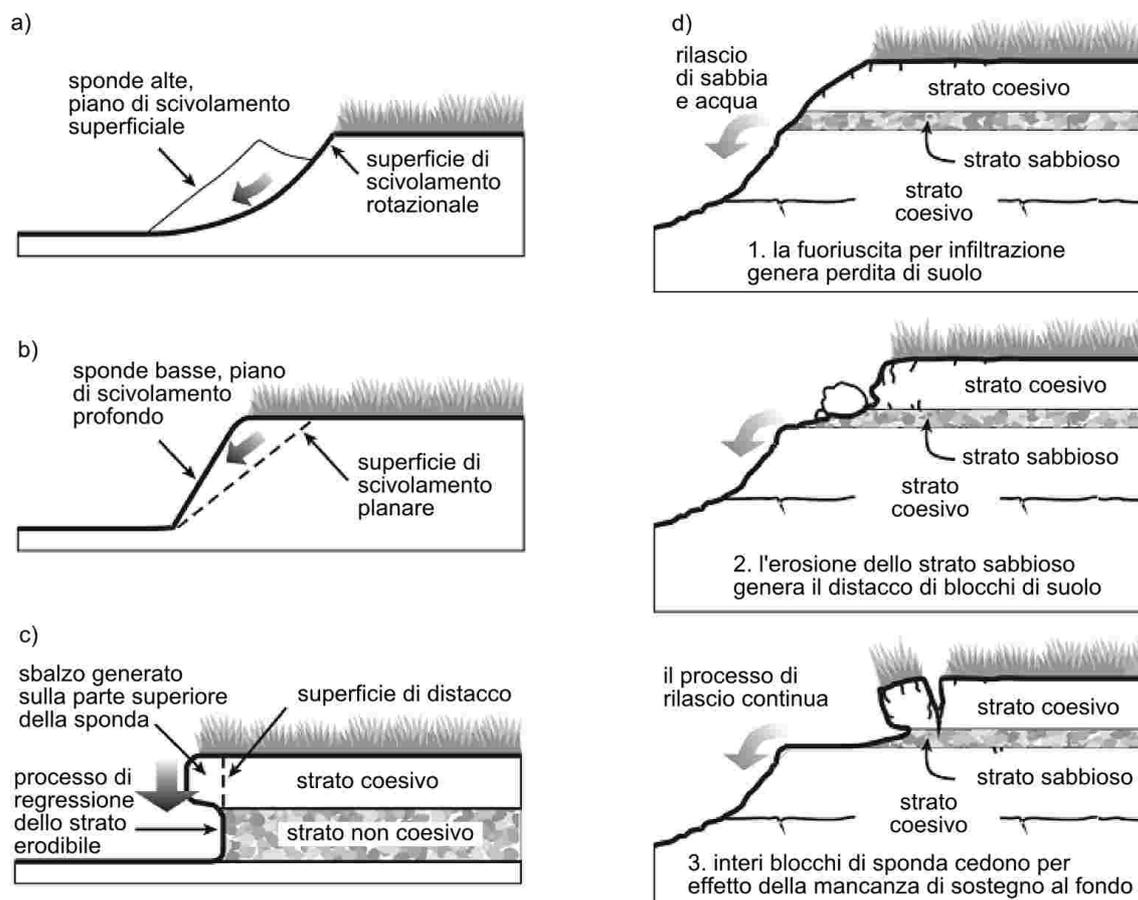


Figura A.13: tipologie di instabilità di sponda a) fenomeni rotazionali, b) fenomeni planari, c) crolli, d) sifonamenti.

I meccanismi di cedimento delle sponde dei canali sono diversi, complessi e a volte interconnessi. Laddove venga meno l'equilibrio tra le forze resistenti e quelle di taglio, si genera uno scivolamento (planare o rotazionale) lungo una superficie, la cui determinazione dipende dalle caratteristiche locali della sponda (Figura A.13 a-b).

La corrente d'acqua può innescare un processo erosivo a carico di strati di terreno dotati di granulometria fine o scarsa coesione; in questo modo si generano sbalzi di terreno (Figura A.13 c), soggetti a successivi crolli. Tali formazioni sono comunque micro-habitat interessanti e andrebbero se possibile mantenuti o sostituiti con strutture artificiali e stabili.

Anche i processi di deflusso sottosuperficiale (Figura A.13 d), dal campo al canale, possono determinare rilascio di materiale in alveo e l'instaurarsi di fenomeni erosivi e di instabilità della sponda (sifonamenti).

La verifica a stabilità di una sponda può essere fatta applicando modelli più o meno sofisticati. Al fine di descrivere i criteri generali di riferimento si farà riferimento al caso più semplice degli scivolamenti planari, metodologia sviluppata per le frane in roccia ma che assume validità anche nel caso di sponde in terra.

A.4.2 Verifica della stabilità di scivolamenti planari

La verifica della stabilità di una sponda mediante il modello degli scivolamenti planari si basa sulla teoria dell'equilibrio limite secondo cui la condizione di stabilità di una sponda è data dall'equilibrio tra le forze di resistenza allo scivolamento (τ_i) e quelle di taglio mobilizzate (τ_{mob}). Tale rapporto è espresso attraverso un fattore di sicurezza (FS):

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{mob}} \quad (A.30)$$

La condizione di equilibrio limite è espressa da $FS = 1$; per $FS < 1$ la sponda è instabile, per $FS > 1$ la sponda risulta stabile. La condizione di stabilità si rappresenta di solito con un FS maggiore di 1,3 per tenere conto delle semplificazioni apportate dai modelli o per la variabilità dei parametri.

Nell'applicazione del criterio dell'equilibrio limite occorre tenere presente le seguenti ipotesi:

- il criterio di rottura è in genere assunto lineare e solitamente è quello di Mohr-Coulomb;
- il materiale è assunto rigido e perfettamente elastico;
- i singoli blocchi sono rigidi, ovvero si trascurano gli sforzi interni;

Nell'applicazione del modello degli scivolamenti planari occorre inoltre ipotizzare che:

- venuta a giorno del piano di scivolamento ($\alpha > \beta$);
- l'inclinazione del piano di scivolamento sia superiore all'angolo di attrito del materiale ($\beta > \phi$);
- l'immersione del piano di scivolamento sia entro l'intervallo di 20° dall'immersione della scarpa esterna del blocco;
- vi sia la presenza di due piani laterali e ortogonali al piano di scivolamento tali da isolare un blocco e che non sviluppino resistenza ai lati della massa in movimento, oppure lungo il profilo trasversale del pendio convesso.

Di seguito vengono proposti alcuni modelli per la risoluzione del problema dell'equilibrio limite nel caso di scivolamenti planari.

Suolo asciutto

In termini generali, lo scivolamento di un blocco può essere schematizzato nell'ambito dell'equilibrio alla traslazione lungo il piano inclinato (Figura A.14.b), ottenendo, per le condizioni asciutte, la seguente espressione generale per il calcolo del fattore di sicurezza:

$$FS = \frac{C \cdot A + P \cos \beta \tan \phi}{P \sin \beta} \quad (A.31)$$

dove:

A (m^2) è l'area del tratto di superficie di scivolamento ipotizzato (se si considera una larghezza unitaria, A coincide con L), β ($^\circ$) è l'angolo di inclinazione della superficie di scivolamento, P (N) è il peso del blocco calcolato con il seguente prodotto $\gamma h L/2$, C è la coesione totale (-), dovuta cioè alla coesione del terreno e al contributo della vegetazione, ϕ ($^\circ$) è l'angolo di resistenza al taglio del materiale in condizione asciutte.

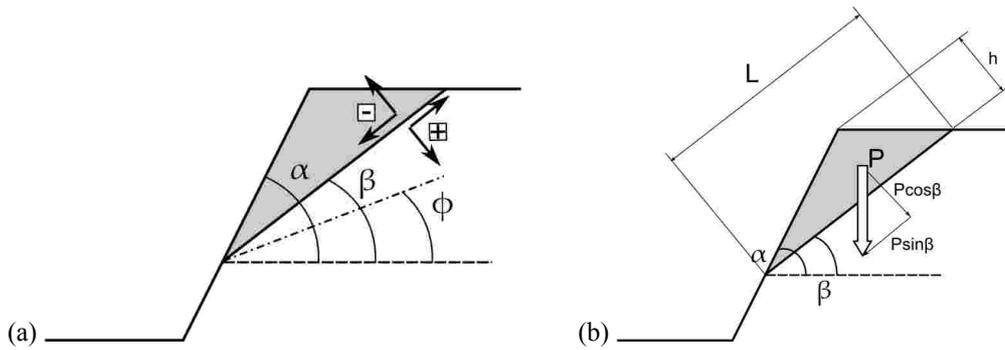


Figura A.14: schema dello scivolamento planare di un cuneo di riporto.

Presenza di acqua nel terreno

Per tener conto della presenza dell'acqua nei calcoli del fattore di sicurezza con i metodi dell'equilibrio limite, è possibile introdurre la sottospinta idraulica U dovuta alle pressioni neutre distribuite lungo la superficie di scivolamento. La definizione delle condizioni idrauliche realmente esistenti è però problematica; in assenza di fratture e supponendo che il pendio sia completamente saturo, tuttavia, è ragionevole ipotizzare che la pressione massima si abbia in corrispondenza di metà dell'altezza del blocco (Rocscience Inc. (2001); Figura A.15.a). Di conseguenza, la pressione massima dell'acqua nei pori (condizione idrostatica) è:

$$U_{\max} = \frac{H}{2} \gamma_w \quad (A.32)$$

e la relativa sottospinta idraulica:

$$U = \frac{1}{2} U_{\max} L = \frac{1}{4} \gamma_w H L \quad (A.33)$$

Il Fattore di Sicurezza può quindi essere scritto come:

$$FS = \frac{C \cdot L + (P \cos \beta - U) \cdot \tan \phi'}{P \sin \beta} \quad (A.34)$$

Un'ulteriore opzione, meno rigorosa, è quella di trascurare le forze esterne e utilizzare nelle verifiche il peso di volume sommerso del terreno γ'_s dato dalla differenza tra il peso di volume saturo del terreno e il peso di volume dell'acqua. Tale soluzione può essere utilizzata in prima approssimazione nei casi in cui non si riesca a tener conto della reale distribuzione delle pressioni neutre.

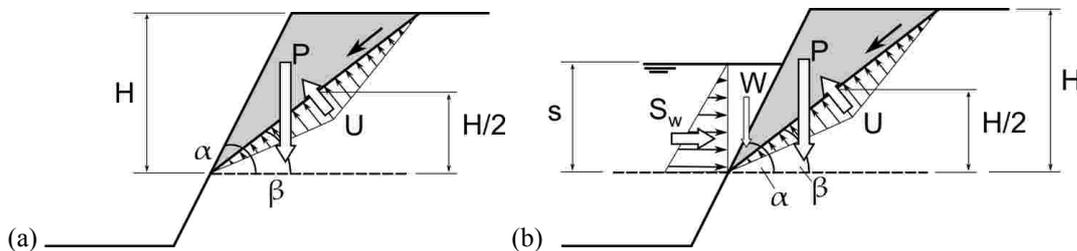


Figura A.15: distribuzione delle pressioni con valore massimo a metà altezza (a) e distribuzione delle pressioni in presenza di acqua nel canale.

Presenza d'acqua nel terreno e nel canale

La presenza d'acqua nel canale assume generalmente un effetto stabilizzante nei confronti della sponda poiché le forze idrostatiche generano una spinta che supera le pressioni interstiziali generate dalla falda. Lo schema di calcolo segue il grafico di Figura A.15.b ed espresso dalla relazione:

$$FS = \frac{C \cdot L + (P \cos \beta - U + S_w \sin \beta + W \cos \beta) \cdot \tan \phi'}{P \sin \beta + W \sin \beta - S_w \cos \beta} \quad (A.35)$$

dove S_w è la spinta esercitata dalla presenza di acqua nel canale, calcolata come:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w s^2 \quad (A.36)$$

mentre W è il peso del volume d'acqua che insiste sull'elemento di suolo sottoposto a verifica a scivolamento.

Presenza di fratture di trazione

In presenza di movimenti franosi incipienti o in evoluzione è frequente che in superficie si formino fratture di trazione. Queste, oltre a rappresentare vie preferenziali per l'infiltrazione e lo scorrimento delle acque di superficiali nel corpo di frana, a lungo termine possono portare alla formazione di ristagni superficiali agenti come sovraccarichi sul pendio.

In questi casi è possibile adottare il meccanismo di rottura per scivolamento planare, senza scorrimento o resistenza mobilitata lungo la frattura di trazione.

Per il calcolo di FS in questo caso si deve tenere conto anche della spinta idrostatica V (Figura A.16) esercitata dall'acqua presente nell'eventuale frattura di trazione posta a monte del blocco instabile:

$$FS = \frac{C \cdot L + (P \cos \beta - U - V \sin \beta) \cdot \tan \phi}{(P \sin \beta + V \cos \beta)} \quad (A.37)$$

dove

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z^2 \quad (A.38)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z \cdot L \quad (A.39)$$

con z altezza dell'acqua nella frattura di trazione e L lunghezza della superficie di scivolamento.

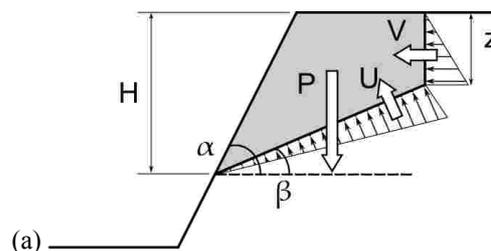


Figura A.16: scivolamento del blocco in presenza di una frattura di trazione.

A.5 Effetto della vegetazione nella stabilità delle sponde

La vegetazione può influenzare (positivamente e negativamente) la stabilità delle sponde regolando alcuni meccanismi di natura idraulica, idrologica e meccanica così sintetizzati (Figura A.17):

- come noto, la corrente esercita una tensione sul fondo e sulle sponde che è causa dei processi erosivi e di trasporto solido. Diversi studi hanno dimostrato che, in presenza di tipologie di vegetazione erbacea e arbustiva flessibile, l'effetto di erosione della corrente risulta mitigato poiché le tensioni si "scaricano" all'interfaccia vegetazione-corrente, non interessando il suolo. In talune condizioni,

tuttavia, si possono instaurare moti turbolenti tali da causare erosioni localizzate; questo si verifica in particolare nel caso di alberi isolati o piante con vegetazione non uniformemente distribuita;

- la trama costituita dalle radici genera un effetto stabilizzante dovuta al peso del terreno trattenuto;
- la vegetazione arborea, ancorandosi con il proprio apparato radicale, forma una sorta di pilone che sostiene direttamente la sponda. Se gli alberi sono sufficientemente vicini si genera anche l'effetto contrafforte che rinforza la porzione di sponda compresa tra gli alberi. Gray (1978) quantifica in alcuni kPa il rinforzo del "contrafforte";

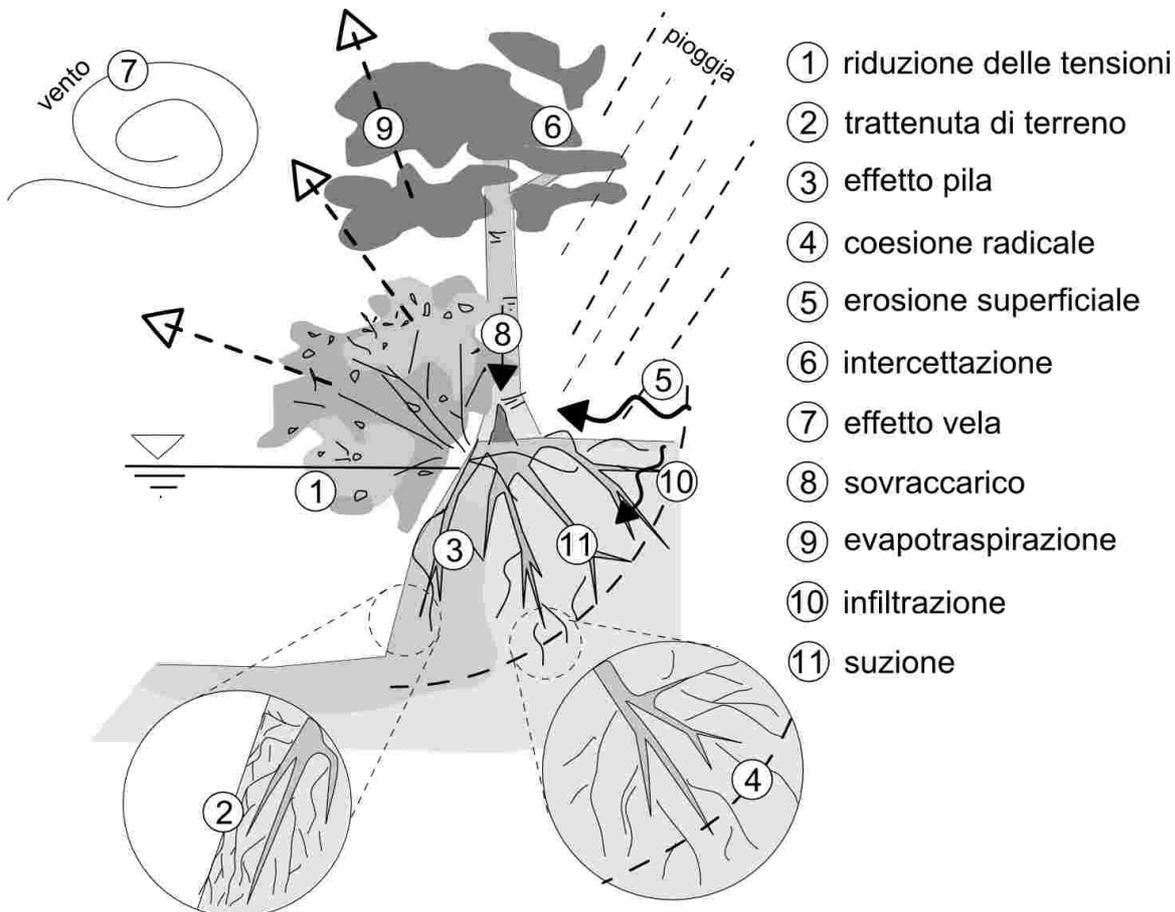


Figura A.17: effetto della vegetazione sulla stabilità delle sponde, spiegazione nel testo (ridisegnato da Greenway, 1987).

- l'attrito che si genera all'interfaccia suolo radici aumenta le forze di resistenza al taglio. Questo meccanismo può portare ad un rinforzo che varia tra pochi kPa fino ad oltre 100 kPa. La resistenza apportata dalle radici dipende dalla resistenza delle singole radici e dall'intensità di radicazione. Inoltre l'effetto di rinforzo è fortemente influenzato anche dalla ripartizione delle radici nel substrato podologico;
- nel caso di precipitazioni intense con abbondante trasporto di materiale solido mobilitato dalla pioggia insistente la presenza di vegetazione sulle sponde trattiene parte del materiale e riduce i danni causati da ruscellamento;
- le chiome degli alberi e le piante stesse assorbono l'energia cinetica della pioggia e prevengono la formazione del deflusso superficiale. Da questo punto di vista la copertura arborea ed erbacea determina una riduzione dell'erosione superficiale. Inoltre le foglie possono sottrarre una quota delle precipitazioni, quota che evapora a seguito delle piogge. Valori indicativi dell'intercettazione, per precipitazioni superiori ai 25 mm, sono corrispondenti a circa il 10÷25% (Coppin and Richards, 1990);
- la forza del vento che impatta sulla chioma vengono trasferite all'ammasso suolo-radici. Se il vento è sufficientemente forte si può verificare lo sradicamento degli alberi con conseguenti dissesti di sponda

localizzati. I fenomeni risultano facilitati dalla presenza di alberi vetusti, in precarie condizioni sanitarie (soprattutto a livello dell'apparato radicale) ed isolati;

- le piante arboree, soprattutto se di grandi dimensioni e su sponde con pendenza elevata, possono costituire un sovraccarico in grado di incrementare le tensioni di taglio. Alla massa degli alberi può aggiungersi anche il peso aggiuntivo delle precipitazioni liquide o nevose che vengono trattenute dalla chioma;
- il processo evapotraspirativo riduce il contenuto idrico del suolo con ripercussioni positive sulla stabilità. La diminuzione dell'acqua nel terreno comporta una riduzione delle pressioni neutre con conseguente aumento della resistenza al taglio. Allo stesso tempo la minor quantità d'acqua all'interno del suolo determina una riduzione delle tensioni di taglio;
- la presenza di radici, soprattutto di grosse dimensioni o in fase di decomposizione, facilita i processi di infiltrazione;
- l'assorbimento d'acqua da parte delle radici crea un potenziale matriciale che si aggiunge alla resistenza al taglio sotto forma di pseudo-coesione. Un canale in condizione di piena, presenta sponde caratterizzate da un livello di saturazione massimo per cui l'effetto di suzione risulta annullato. Anche gli altri effetti strettamente correlati alla condizione di umidità del suolo vengono annullati, per cui assumono un ruolo rilevante l'apporto di coesione radicale e l'effetto arco.

A.5.1 Valutazione del rinforzo in termini di coesione aggiunta

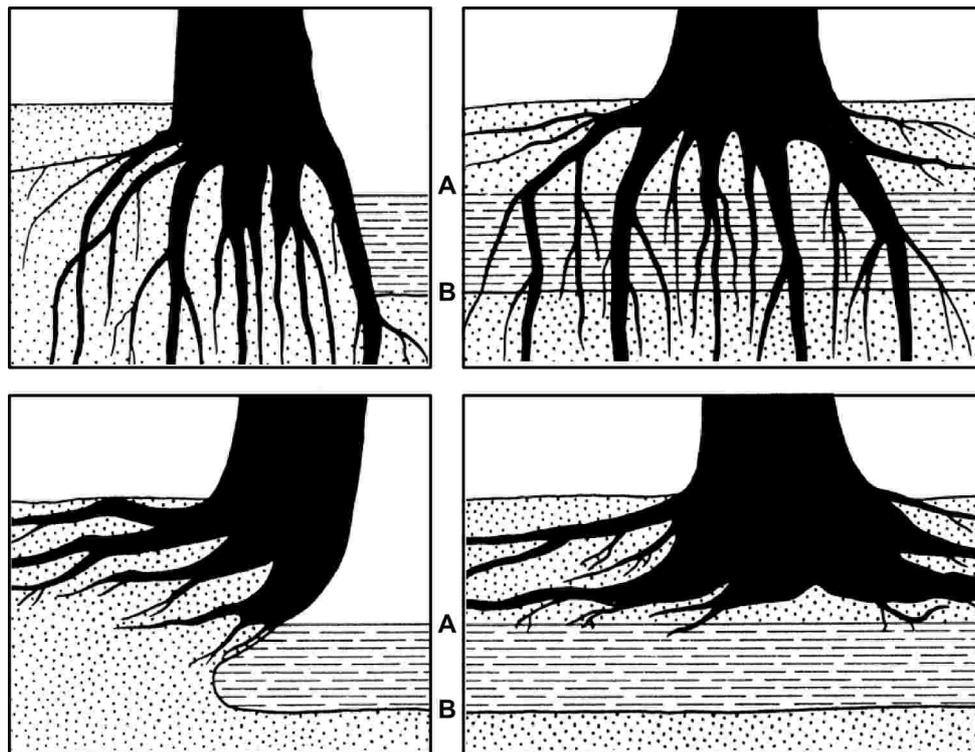


Figura A.18: l'apparato radicale dell'ontano nero (in alto) e del pioppo bastardo (in basso), in senso trasversale (sinistra) e longitudinale (destra) rispetto al corso d'acqua. È evidente l'effetto di consolidamento spondale esercitato dall'ontano nero, grazie alle sue profonde radici, mentre la situazione del pioppo è poco stabile. A = specchio d'acqua; B = letto (ridisegnato da Lachat).

La coesione totale del terreno C in presenza di vegetazione è data dalla somma della coesione efficace del terreno e della coesione aggiunta determinata dalla presenza delle radici C_r . Tale valore di coesione è variabile a seconda della tipologia di vegetazione, delle specie presenti, delle condizioni di crescita e di molti altri fattori non del tutto chiariti al momento.

In ambito internazionale, diversi studi si sono occupati della stima del Cr . I valori medi ottenuti variano da un minimo di 1 ad un massimo di 30 kPa sebbene occorre evidenziare un'estrema variabilità anche lungo il profilo esplorato dalle radici per cui, soprattutto in superficie dove si concentra l'apparato radicale, la coesione aggiuntiva può raggiungere valori prossimi a 100 kPa.

L'azione esercitata dalla vegetazione nel contenimento delle sponde è particolarmente efficace in condizioni di totale sommersione quando viene meno l'effetto determinato dalle pressioni interstiziali negative (aggreganti) determinate dai processi di suzione ad opera sempre delle radici. Tuttavia, solo alcune specie (salici, ontani) sopportano periodi prolungati di anossia dell'apparato radicale determinata dalla sommersione, mentre altre (ad esempio il frassino) rifuggono gli strati saturi e di conseguenza non esercitano nessun effetto stabilizzante (Figura A.18).

E' possibile stimare la coesione radicale attraverso modelli che considerano il comportamento del suolo radicato; in un suolo sottoposto a tensioni, infatti, le radici si deformano allungandosi e mobilizzando parzialmente o totalmente la loro resistenza a trazione. Tale forza è data dal prodotto tra la resistenza a trazione radicale per la superficie della sezione della radice. Poiché l'ipotetico piano di scivolamento è attraversato da diverse radici, occorre sommare il contributo di ciascuna di esse. La coesione radicale è data dalla forza complessivamente esercitata dall'apparato radicale diviso la superficie di scivolamento considerata. I valori di coesione ottenuti vanno in genere corretti per tenere conto sia della scomposizione delle forze tra normali e tangenziali al piano di taglio, sia dell'azione di rottura asincrona dell'apparato radicale. In Tabella A.13 vengono riportati alcuni valori di riferimento per specie tipiche dei canali di pianura.

Tabella A.13: valori di Cr stimati per alcuni popolamenti arboreo-arbustivi rilevati lungo alcuni canali agricoli (Spelta, 2008).

Profondità	Sanbucus - Acer campestre*	Rubus spp	Acer campestre	Acer campestre	Populus canadensis	Populus canadensis
-10	65,2	30,1	66,3	99,7	29,1	37,7
-20	99,7	14,4	100,1	120,2	29,5	32,0
-30	59,1	30,1	71,6	145,8	28,1	25,1
-40	87,3	12,1	81,5	166,4	28,9	11,8
-50	36,0	0	56,3	0	21,5	12,2
-60	0	0	79,3	0	20,0	0

A.5.2 Valutazione del rinforzo per effetto "pali e contrafforte"

La valutazione del rinforzo esercitato dai ceppi delle piante o da pali di legno infissi nel terreno può essere fatta attraverso il modello proposto da Wang e Yen (1974) che si basa su un modello di stabilità semi-infinito e sulle caratteristiche di un suolo rigido e plastico. La teoria è stata sviluppata per una fila singola di pali interrati di diametro d , posti ad una distanza B sulla fila come mostrato in Figura A.19. Secondo questa teoria, la forza P che si scarica sul singolo palo interrato per una altezza H di suolo, è espressa dalla seguente relazione:

$$P = \frac{K_0}{2} d\gamma H^2 + \left(\frac{K_0}{2} \gamma H - pBH \right) \quad (A.40)$$

dove K_0 è un coefficiente che esprime la pressione laterale del suolo a riposo, p è la pressione laterale media o pressione ad arco che si sviluppa negli spazi tra i singoli pali, γ è il peso specifico del suolo.

La forza di resistenza P è quindi dato dalla somma di due componenti: 1) la pressione che si scarica immediatamente a monte del palo, in analogia alle pressioni rilevabili a monte di un muro, 2) la pressione determinata dall'effetto arco. Quando la pressione media laterale è pari a zero, l'effetto ad arco si massimizza. D'altro canto, se la pressione laterale diminuisce, diminuisce anche l'effetto arco. Se la pressione dovuta all'effetto arco tende al valore limite $(K_0/2) \gamma H$, il secondo termine dell'equazione (A.40) tende a zero e l'effetto arco si annulla.

La distanza massima tra i pali B_{CRIT} può essere espressa dalla seguente relazione:

$$B_{CRIT} = \frac{HK_0(K_0 + 1) \tan \phi + \frac{2C}{\gamma}}{\cos \beta (\tan \beta - \tan \phi_1) - \frac{C_1}{\gamma H \cos \beta}} \quad (A.41)$$

dove C è la generica coesione del suolo, C_1 è la coesione all'interfaccia con il piano di scivolamento basale, β è la pendenza del piano di scivolamento, ϕ e ϕ_1 sono rispettivamente l'angolo d'attrito interno del suolo e all'interfaccia con il piano di scivolamento.

Tabella A.14: valori di K_0

Tipo di suolo	K_0
Argilla satura	0,67 – 1
Argilla asciutta	0,11 – 0,42
Suolo sabbio-argilloso	0,25 – 0,42
Limo	0,42 – 0,54
Sabbia compatta	0,25 – 0,67
Sabbia grossolana	0,18
Sabbia fine	0,33
Roccia	0,11 – 0,67

Legenda:

B = distanza tra i pali

d = diametro dei pali

H = profondità del piano di scivolamento

P = forza stabilizzante dovuta all'effetto arco

β = pendenza della sponda

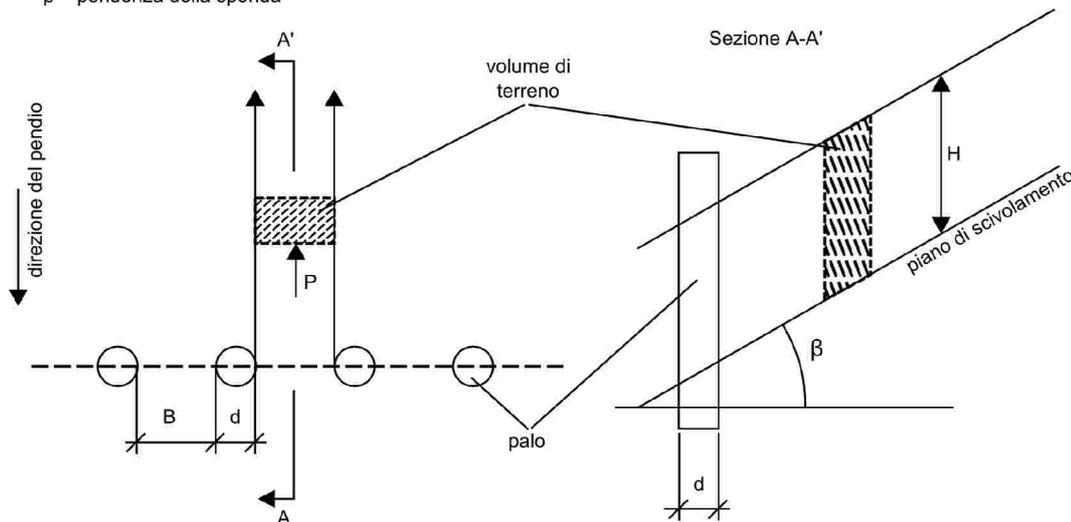


Figura A.19: schema del modello di Wang e Yen (1974) del rinforzo ad arco.

La (A.41) è applicabile per valori di β maggiori di ϕ_1 , in caso contrario restituisce valori negativi di B_{CRIT} che stanno a significare che la sponda dovrebbe essere già in condizione di stabilità ovvero che l'instabilità è causata da altri fattori. Inoltre, C e C_1 assumono valori trascurabili rispetto al peso volumetrico del terreno, per cui la distanza tra i pali è determinata principalmente dalla pendenza della sponda e dalle caratteristiche meccaniche del terreno.

Diversi studi hanno dimostrato l'applicabilità dello schema a pettine di pali anche nel caso di file di piante. Tuttavia occorre fare alcune considerazioni sulla stima del diametro del pilone. nel caso delle piante arboree è opportuno non considerare solo il diametro del fusto ma anche parte del palco radicale (Figura A.20). Alcuni Autori (Wu, 1976; Curtis, 1964) consigliano infine di valutare un diametro maggiorato fino a 5 volte il diametro alla base del fusto.

Il modello proposto permette di valutare la distanza minima necessaria perché le piante esercito l'effetto di resistenza necessario alla stabilizzazione della sponda, non il grado di stabilità delle piante stesse che va valutato con metodi specifici spiegati a parte nel presente manuale.

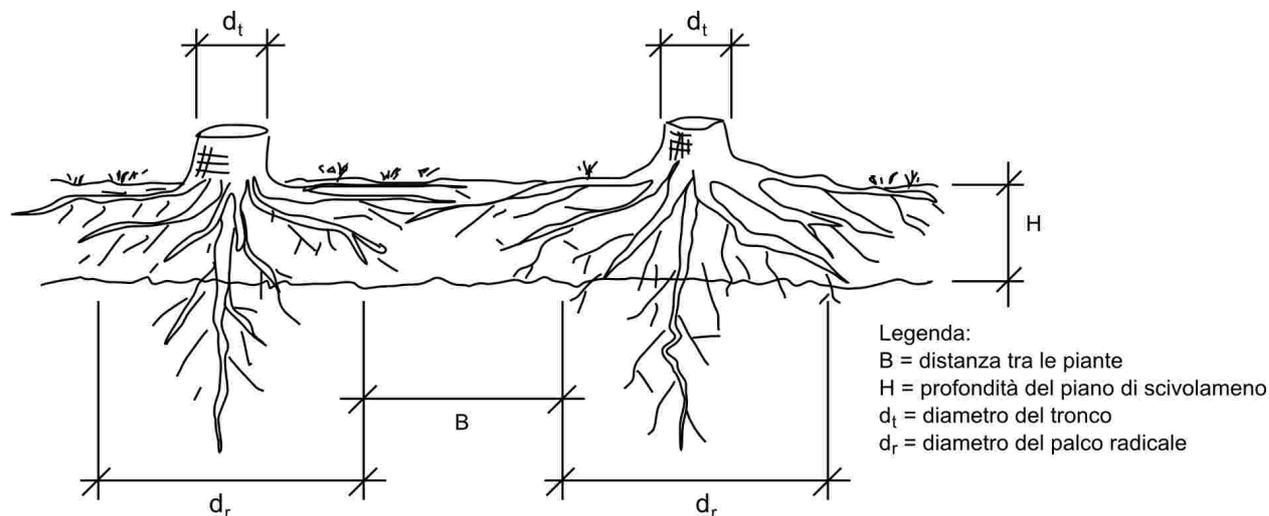


Figura A.20: modello di Wang e Yen (1974) applicato al caso reale (ridisegnato da Gray e Leiser, 1989).

A.6 Bibliografia

- Aldridge B.N., J.M. Garrett (1973). Roughness coefficients for stream channels in Arizona: U.S. Geological Survey Open-File Report, 87 pp.
- Armanini A. (1999). "Principi di idraulica fluviale." Ed. BIOS, Cosenza, 152 pp.
- ASCE Task Force (1963). "Friction factor in open channels." J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng. 89: 97-143
- Autorita' di Bacino del Fiume Po (1999), "Progetto Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico."
- Bartle H. (1999). "Analyzing the effectiveness of common road construction and deactivation techniques." Watershed restoration Technical Bulletin - Streamline, vol.4, no.2, pp.1-8. British Columbia.
- Chiaradia E.A. (2006). "Indagini sull'interazione tra vegetazione arbustiva e deflusso in alveo, ai fini della difesa e della riqualificazione del territorio agro-forestale." Tesi di Dottorato XIX° ciclo, Università degli Studi di Milano, Facoltà di Agraria.
- Chiaradia E.A., Bischetti G.B., Gandolfi C., Savi F. (2006). "Stima dei coefficienti di resistenza al moto in un canale con vegetazione sul fondo." Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - IDRA 2006, Roma, 10-15 settembre 2006.
- Chow, V.T. (1959). "Open Channel Hydraulics." McGraw Hill, New York, NY.
- Conti M., (2005). "Valutazione della scabrezza della scogliera in massi: prime prove presso il canale sperimentale di Maccastorna (LO)." Tesi di Laurea, Rel. prof. G.B. Bischetti, Corr. dott. E.A. Chiaradia, Univ. degli Studi di Milano.
- Coppin N.J., Richards I. (1990). "Use of vegetation in Civil Engineering." Sevenoaks, Kent (England): Butterworths, in Gray e Sotir, 1996.
- Cowan W.L. (1956). "Estimating Hydraulic Roughness Coefficients." J. Agricul. Eng., 37(7):473-475.
- Di Fidio (1995). "Difesa della natura e del paesaggio." Ed. Il Sole 24 Ore Pirola, pp. 344.

- DVWK (1991). "Merkblätter zur Wasserwirtschaft 220/1991." Hydraulische Berechnung von Fließgewässern.
- Armanini, A., Righetti, M. (1998). "Resistenza al moto in alvei vegetati a scabrezza eterogenea." Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9 – 12 settembre 1998.
- Einstein H.A. (1934). "Der hydraulische oder profil-radius.", Schweizerische Bauzeitung, Zurich, 103(8), 89-91, citato in Yen (2002).
- Fathi-Maghadam M., Kouwen N. (1997). "Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains." J. Hydr. Eng., ASCE, 123 (1), 51–57.
- Felkel K. (1969). "Gemessene abflüsse in gerinnen mit weidenbewuchs." Mitteilungen der BAW, Heft 15, Karlsruhe, Germany, citato in Yen (2002).
- Ferro V. (2006). "La sistemazione dei bacini idrografici – seconda edizione." McGraw-Hill, Milano.
- Florineth F. (1982). "Ingenieurbiologische maßnahmen bei fließgewässern in Südtirol." Landschaftswasserbau Band 3, TU Vienna.
- Florineth F. (1999a). "Analisi del limite." Acer, 4, 71-75.
- Florineth F. (1999b). "L'efficacia e il comportamento di opere di ingegneria naturalistica su corsi d'acqua." in Maione, U., Brath, A.: L'ingegneria naturalistica nella sistemazione dei corsi d'acqua, Atti del corso di aggiornamento 5-9 ottobre 1998, 283-296.
- Freeman G.E., Rahmeyer, W.J., Copeland, R.R. (2000). "Determination of Resistance Due to Shrubs and Woody Vegetation." Coastal and Hydraulics Laboratory ERDC/CHL TR-00-25.
- Ghetti A. (2004). "Idraulica. Seconda edizione." Ed. Libreria Cortina Padova.
- Gray D.H., Leiser A.T. (1989). "Biotechnical slope protection and erosion control." Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, pp. 271.
- Gray D.H. (1978). "Role of woody vegetation in reinforcing soils and stabilizing slope." Proc., Symp. Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques In Engr. Practice, New South Wales Institute of Technology, Sydney, Australia, Oct. 16-19, 1978, pp. 253-306 citato in: Gray e Laiser, 1989.
- Gray D.H. e Sotir R.B. (1996). "Biotechnical and soil bioengineering-Slope Stabilization. A practical guide for erosion control." John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Henderson F.M. (1966). "Open channel flow." MacMillan Co., New York, in Armanini, 1999.
- Higman S.L., Patrick, R.A. (2001). "Stability analysis of timber cribbed road fill on a steep slope." The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, pp.115-127.
- Horton R.E. (1933). "Separate roughness coefficients for channel bottoms and sides.", Eng. News-Rec., 111(22), 652-653, citato in Yen (2002).
- Järvelä J. (2002). "Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants." J. Hydrol., 269 (2002), 44–54.
- Kauch P. (1998). "Le barriere dell'acqua." ACER, n. 3/1998, pp.70-73.
- Keulegan G.H. (1938). "Laws of turbulent flow in open channels, Journal of research." U.S. National Bureau of standard, Research Paper RP1151, 21, 707-741.
- Kouwen N., Fathi-Moghadam M. (2000). "Friction factors for coniferous trees along rivers." J. Hydr. Eng., 126 (10), 732–740.
- Kouwen N., Unny T.E., Hill A.M. (1969). "Flow retardance in vegetated channels." J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 95 (2), 329-342.
- Kouwen N. (1988). "Field estimation of the biomechanical properties of grass." J. Hydraul. Res., 26 (5), 559–568.
- Lachat B. (1994). "Watercourses. Conservation, maintenance and management." Steering Committee for Conservation and Management of the Environment and Natural Habitats Planning and management series, No. 2 Council of Europe Press.

- Land Baden – Württemberg, Landesanstalt für Umweltschutz (2002). “Hydraulik naturnaher Fließgewässer.”, Karlsruhe, Germania.
- Lane E.W., Carlson E.J. (1953). “Some factors affecting the stability of canals constructed in coarse granular material.” In Proceedings of the 5th IAHR Congress, pag.37-48.
- LfU (1996). “Landesanstalt für Umweltschutz. Naturnahe Bauweisen im Wasserbau.” Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- Lotter, G.K. (1933). “Soobrazheniia k Gidravlicheskomu Raschetu Rusel s Razlichnoi Sherokowatostiiu Stenok. (Considerations on hydraulic design of channels with different roughness of walls.)” Izvestiia Vsesoiuznogo Nauchno-Issledovatel’skogo Instituta Gidrotekhniki (Trans. All-Union Sci. Res. Inst. Hydraulic Eng.), Leningrad, Vol. 9, 238-241, citato in Yen (2002).
- Maccaferri (1996) “Manuale MACRA 1 protezioni spondali”, Bologna, 55 pp.
- Petryk S. and Bosmajian G.B. III (1975). “Analysis of flow through vegetation.” J. Hydraul. Div., ASCE 101 (7), 871–884.
- Plate E.J. e Quraishi A.A. (1965). “Modelling velocity distributions inside and above tall crops.” Journal of applied meteorology, 4(3), 400-408.
- Querner (1997). “Flow resistance and hydraulic capacity of water courses with aquatic weed growth. Part 2” J. of Irrigation and Drainage Systems 11: 171–184.
- Righetti M. (2004). “La resistenza idrodinamica delle piante.” Appunti del Corso di aggiornamento: Vegetazione in alveo e ingegneria naturalistica, aspetti applicativi e progettuali, 18-20 febbraio 2004, Trento.
- Rocscience Inc. (2001). “RocPlane. Planar sliding stability analysis for rock slopes.” Theory Manual.
- Schwab G.O., Frevert R.K., Talcott, W.E., Kenenth, K.B. (1981). “Soil and Water Conservation Engineering.” The Ferguson Foundation Agricultural Engineering Series, John Wiley and sons, New York, U.S.A., 3^o edizione, pp. 525.
- Sellin R.H.J. (1964). “A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain.” La Houille Blanche 110, pp. 689–789.
- Spelta E. (2008). “Ruolo della vegetazione di sponda nella difesa dai fenomeni erosivi di massa in due corsi d’acqua semi-naturali della pianura lombarda.” Tesi di Laurea, Rel. G.B. Bischetti, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Milano.
- Steiger von A. (1981). “Haltbarkeit der uferbauten in bezug auf die schleppkräfte des fließenden wasser.” Schweizerische bauzeitung, 72(4), 32-35.
- Strickler A. (1923). “Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme kanäle und geschlossene Leitungen.” Mitt. Des Am. für Wassswirtschaft, Nr.16, in Armanini, 1999.
- Vischer V.D., O’Platka M. (1998). “Der strömungswiderstand eines flexiblen ufer und vorlandbewuchses.” Wasserwirtschaft, 88, 1-5.
- Wang W.L., Yen B.C. (1974). “Soil arching in slopes.” J. Geotech. Engr. Division, ASCE, 100(GT1): 61-78 citato in Gray e Leiser, 1989.
- Wu T.H. (1976). “Investigation of landslides on Prince of Wales Island, Alaska.” Geotechnical Engr. Report No. 5, Dept. of Civil Engr. ASCE, 96 (SM5): 1521-1544 citato in Gray e Leiser, 1989.
- Curtis J.D. (1964). “Roots of Ponderosa pines.” USDA Forest Service Research Paper INT-9, 10 pp. citato in Gray e Leiser, 1989.
- Yen B.C. (2002). “Open Channel Flow Resistance.” J. Hydr. Div., ASCE, 128(1), 20-44.
- Zeh H., Binel P. (1991). “Tutela e gestione degli ambienti fluviali.” WWF n° 8, ed. Nino Martino, Roma, Italia.