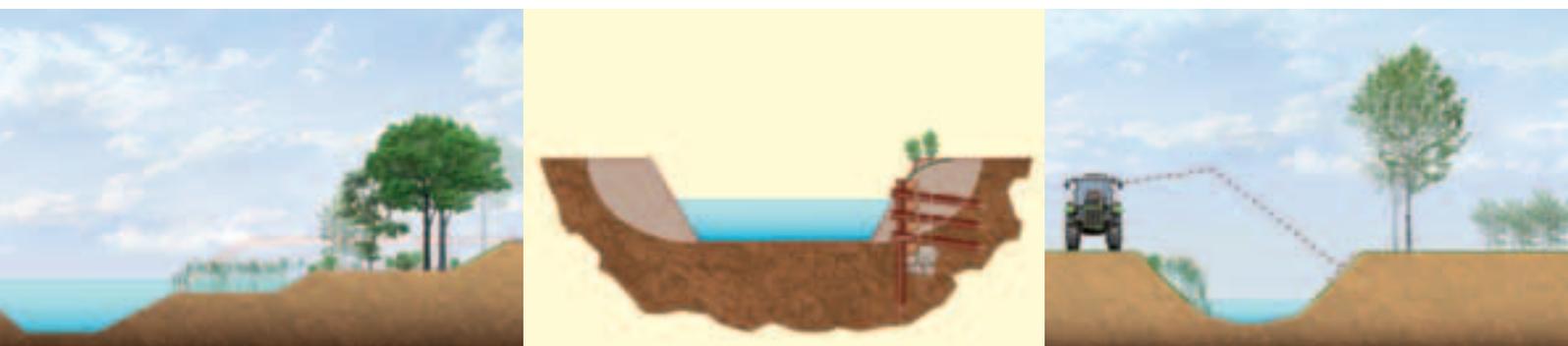




# MANUALE PER LA GESTIONE AMBIENTALE DEI CORSI D'ACQUA A SUPPORTO DEI CONSORZI DI BONIFICA





# MANUALE PER LA GESTIONE AMBIENTALE DEI CORSI D'ACQUA A SUPPORTO DEI CONSORZI DI BONIFICA

**Lavoro eseguito nell'ambito dell'accordo di collaborazione stipulato fra la Regione del Veneto e l'Azienda Regionale Veneto Agricoltura per la individuazione di soluzioni progettuali e gestionali per la riqualificazione ambientale multiobiettivo della rete di bonifica e di irrigazione. (art. 15 della legge n. 241 del 1990 e art. 23 della legge regionale n. 12 del 2009) di cui alla Delibera della Giunta Regionale n. 3759 del 9 dicembre 2009.**

#### **A cura di**

Monaci Marco Consulente ambientale

#### **Coordinamento scientifico da parte di Veneto Agricoltura**

Mezzalira Giustino Direttore Sezione Ricerca e Gestioni Agroforestali

Furlan Lorenzo Dirigente Settore Ricerca Agraria

#### **Supporto tecnico-scientifico**

CIRF (Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale) - [www.cirf.org](http://www.cirf.org)

#### **Autori**

Baldo Giuseppe Studio Aequa engineering s.r.l.

Boz Bruno Consulente ambientale

Busolin Matteo Consorzio di bonifica Acque Risorgive

Cornelio Paolo Consorzio di bonifica Acque Risorgive

Fossi Giordano Elementi - Studio Associato di Progettazione Ambientale

Masi Fabio Iridra s.r.l.

Monaci Marco Consulente ambientale

Raimondi Stefano Consorzio di bonifica Acque Risorgive

Trentini Giuliano Elementi - Studio Associato di Progettazione Ambientale

#### **Si ringrazia per la collaborazione**

Veneto Agricoltura - Settore Bioenergie e Cambiamento Climatico - Unità Complessa Colture Energetiche  
Agostinetto Loris, Barella Luigi, Dalla Venezia Fabiano, Zanin Roberta

Veneto Agricoltura - Settore Attività Forestali - Centro per la Biodiversità Vegetale e il Fuori Foresta  
Fiorentin Roberto, Dalla Valle Cristina, Rizzi Andrea

Andrea Longato, Studio Aequa engineering s.r.l.

#### **Elaborazione grafica degli schemi progettuali**

Ruocco Guadagno Gaetano, Studio Aequa engineering s.r.l.

ad esclusione di quanto riportato nel Capitolo *"Forestazione delle aree riparie e golenali"*,

a cura di Fossi Giordano, Elementi - Studio Associato di Progettazione Ambientale

#### **In copertina**

Foto: Consorzio di bonifica Acque Risorgive

Illustrazioni: Gaetano Ruocco Guadagno

#### **Pubblicazione edita da**

Veneto Agricoltura

Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare

Viale dell'Università, 14 - Agripolis - 35020 Legnaro (Pd)

Tel. 049.8293711 - Fax 049.8293815

e-mail: [info@venetoagricoltura.org](mailto:info@venetoagricoltura.org)

[www.venetoagricoltura.org](http://www.venetoagricoltura.org)

#### **Realizzazione editoriale**

Veneto Agricoltura

Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare

#### **Coordinamento editoriale e realizzazione grafica**

Alessandra Tadiotto, Silvia Ceroni, Federica Mazzuccato

Settore Divulgazione Tecnica, Formazione Professionale ed Educazione Naturalistica

Via Roma, 34 - 35020 Legnaro (Pd)

Tel. 049.8293920 - Fax 049.8293909

e-mail: [divulgazione.formazione@venetoagricoltura.org](mailto:divulgazione.formazione@venetoagricoltura.org)

È consentita la riproduzione di testi, foto, disegni ecc. previa autorizzazione da parte di Veneto Agricoltura, citando gli estremi della pubblicazione.

INDICE

PRESENTAZIONI .....	pag.	5
INTRODUZIONE		
Approccio e scopo della gestione ambientale dei canali.....	»	7
Guida alla lettura .....	»	8
1    GESTIONE DEL RISCHIO IDRAULICO		
1.1  Approccio generale .....	»	13
1.2  Tipologie di intervento.....	»	14
SCHEDA R1 - Ampliamento di tipo naturaliforme dei canali.....	»	14
SCHEDA R2 - Realizzazione di nuovi canali naturaliformi.....	»	23
SCHEDA R3 - Gestione di aree per l'esondazione controllata delle piante nel territorio rurale .....	»	26
1.3  Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	»	27
1.4  Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	»	27
2    CONTROLLO DEL DISSESTO SPONDALE		
2.1  Approccio generale .....	»	31
2.2  Tipologie di intervento.....	»	32
SCHEDA D1 - Risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale.....	»	33
SCHEDA D2 - Inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice .....	»	36
SCHEDA D3 - Copertura diffusa con astoni di salice .....	»	40
SCHEDA D4 - Palizzata rinverdita .....	»	44
SCHEDA D5 - Palificata semplice rinverdita con palo frontale verticale.....	»	47
SCHEDA D6 - Palificata doppia rinverdita .....	»	50
2.3  Criteri di progettazione .....	»	51
2.4  Stima degli effetti ambientali .....	»	57
2.5  Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	»	58
2.6  Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	»	60
3    MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ACQUA		
3.1  Approccio generale .....	»	63
3.2  Tipologie di intervento.....	»	63

	SCHEDA Q1 - Controllo dell'inquinamento diffuso mediante utilizzo di fasce tampone boscate.....	pag. 64
	SCHEDA Q2 - Interventi di riqualificazione morfologica finalizzati all'incremento della capacità autodepurativa dei canali .....	» 70
	SCHEDA Q3 - Creazione di zone umide in alveo.....	» 75
	SCHEDA Q4 - Creazione di zone umide fuori alveo.....	» 80
	SCHEDA Q5 - Creazione di trappole per sedimenti .....	» 83
	SCHEDA Q6 - Gestione conservativa della vegetazione acquatica .....	» 86
3.3	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 87
3.4	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 89
4	<b>FORESTAZIONE DELLE AREE RIPARIE E GOLENALI</b>	
4.1	Approccio generale .....	» 93
4.2	Criteri generali per la progettazione .....	» 93
4.3	Criteri generali per l'esecuzione.....	» 96
4.4	Tipologie di intervento.....	» 97
	SCHEDA F1 - Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi sul ciglio di sponda di canali e capofossi.....	» 97
	SCHEDA F2 - Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi esternamente alla pista di manutenzione.....	» 108
	SCHEDA F3 - Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi nelle aree golenali dei canali.....	» 110
4.5	Effetti ambientali.....	» 115
4.6	Voci di costo.....	» 115
4.7	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 116
4.8	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 117
5	<b>GESTIONE SOSTENIBILE DELLA VEGETAZIONE ACQUATICA E SPONDALE</b>	
5.1	Approccio generale .....	» 121
5.2	Tipologie di intervento.....	» 122
	SCHEDA G1 - Controllo a basso impatto della vegetazione in alveo.....	» 123
	SCHEDA G2 - Ombreggiamento per il controllo della vegetazione acquatica e spondale.....	» 136
5.3	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 138
5.4	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 138
	BIBLIOGRAFIA.....	» 139

## Presentazioni



Sono convinto che la riqualificazione ambientale della rete idraulica gestita dai Consorzi di bonifica sia in grado di produrre benefici sul territorio e sugli insediamenti urbani e produttivi che vi insistono, costituendo elemento fondamentale nell'ampio processo di difesa e tutela del territorio.

Nell'ultimo decennio nel territorio regionale sono state avviate le prime sperimentazioni al fine di individuare le tecniche di ingegneria naturalistica che garantiscono un risultato strutturale e il miglioramento ambientale della rete.

La riqualificazione ambientale dei canali, infatti, deve essere intesa come l'insieme di tutte le fasi che, partendo dalla pianificazione-progettazione, trovano concreta applicazione nella realizzazione di canali e/o progetti, nonché nella loro successiva manutenzione.

Sulla base delle competenze attribuite loro dalla legge regionale 8 maggio 2009, n. 12, i Consorzi di bonifica sono chiamati a perseguire l'equilibrio tra la necessaria attività di manutenzione e le azioni di riqualificazione da intraprendere su corsi d'acqua e canali loro affidati.

Si è sentita, in proposito, l'esigenza di affidare a Veneto Agricoltura l'incarico di individuare le soluzioni progettuali utili alla gestione del rischio idraulico e alla riqualificazione ambientale della rete di bonifica e di irrigazione, quali la realizzazione e l'ampliamento di tipo naturaliforme dei canali e dei bacini a fini multipli.

Condividendo la soddisfazione di tutti coloro che hanno partecipato al lavoro che ha portato alla redazione di questo manuale, sono orgoglioso di presentarlo al mondo professionale, della bonifica e della ricerca scientifica, affinché lo stesso possa costituire un utile riferimento per il miglioramento del territorio veneto e delle genti che in esso vivono e lavorano.

L'ASSESSORE REGIONALE  
ALL'AMBIENTE  
Arch. Maurizio Conte



Nell'ambito del processo, già in atto, di valorizzazione a largo spettro della rete di canali e corsi d'acqua che attraversano la pianura veneta, con la pubblicazione del presente manuale Veneto Agricoltura intende dare adeguato supporto alla Regione per favorire la realizzazione e manutenzione dei più importanti interventi di riqualificazione ambientale dei canali consorziali e dei capifosso affinché, unitamente alla sicurezza idraulica, possano garantire il miglioramento ambientale ed effetti multifunzionali che possano massimizzare i risultati degli investimenti.

Tali obiettivi saranno ulteriormente perseguiti realizzando all'interno delle proprie aziende sperimentali dei moduli esemplificativi delle indicazioni tecniche del manuale, in modo da far conoscere e trasferire adeguatamente le innovazioni secondo l'approccio "azienda aperta - protocolli aperti" che consente di osservare nei dettagli le sperimentazioni e verificare direttamente nel tempo tecniche e risultati.

L'AMMINISTRATORE UNICO  
DI VENETO AGRICOLTURA  
Paolo Pizzolato

# Introduzione

## APPROCCIO E SCOPO DELLA GESTIONE AMBIENTALE DEI CANALI

Le numerose esperienze di gestione ambientale dei canali realizzate in Veneto negli ultimi decenni, così come i progetti di riqualificazione che anche in altre Regioni italiane, e ancor prima all'estero, hanno visto la luce, mostrano chiaramente le potenzialità offerte da una strategia di progettazione multiobiettivo basata su principi ecologici per **affrontare le numerose problematiche tecniche cui devono dare risposta i Consorzi di bonifica veneti**.

Rischio di alluvioni, scarsa qualità dell'acqua, dissesto spondale, costi di manutenzione della rete idrica consortile, ambiente e paesaggio di pianura semplificati e degradati sono, infatti, questioni che trovano nella gestione ambientale dei canali un approccio utile per sfruttare al meglio le risorse economiche a disposizione e generare così vantaggi ad ampio spettro per il territorio.

La **gestione ambientale** dei canali (spesso denominata anche "riqualificazione ambientale"), secondo l'approccio che si è progressivamente consolidato negli anni, è infatti considerata nel presente manuale come un insieme di interventi e strategie che, modificando anche in modo rilevante struttura e modalità di gestione della rete idrica consortile, permette di raggiungere obiettivi idraulici, strutturali, di qualità delle acque e paesaggistici, attraverso il miglioramento dell'ecosistema dei canali e del territorio, integrando in questo modo le usuali pratiche dell'ingegneria civile-idraulica seguite dai Consorzi di bonifica.

Il termine **gestione** è quindi utilizzato nel testo secondo un'**accezione ampia**, a comprendere diverse tipologie di attività che vanno dalla pianificazione-progettazione alla realizzazione degli interventi sino alle operazioni di manutenzione dei canali e dei progetti realizzati.

Con la gestione ambientale dei canali così intesa, le **potenzialità ecologiche e paesaggistiche**

**della rete consortile hanno la possibilità di essere espresse pienamente**, superando la logica delle azioni di tipo esclusivamente naturalistico a valenza locale fino ad oggi subordinate al mantenimento della funzionalità idraulica dei canali. Grazie a progetti quali, ad esempio, l'ampliamento naturalistico di sezione a fini idraulici, la creazione di zone umide in alveo per la depurazione delle acque, la realizzazione di fasce tampone boscate lungo le sponde per intercettare gli inquinanti diffusi e la gestione a basso impatto della vegetazione per preservare l'ecosistema acquatico, si interviene infatti su problemi pressanti per i Consorzi, ottenendo come prodotto apparentemente collaterale, ma in realtà centrale nella definizione della strategia progettuale, la riqualificazione e rivitalizzazione, anche economica, di ampie porzioni di territorio.

Pianificare e progettare interventi di riqualificazione dei canali secondo l'approccio descritto richiede di mettere in campo un **ampio spettro di competenze tecniche**, che spaziano dall'ingegneria idraulica e civile a quella sanitaria, dalla biologia alle scienze ambientali, naturalistiche, agronomiche e forestali fino alla biochimica; sono inoltre necessari accorgimenti specifici legati al particolare funzionamento delle reti idriche consortili, che rendono la definizione e la progettazione multiobiettivo degli interventi di riqualificazione il tipico banco di prova per un approccio realmente integrato tra discipline diverse.

Con il presente **manuale** si intendono fornire le **principali indicazioni tecniche** utili a inquadrare, senza pretesa di esaustività vista la complessità della materia, gli aspetti principali di cui tener conto in fase di progettazione, realizzazione e manutenzione dei più importanti interventi di gestione ambientale dei canali illustrati nelle **"Linee guida di natura ambientale per gli interventi consortili"** recentemente pubblicate dalla Regione Veneto (Allegato G alla Deliberazione della Giunta Regionale n. 3357 del 10 novembre 2009, pubblicata sul Bur n. 100 del 08/12/2009). L'iniziativa vuole in questo modo favorire un processo, già in atto, di valorizzazione a largo

spettro della rete di canali e corsi d'acqua che attraversano la pianura veneta.

Il manuale non deve essere in ogni caso inteso come un catalogo di interventi tipo che vieta azioni diverse da quelle descritte e pone vincoli ai lavori di manutenzione dei canali esistenti, quanto piuttosto come uno strumento che promuove e incentiva modalità progettuali e gestionali dei canali innovative.

Alcune delle indicazioni fornite potranno essere applicate solo nel caso di realizzazione di nuovi interventi, che modificano l'assetto dei canali in funzione delle nuove esigenze idraulico-ambientali e che necessitano ovviamente, per essere messi in campo, di adeguati finanziamenti; in altre situazioni, nel caso di canali esistenti, si potrà invece valutare caso per caso quali indicazioni del manuale recepire in base alle caratteristiche peculiari del sito di progetto.

## GUIDA ALLA LETTURA

Il capitolo "**Gestione del rischio idraulico**" focalizza la sua attenzione sui progetti di riqualificazione ambientale dei canali intesi come strumento utile sia per gestire il rischio di inondazioni del territorio sia per migliorare lo stato dell'ecosistema e del paesaggio e la fruibilità della pianura.

Il capitolo "**Controllo del dissesto spondale**" mostra invece come la gestione ambientale dei canali possa contribuire a risolvere i problemi di stabilità delle sponde valorizzando contemporaneamente il ruolo ecologico e paesaggistico della rete idrica consortile.

Il capitolo "**Miglioramento della qualità delle acque**" descrive le modalità tecniche per l'aumento della capacità autodepurativa dei canali e del territorio, come strumento integrativo dei classici interventi di depurazione dei reflui che permette di generare benefici anche nei confronti della biodiversità, del paesaggio, della stabilità delle sponde e della fruibilità.

Il capitolo "**Forestazione delle aree riparie e golenali**" presenta una panoramica di soluzioni per il posizionamento di siepi arboreo-arbustive lungo la rete dei canali che, secondo una logica multiobiettivo, risultano essere di grande utilità per la loro valenza naturalistica, per il contributo dato alla stabilità delle sponde, al controllo della vegetazione acquatica e dell'inquinamento dif-

fuso e per la possibile remuneratività economica che possono fornire al mondo agricolo.

L'ultimo capitolo "**Gestione sostenibile della vegetazione acquatica e spondale**" illustra infine le strategie di sfalcio a basso impatto dei canali, adatte a ricercare un possibile compromesso tra esigenze di funzionalità idraulica e conservazione o aumento delle potenzialità ecologiche della rete idrica gestita dai Consorzi.

Preme in ogni caso sottolineare che gli interventi associati a una determinata area tematica, che costituisce di fatto anche l'obiettivo principale dell'azione, sono in realtà tipicamente multiobiettivo e permettono quindi di raggiungere non solo lo scopo primario dichiarato ma anche altri fini secondari, seppur a livelli inferiori: ad esempio, l'intervento "*ampliamento di tipo naturaliforme dei canali*", classica azione di riqualificazione dei canali utile alla "*gestione del rischio idraulico*" (che costituisce spesso il suo obiettivo principale), permette di generare anche un notevole "*miglioramento dell'ecosistema*" e un altrettanto utile "*miglioramento della qualità dell'acqua*".

In ognuno dei capitoli indicati più sopra si riportano i seguenti contenuti:

- una descrizione dell'*approccio generale*, che illustra la filosofia alla base degli interventi proposti;
- una serie di *schede* relative alle *tipologie di intervento*;
- un'eventuale illustrazione dei *criteri di progettazione generali* e degli *effetti ambientali degli interventi* validi per tutte le tipologie di azione del capitolo (in aggiunta o sostituzione di quelli specifici riportati in ogni scheda).

Le **schede** relative alle **tipologie di intervento** contengono infine le seguenti informazioni:

- Descrizione
- Schema progettuale
- Criteri di progettazione
- Indicazioni per l'esecuzione
- Effetti ambientali
- Manutenzione
- Voci di costo

Per ognuno dei temi elencati si forniscono gli elementi essenziali per guidare il progettista nella definizione del progetto di riqualificazione, ponendo l'attenzione sugli aspetti principali di cui tener conto in relazione alla particolare tipologia di corsi d'acqua che sono i canali, senza in

ogni caso avere l'ambizione di produrre schede progettuali esaustive da potersi applicare senza un adeguato studio del caso in questione, considerata la complessità delle situazioni e di alcuni degli interventi proposti.

Per decidere se e quali interventi realizzare, occorre valutare attentamente, dal punto di vista tecnico, ambientale, sociale ed economico, i pro e contro del loro utilizzo rispetto alle soluzioni adottate tradizionalmente dai Consorzi di bonifica. Può venire in aiuto per eseguire tale valu-

tazione l'utilizzo dell'**analisi multicriterio (AMC)** di piani e progetti, adatta sia per la realizzazione di studi di fattibilità o progetti a scala di bacino, situazione nella quale diviene uno strumento molto potente e vantaggioso, sia, in via qualitativa/concettuale, nella definizione di progetti spazialmente più limitati, dove si renda necessario scegliere quale tecnica utilizzare per risolvere un problema locale (si rimanda a Nardini, 2005 e Nardini *et al.*, 2006 per una trattazione di dettaglio).



1

# GESTIONE DEL RISCHIO IDRAULICO



## INDICE

1.1	Approccio generale .....	pag. 13
1.2	Tipologie di intervento.....	» 14
	SCHEDA R1 - Ampliamento di tipo naturaliforme dei canali.....	» 14
	SCHEDA R2 - Realizzazione di nuovi canali naturaliformi.....	» 23
	SCHEDA R3 - Gestione di aree per l'esondazione controllata delle piante nel territorio rurale .....	» 26
1.3	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 27
1.4	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 27

### **Autori**

Marco Monaci  
Giuliano Trentini  
Giuseppe Baldo

### **Con la collaborazione di**

Andrea Longato

# 1 Gestione del rischio idraulico

## 1.1 APPROCCIO GENERALE

Garantire gli insediamenti e le popolazioni contro il rischio di alluvioni costituisce uno dei principali obiettivi dei Consorzi di bonifica: a tal fine i canali sono costruiti e gestiti affinché possano allontanare le acque dai territori nel minor tempo possibile, così da evitare esondazioni su centri abitati e aree agricole.

L'enorme sviluppo degli insediamenti degli ultimi decenni ha però reso la gestione del rischio idraulico da parte dei Consorzi sempre più problematica: le portate da smaltire sono, infatti, ulteriormente aumentate come conseguenza dell'urbanizzazione e le reti consortili faticano ora, in molte situazioni, a veicolare verso il mare l'ingente massa d'acqua che si riversa nei canali.

La soluzione di questa problematica richiede ingenti sforzi economici e tecnici per adeguare la rete dei canali alla nuova situazione, ma costituisce anche un'occasione per rivisitare la strategia di gestione del rischio idraulico adottata sino a ora, così da ampliare il campo dei benefici che importanti investimenti atti a evitare le inondazioni possono dare al territorio.

Un numero sempre più elevato di esperienze estere, ma anche italiane e in particolare venete, mostra infatti come sia in molti casi utile **governare le situazioni di rischio idraulico attraverso progetti di gestione ambientale dei canali**, che fanno del miglioramento dell'ecosistema di pianura, della riqualificazione del paesaggio, dell'incentivo alla fruibilità del territorio, ma anche della rivitalizzazione dell'economia delle aree agricole, il perno delle azioni di gestione delle inondazioni.

Secondo tale filosofia progettuale, scopo degli interventi dovrebbe essere quello di **"rallentare le acque"** durante gli eventi di piena mentre attraversano il territorio rurale, così da aumentare la capacità di laminazione da parte di canali e di zone poco urbanizzate, per evitare pericolose esondazioni nelle zone poste a valle e individuate come siti da proteggere (in particolare centri densamente abitati e aree dove le acque posso-

no causare danni ingenti alle persone e all'economia locale).

Tale strategia si traduce concretamente in **diverse azioni possibili**. Tra quelle strutturali, le più interessanti in termini di sinergia tra obiettivi idraulici e ambientali riguardano la realizzazione di ampliamenti di tipo naturaliforme dei canali e la creazione di nuove porzioni di reticolo consortile assimilabili a corsi d'acqua naturali. Ove tale strategia non sia sufficiente, la costruzione di casse d'espansione può essere utile a complemento degli interventi precedenti (o in sostituzione, nel caso di mancanza di fattibilità), purché siano progettate specificatamente per integrare finalità idrauliche e ambientali. Tra le azioni non strutturali riveste invece notevole interesse l'individuazione di aree per l'esondazione controllata delle piene sul terreno rurale, che diviene così elemento da valorizzare e riqualificare, essenziale per proteggere le aree abitate.



## 1.2 TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Le principali tipologie d'intervento di carattere idraulico-naturalistico utili per la gestione ambientale dei canali e del rischio idraulico illustrate nel presente capitolo sono:

- ampliamenti di tipo naturaliforme dei canali;
- realizzazione di nuovi canali naturaliformi;
- gestione di aree per l'esondazione controllata delle piene nel territorio rurale.

Nel paragrafi seguenti si forniscono indicazioni tecniche per la realizzazione degli interventi proposti, indicazioni che permettono di inquadrare, senza la pretesa di essere esaustivi vista la complessità della materia, gli aspetti principali di cui tener conto in fase di pianificazione e progettazione di tali interventi.

Come ricordato in premessa, anche la costruzione di casse d'espansione a fini multipli può essere considerato un utile intervento integrativo (o sostitutivo, in situazioni specifiche) di gestione ambientale dei canali.

Vista però l'ampia letteratura a disposizione sia per il dimensionamento di tale tipologia di interventi sia per la definizione delle modalità di compenetrazione tra esigenze progettuali idrauliche e naturalistiche, e tenuto conto dell'ampia casistica di interventi di questo tipo già realizzati sul territorio regionale e nazionale, nel presente manuale tale tematica non è trattata, rimandando alla bibliografia esistente per i relativi approfondimenti progettuali.



## SCHEDA R1 Ampliamenti di tipo naturaliforme dei canali

### a) Descrizione

L'allargamento naturalistico delle sezioni dei canali e la creazione di alvei sinuosi e diversificati prevede lo sbancamento di una o entrambe le sponde e la creazione di golene allagabili periodicamente, allo scopo di aumentare la sezione disponibile al deflusso delle acque (Figura 1.1, Figura 1.2 e Figura 1.4).

L'intervento è completato con la messa a dimora di alberi e arbusti nella golena e/o lungo le sponde dell'alveo di magra, in funzione delle verifiche idrauliche e della scabrezza consentita; l'ampia sezione consente inoltre, solitamente, il mantenimento, la crescita spontanea e/o l'inserimento di piante palustri in alveo, su cui eventualmente eseguire uno sfalcio periodico tendenzialmente a frequenza minore rispetto alla situazione pre-allargamento (Figura 1.3).

L'alveo così riqualificato e attentamente progettato dal punto di vista naturalistico permette di mantenere o introdurre processi di diversificazione morfologica e aree a diversa velocità di corrente e profondità, che favoriscono la creazione e il mantenimento di habitat, con benefici effetti per le specie animali e vegetali.

Gli allargamenti di sezione di tipo naturaliforme, oltre a permettere un aumento dei volumi disponibili per accogliere e laminare le piene e un complessivo miglioramento dell'ecosistema del canale, apportano benefici alla qualità dell'acqua grazie all'aumento della capacità autodepurativa, riqualificano il paesaggio di pianura e incrementano le possibilità di fruizione del territorio.

L'intervento sommariamente descritto, applicabile in linea teorica nella gran parte delle tipologie di canali presenti in Veneto, può rivestire particolare interesse anche nei bacini a scolo meccanico, dove negli ultimi anni si è assistito a un aumento delle portate da smaltire e a difficoltà crescenti per veicolarla al di fuori delle aree a rischio. A fianco, o in sostituzione, dell'incremento di capacità delle stazioni di sollevamento idrovoro, può infatti risultare conveniente e meno oneroso intervenire sulla rete idrica, aumentandone la capacità di accumulo e laminazione delle piene grazie alla tipologia di interventi ora introdotta.

**b) Schema progettuale**

Figura 1.1 – Allargamento di sezione a due stadi (in alto) e tre stadi (in basso). Nel primo caso la sponda (indicata dalla linea tratteggiata) viene sbancata e arretrata, così da permettere la messa a dimora di specie vegetali nella golena che si viene a creare. Nella seconda figura, lo sbancamento porta alla creazione di due golene poste a livelli differenti e allagabili con tempi di ritorno diversi; nella golena più prossima all'alveo di magra si creano le condizioni per lo sviluppo di vegetazione acquatica, mentre nella golena maggiormente rialzata si può prevedere la messa a dimora di vegetazione arboreo-arbustiva.



*Figura 1.2 – Ampliamento di sezione lungo la Fossa Pagana: l'alveo, originariamente rivestito da muri in calcestruzzo (foto in alto), è stato allargato allo scopo di creare ampie golene allagabili utili a diminuire le esondazioni nel territorio posto a valle (foto centrale), golene che sono state successivamente colonizzate da vegetazione acquatica (foto in basso). (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*



*Figura 1.3 – Ampliamento di sezione lungo il Rio Draganziolo mediante sbancamento di una sponda, così da creare una golena allagabile e adatta alla colonizzazione da parte di vegetazione arboreo-arbustiva e acquatica (foto in basso: l'intervento a fine lavori); le acque defluiscono di norma lungo un canale di magra (a destra nella foto in basso), mentre in caso di piena occupano l'intera sezione del canale e vengono così rallentate nel deflusso verso valle. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*



*Figura 1.4 – Allargamento di sezione del Collettore Favaro e creazione di gole allagabili colonizzate da vegetazione palustre. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*

### c) Criteri di progettazione

Dal **punto di vista naturalistico**, la definizione della morfologia di progetto deve essere stabilita tenendo conto non solo degli aspetti legati alla funzionalità idraulica (si veda più oltre), ma anche delle caratteristiche dell'ecosistema e dei processi evolutivi che si intendono favorire; in particolare, i livelli idrici presenti nei diversi punti della sezione e i relativi tempi di allagamento devono essere decisi in funzione della vegetazione che si intende favorire o mettere a dimora direttamente e degli specifici adattamenti delle specie vegetali alle diverse condizioni idriche (si veda lo schema concettuale di Figura 2.13 nel **CAP. 2**).

In termini generali, l'**alveo di magra** dovrebbe essere costituito da un canale di corrente centrale bordato da macchie di vegetazione acquatica, tipicamente elofite (canneto), così da favorire la colonizzazione delle comunità biologiche (si veda la **SCHEDA G1** al **CAP. 5**).

In generale, quanto più sarà salvaguardata la formazione e la permanenza di fasce di vegetazione riparia e di macchie di canneto, di un alveo di magra sufficientemente profondo per garantire la vita della fauna acquatica ed evitare la dispersione della portata su una superficie troppo ampia (con conseguente riduzione dei tiranti, aumento di temperatura dell'acqua e relativi problemi per la fauna e le specie vegetali presenti) e un alveo di morbida con dimensioni tali da ospitare una comunità biologica ricca ed eterogenea, tanto più nel canale sarà in grado di costituirsi autonomamente e auto-sostenersi un ecosistema diversificato ed ecologicamente funzionale.

Le **nuove golene** dovrebbero a loro volta essere dimensionate per essere inondate frequentemente e possibilmente interessate da processi di rimodellamento morfologico delle sponde interne, poste a confine con l'alveo di magra, e del piano golenale stesso; questo permette lo sviluppo di microhabitat (bassure umide, zone di deposito di sedimenti, aree vegetate, ecc.) e il loro periodico rinnovamento. Per favorire questo riaggiustamento e fornire un primo input per la creazione di microhabitat, il piano golenale non dovrebbe essere regolarizzato, ma anzi contenere zone a differente altezza, così da favorire il ristagno d'acqua e la colonizzazione da parte

delle piante igrofile. In questo modo, prevedendo la creazione di una varietà di profili dell'area golenale, diviene possibile ottenere la contemporanea presenza di habitat umidi, acque ferme e superfici asciutte e delle relative comunità biologiche.

Le golene possono essere lasciate alla spontanea colonizzazione da parte delle specie vegetali oppure essere forestate (e interessate dalla messa a dimora di piante palustri) più o meno parzialmente; gli interventi dovrebbero puntare principalmente ad indurre successive evoluzioni spontanee della vegetazione riparia e golenale, mediante la messa a dimora di nuclei di specie arboreo-arbustive igrofile e idonee a tollerare sia momenti limitati di crisi idrica sia periodiche piene ordinarie (si veda il **CAP. 4** per le informazioni progettuali di tipo forestale). Tali specie potranno essere favorite dalla realizzazione di abbassamenti localizzati del piano golenale, utili per ottenere un maggior contatto radici-falda e la raccolta di acque piovane. Le formazioni messe a dimora hanno una rilevante valenza paesaggistica e una significativa funzione ambientale e conservativa per la fauna e la flora, costituendo infatti importanti nicchie di diversità biologica in grado di ospitare numerose specie vegetali e di fornire habitat per la fauna e per l'avifauna stanziale e migratoria.

Il **dimensionamento e la verifica idraulica** di un intervento di riqualificazione come quelli più sopra introdotti non si differenziano sostanzialmente da quelli di un canale di bonifica convenzionale e possono essere realizzati secondo il seguente schema logico:

- dato il contesto territoriale in cui scorre il canale, è assegnata (tipicamente dai Piani di bonifica) la probabilità massima per la quale è accettabile un'esondazione delle piene nelle aree circostanti, usualmente espressa in termini di "tempo di ritorno";
- attraverso appositi modelli idrologici, o seguendo indicazioni contenute nei Piani di bonifica, si quantifica la portata che può scorrere nel tratto di intervento con il tempo di ritorno assegnato;
- la possibilità per questa portata di scorrere nel canale senza esondare dipende dalla dimensione della sezione, dalla scabrezza delle superfici e dalla pendenza; la definizione dell'assetto progettuale e delle modalità

di gestione dell'alveo incidono su questi tre fattori e occorre pertanto sviluppare apposite verifiche idrauliche per quantificarne l'effetto combinato, tenendo conto di eventuali condizioni al contorno di valle (restringimenti, luci di ponti, paratoie regolate, traverse, ecc.).

Gli interventi di allargamento naturalistico della sezione hanno **effetti differenti sulla capacità di deflusso** di un canale:

- l'incremento della sezione idraulica (conseguente all'ampliamento dell'alveo e alla realizzazione di aree golenali) determina un aumento della capacità di deflusso;
- al contrario, la crescita di vegetazione nel canale (conseguente alla riduzione della frequenza ed intensità degli interventi di manutenzione e/o alla messa a dimora diretta di vegetazione arbustiva e arborea sulle sponde e in alveo) porta ad un aumento di scabrezza e riduce quindi la capacità di deflusso;
- l'incremento della sinuosità dei canali, generalmente rettilinei, comporta una riduzione di pendenza e una conseguente riduzione della capacità di deflusso.

Scopo del dimensionamento dell'intervento di riqualificazione deve quindi essere quello di trovare la giusta composizione tra questi aspetti, in modo che il risultato finale porti ad un canale che diminuisca il rischio di esondazioni nelle aree di interesse e contemporaneamente crei un ecosistema diversificato e che si auto-sostiene, con interventi di manutenzione possibilmente limitati.

Nelle prime fasi di definizione dell'intervento, in sede di **progettazione preliminare**, è possibile condurre le verifiche idrauliche atte a stabilire l'efficacia del canale riqualificato contro il rischio di esondazioni, adottando condizioni di **moto uniforme**<sup>1</sup>: queste verifiche permettono di confrontare a livello di massima la capacità di deflusso di una o più sezioni rappresentative dello stato di fatto con le corrispondenti sezioni rappresentative dello stato di progetto.

In condizioni di moto uniforme, il legame tra

portata fluente e i parametri rappresentativi del canale è il seguente (secondo la formulazione di Gauckler-Strickler):

$$Q = A \cdot v = A \cdot k_s \cdot R_h^{2/3} \cdot i_f^{1/2}$$

dove:

Q = portata fluente

A = area della sezione

v = velocità della corrente

$k_s$  = coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler

$R_h$  = raggio idraulico

$i_f$  = inclinazione del fondo

Nel caso in cui, in fase di progettazione preliminare, non si conoscano ancora la portata di progetto e la pendenza del canale, ma si abbia a disposizione solo un rilievo di massima di alcune sezioni rappresentative, può essere utile realizzare valutazioni idrauliche di massima in termini di *capacità di deflusso* anziché di portata, adottando la seguente formula:

$$K = Q / i_f^{1/2} = A \cdot k_s \cdot R_h^{2/3}$$

Con questa formulazione è possibile condurre una valutazione preliminare confrontando lo stato di fatto con lo stato di progetto e verificando che la capacità di deflusso di quest'ultimo sia superiore (comunque non inferiore, viste le finalità dell'intervento) a quella del primo (si veda l'esempio riportato in Figura 1.5).

Un problema rilevante per le verifiche idrauliche effettuate su canali con presenza di vegetazione nella sezione di deflusso consiste nella stima della *scabrezza idraulica*, ossia del valore del coefficiente  $k_s$  utilizzato nella formula precedente. In letteratura esistono numerosi criteri per stimare la scabrezza associata a diverse tipologie di vegetazione, così come tabelle che ne quantificano il valore in funzione delle caratteristiche vegetazionali e morfologiche di alveo e sponde (come illustrato ad esempio in Bischetti *et al.*, 2008 in relazione al reticolo consortile).

In prima approssimazione è comunque possibile

<sup>1</sup> Moto uniforme: condizione di deflusso delle portate idriche che si instaura idealmente in un canale a sezione, scabrezza e pendenza costanti per lunghi tratti; nonostante l'elevata artificializzazione e uniformità, anche nei canali di bonifica difficilmente si instaurano le condizioni di moto uniforme e quindi l'assunzione di tale condizione di moto è da effettuarsi solo per ottenere informazioni preliminari.

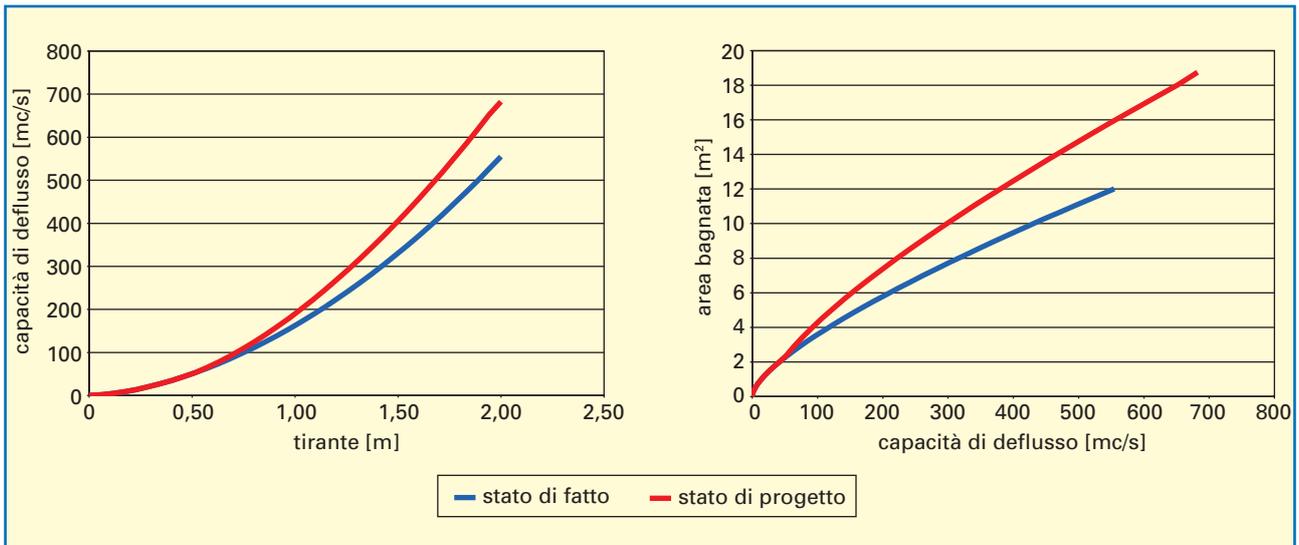


Figura 1.5 – Confronto esemplificativo tra stato di fatto e di progetto in termini di capacità di deflusso  $K$  dell'intervento di riquadratura rappresentato in Figura 1.1. Immagine a sinistra: ad un livello preliminare il confronto permette di apprezzare come l'incremento di scabrezza dovuto all'inserimento di vegetazione sia ampiamente compensato dall'allargamento di sezione, quindi l'intervento non peggiora il livello di pericolosità. Immagine a destra: a parità di portata, nello stato di progetto la sezione bagnata è maggiore di quella presente nello stato di fatto, da cui deriva un incremento della capacità di invaso e di laminazione delle piene.

prendere a riferimento le due situazioni seguenti, riferite al medesimo canale:

- **realizzazione di intensi interventi di manutenzione:** grazie al taglio della vegetazione sulle sponde e all'eradicazione delle elofite<sup>2</sup> sul fondo, il coefficiente di scabrezza  $k_s$  di Gaukler-Strickler può essere assunto pari a  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- **presenza di vegetazione elofita in alveo:** il coefficiente di scabrezza  $k_s$  scende a  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Sono ovviamente possibili scelte del coefficiente di scabrezza più raffinate e la letteratura, come ricordato, mette a disposizione molte informazioni in tal senso, dove si propone anche l'utilizzo di formulazioni apparentemente molto precise e aderenti alla fisica del problema, ma che rischiano di risentire in modo determinante della grande incertezza o variabilità (come usualmente accade) nella misura o nella stima dei parametri che queste formulazioni prendono a riferimento.

Aspetti di cui tener conto in ogni caso sono la flessibilità delle piante acquatiche, che porta a una diminuzione del coefficiente di scabrezza

all'aumentare della portata, e la differente copertura vegetale delle diverse porzioni di sponda, a cui devono essere assegnati valori di scabrezza differenti (si vedano ad esempio gli utili approfondimenti riportati in Bischetti *et al.*, 2008 e Provincia di Terni, 2003); non prendere atto di questi fattori può infatti portare a considerare in modo eccessivamente sfavorevole la presenza di vegetazione in alveo ai fini del mantenimento della funzionalità idraulica.

Una volta eseguite le prime valutazioni preliminari, il dimensionamento e la verifica dell'intervento devono passare alla fase di **progettazione definitiva o esecutiva**; in questo caso diventa quasi sempre d'obbligo procedere ad una verifica idraulica dell'intervento progettato in **condizioni di moto permanente**, un moto che si sviluppa con una portata costante nel tempo ed in cui le condizioni del canale non sono uniformi nello spazio. La presenza di variazioni di larghezza delle sezioni idrauliche, di tratti a diversa pendenza, di restringimenti localizzati connessi ad attraversamenti sottodimensionati, ecc., imprimono infatti ai livelli idrometrici un andamento che può discostarsi molto dai tiranti di moto uni-

<sup>2</sup> Le *elofite* raggruppano quelle specie vegetali tipiche del canneto che sono radicate nel sedimento saturo d'acqua, ma hanno solo una piccola porzione del loro apparato vegetativo, la porzione basale, sommersa (ad esempio: cannuccia di palude, carice, tifa, ecc.). Normalmente la quasi totalità del fusto, delle foglie e degli apparati riproduttivi sono emergenti.

forme, sia in eccesso che in difetto, in funzione delle condizioni idrauliche.

In condizioni di piena la portata in realtà non è costante nel tempo, ma condurre le verifiche utilizzando tale assunzione per la portata al colmo permette di ottenere risultati conservativi ("a favore di sicurezza") e, nella maggior parte dei casi, a una stima dei massimi livelli idrici nel canale poco dissimili da quanto si osserva nella realtà.

Se l'intervento, come quelli qui presentati, si pone l'obiettivo di incrementare la capacità di laminazione del reticolo di bonifica ed è necessario quantificare tale aumento, diventa allora obbligatorio ricorrere a verifiche in **condizioni di moto vario**, che simulano nel tempo l'evoluzione dell'onda di piena (la portata non è più considerata costante come nel moto permanente) e come questa si trasferisce a valle nel canale (le cui variazioni dimensionali lungo il tracciato sono attentamente considerate).

L'allargamento della sezione e la creazione dei meandri in generale può comportare lo scostamento del comportamento idrodinamico da quello delle correnti monodimensionali e può quindi essere necessario fare affidamento su modelli di calcolo bi-dimensionali o tri-dimensionali per poter valutare anche i trasferimenti di massa lungo la sezione trasversale del fiume dovuti a componenti di velocità perpendicolari al flusso principale.

Sia le verifiche in moto permanente che quelle in moto vario possono essere sviluppate attraverso appositi modelli numerici, alcuni dei quali di uso molto comune perché scaricabili gratuitamente da internet e di semplice uso grazie all'interfaccia grafica (il più comune è il modello HEC-RAS sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers, scaricabile dal sito <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>).

Preme in ogni caso rilevare che, a discapito dell'apparente semplicità di utilizzo, l'implementazione, con questi programmi, di modelli idraulici realmente rappresentativi del problema che si intende studiare può risultare molto difficile, se non impossibile, nel caso non si conoscano le basi teoriche dell'idraulica dei canali a pelo libero e le caratteristiche tecniche dei sistemi di calcolo che essi utilizzano; senza queste basi, il rischio di ottenere risultati non aderenti alla realtà diventa estremamente elevato.

#### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

Tecnicamente la realizzazione di interventi di ampliamento naturaliforme dei canali non pone particolari problemi, consistendo principalmente in lavori di scavo, eventuali interventi d'ingegneria naturalistica per stabilizzare le sponde e di messa a dimora finale della vegetazione.

Le problematiche maggiori sono connesse al rispetto della normativa ambientale, data la necessità di trovare opportuna collocazione per le grandi quantità di terre scavate nel rispetto di tutta la normativa conseguente la gestione delle "Terre e rocce di scavo" (si veda al punto *g*) "*Voci di costo*"), che assume particolare carattere restrittivo nei Siti di Interesse nazionale (ad es. Porto Marghera).

#### **e) Effetti ambientali**

L'intervento permette lo sviluppo, il mantenimento o l'incremento delle dinamiche evolutive geomorfologiche ed ecologiche del canale, con conseguente creazione di habitat; si ottiene inoltre il miglioramento della capacità autodepurativa del canale, dello stato della vegetazione spondale, golenale e acquatica, nonché un miglioramento dello stato delle comunità faunistiche (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.), come già ampiamente descritto al punto *c*) "*Criteri di progettazione*".

#### **f) Manutenzione**

Una volta che la vegetazione avrà colonizzato l'area e si saranno instaurate dinamiche evolutive geomorfologiche ed ecologiche, la manutenzione del canale e delle aree golenali, deve essere ridotta al minimo, al fine di preservare gli habitat creatisi; rimane comunque valida la necessità di garantire la funzionalità idraulica del canale in funzione dei livelli di scabrezza stabiliti in fase progettuale, da attuarsi mediante eventuali tagli selettivi della vegetazione.

#### **g) Voci di costo**

Il ventaglio di possibilità applicative di questa tipologia di interventi è talmente ampio che risulta difficile indicare costi di realizzazione indicativi, essendo questi influenzati dall'ampiezza e profondità degli allargamenti, dalla necessità o meno di demolire opere idrauliche preesistenti, dall'intensità di rivegetazione delle aree golenali, dalla necessità di adottare interventi complementari quali il rifacimento degli attraversamen-

ti o la realizzazione di opere di stabilizzazione spondale.

In condizioni tipiche, tralasciando tutti gli interventi complementari, le lavorazioni necessarie per la realizzazione di **ampliamenti di tipo naturaliforme dei canali** sono normalmente previste dai vari prezziari ufficiali.

In generale, si possono prevedere le seguenti fasi lavorative:

- scavi a sezione larga obbligata per la realizzazione dell'allargamento vero e proprio e successivo trasporto a nuova destinazione delle terre risultanti;
- scotico del piano campagna e successiva distribuzione sulle superfici di progetto del terreno organico risultante, a eccezione del caso di approfondimenti limitati rispetto al piano campagna per i quali queste operazioni possono essere evitate;
- eventuali opere di ingegneria naturalistica per stabilizzare le porzioni di sponda su cui le sollecitazioni di carattere idrodinamico e geotecnico eccedono la capacità di resistenza della sponda allo stato naturale;
- fornitura e messa a dimora delle specie vegetali. Per la componente arborea e arbustiva sono possibili diverse opzioni in relazione alla dimensione del materiale da mettere a dimora; in generale, è da preferire l'uso di semenzali di uno o due anni di età che hanno un costo minore, forniscono maggiori garanzie di attecchimento e possono essere posizionati più ravvicinati tra loro, favorendo così il successivo sviluppo di formazioni dalla struttura più naturaliforme grazie alla competizione e selezione che si instaura tra individui tra loro molto prossimi; in ambito urbano o laddove vi sia necessità di ricreare in tempi brevi una maggiore qualità paesaggistica, si può optare per la messa a dimora di individui di maggiori dimensioni (pronto effetto), che però sono più costosi rispetto ai semenzali e richiedono maggiori interventi di manutenzione post impianto per assicurarne l'attecchimento.

I lavori di scavo possono incidere fino a circa il 45-50% sul totale, l'allontanamento delle terre fino al sito finale di destinazione fino a circa il 35-40% (trasporto fino a 10 km di distanza), mentre l'equipaggiamento a verde con piantine forestali per il 10-15%. Non sono qui contemplati i costi di conferimento in discarica perché ambiental-

mente ed economicamente poco sostenibile e al quale si dovrebbe ricorrere solo nel caso di effettiva necessità.

In merito a quest'ultimo tema, usualmente gli interventi di riqualificazione sono di iniziativa pubblica e le aree su cui sono realizzati vengono preventivamente acquisite al Demanio; conseguentemente, anche le terre scavate sono di proprietà del Demanio e non possono essere cedute gratuitamente ma solo dietro la corresponsione di un canone. Di base, queste terre dovrebbero essere messe all'incanto e gli introiti conseguenti versati direttamente alla Regione, senza poter essere considerati come risorsa economica disponibile per la realizzazione del progetto.

La Regione Veneto ha però adottato un insieme di normative grazie alle quali le terre risultanti da questo tipo di interventi possono essere lasciate in proprietà direttamente all'impresa esecutrice dietro la corresponsione del solo canone base, che viene periodicamente quantificato da apposita Delibera di Giunta Regionale in funzione della tipologia di terreno (ovvero del suo valore commerciale). La norma stabilisce altresì che la risorsa economica derivante dalla vendita delle terre effettuata secondo queste modalità possa essere integrata nel quadro economico del progetto. Tipicamente, la soluzione adottata per utilizzare questa risorsa economica può essere allora quella di compensare con il canone dovuto il costo di allontanamento delle terre fino al sito di destinazione, annullando di fatto l'incidenza di questa voce nel computo metrico.

## **SCHEDA R2** **Realizzazione di nuovi canali naturaliformi**

### **a) Descrizione**

Le situazioni in cui è necessario costruire *ex novo* un canale, ad esempio per esigenze di natura idraulica o depurativa, costituiscono un'importante occasione per applicare quanto suggerito nel presente manuale e realizzare così un intervento multiobiettivo di creazione di nuovi canali naturaliformi, che si discosti dalla logica progettuale classica dei canali (sezione uniforme, tracciato rettilineo, ecc.) (Figura 1.6 e Figura 1.7).

L'intervento prevede di ricostruire le forme e i processi tipici di un corso d'acqua naturale, ricreando un tracciato ed una sezione morfologi-

camente diversificati dotati di un alveo di magra e di golene allagabili, in cui possano realizzarsi, anche solo parzialmente, i processi evolutivi morfologici quali erosione, deposito, ecc.; la sezione di progetto viene inoltre definita prevedendo, dal punto di vista della funzionalità idraulica, la pre-

senza di vegetazione acquatica in alveo e igrofila sulle sponde e nelle golene, da gestirsi con modalità a basso impatto quali quelle presentate nel [CAP. 4](#) e nel [CAP. 5](#).

Per ogni ulteriore dettaglio si veda la [SCHEDA R1](#).

### **b) Schema progettuale**



Figura 1.6 – Sezione e andamento planimetrico tipici di un canale di tipo naturalistico scavato ex-novo. Il profilo trasversale dell'alveo a più stadi (in alto) degrada dolcemente passando dal piano campagna all'alveo di magra, ospita vegetazione acquatica ed arboreo-arbustiva e può essere soggetto a evoluzione morfologica nel corso del tempo; l'andamento planimetrico (in basso) è sinuoso e l'alveo è morfologicamente diversificato grazie alla presenza di buche, raschi, depositi di sedimenti, ecc.



*Figura 1.7 – Creazione ex-novo di un canale naturaliforme su terreno agricolo. In alto, l'area rurale prima dell'intervento (settembre 2003); al centro, scavo del canale sinuoso appena terminato (ottobre 2003); in basso, il canale naturaliforme colonizzato da vegetazione acquatica (agosto 2004). (Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*

**c) Criteri di progettazione**

Il dimensionamento e la verifica idraulica per la realizzazione di un nuovo canale naturaliforme pongono le medesime problematiche già affrontate nella [SCHEDA R1](#).

**d) Indicazioni per l'esecuzione**

Si rimanda alla [SCHEDA R1](#).

**e) Effetti ambientali**

Si rimanda alla [SCHEDA R1](#).

**f) Manutenzione**

Si rimanda alla [SCHEDA R1](#).

**g) Voci di costo**

Si rimanda alla [SCHEDA R1](#).

**SCHEDA R3**  
**Gestione di aree**  
**per l'esondazione controllata**  
**delle piene nel territorio rurale**

L'azione di tipo non strutturale qui presentata consiste nell'individuazione e nella gestione di aree rurali poste a monte di centri abitati, sulle quali permettere l'esondazione controllata delle acque di piena dei canali, così da evitare l'inondazione delle aree densamente abitate poste a valle; non si tratta perciò di un intervento diretto sul canale, quanto piuttosto della ricerca di accordi con i proprietari dei terreni agricoli attraversati dal corso d'acqua, su cui periodicamente far esondare le piene. Con questa soluzione tecnica, dovrebbe però essere possibile diradare le operazioni di manutenzione della vegetazione lungo il canale interessato grazie alla dimi-

nuzione delle esigenze di funzionalità idraulica, migliorando così lo stato dell'ecosistema.

In questo caso l'area agricola fornisce alla collettività un servizio non convenzionale quale la gestione del rischio idraulico, che deve essere ricompensato economicamente individuando appropriati meccanismi amministrativo-giuridico-economici. In proposito si richiama la recente approvazione da parte della Giunta regionale, con deliberazione 22 settembre 2009, n. 2751, dei criteri di determinazione dell'indennizzo per la costituzione di servizi di allagamento nelle zone agricole.

Una possibile soluzione affinché le aree agricole destinate ad accogliere le acque del canale in caso di piena possano rimanere produttive e remunerative per i proprietari, al di là degli indennizzi ora accennati, può consistere nella messa a dimora di coltivazioni in grado di non risentire della temporanea sommersione; tra queste, i boschi planiziali vocati alla produzione di biomassa a servizio di una filiera legno-energia potrebbero costituire una soluzione ottimale per coniugare, oltre ai benefici idraulici e produttivi, anche quelli ambientali e paesaggistici.

L'applicazione di una strategia di azione come quella delineata richiede il contributo coordinato dei Consorzi e degli altri Enti che gestiscono il territorio (Regione, Provincia, Comuni, ecc.) e il coordinamento di strumenti legislativi e finanziari di competenza dei diversi Enti.

La buona riuscita di una tale azione dipende pertanto da questioni per lo più amministrative, normative e giuridiche e in misura minore tecniche; non si approfondiscono perciò ulteriormente nel presente manuale le modalità per l'applicazione dell'approccio proposto, rimandando a specifici accordi tra Enti l'individuazione delle modalità operative specifiche.

### 1.3 PROMEMORIA SINTETICO PER LA REALIZZAZIONE E LA MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI

Il presente paragrafo sintetizza le indicazioni che occorre seguire in fase di realizzazione e manutenzione degli interventi proposti nel capitolo in oggetto, affinché si possano valorizzare al massimo le funzioni ambientali dei canali, in particolare con riferimento a<sup>3</sup>:

- ampliamenti di tipo naturaliforme dei canali;
- realizzazione di nuovi canali naturali formi.

#### Realizzazione

- **Prendere a modello i corsi d'acqua naturali**
  - creare un alveo sinuoso e non rettilineo, con sponde e fondo dalle forme irregolari;
  - permettere lo sviluppo di vegetazione in alveo (specie palustri) e sulle sponde (alberi e arbusti);
  - realizzare golene allagabili non regolarizzate e contenenti zone a differente altezza e aree vegetate con alberi e arbusti.

#### Manutenzione

- **Eeguire una gestione della vegetazione a bassa intensità**
  - sfalciare le piante palustri in alveo a frequenza minore rispetto alla situazione pre-allargamento;
  - creare un canale di corrente centrale nell'alveo di magra, bordato da macchie di vegetazione acquatica (canneto);
  - ridurre al minimo la manutenzione delle golene, al fine di preservare gli habitat creatisi.
- **Consentire lo sviluppo dei processi di diversificazione morfologica dell'alveo tipici di un corso d'acqua naturale**
  - lasciar esprimere la mobilità morfologica potenziale dell'alveo di magra;
  - non regolarizzare alveo, sponde e golene con le operazioni di manutenzione.

### 1.4 INDICAZIONI DI MASSIMA PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI

Il presente paragrafo schematizza gli aspetti tecnici, ambientali e socio-economici che occorre monitorare per valutare la riuscita degli interventi di riqualificazione ambientale dei canali proposti nel presente capitolo.

- **Aspetti tecnici**
  - Livelli idrometrici e portata in alveo e nelle golene, in magra e durante eventi di piena
  - Eventuali aree inondate al di fuori del canale durante eventi di piena
  - Qualità chimico-fisica delle acque
- **Aspetti ambientali (alveo e golene)**
  - Evoluzione topografica del canale e sviluppo/mantenimento/incremento di dinamiche evolutive morfologiche
  - Evoluzione degli habitat presenti nel canale
  - Evoluzione della vegetazione presente nel canale
  - Fauna (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.)
- **Aspetti socio-economici**
  - Costi per la manutenzione del canale (sponda e alveo) e confronto con la situazione *ante operam* (sfalci, ripresa frane, ecc.)
  - Rapporto con i frontisti
  - Grado di apprezzamento da parte della cittadinanza

<sup>3</sup> Sintesi di quanto descritto compiutamente nel presente Capitolo.



# 2 CONTROLLO DEL DISSESTO SPONDALE



## INDICE

2.1	Approccio generale .....	pag. 31
2.2	Tipologie di intervento.....	» 32
	SCHEDA D1 - Risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale.....	» 33
	SCHEDA D2 - Inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice .....	» 36
	SCHEDA D3 - Copertura diffusa con astoni di salice .....	» 40
	SCHEDA D4 - Palizzata rinverdita .....	» 44
	SCHEDA D5 - Palificata semplice rinverdita con palo frontale verticale.....	» 47
	SCHEDA D6 - Palificata doppia rinverdita .....	» 50
2.3	Criteri di progettazione .....	» 51
2.4	Stima degli effetti ambientali .....	» 57
2.5	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 58
2.6	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 60

### Autori

Marco Monaci

Giordano Fossi

Giuliano Trentini

## 2 Controllo del dissesto spondale

### 2.1 APPROCCIO GENERALE<sup>4</sup>

Le sponde dei canali sono spesso soggette a **fenomeni di dissesto** e negli anni tendono a perdere la loro conformazione originale e ad arretrare a discapito dei terreni retrostanti.

Nella maggior parte dei casi il dissesto ha origini perlopiù geotecniche e in misura minore idrodinamiche: in conseguenza delle basse pendenze, infatti, le acque non scorrono con velocità tali da generare fenomeni erosivi significativi, se non in situazioni territoriali e idrauliche specifiche o lungo particolari tratti di canali (come ad esempio l'estradosso delle curve). In molti casi, quindi, il problema principale da affrontare è la necessità di consolidamento e stabilizzazione della sponda per mancanza di coesione, per sifonamenti, per eccesso di carico, ecc., piuttosto che la difesa contro l'erosione dovuta alla corrente.

Non sono però infrequenti i casi in cui la mancanza di una fascia vegetata a protezione della sponda dall'azione della corrente e l'assenza di vegetazione come elemento che fornisce stabilità alla sponda stessa, possono essere concause della situazione di dissesto; i mezzi meccanici utilizzati per svolgere gli interventi di manutenzione periodica del canale sono inoltre spesso fonte di danneggiamento diretto del piede di sponda e i cicli di riempimento e svuotamento del canale, in particolare per quelli ad uso irriguo o promiscuo, esercitano un'azione destabilizzante sull'assetto del canale. Parimenti, analoghi danni si manifestano nella rete di scolo, rapidamente e ripetutamente svuotata dalle idrovore in occasione di eventi piovosi intensi.

La scelta della tecnica da utilizzarsi per il controllo del dissesto spondale e le finalità da perseguire, consolidamento e/o protezione dall'erosione, devono quindi essere attentamente valutate in funzione delle caratteristiche specifiche del sito. Per risolvere o mitigare il problema del dissesto spondale sono possibili due strategie alternative. Una prima strategia, più radicale, prevede di non realizzare alcun intervento strutturale sul canale,

ma piuttosto di definire una striscia di terreno, denominata **fascia di mobilità**, ove consentire una certa evoluzione planimetrica dell'alveo e la conseguente erosione delle sponde. Con tale approccio il canale è lasciato libero di sviluppare la propria dinamica morfologica, seppur molto limitata in virtù dell'origine generalmente artificiale del canale (scavato storicamente *ex novo*), dei vincoli imposti dall'uso a fini agricoli del territorio circostante e delle necessità di gestione di un alveo in genere regolato da opere idrauliche (paratoie, idrovore, ecc.) nel suo regime delle portate. In questo caso le dinamiche spondali possono portare il canale verso un nuovo assetto morfologico e condizioni d'equilibrio dinamico differenti dalla situazione di stabilità imposta dall'assetto di progetto originale.

L'approccio proposto può essere applicato dopo un'attenta analisi costi-benefici, comparando innanzitutto i costi di esproprio della fascia di terreno necessaria alla mobilità del canale con quelli legati alla realizzazione di una difesa spondale per il contenimento dell'erosione, tenendo conto anche dei minori oneri di manutenzione previsti in un consistente lasso di tempo.

La seconda strategia, più convenzionale ma comunque innovativa se applicata ai canali, prevede la definizione di un assetto progettuale in cui l'alveo è statico e la **stabilità delle sponde è affidata all'insediamento su di esse di vegetazione arbustiva e arborea**: interventi quali la realizzazione di siepi e fasce tampone boscate (si vedano il [CAP. 3](#) e il [CAP. 4](#)) e l'ampliamento naturaliforme dei canali (si veda il [CAP. 1](#)) riducono infatti drasticamente i problemi di dissesto delle sponde grazie all'insediamento su di esse, o in loro stretta prossimità, di fasce vegetate.

In talune situazioni più sfavorevoli l'entità delle sollecitazioni di carattere geotecnico o idrodinamico può però essere tale da ostacolare il buon esito degli interventi di riforestazione delle sponde; in tutti questi casi è allora consigliabile utilizzare le tecniche dell'**ingegneria naturalistica "viva"** come utile strumento di supporto per

<sup>4</sup> Principali fonti consultate: Provincia di Terni, 2003 (Capitolo 11); Bischetti G.B. *et al.*, 2008; Monaci M. & Schipani I., 2010.

raggiungere i risultati voluti. Queste tecniche si basano sull'uso prevalente di materiali vegetali vivi (alberi, arbusti, piante erbacee) come elemento strutturale, utilizzato in associazione a materiale morto (vegetale o artificiale): scogliere, terre rinforzate, pietrame, ecc., seppur generalmente elencate anch'esse tra le tecniche dell'ingegneria naturalistica, non permettono invece un significativo miglioramento ambientale del canale e non sempre favoriscono o sono compatibili con lo sviluppo di una copertura arborea e arbustiva ben radicata.

Grazie all'utilizzo dell'ingegneria naturalistica "viva" è possibile ottenere una certa diversificazione ambientale del canale, limitata rispetto a un intervento di riqualificazione morfologica (si veda la [SCHEDA R1](#) al [CAP. 1](#)), ma comunque importante rispetto alla situazione di partenza del corso d'acqua, generalmente mantenuto privo di vegetazione e morfologicamente uniforme: la diversificazione ambientale è, infatti, il presupposto fondamentale per una ricca presenza di specie animali e vegetali, con rami e ceppaie affioranti o sommerse, vegetazione acquatica e riparia che creano le condizioni ottimali per l'alimentazione, il rifugio e la riproduzione delle diverse specie di fauna.

Sebbene il ricorso all'ingegneria naturalistica permetta un incremento della qualità ecologica del canale, non si può non evidenziare come essa, se utilizzata in modo estensivo ed esclusivo, possa comunque imprimere al canale forti elementi di monotonia sia a livello morfologico (canali prismatici a sezioni regolare e compatta) che ecologico (vegetazione spondale monospecifica e poco strutturata), fatto di cui tener conto nelle fasi di pianificazione e progettazione degli interventi per ottenere risultati ambientali soddisfacenti.

## 2.2 TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Le principali tipologie d'azione utili per ottenere il controllo del dissesto spondale e il contemporaneo miglioramento ambientale del canale, descritte nel presente capitolo, sono:

- risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale;

Inoltre, nell'ambito degli interventi di ingegneria naturalistica "viva" (posti in ordine crescente in termini di strutturazione della sponda e impegno tecnico-economico):

- inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice;
- copertura diffusa con astoni di salice;
- palizzata rinverdita;
- palificata semplice rinverdita con palo frontale verticale;
- palificata doppia rinverdita.

Questo elenco non ha la pretesa di essere esaustivo, ma solo di fornire un'esemplificazione dell'approccio multiobiettivo proposto in questa sede in relazione al tema del dissesto spondale; altre tecniche possono infatti essere utilizzate per il consolidamento e il miglioramento ambientale della sponda, purché progettate secondo la filosofia generale esposta in premessa.

Nei paragrafi seguenti si forniscono indicazioni tecniche per la realizzazione degli interventi proposti e informazioni che permettano di inquadrare, senza la pretesa di essere esaustivi vista la complessità della materia, gli aspetti principali di cui tener conto in fase di pianificazione e progettazione di tali azioni; per ulteriori approfondimenti tecnici si rimanda ai manuali di ingegneria naturalistica citati in bibliografia.

## SCHEDA D1

### Risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale<sup>5</sup>

#### a) Descrizione

I canali di bonifica, seppur in gran parte di origine antropica, sono soggetti alle stesse leggi evolutive dei corsi d'acqua e potenzialmente potrebbero evolvere verso un assetto d'equilibrio, morfologico ed ecologico, simile a quello di un corpo idrico naturale; le continue operazioni di taglio della vegetazione, espurgo dei sedimenti, risezionamento e ripresa dei dissesti spondali impediscono che tale evoluzione possa avvenire.

In caso di dissesto spondale può allora essere utile e interessante effettuare un'analisi costi-benefici per valutare se sia più economico, in alcune situazioni, lasciare le sponde alla libera evoluzione, così che il canale possa modificarsi entro confini comunque prefissati e trovare una sua conformazione di equilibrio che richieda minori oneri di manutenzione ordinaria e straordinaria; si tratta cioè di applicare e adattare ai canali il concetto di **fascia di mobilità** morfologica utilizzato per i corsi d'acqua naturali. L'analisi suddetta dovrebbe considerare, oltre agli aspetti economici, anche i vantaggi che una situazione come quella descritta potrebbe comportare,

come l'aumento di biodiversità, l'incremento del potere autodepurante, il miglioramento della qualità del territorio e delle possibilità di fruirla (Nardini, 2005).

Si veda in Figura 2.1 un esempio di possibile evoluzione da una situazione di canale artificiale a una di canale naturaliforme.

Il miglioramento ambientale potenzialmente ottenibile lasciando al canale una maggior libertà plano-altimetrica può essere accelerato tramite la **risagomatura di profilo e pendenza delle sponde**, rendendole meno acclivi e più adatte alla colonizzazione delle specie vegetali; in questo modo è possibile ottenere da una parte il controllo del dissesto spondale e dall'altra la creazione di nuovi habitat in alveo (Figura 2.2 e Figura 2.3).

Siti d'elezione per tale tipologia di interventi risultano essere le **aree la cui naturalità è tutelata a livello normativo** (SIC, ZPS, Parchi, Riserve, ecc.) o **siti privi di strumenti di tutela ma per i quali il miglioramento ambientale-paesaggistico è una necessità impellente per la valorizzazione del territorio e la sua tutela naturalistica**: in queste situazioni può quindi essere giustificabile il costo di acquisizione di una fascia di terreno limitrofa al canale al di là dei risultati dell'analisi costi-benefici.

<sup>5</sup> Principali fonti consultate: Monaci M. & Schipani I., 2010.

**b) Schema progettuale**



*Figura 2.1 – Elaborazione grafica. In alto: canale rettilineo, privo di vegetazione e mantenuto morfologicamente stabile. Le linee gialle indicano una possibile fascia di terreno, sui due lati del canale, entro cui lasciar esprimere la sua mobilità morfologica potenziale. In basso: lo stesso canale dopo che i processi evolutivi geomorfologici ed ecologici sono stati assecondati o favoriti per un certo numero di anni; la morfologia è divenuta più varia e simile a quella di un piccolo corso d'acqua naturale, si sono formati numerosi microhabitat e la vegetazione acquatica e riparia hanno colonizzato l'alveo e le sponde. (Elaborazione: Marco Monaci).*

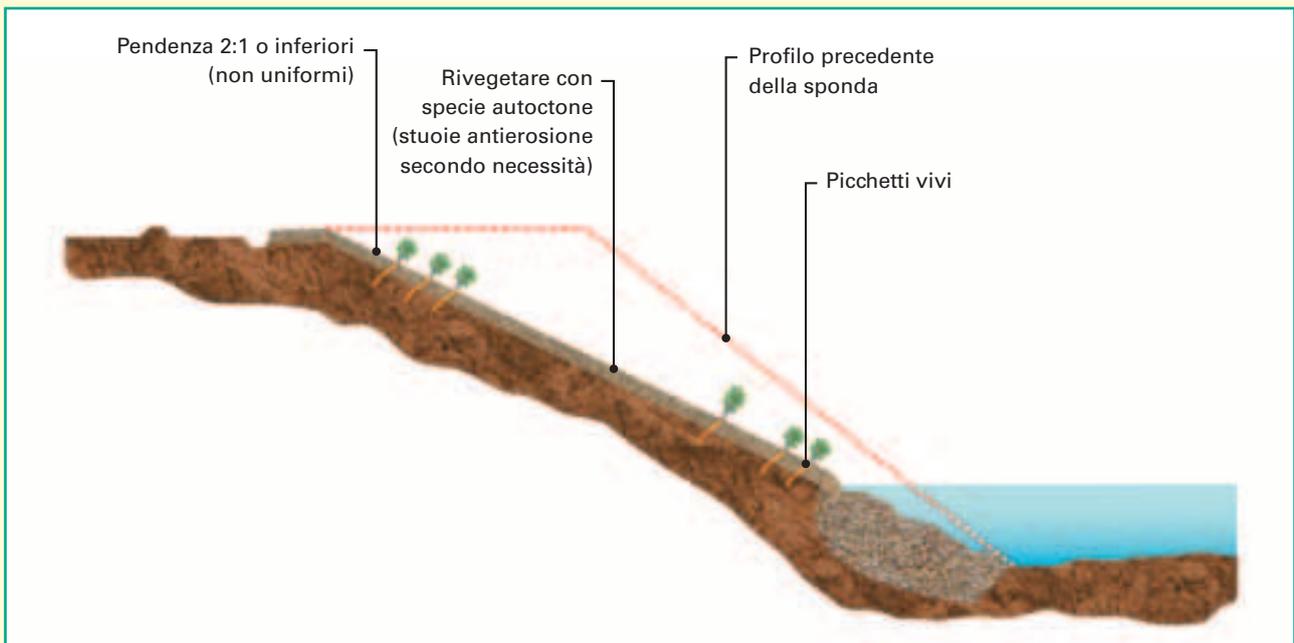


Figura 2.2 – Risagomatura e rivegetazione delle sponde.



Figura 2.3 – Riduzione della pendenza delle sponde; la linea gialla tratteggiata indica il profilo precedente della scarpata sponda, mentre quella gialla continua il profilo a fine lavori. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

### c) Criteri di progettazione

Occorre porre particolare attenzione alla valutazione della compatibilità del futuro assetto naturale con gli obiettivi di controllo del rischio idraulico. Generalmente, infatti, la nuova conformazione dell'alveo, da determinare attraverso apposito studio geomorfologico, potrebbe essere caratterizzata da scabrezze medio-elvate, un certo grado di sinuosità, minor pendenza, ecc., fattori che possono ridurre la capacità di deflusso del canale; d'altra parte però la creazione di aree golenali allagabili più o meno estese e la stessa diminuzione delle velocità di deflusso possono contribuire a ridurre il picco di portata nelle aree poste più a valle.

Si rimanda alla **SCHEDA R1** al **CAP. 1** per una disamina dei criteri generali di dimensionamento e verifica degli interventi.

### d) Indicazioni per l'esecuzione

Le risagomature spondali stabilizzano una sponda in erosione riducendone la pendenza, senza cambiare la posizione del suo piede; si tratta di un metodo di norma combinato ad altre tecniche, quali rivegetazione, protezione al piede, stuoie antierosione.

Le risagomature sono idonee su sponde ripide, qualunque sia il meccanismo di instabilità, e sono applicate frequentemente sul lato esterno di una curva, dove vi è il rischio di frana di crollo, producendo un ampliamento della sezione. Possibili varianti consistono nell'incorporazione di tronchi con ceppaia al piede spondale o la realizzazione di una banchina interna.

Nello scavo della sponda occorre usare l'accortezza di recuperare e conservare la vegetazione presente, da reimpiantare al termine dei lavori; anche lo strato di suolo fertile deve essere conservato a parte e riutilizzato al termine dei lavori, distribuendolo su tutta la superficie o in determinate aree per favorire specifici impianti vegetali.

### e) Effetti ambientali

Si veda il Par. 2.4.

### f) Manutenzione

La manutenzione del canale, una volta che la vegetazione avrà colonizzato l'area e si saranno in-

staurate dinamiche evolutive geomorfologiche ed ecologiche, deve essere ridotta al minimo, al fine di preservare gli habitat creatisi; rimane comunque valida la necessità di garantire la funzionalità idraulica del canale in funzione dei livelli di scabrezza stabilita in fase progettuale (si veda al punto c) "Criteri di progettazione" descritti nella **SCHEDA R1** al **CAP. 1**).

### g) Voci di costo

Si rimanda alla **SCHEDA R1** nel **CAP. 1**.

## SCHEDA D2

### Inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice<sup>6</sup>

#### a) Descrizione

L'**inerbimento** delle sponde prevede la semina di un miscuglio di sementi di specie selezionate, spesso a completamento di altri tipi di opere di stabilizzazione; esso fornisce una protezione delle superfici da fenomeni di erosione superficiale grazie alla formazione di uno strato radiale continuo e molto fitto e, dal punto di vista ecologico, può fornire diversità strutturale per la fauna selvatica, detrito organico per gli invertebrati acquatici e, con erbe alte, rifugi per pesci dai predatori (schermatura visiva).

Gli **inerbimenti** sono ottimali lungo i canali quando utilizzati **sulla sommità delle sponde o come contributo addizionale in combinazione con altre tecniche**, mentre sono inefficaci se impiegati come unica tecnica contro erosioni severe e per affrontare erosioni al piede.

Allo scopo di proteggere i semi sparsi per l'inerbimento e fornire protezione immediata della superficie, è consigliabile l'utilizzo di un **tessuto in materiale biodegradabile** opportunamente fissato al terreno per mezzo di picchetti di legno o, ancor meglio dal punto di vista naturalistico, tramite picchetto vivo di salice (talea), a cui associare la semina di specie erbacee da realizzarsi prima e dopo la stesura del telo (Figura 2.4 e Figura 2.5). Il materiale biodegradabile è costituito da georete in fibra naturale, juta o cocco in varie grammature a seconda delle esigenze specifiche dell'ap-

<sup>6</sup> Principali fonti consultate: Sacchi L., 2003; Provincia di Terni, 2003; Consorzio di bonifica dell'Emilia centrale, 2005.

plicazione, composta da fibre biodegradabili coesionate meccanicamente senza l'impiego di collanti o cuciture e/o filamenti in plastica.

L'opera esaurisce la sua funzione con il successo dell'inerbimento, ma non necessita di operazioni per la sua rimozione essendo completamente biodegradabile dopo un certo periodo, più lungo per il cocco e più breve per la juta.

La **talea di salice**, porzione di ramo dotata di una notevole capacità di ricaccio, crescendo forma un nuovo arbusto o pianta e, una volta radicata, permette il **consolidamento del suolo in pro-**

**fondità** grazie alla formazione di una copertura arboreo-arbustiva lungo la sponda.

L'**inerbimento protetto e le talee** dovrebbero essere utilizzati **preferibilmente lungo i canali di scolo, evitandone l'uso in quelli irrigui o promiscui** i quali, a causa degli alti livelli idrici mantenuti per lunghi periodi di tempo, possono inficiare l'attecchimento e lo sviluppo delle specie erbacee e arboreo-arbustive, **a meno che talee e specie erbacee non siano posizionate al di sopra del livello di massimo invaso, eventualmente a completamento di altre opere sottostanti.**

### b) Schema progettuale

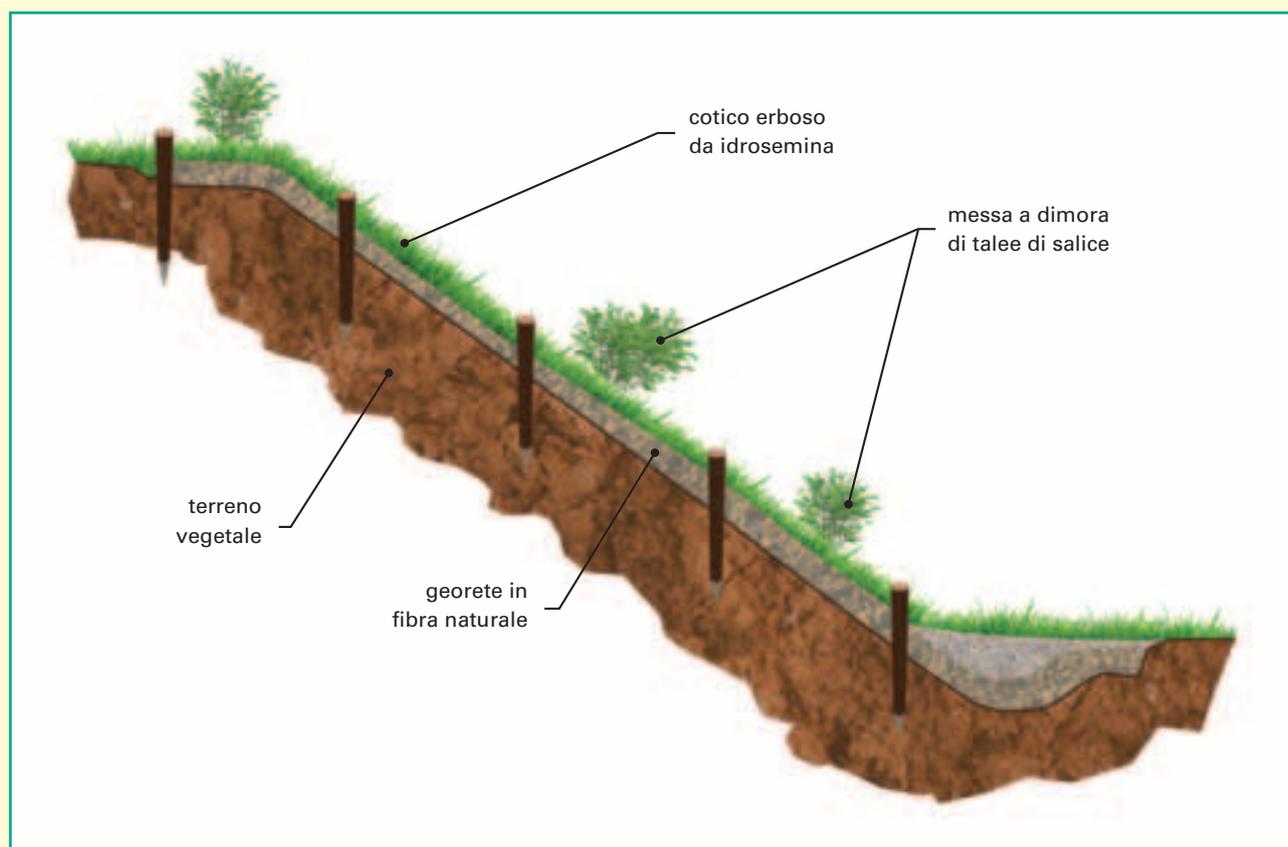


Figura 2.4 – Schema costruttivo per la realizzazione di un inerimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice.



Figura 2.5 – In alto: georete biodegradabile fissata con talee di salice (Canale di Migliarina - Provincia di Modena). In basso: fascia riparia sviluppatasi a distanza di 5 anni dall'intervento. (Fonte: Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale, 2005) (Foto: Marco Monaci).

**c) Criteri di progettazione**

Allo scopo di limitare l'ingombro della sezione e possibili interferenze con la funzionalità idraulica, l'inerbimento protetto fissato con talee di salice può essere inserito tra la sezione di progetto originale del canale e quella dello stato di fatto, qualora questa sia arretrata nel corso degli anni a causa di problemi di dissesto; nelle altre situazioni è necessario valutare attentamente gli effetti idraulici dell'intervento.

Si rimanda al Par. 2.3 per una disamina dei criteri generali di localizzazione, dimensionamento e verifica degli interventi.

**d) Indicazioni per l'esecuzione**

La semina del miscuglio di sementi di specie autoctone deve essere realizzata su superficie precedentemente preparata o risultante da lavori di riprofilatura e regolarizzazione, necessari anche per stendere la georete biodegradabile.

La composizione della seminazione deve essere determinata in base al contesto ambientale, ovvero alle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento.

Le variabili da considerare nella scelta del supporto antierosivo sono molte e di diversa natura (climatica, pedologica, morfologica, economica), nonché legate alle sollecitazioni meccaniche delle forze esterne; non esistono però ancora studi approfonditi che possano fornire regole per la scelta da adottare e occorre perciò basarsi molto sull'esperienza.

La semina dovrebbe essere effettuata preferibilmente durante il periodo di ripresa della vegetazione; sono da evitare i periodi di gelo invernale e aridità estiva.

Le talee devono essere infisse nel terreno perpendicolarmente o leggermente inclinate, mediante mazza in legno, previa eventuale formazione di un foro o taglio a punta della talea stessa; l'infissione deve avvenire secondo il verso di crescita delle piante (parte più grossa verso il terreno) e dopo l'infissione o la messa in posto occorre praticare un taglio netto con cesoie da potatura.

Le talee devono sporgere dal terreno per circa 1/4 della lunghezza e in genere non più di 10-15 cm e devono essere messe a dimora con una densità di impianto che varia a seconda della necessità di consolidamento (2÷10 talee/m<sup>2</sup>). Il periodo ideale per la messa a dimora delle talee è quello del riposo vegetativo, per garantire la ripresa ottimale e la crescita dell'arbusto/pianta.

**e) Effetti ambientali**

Si veda il Par. 2.4.

**f) Manutenzione**

Dal punto di vista dell'inerbimento, è necessario eseguire una verifica dell'attecchimento, prevedendo eventualmente una risemina delle superfici dove le sementi non hanno attecchito; lo sfalcio della superficie inerbita è tendenzialmente da evitarsi per scongiurare danni alla georete e alle talee e, in ogni caso, la manutenzione deve essere ridotta al minimo.

La manutenzione delle talee, vista la particolare collocazione, deve considerare anche aspetti idraulici e di stabilità delle sponde, oltre che quelli normalmente considerati nella gestione di un filare arboreo-arbustivo. Conseguentemente, la gestione ordinaria della vegetazione deve prevedere in un primo momento il controllo della percentuale di attecchimento delle piante e, in seguito, un taglio selettivo da eseguirsi ogni 6-7 anni, procedendo preferibilmente per tratti discontinui non eccessivamente lunghi o, dove possibile, in turni alterni sulle sponde, in modo da lasciare sempre una sponda o un tratto di essa vegetata. In particolare, in base alle caratteristiche del canale sulle cui sponde è insediata la vegetazione, potranno essere previsti anche turni piuttosto brevi per il taglio, avendo cura, come gestione manutentiva straordinaria, di tagliare solo quegli esemplari che, per un qualche motivo, dovessero divenire instabili e a rischio di caduta.

**g) Voci di costo**

La definizione del costo degli inerbimenti protetti può essere scissa in due componenti: l'inerbimento (generalmente eseguito a spaglio) e la fornitura e la messa in opera del geotessuto. Le voci di prezzo di queste componenti sono generalmente ricavabili singolarmente dai prezziari ufficiali.

Nel caso sia necessario eseguire un'analisi dei prezzi in relazione ad applicazioni specifiche non contemplate dai prezziari regionali, dovranno essere considerate le seguenti voci:

- manodopera, comprendente la quantificazione del tempo necessario per la realizzazione e le ore impiegate per il reperimento delle talee per il fissaggio del geotessuto;
- noli (escavatore per la riprofilatura della sponda, se questa non è computata a parte, e

autocarro per il trasporto del materiale), che anche in questo caso dovranno comprendere le ore di utilizzo per il reperimento del materiale vivo;

- materiali, quali sementi, geotessuti, picchetti vivi o morti.

Nella realizzazione dell'opera la manodopera può incidere generalmente dal 25 al 35% a seconda del materiale previsto.

A titolo di esempio si riporta uno schema delle voci da utilizzare per eseguire un'analisi prezzi, comunque da adattarsi alle specifiche esigenze.

- Manodopera
  - Operaio qualificato
  - Operaio comune
- Noli
  - Motosega completa di catena dentata, con motore a scoppio
  - Escavatore cingolato con attrezzatura frontale o rovescia

Autocarro mezzo d'opera

- Materiali
  - Palaria di castagno, scortecciato, diametro minimo 10 cm
  - Geotessili in cocco o juta

### SCHEDA D3 Copertura diffusa con astoni di salice<sup>7</sup>

#### a) Descrizione

L'opera consiste nella realizzazione di un rivestimento di sponda, precedentemente rimodellata, mediante la messa a dimora di astoni di salice (rami giovani di salice della lunghezza minima di 3 m) con capacità di propagazione vegetativa (Figura 2.6 e Figura 2.7).

Con tale intervento si protegge la superficie del terreno dall'azione delle forze meccaniche (pioggia, erosione fluviale, ecc.) e sono inoltre migliorati il bilancio idrico e termico e favoriti lo sviluppo della vita vegetale nel terreno e nello strato aereo vicino al suolo.

Gli astoni coprono la superficie della sponda proteggendola, fin da subito, dall'erosione esercitata dal movimento dell'acqua; gli stessi astoni e i picchetti vivi di salice, una volta radicati, esercitano poi l'effetto di consolidamento della sponda.

L'azione in profondità esercitata dall'apparato radicale fa sì che sin dalla prima stagione vegetativa si abbia un considerevole consolidamento del terreno e la grande proliferazione del materiale vegetale crea una densa fascia elastica durevole nel tempo.

Si tratta quindi di una **protezione particolarmente efficace della superficie delle scarpate spondali minacciate dall'acqua corrente e dal moto ondoso.**

**La copertura diffusa dovrebbe essere utilizzata preferibilmente lungo i canali di scolo, evitando l'uso in quelli irrigui o promiscui che, a causa degli alti livelli idrici mantenuti per lunghi periodi di tempo, possono inficiare l'attecchimento e lo sviluppo dei picchetti vivi di salice.**

<sup>7</sup> Principali fonti consultate: Provincia di Terni, 2003; Monaci M. & Schipani I, 2010.

**b) Schema progettuale**

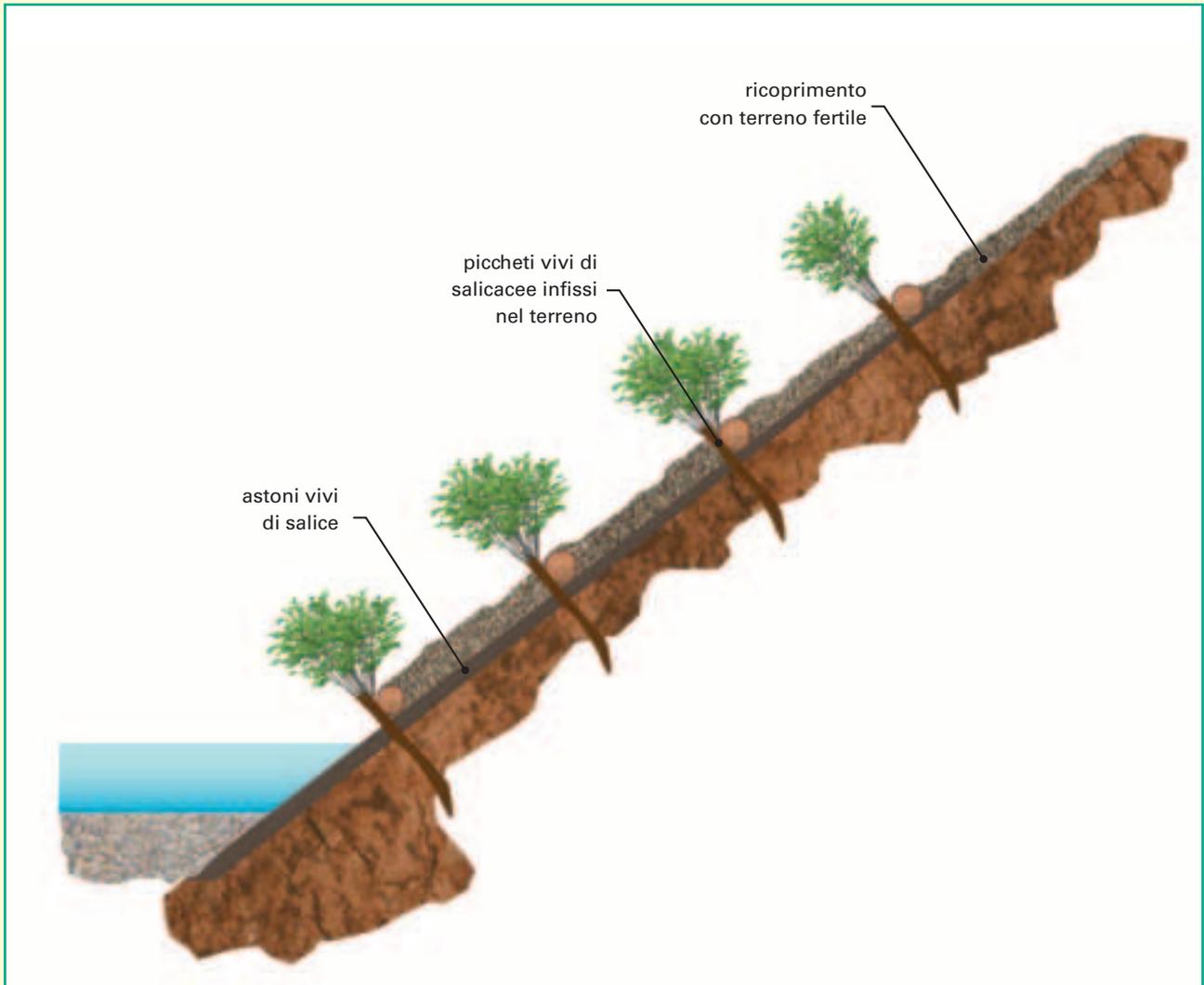


Figura 2.6 – Schema costruttivo di una copertura diffusa con astoni di salice.



*Figura 2.7 – In alto: la sponda destra del canale è soggetta a problemi di dissesto. Al centro: posa degli astoni di salice sulla sponda destra. In basso: la sponda, protetta mediante copertura diffusa con astoni di salice, si presenta vegetata a 5 anni dalla fine dei lavori. La vegetazione ha attecchito solo nella parte sommitale della copertura, mentre lunghi periodi di riempimento del canale a scopi irrigui (come quello mostrato in figura), inizialmente non programmati né prevedibili dal Consorzio ai tempi della predisposizione del progetto, non hanno permesso alla vegetazione di attecchire nella parte più prossima all'acqua (Canale di Migliarina - Provincia di Modena). (Consorzio di bonifica dell'Emilia centrale, 2005). (Foto: Marco Monaci).*

**c) Criteri di progettazione**

Si rimanda al Par. 2.3 per una disamina dei criteri generali di localizzazione, dimensionamento e verifica degli interventi.

**d) Indicazioni per l'esecuzione**

Gli astoni di specie vegetali con capacità di propagazione vegetativa devono essere collocati con disposizione perpendicolare alla direzione del flusso d'acqua e fissati al substrato mediante filo di ferro teso tra picchetti e paletti vivi. La base degli astoni è conficcata nel terreno e qualora siano presenti più file, queste devono sormontarsi parzialmente. Gli astoni devono infine essere coperti con un sottile strato di terreno vegetale.

**e) Effetti ambientali**

Si veda il Par. 2.4.

**f) Manutenzione**

La manutenzione dei rivestimenti con astoni si limita alla potatura o al diradamento selettivo per mantenere l'elasticità delle piante ed è finalizzata anche all'ottenimento di nuovo materiale di propagazione (gli stessi astoni), da utilizzare per la realizzazione di altre opere.

La manutenzione deve essere eseguita tra novembre e marzo mediante taglio degli astoni al di sopra del livello del suolo; si può eseguire un taglio dell'intero soprassuolo ogni 3-4 anni oppure a strisce annuali (larghe alcuni metri) per ottenere una stratificazione; dove la crescita dei salici non impedisca il deflusso, la fascia vegetata può essere trattata a ceduo con tagli ogni 7-10 anni.

Sono inoltre auspicabili operazioni di manutenzione mediante diradamento della fascia eseguito a partire dal basso, dilazionato nel tempo e distribuito nello spazio, con lo scopo di favorire altre specie vegetali (ontano, frassino, ecc.).

**g) Voci di costo**

La definizione del costo di una copertura diffusa necessita sempre la realizzazione di un'analisi prezzi, che vede nella manodopera la componente principale (superiore al 50% del totale). Infatti, la quasi totalità del materiale impiegato deve essere reperita in loco (o nelle vicinanze) e gli apporti esterni di materiale si limitano al filo di ferro per il serraggio degli astoni ai picchetti e ai picchetti stessi, nel caso non si utilizzino le talee.

L'analisi prezzi dovrà considerare:

- manodopera, comprendente la quantificazione del tempo necessario per la realizzazione e di quello impiegato per il reperimento delle talee e degli astoni;
- noli di escavatore, autocarro per il trasporto del materiale e motosega che, anche in questo caso, dovranno comprendere le ore di utilizzo per il reperimento del materiale vivo;
- materiali, generalmente limitati al filo di ferro per il serraggio dell'opera ed eventualmente ai picchetti.

A titolo di esempio si riporta uno schema delle voci da comprendere, comunque da adattare alle specifiche esigenze.

- Manodopera
    - Operaio qualificato
    - Operaio comune
  - Noli
    - Motosega completa di catena dentata, con motore a scoppio
    - Escavatore cingolato con attrezzatura frontale o rovescia
- Autocarro mezzo d'opera
- Materiali
    - Materiali ferrosi per carpenteria.

## SCHEMA D4 - Palizzata rinverdit<sup>8</sup>

### a) Descrizione

Le palizzate rinverdite (orizzontali) sono difese spondali realizzate con paleria morta di castagno sbucciato (oppure viva in paleria di salice), posta in orizzontale e fissata con filo di ferro a picchetti verticali in castagno (o salice) profondamente infissi nel suolo con un interasse variabile da 1 a 2 m (Figura 2.8 e Figura 2.9).

Nell'applicazione qui proposta le palizzate **consolidano superficialmente microfrane e piccoli cedimenti, salvaguardano il piede di sponda e**

**proteggono dall'erosione la sponda stessa**; la paleria viva e l'eventuale messa a dimora di talee o piantine radicate consentono di ottenere, oltre all'effetto strutturale, anche la contemporanea formazione di una fascia riparia, seppur inizialmente semplificata.

Come la palificata, anche la palizzata rinverdit può essere utilizzata non solo **lungo canali di scolo** ma anche **lungo la rete irrigua e promiscua**, avendo l'accortezza di posizionare le talee e le specie vegetali eventualmente messe a dimora in modo che non subiscano una sommersione prolungata degli apparati radicali ed epigei.

### b) Schema progettuale

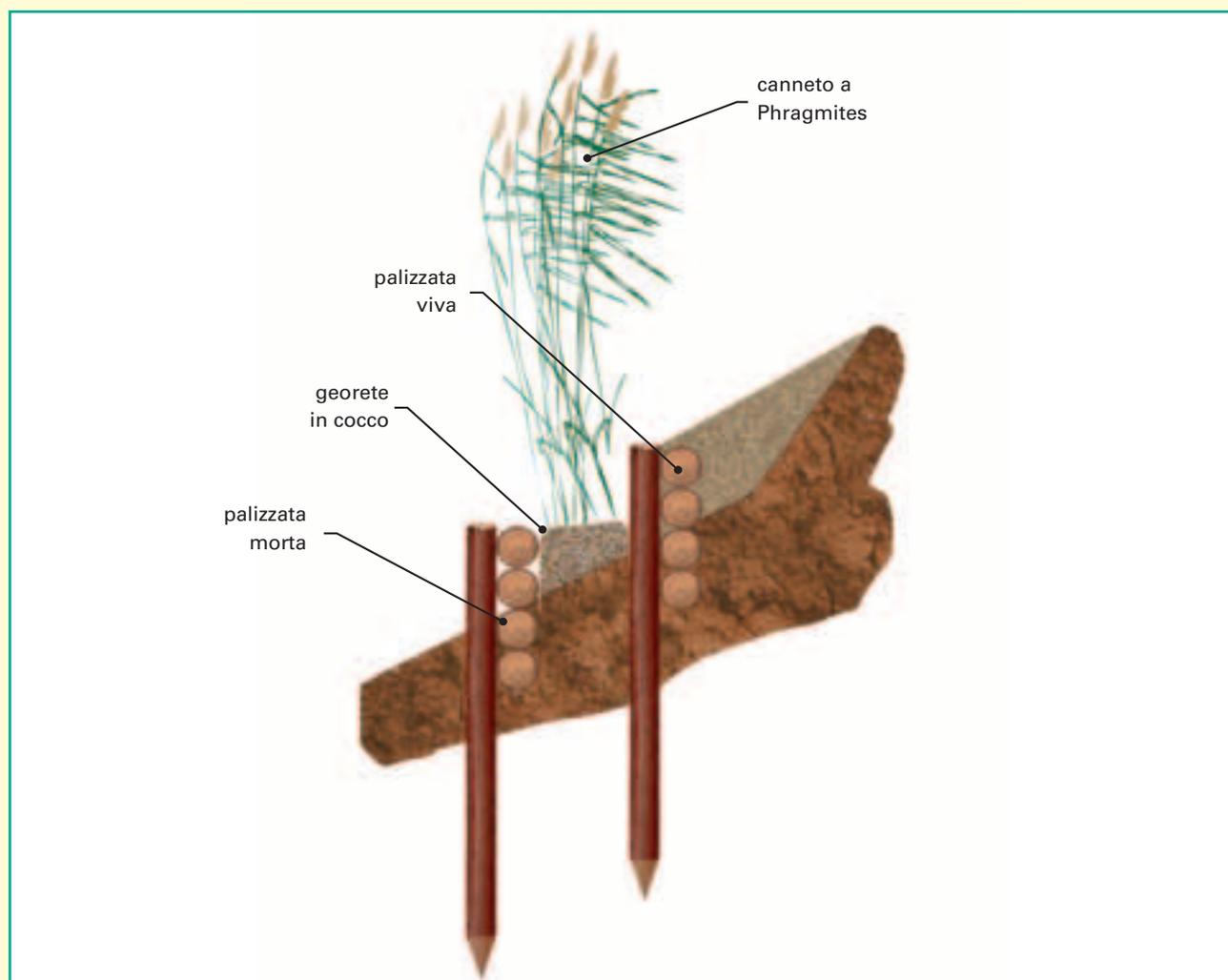


Figura 2.8 – Schema costruttivo di una palizzata orizzontale rinverdit: in figura sono in realtà presenti due palizzate, una realizzata con picchetto vivo di salice (a destra in figura) e una con picchetto morto di castagno (a sinistra in figura); tra le due file di palizzate è prevista la messa a dimora di un canneto a Phragmites australis.

<sup>8</sup> Principali fonti consultate: Monaci M. & Schipani I., 2010; Regione Lazio, 2002 (Quaderno di cantiere "Palizzata viva" n.14); Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale, 2005; Consorzio di bonifica pianura di Ferrara, 2008.



*Figura 2.9 – In alto: palizzata a fine lavori, viva nella parte sommitale (picchetti di salice) e morta al piede di sponda (picchetti morti di castagno). In basso: l'intervento dopo 5 anni (Canale di Budrione – Provincia di Modena), ove si nota la fascia riparia a salici sviluppatasi in seguito alla realizzazione della palizzata viva. (Fonte: Consorzio di bonifica dell'Emilia centrale, 2005) (Foto: Marco Monaci).*

### **c) Criteri di progettazione**

Si rimanda al Par. 2.3 per una disamina dei criteri generali di localizzazione, dimensionamento e verifica degli interventi.

### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

La palizzata si esegue mediante infissione verticale di pali (generalmente castagno), di lunghezza che può arrivare ai 2 m e di diametro 8÷12 cm, lasciandoli sporgere dalla superficie topografica per un'altezza pari a quella dell'opera finita (infissione nel terreno pari ad almeno 1/3 della lunghezza del palo); il dimensionamento dei pali nonché la profondità e la distanza di infissione sono condizionati dalle caratteristiche litologiche e morfologiche del substrato e devono essere valutati caso per caso.

Segue poi la posa di pali (generalmente di castagno) in file orizzontali, di cui almeno una a costituire la fondazione dell'opera, sovrapposte a monte dei pali verticali, a contatto e fissati ad essi, e il successivo riempimento con materiale inerte di riporto e contemporanea posa di materiale vegetale vivo (talee), derivato da specie autoctone atte alla riproduzione vegetativa.

Il periodo ideale per la realizzazione dell'opera è quello del riposo vegetativo delle piante.

### **e) Effetti ambientali**

Si veda il Par. 2.5.

### **f) Manutenzione**

Si veda la **SCHEDA D5**.

### **g) Voci di costo**

Le palizzate sono opere il cui costo normalmente è ricavabile dai prezziari ufficiali reperibili nelle diverse Regioni.

Nel caso sia necessario eseguire un'analisi dei prezzi in relazione ad applicazioni specifiche non

contemplate dai prezziari regionali, dovranno essere considerate le seguenti voci:

- manodopera, comprendente la quantificazione del tempo necessario per la realizzazione e di quello impiegato per il reperimento delle talee e del materiale strutturale vivo (nel caso l'opera venga realizzata interamente con paleria di salice);
- noli di escavatore, autocarro per il trasporto del materiale e motosega che, anche in questo caso, dovranno comprendere le ore di utilizzo per il reperimento del materiale vivo;
- materiali, quali geotessuti, graffe o tondini, oltre al materiale vegetale (es. piantine radicate) nel caso sia acquistato altrimenti, il costo è già compreso nelle due precedenti componenti di costo.

Nella realizzazione dell'opera la manodopera può avere un'incidenza generalmente superiore al 35%, nel caso sia interamente realizzata in materiale vivo.

A titolo di esempio si riporta uno schema delle voci da utilizzare per eseguire un'analisi prezzi, comunque da adattarsi alle specifiche esigenze.

- Manodopera
  - Operaio qualificato
  - Operaio comune
- Noli
  - Motosega completa di catena dentata, con motore a scoppio
  - Escavatore cingolato con attrezzatura frontale o rovescia
  - Autocarro mezzo d'opera
  - Gruppo elettrogeno diesel
- Materiali
  - Materiali ferrosi per carpenteria
  - Paleria di castagno, scortecciato, diametro minimo 12 cm
  - Geotessili in cocco o juta
  - Piantine radicate di specie autoctone.

## SCHEDA D5

### Palificata semplice rinverditata con palo frontale verticale<sup>9</sup>

#### a) Descrizione

La palificata semplice è costituita da un'incastellatura di tronchi in legname tondo composta da pali appuntiti e inseriti nel pendio stesso e da una sola fila di pali posti orizzontalmente sul lato esterno dell'opera, fissati tra loro a formare camere frontali nelle quali vengono inserite fascine e astoni di salicacee. Frontalmente è presente un palo verticale sul quale sono chiodati i tronchi correnti e quelli trasversi (Figura 2.10).

Lo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione messa a dimora (astoni) crea in pochi anni un'armatura nel terreno con effetto stabilizzante: la funzione della parte strutturale è infatti da considerarsi transitoria ed è progressivamente sostituita dall'azione consolidante delle piante.

La durata dell'opera così realizzata dipende dal tipo di legname utilizzato e può essere di 20÷40 anni se il legname è di larice o maggiore se di castagno.

Se la crescita degli astoni di salice all'interno della sezione del canale non è compatibile con la funzionalità idraulica di progetto, la struttura può essere realizzata evitando il posizionamento sub-orizzontale degli astoni (perdendone l'ef-

fetto di trazione consolidante) ed effettuandone l'inserimento in verticale, nella parte sommitale della struttura; in questo modo la sezione del canale rimane libera da ostacoli ma si sviluppa in ogni caso una fascia riparia che, grazie alle radici, concorre alla stabilizzazione della sponda (Figura 2.10 e Figura 2.11).

Nell'applicazione qui proposta, la palificata fornisce **protezione al piede e alla sponda stessa e ne garantisce il consolidamento**; grazie alla messa a dimora di astoni, essa consente inoltre di ottenere, oltre all'effetto strutturale, anche la contemporanea **formazione di una fascia riparia**, seppur inizialmente semplificata.

Essa determina comunque una certa artificializzazione della sponda ed è raccomandabile solo nei contesti nei quali sia necessario mantenere una sponda molto ripida o laddove, causa prolungata sommersione della sponda durante il periodo vegetativo (canali irrigui), non sia possibile l'insediamento di una fascia di vegetazione. La palificata semplice rinverditata con palo frontale può essere utilizzata non solo **lungo canali di scolo** ma anche **lungo la rete irrigua e promiscua**, avendo l'accortezza di disporre gli astoni e le specie vegetali eventualmente messe a dimora in modo che non subiscano una sommersione prolungata degli apparati radicali ed epigei.

#### b) Schema progettuale

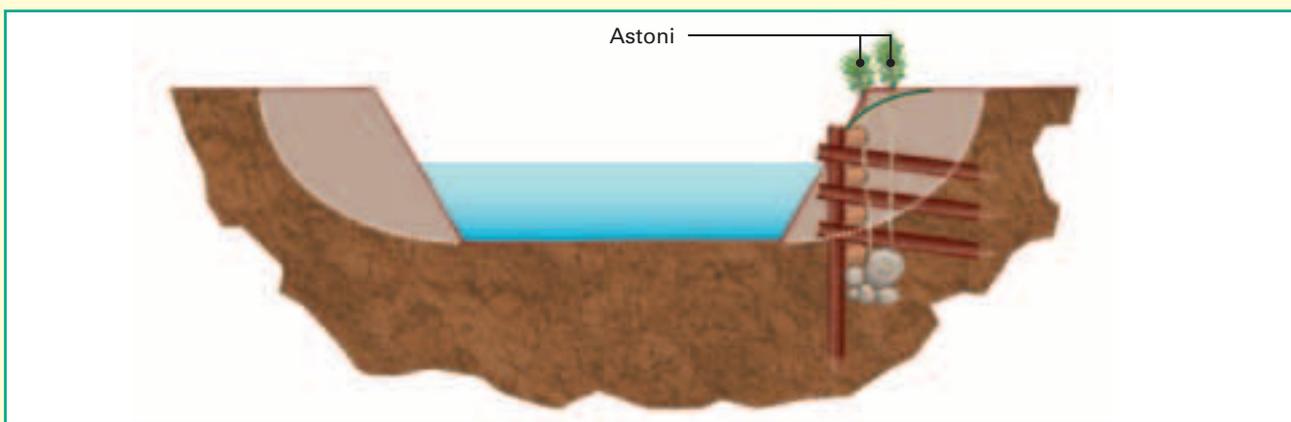


Figura 2.10 – Schema costruttivo di una palificata semplice rinverditata con palo frontale e astoni di salice posti verticalmente. Lo schema rappresenta il caso in cui la sezione di progetto (in rosso) negli anni si sia modificata a causa del dissesto spondale, sino a divenire molto più larga della situazione iniziale (linea tratteggiata bianca). La palificata è inserita tra la sezione di progetto originale e quella nello stato di fatto, limitando così l'ingombro della sezione e possibili interferenze con la funzionalità idraulica. La palificata è completata da talee o astoni di salice posti verticalmente nella parte sommitale dell'opera su terreno riprofilato (linea verde), così da evitare di occupare la sezione del canale. (Fonte: Consorzio di bonifica dell'Emilia centrale, 2005).

<sup>9</sup> Principali fonti consultate: Provincia di Terni, 2003 (Capitolo 14). Consorzio di bonifica pianura di Ferrara, 2008; Monaci M. & Schipani I., 2010.



Figura 2.11 – In alto: palificata semplice rinverdata con palo frontale realizzata lungo un canale onde evitare dissesti in corrispondenza di una strada. L'intervento è stato poi completato mediante messa a dimora di astoni di salice sulla sommità dell'opera, così da creare una fascia riparia seppur semplificata. In basso: l'intervento dopo 4 anni (Canale di Budrione – Provincia di Modena), ove si nota la fascia riparia a salici sviluppatasi in seguito alla realizzazione della palificata viva. (Fonte: Consorzio di bonifica dell'Emilia centrale, 2005). (Foto: Marco Monaci).

### c) Criteri di progettazione

Si rimanda al Par. 2.3 per una disamina dei criteri generali di localizzazione, dimensionamento e verifica degli interventi.

### d) Indicazioni per l'esecuzione

La palificata si realizza in tondami di larice o castagno posti alternativamente in senso longitudinale e trasversale, a formare un castello in legname, fissati tra di loro con chiodi in ferro o tondini; la palificata deve essere fondata per almeno 40 cm con una pendenza del 10 ÷ 15% verso monte e il fronte deve avere una pendenza di circa il 30% per garantire la miglior crescita delle piante; l'intera struttura viene riempita con l'inerte ricavato dallo scavo e negli interstizi tra i tondami orizzontali si collocano astoni (es. di salice) adatti alla riproduzione vegetativa, nonché piante radicate di specie arbustive pioniere.

Per evitarne lo svuotamento durante la realizzazione, ogni volta che si completa uno "strato" di legname, è utile posare un doppio strato in geotessuto a realizzare una sorta di "terra rinforzata".

Per evitare il restringimento dell'alveo, è ideale che la sponda venga preliminarmente scavata.

La scelta delle specie vegetali ai vari livelli della palificata deve basarsi su frequenza e durata della sommersione da parte dell'acqua; il periodo di intervento idoneo è quello di riposo vegetativo delle piante ma, in condizioni climatiche favorevoli, le piante radicate possono essere trapiantate anche nella primavera, purché non vengano danneggiate durante la costruzione.

### e) Effetti ambientali

Si veda il Par. 2.4.

### f) Manutenzione

La manutenzione della palificata riguarda sia la struttura stessa sia la vegetazione che si sviluppa dagli astoni o dalle piantine messe a dimora. Per la struttura è necessario eseguire controlli periodici per verificare la presenza di rotture, cedimenti, svuotamenti, scalzamenti, ecc., almeno durante il primo anno dopo la realizzazione.

Per la vegetazione, può essere necessario eseguire un taglio ogni 5-7 anni (o anche meno) se le simulazioni idrauliche indicano tale necessità, mentre si può procedere al solo taglio degli individui deperienti se il rischio idraulico è mini-

mo; nel caso si verifichi una forte crescita delle piante, può essere inoltre utile eseguire un taglio delle stesse a livello del terreno, in modo da favorire la formazione delle radici.

### g) Voci di costo

Le palificate sono opere il cui costo normalmente è ricavabile dai prezziari ufficiali reperibili nelle diverse Regioni.

Nel caso sia necessario eseguire un'analisi dei prezzi in relazione ad applicazioni specifiche non contemplate dai prezziari regionali, dovranno essere considerate le seguenti voci:

- manodopera, comprendente la quantificazione del tempo necessario per la realizzazione e le ore impiegate per il reperimento degli astoni per il riverdimento dell'opera;
- noli di escavatore, autocarro per il trasporto del materiale, motosega, gruppo elettrogeno, ecc., che anche in questo caso dovranno comprendere le ore di utilizzo per il reperimento del materiale vivo;
- materiali, quali legname, geotessuti, graffe o tondini, oltre al materiale vegetale (es. piantine radicate) nel caso sia acquistato, altrimenti il costo è già compreso nelle due precedenti componenti di costo.

Nella realizzazione dell'opera la manodopera incide generalmente dal 25 al 35 % a seconda del materiale previsto e considerata l'alta incidenza del costo della paleria.

A titolo di esempio si riporta uno schema delle voci da utilizzare per eseguire un'analisi prezzi, comunque da adattarsi alle specifiche esigenze.

- Manodopera
  - Operaio qualificato
  - Operaio comune
- Noli
  - Motosega completa di catena dentata, con motore a scoppio
  - Escavatore cingolato con attrezzatura frontale o rovescia
  - Autocarro mezzo d'opera
  - Gruppo elettrogeno diesel
- Materiali
  - Materiali ferrosi per carpenteria
  - Paleria di castagno, scortecciato, diametro minimo 15 cm
  - Geotessili in cocco o juta
  - Piantine radicate di specie autoctone

## SCHEDA D6 Palificata doppia rinverdita<sup>10</sup>

### a) Descrizione

La palificata doppia è una struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi addossata alla sponda a formare camere frontali, realizzata mediante una fila di tronchi longitudinali posti sia all'esterno che all'interno dell'opera, perfezionata dalla posa di piante o astoni di salice (rami giovani di salice della lunghezza minima di tre metri) e completata dal riempimento con materiale terroso inerte o pietrame nella parte posta sotto il livello medio dell'acqua (Figura 2.12).

Lo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione messa a dimora (astoni) crea in pochi anni un'armatura nel terreno con effetto stabilizzante: la funzione della parte strutturale è infatti da considerarsi transitoria ed è progressivamente sostituita dall'azione consolidante delle piante. La durata dell'opera così realizzata dipende dal tipo di legname utilizzato e può essere di 20-40

anni se il legname è di larice o maggiore se di castagno.

Nell'applicazione qui proposta la palificata fornisce **protezione al piede e alla sponda stessa e ne garantisce il consolidamento**; grazie alla messa a dimora di astoni di salice essa consente inoltre di ottenere, oltre all'effetto strutturale, anche la contemporanea **formazione di una fascia riparia**, seppur inizialmente semplificata.

Essa determina comunque una certa artificializzazione della sponda ed è raccomandabile solo nei contesti nei quali sia necessario mantenere una sponda molto ripida o laddove, causa prolungata sommersione della sponda durante il periodo vegetativo (canali irrigui), non sia possibile l'insediamento di una fascia di vegetazione. La palificata rinverdita può essere utilizzata non solo **lungo canali di scolo** ma anche **lungo la rete irrigua e promiscua**, avendo l'accortezza di disporre gli astoni e le specie vegetali eventualmente messe a dimora in modo che non subiscano una sommersione prolungata degli apparati radicali ed epigei.

### b) Schema progettuale

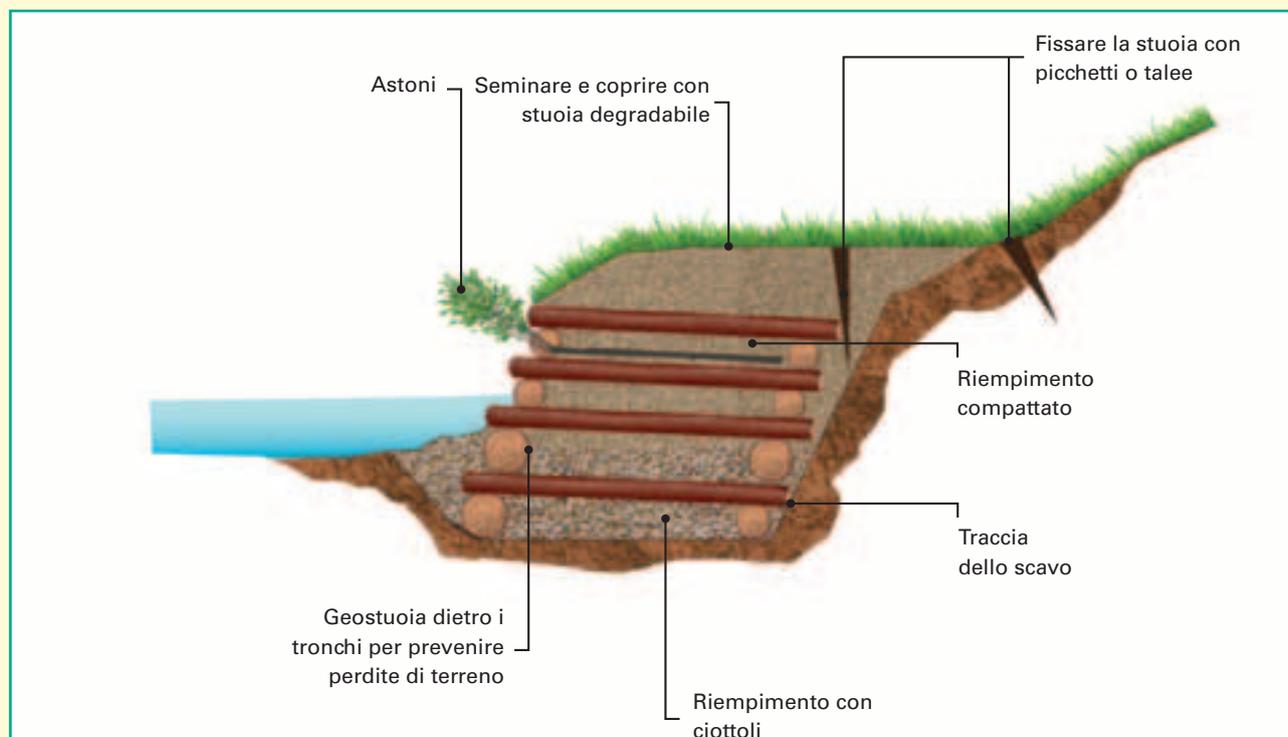


Figura 2.12 – Schema costruttivo di una palificata doppia rinverdita.

<sup>10</sup> Principali fonti consultate: Monaci M. & Schipani I., 2010; Provincia di Terni, 2003; Consorzio di bonifica pianura di Ferrara, 2008.

**c) Criteri di progettazione**

Nei calcoli di stabilità la palificata deve essere considerata un'opera di sostegno a gravità, costituita per il 15-20% del volume da legname, e verificata rispetto a traslazione, scivolamento, ribaltamento e stabilità globale; occorre inoltre tenere conto della possibile erosione verticale al piede. Se la vegetazione che si sviluppa dagli astoni occupa parzialmente la sezione del canale, è necessario valutarne gli effetti sulla funzionalità idraulica.

Si rimanda al Par. 2.3 per una disamina dei criteri generali di localizzazione, dimensionamento e verifica degli interventi.

**d) Indicazioni per l'esecuzione**

Si veda la **SCHEDA D5**.

**e) Effetti ambientali**

Si veda la **SCHEDA D5**.

**f) Manutenzione**

Si veda la **SCHEDA D5**.

**g) Voci di costo**

Si veda la **SCHEDA D5**.

**2.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE<sup>11</sup>**

Si presentano nei seguenti paragrafi i criteri di cui tener conto durante la progettazione degli interventi di ingegneria naturalistica viva, in particolare per la scelta, la localizzazione e il dimensionamento delle opere.

Come già ricordato, il manuale non ha la pretesa di essere esaustivo quanto piuttosto di fornire una guida per compiere scelte tecnicamente corrette in funzione della tipologia di situazione in esame e delle finalità ambientali, oltre che strutturali, alla base dei progetti d'intervento.

**2.3.1 Criteri di scelta degli interventi**

La scelta della tecnica di ingegneria naturalistica da utilizzarsi deve essere il frutto della valutazione di diversi aspetti, in particolare le caratteristiche biotecniche delle diverse opere, la resistenza che queste potenzialmente offrono alla forza

di trascinamento della corrente e la capacità di consolidamento della sponda; è inoltre necessario tener presente le condizioni e i limiti di applicabilità generali relativi alle diverse tipologie di intervento e quelle derivanti dal loro particolare uso lungo i canali, peculiari rispetto al caso dei corsi d'acqua naturali.

**a) Scelta della tipologia d'intervento sulla base delle caratteristiche biotecniche**

Esistono dei limiti teorici d'impiego dell'ingegneria naturalistica e la scelta, nonché la collocazione degli interventi, è funzione di vari parametri tra cui i principali sono:

- la velocità di deflusso (correlata soprattutto alla pendenza del fondo);
- il diametro del trasporto solido.

Con la diminuzione di velocità e trasporto solido, aumenta progressivamente il numero di tecniche impiegabili, tra cui discriminare secondo il principio per il quale è necessario utilizzare la tecnica a minor impegno tecnico e pari efficienza (*"legge del minimo"*).

Nelle applicazioni lungo i canali, velocità e diametro del trasporto solido non costituiscono generalmente un fattore limitante per la scelta delle tecniche impiegabili e quelle elencate nel presente capitolo possono essere utilizzate nella maggior parte delle situazioni idrodinamiche, stante le limitazioni d'uso indicate per ognuna delle tecniche in relazione alla tipologia di canale (di scolo, irriguo, promiscuo).

**b) Scelta delle tipologie d'intervento in base alla resistenza alla forza di trascinamento**

Ogni opera di ingegneria naturalistica è dotata di una caratteristica resistenza alla forza di trascinamento esercitata dalla corrente che, sebbene difficile da determinare in modo certo, può comunque fornire un'indicazione di massima per la scelta della tipologia di intervento, sulla base delle sollecitazioni esercitate dal canale in studio.

A tal fine si può far riferimento ai valori della resistenza al trascinamento, riportati in Tabella 2.1, che tipicamente i diversi interventi di ingegneria naturalistica possono offrire. Questi valori sono stati misurati nelle situazioni sperimentali indi-

<sup>11</sup> Principali fonti consultate: Provincia di Terni, 2003 (Capitolo 6, Capitolo 11), Sauli G. *et al.*, 2002.

cate in tabella e non costituiscono quindi il limite massimo sopportabile dalla singola tecnica, quanto piuttosto la forza di trascinamento sopportata in quella particolare situazione.

In virtù della bassa pendenza dei canali e delle conseguenti velocità in gioco, le forze di trascinamento tipicamente esercitate non costituiscono in ogni caso un fattore decisivo nella scelta della tecnica, ma non devono in ogni caso essere trascurate per evitare il fallimento dell'opera in situazioni particolari.

### **c) Scelta delle tipologie d'intervento in base alla capacità di consolidamento e stabilizzazione delle sponde**

Nella maggior parte delle situazioni la sponda perde la sua conformazione non tanto per erosione quanto piuttosto per problemi di tipo geotecnico (crolli, sifonamenti, ecc.). In questo caso l'intervento di ingegneria naturalistica si rende necessario per consolidare la sponda e occorre per questo scegliere le tecniche, tra quelle indicate nel presente capitolo, che possiedono questa capacità (come ad esempio la palificata rinverdata), scartando quelle che sono in grado di proteggere la sponda dalla sola erosione superficiale.

### **d) Condizioni e limiti di applicabilità generali**

L'impiego delle tecniche di ingegneria naturalistica è legato al soddisfacimento di alcune condizioni generali:

- possibilità di individuare e riprodurre specie vegetali autoctone, soprattutto erbacee e arbustive, con caratteristiche di radicazione utili per contrastare l'erosione e favorire il consolidamento; sono in particolare necessarie specie dotate di possibilità di riproduzione vegetativa diretta nell'ambiente naturale e non in serra o vivaio;
- disponibilità di materiali locali, in particolare il legname con cui realizzare molte delle opere proposte;
- disponibilità di mano d'opera specializzata;
- disponibilità di normali macchine per movimento terra, perforazione, taglio, e così via.

Occorre inoltre evitare alcuni errori quali:

- prevalente impiego di materiali inerti (che l'utilizzo delle tecniche proposte nel presente manuale scongiura in larga parte) e uso delle

specie vegetali con funzione di "cosmesi ambientale" invece che strutturale;

- impiego di specie vegetali esotiche, con problemi di contaminazione genetica e di infestazione;
- utilizzo di interventi di ingegneria naturalistica in contesti in cui sono superati i limiti biotecnici delle opere stesse.

Preme infine sottolineare che alcune delle tecniche suggerite potrebbero occupare parzialmente la sezione del canale, fatto che può non essere accettabile nelle situazioni di rischio idraulico.

In molti casi però il dissesto spondale genera negli anni un allargamento di sezione e diventa quindi possibile collocare l'opera nello spazio compreso tra la sezione presente nello stato attuale, arretrata, e quella originale di progetto (si veda l'esempio di Figura 2.10); in altre situazioni l'opera può essere inserita all'interno della sponda oppure quest'ultima può essere preventivamente riprofilata allargando la sezione, diminuendo così l'ingombro in alveo causato dagli interventi di ingegneria naturalistica. In ogni caso è consigliabile eseguire una verifica della funzionalità idraulica in relazione alla porzione di sezione occupata dall'opera e alla tipologia e densità di vegetazione messa a dimora, come specificato nei paragrafi seguenti.

### **e) Condizioni e limiti di applicabilità relativi all'impiego dell'ingegneria naturalistica lungo i canali**

La costruzione di difese spondali realizzate mediante l'uso delle tecniche dell'ingegneria naturalistica, con particolare riferimento a quelle basate prevalentemente su materiali vivi, necessita di tener conto di alcune precauzioni quando effettuata lungo i canali:

- il perdurare dei livelli d'acqua nei canali di irrigazione o promiscui, invasati per fornire acqua a scopi irrigui, può compromettere i risultati degli interventi, in particolare l'attecchimento delle specie vegetali messe a dimora, che potrebbero soffrire della prolungata sommersione; occorre pertanto posizionare gli interventi tenendo conto dei livelli idrici e dei tempi di sommersione raggiunti (si veda a tal proposito il Par. 2.3.2, dove si forniscono elementi per il posizionamento delle opere in relazione ai livelli idrici);
- periodi prolungati di siccità possono d'altro

canto provocare la morte delle specie vegetali messe a dimora, nel caso in cui queste non siano state localizzate in modo che le radici possano raggiungere l'acqua (dalla falda superficiale o direttamente dal canale);

- l'eventuale aumento di scabrezza conseguente all'utilizzo di vegetazione in alveo deve essere attentamente considerato quando questa viene posta entro la sezione di deflusso; si veda a tal proposito il Par. 2.3.2;
- il reperimento dei materiali in loco, in particolare gli elementi vivi (talee, astoni, ecc.) richiede particolare attenzione, sia per garantire l'utilizzo di ecotipi locali, sia per limitare gli spostamenti dei mezzi meccanici che riforniscono il cantiere (diminuendo così costi, inquinamento, ecc.);
- il piano di manutenzione dell'opera è un elemento progettuale fondamentale da sviluppare con la dovuta cura, al fine di consentire sia il mantenimento della fascia vegetale e dei miglioramenti ambientali conseguiti, sia l'accesso al canale da parte del Consorzio (quando previsto dal progetto).

### **2.3.2 Criteri per la localizzazione, il dimensionamento e la verifica degli interventi**

Nel presente paragrafo si fornisce una descrizione sintetica dei principali criteri progettuali di cui tener conto per la localizzazione e il dimensionamento delle opere di ingegneria naturalistica, in particolare:

#### *Localizzazione*

- criteri per il posizionamento delle opere di ingegneria naturalistica in funzione dei livelli idrici;
- criteri di scelta delle tipologie di copertura vegetale in base alla "zonizzazione della vegetazione potenziale".

#### *Dimensionamento*

- verifica della resistenza al trascinamento;
- verifica della funzionalità idraulica.

Per quanto riguarda la verifica della capacità di consolidamento si rimanda alle indicazioni specifiche fornite in riferimento ai singoli interventi.

### **a) Criteri per il posizionamento delle opere di ingegneria naturalistica in funzione dei livelli idrici<sup>12</sup>**

Le tipologie di opere consigliate nel presente manuale utilizzano tutte specie vegetali vive come elemento strutturale (erbe, arbusti, alberi); occorre quindi prestare particolare attenzione al posizionamento dell'opera in funzione dei livelli idrici raggiunti nel canale, relativi alle diverse portate in alveo.

Un periodo di sommersione troppo prolungato, causato dal perdurare di alti livelli idrici per lunghi periodi di tempo (come accade nei canali irrigui o promiscui) e il posizionamento delle specie vegetali al di sotto di tali livelli, può infatti causare la morte delle specie messe a dimora; al contrario, il posizionamento delle radici delle piante a quote interessate raramente dall'acqua e in situazioni dove nemmeno la falda superficiale riesce ad alimentare le piante può causare la loro morte.

È quindi chiaro come la conoscenza del comportamento idraulico del canale e di conseguenza dei periodi e dei livelli idrici raggiunti dalle acque, è una necessità fondamentale per la buona riuscita dell'intervento in progetto.

Le opere di ingegneria naturalistica, in particolare nella loro componente viva, dovrebbero essere posizionate al di sopra del livello idrico medio raggiunto dalle acque (ad esempio quello che viene superato solo per una decina di giorni all'anno), così da evitare che si verifichi la sommersione consecutiva per più di una settimana.

### **b) Criteri di scelta delle tipologie di copertura vegetale in base alla "zonizzazione della vegetazione potenziale"<sup>13</sup>**

Come ricordato al punto precedente, l'inserimento di materiali costruttivi vivi deve tener conto del superamento o meno di determinati livelli idrici dell'acqua e della durata delle diverse portate; sulla base di queste informazioni idrauliche è possibile dividere la sezione del corpo idrico in zone interessate da differenti profili bagnati, grazie ai quali si può stabilire quale vegetazione risulti potenzialmente idonea in quelle zone e quindi da scegliere per la messa a dimora

<sup>12</sup> Principali fonti consultate: Sauli G. *et al.*, 2002 (Capitolo 15).

<sup>13</sup> Principali fonti consultate: Provincia di Terni, 2003 (Capitolo 11).

(diretta o tramite l'utilizzo nelle opere di ingegneria naturalistica) (Figura 2.13).

I limiti vegetativi così individuati non devono essere considerati come confini precisi, ma si presentano in natura mescolati o, in alcuni casi, assenti, ove esista un'unica associazione vegetale che si sviluppa su tutte le zone; inoltre, il tipo di vegetazione può essere molto diverso sia in ambito regionale sia nelle diverse sezioni dei corpi idrici.

Tenendo conto di queste precisazioni è comunque possibile utilizzare la zonizzazione della vegetazione potenziale di Figura 2.13 come una guida concettuale per individuare le specie vegetali più idonee per le diverse porzioni di sponda, da cui derivano le seguenti considerazioni:

- nella zona di magra il popolamento ideale è composto dalle idrofite, specie vegetali acquatiche adattate a questa porzione di sezione;
- nella zona situata fra il livello di magra e quello medio (quella inferiore di alternanza del livello idrico), l'acqua agisce già in maniera intensa ed è possibile operare con i canneti (elofite). I getti e le foglie del canneto proteggono la sponda dalla corrente nella porzione compresa fra la superficie dell'acqua e il terreno spondale e ne smorzano l'energia, mentre le radici e i rizomi delle piante del canneto consolidano il terreno. I canneti prediligono situazioni soleggiate e devono quindi essere posizionati in aree non ombreggiate, prive di fasce riparie. La canna palustre (*Phragmites australis*) è la più nota pianta di protezione spondale e, fra quelle del gruppo che compongono il canneto, anche la migliore sui corsi d'acqua; si possono però usare anche altre specie, come *Carex* spp. *Typha* spp., e così via;
- nell'area posta sopra la linea della portata media estiva, vengono impiegati come protezione spondale viva il manto erboso e gli arbusti, per lo più salici e ontani;
- nella zona di alternanza del livello dell'acqua si impiegano invece di preferenza materiali vivi con capacità di ricaccio come, per esempio, i salici arbustivi, da utilizzarsi nell'ambito di opere di ingegneria naturalistica stabili e

combinare (es. palificata viva, palizzata viva, ecc.).

Gli arbusti posti sopra la linea di portata media permettono la riduzione della velocità della corrente nei pressi della scarpata e il consolidamento del terreno della zona spondale, attuato dal fitto apparato radicale degli arbusti che arrivano a diverse profondità.

In questa zona sono da prediligere piante legnose flessibili (arbusti), perché le piante legnose rigide e non elastiche ostacolano il deflusso della piena, causano vortici e spostamenti del filone della corrente e sono di frequente causa di franamenti spondali. La copertura vegetale di questa zona deve quindi essere oggetto di manutenzione ogni 5-8 anni, mentre il taglio di sgombero andrebbe eseguito a settori, affinché siano sempre presenti sufficienti getti protettivi ed elastici e la forma a cespuglio sia mantenuta.

Le piante adatte a tale porzione di sponda sono particolarmente idonee a essere impiegate nei progetti di sistemazione che si basano sull'ingegneria naturalistica in quanto:

- fra tutte le piante legnose, crescono più in profondità verso il fondo del letto;
- i salici, in particolare, originano radici secondarie, le cosiddette radici avventizie, e possono propagarsi per talee;
- molte di queste specie, ed in particolare i salici, possono essere mantenuti in forma arbustiva mediante un taglio periodico (governo a ceduo) e con ciò rinnovati;
- grazie all'elevata elasticità, essi stessi sono in grado di resistere a sollecitazioni estreme;
- queste specie possiedono un'elevata vitalità, energia di accrescimento, insensibilità ai danni e potere di rigenerazione.

### **c) Verifica della resistenza al trascinamento<sup>14</sup>**

Usualmente, nella progettazione di interventi sui corsi d'acqua occorre considerare il problema della resistenza delle sponde agli sforzi tangenziali esercitati su di esse dal deflusso della piena di progetto.

<sup>14</sup> Principali fonti consultate: Provincia di Terni, 2003 (Capitolo 6, Capitolo 11), Bischetti G.B. et al., 2008.

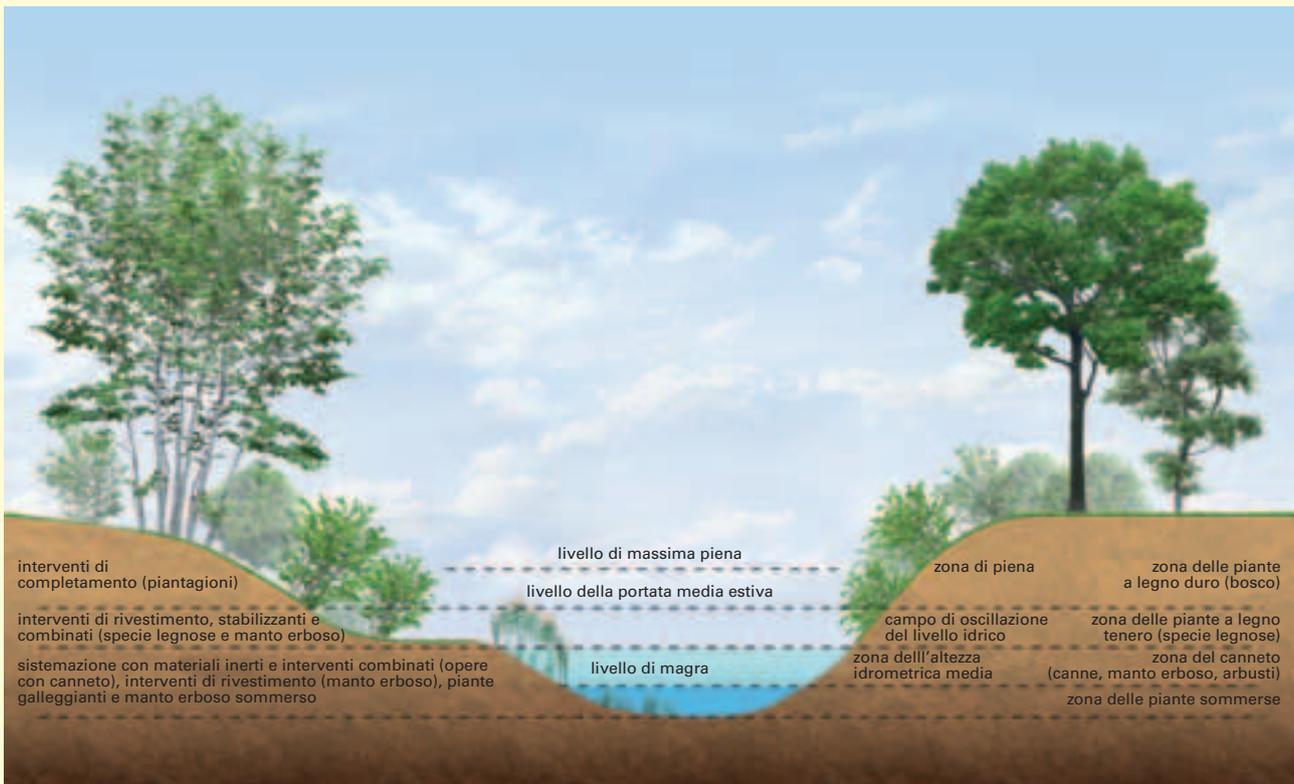


Figura 2.13 – Schema per la strutturazione del profilo di un corso d’acqua in zone idrauliche e zone di vegetazione potenziale e conseguente indicazione di massima delle tipologie di interventi di ingegneria naturalistica utilizzabili (Adattato da Provincia di Terni, 2003 - Capitolo 11, Figura 11.28).

In prima approssimazione lo sforzo tangenziale medio sulla sezione ( $t_0$ ) si calcola come segue:

$$t_0 = \lambda * R * i$$

dove:

$\lambda$  = peso specifico;

R = raggio idraulico;

i = inclinazione.

Lungo il perimetro della sezione, gli sforzi tangenziali in realtà variano rispetto a questo valore medio, con un andamento che dipende dalla forma della sezione stessa, come illustrato in Bischetti *et al.*, 2008.

Nel caso di estradosso di una curva occorre inoltre tener conto di un coefficiente correttivo K, che mette in relazione le tensioni tangenziali con la curvatura (le tensioni, infatti, aumentano nei tratti di asta in curva).

La formula in questo caso diventa:

$$t_w = K * \lambda * R * i$$

con K = coefficiente dipendente dal rapporto tra il raggio di curvatura e la larghezza del pelo libero dell’acqua, rappresentato in Figura 2.14.

Considerate le dimensioni caratteristiche dei canali di bonifica (escludendo quelli di maggiori dimensioni), il raggio idraulico assume valori nell’intervallo tra 0,5 e 1,5 m e la cadente energetica risulta essere tipicamente nell’ordine del 0,1% se non addirittura 0,01%; ne consegue che secondo la formula sopra esposta gli sforzi tangenziali medi raggiungono al massimo valori di 10÷20 N/m<sup>2</sup>.

Confrontando questa stima con le resistenze massime offerte da alcune tipologie rappresentative di superficie e difese spondali (si veda Tabella 2.1), si può concludere che in genere nei canali di bonifica non è necessario prevedere opere di difesa dall’erosione delle sponde, se non in situazioni particolari come ad esempio sull’estradosso di curve molto accentuate, in caso di terreni a elevato contenuto di sabbia e bassa coesione o di sponde costruite attraverso il riporto di materiale, e così via.

In quest’ultimo caso, quando l’opera di difesa si rende necessaria, è doveroso eseguire una verifica della resistenza al trascinarsi delle opere, utilizzando la formula introdotta in prece-

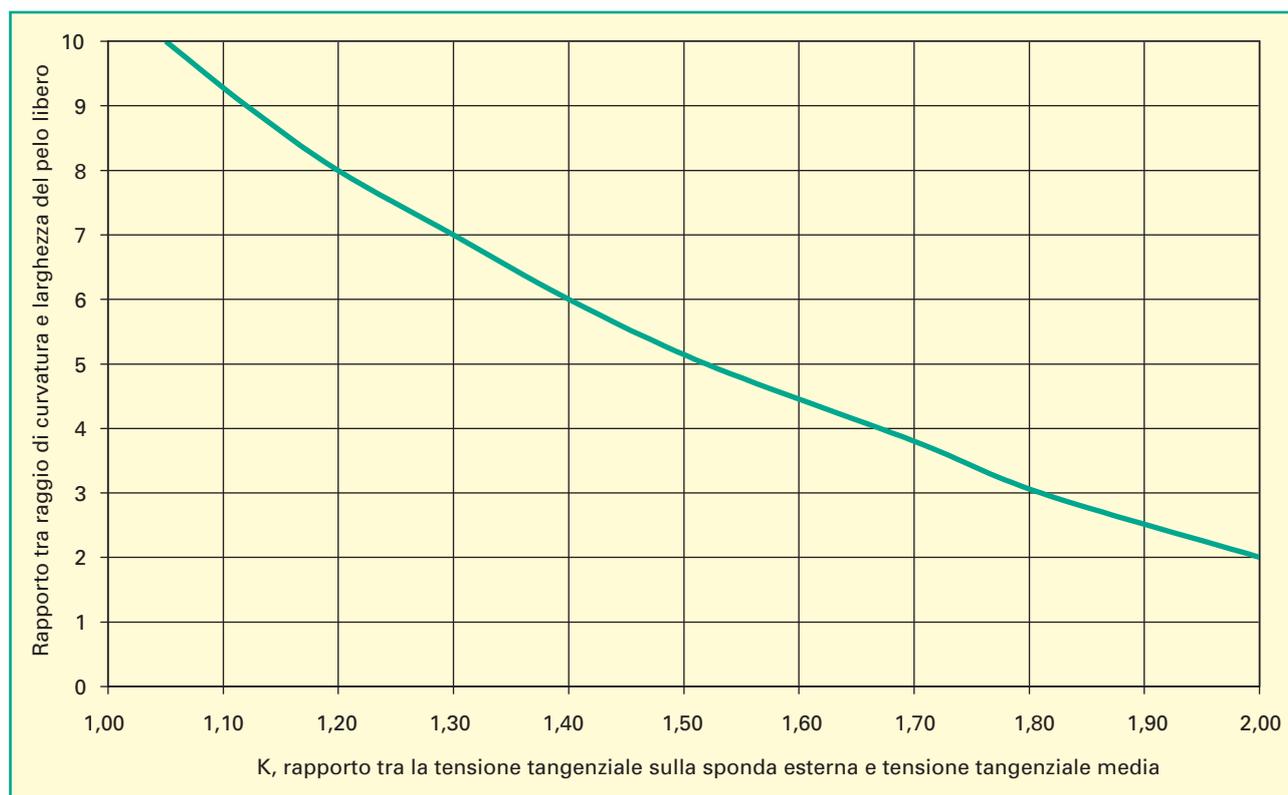


Figura 2.14 – Effetto della curvatura del corso d'acqua sulla tensione tangenziale agente sulla sponda esterna. (Adattato da Provincia di Terni, 2003, Capitolo 11, fig. 11.22).

denza e verificando che tale resistenza sia maggiore delle tensioni tangenziali medie agenti sulle opere ( $t_o$ ):

$$t_r > t_o$$

Nella progettazione delle opere vive **occorre inoltre considerare due situazioni:**

- la resistenza dell'opera di ingegneria naturalistica **a fine lavori**, con le piante non sviluppate e quindi non in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura;
- la resistenza dell'opera di ingegneria naturalistica **dopo tre periodi vegetativi**, con le piante sviluppate sia nell'apparato radicale sia nella parte aerea, in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura. Il valore di tre periodi vegetativi è un dato

medio: in situazioni estreme, ad esempio in zone a forte siccità, può essere aumentato.

Per quanto riguarda i valori della massima resistenza al trascinamento delle opere di ingegneria naturalistica si può fare riferimento, come già ricordato, ai valori riportati in Tabella 2.1. Le opere di ingegneria naturalistica sono spesso costituite da materiali vivi e morti e i fenomeni che si instaurano durante l'evento di progetto sono complessi e difficilmente modellizzabili. Per tali ragioni solitamente si fa riferimento a valori delle tensioni tangenziali individuati sperimentalmente in campo su diverse tipologie di opere. I valori reperibili nella letteratura, tuttavia, devono essere considerati indicativi e utilizzati con estrema cautela; frequentemente, infatti, essi derivano da osservazioni effettuate in campo in condizioni sperimentali difficili, che rendono problematico fornire dati certi e precisi.

Tabella 2.1 – Riassunto dei diversi valori di scabrezza, per le principali tecniche d'ingegneria naturalistica e per i materiali impiegati. (Adattato da Provincia di Terni, 2003, Capitolo 11, tab 11.11)

Tipologie	Autore	Fine lavori T (N/m <sup>2</sup> )	1° periodo vegetativo T (N/m <sup>2</sup> )	2° periodo vegetativo T (N/m <sup>2</sup> )	3° periodo vegetativo T (N/m <sup>2</sup> )
Cotico erboso	Florineth (1992)		30	30	30
Talee	Calò - Palmieri (1996)	10	20	60	60
Copertura diffusa	Di Fidio (1995)	50	150	300	300
Palificata viva spondale	Calò - Palmieri (1996)	500	600	600	600

#### d) Verifica della funzionalità idraulica

La verifica idraulica si rende necessaria al fine di valutare la funzionalità del canale in seguito all'introduzione e alla crescita di vegetazione all'interno della sezione; tale verifica dovrebbe essere effettuata a fine lavori e dopo 3 anni, per tener conto della crescita della vegetazione.

Si rimanda a tal fine alla [SCHEDA R1](#) al [CAP. 1](#).

## 2.4 STIMA DEGLI EFFETTI AMBIENTALI<sup>15</sup>

Nel caso in cui la strategia prescelta per affrontare un problema di dissesto spondale preveda di definire una fascia di mobilità morfologica (come proposto nella [SCHEDA D1](#)), gli effetti ambientali che possono essere raggiunti divengono estremamente elevati, in particolare:

- sviluppo/mantenimento/incremento di dinamiche evolutive ecologiche e creazione di habitat come conseguenza della maggior mobilità;
- miglioramento dello stato della vegetazione spondale e acquatica;
- evoluzione positiva dello stato delle comunità faunistiche (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.);
- miglioramento paesaggistico.

Se invece l'approccio prescelto prevede l'uso delle tecniche di ingegneria naturalistica "viva" per il consolidamento spondale, gli effetti ambientali indotti potranno essere comunque positivi seppur minori rispetto a quelli relativi al caso precedente, in particolare:

- miglioramento dello stato della vegetazione spondale e delle rive;
- creazione di microhabitat lungo la sponda;
- miglioramento dello stato delle comunità faunistiche (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.);
- miglioramento paesaggistico.

Gli interventi di ingegneria naturalistica "viva" selezionati nel presente manuale possono migliorare 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) e 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.

<sup>15</sup> Principali fonti consultate: Bischetti G.B. *et al.*, 2008 (Capitolo 4.3).

## 2.5 PROMEMORIA SINTETICO PER LA REALIZZAZIONE E LA MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI

Il presente paragrafo sintetizza le indicazioni che occorre seguire in fase di realizzazione e manutenzione degli interventi proposti nel capitolo in oggetto, affinché si possano valorizzare al massimo le funzioni ambientali dei canali, in particolare con riferimento a<sup>16</sup>:

- risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale;
- e, nell'ambito degli interventi di ingegneria naturalistica "viva":
- inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice;
  - copertura diffusa con astoni di salice;
  - palizzata rinverdita;
  - palificata semplice rinverdita con palo frontale verticale;
  - palificata doppia rinverdita.

### **(a) Risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale**

#### **Realizzazione**

- **Prendere a modello i corsi d'acqua naturali**
  - creare un alveo sinuoso e non rettilineo, con sponde e fondo dalle forme irregolari;
  - permettere lo sviluppo di vegetazione in alveo (specie palustri) e sulle sponde (alberi e arbusti).
- **Creare una sponda facilmente colonizzabile dalla vegetazione**
  - ridurre la pendenza della sponda, senza cambiare la posizione del suo piede;
  - recuperare e conservare la vegetazione presente, da reimpiantare al termine dei lavori;
  - recuperare e conservare lo strato di suolo fertile e riutilizzarlo al termine dei lavori;
  - distribuire il suolo fertile su tutta la superficie o in determinate aree per favorire specifici impianti vegetali.

#### **Manutenzione**

- **Eseguire una gestione della vegetazione a bassa intensità**
  - creare un canale di corrente centrale nell'alveo di magra, bordato da macchie di vegetazione acquatica (canneto);
  - ridurre al minimo la manutenzione delle golene, al fine di preservare gli habitat creati.
- **Consentire lo sviluppo dei processi di diversificazione morfologica dell'alveo tipici di un corso d'acqua naturale**
  - lasciar esprimere la mobilità morfologica potenziale all'interno di una fascia di terreno prefissata;
  - non regolarizzare alveo, sponde e golene con le operazioni di manutenzione.

### **(b) Ingegneria naturalistica "viva"**

#### **Realizzazione**

- **Selezionare la tecnica in base agli obiettivi stabiliti e alla tipologia di canale**
  - inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice
    - **obiettivo:** controllo dell'erosione superficiale; protezione addizionale in combinazione con altre tecniche; consolidamento del suolo in profondità se utilizzato insieme alla talea di salice. Inefficace come unica tecnica contro erosioni severe e per affrontare erosioni al piede;
    - **localizzazione:** utilizzo preferibile lungo i canali di scolo; evitarne l'uso nei canali irrigui o promiscui, a meno che talee e specie erbacee non siano posizionate al di sopra del livello di massimo invaso.
  - copertura diffusa con astoni di salice
    - **obiettivo:** controllo dell'erosione superficiale e profonda; protezione particolarmente efficace della superficie delle scarpate spondali minacciate dall'acqua corrente e dal moto ondoso;
    - **localizzazione:** utilizzo preferibile lungo i canali di scolo; evitarne l'uso nei canali irrigui o promiscui.

<sup>16</sup> Sintesi di quanto descritto compiutamente nel presente Capitolo.

- palizzata rinverdita; palificata semplice rinverdita con palo frontale verticale; palificata doppia rinverdita
  - *obiettivo*: consolidamento superficiale di microfrane e cedimenti; salvaguardia del piede di sponda e protezione dall'erosione della sponda stessa;
  - *localizzazione*: utilizzo consentito lungo i canali di scolo, irrigui e promiscui, avendo l'accortezza di posizionare le talee e le specie vegetali messe a dimora in modo che non subiscano una sommersione prolungata degli apparati radicali ed epigei.
- **Scegliere il momento della realizzazione in funzione del periodo vegetativo delle specie vegetali**
  - inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice
    - semina effettuata preferibilmente durante il periodo di ripresa della vegetazione; sono da evitare i periodi di gelo invernale e aridità estiva;
    - messa a dimora delle talee nel periodo di riposo vegetativo, per garantire la ripresa ottimale e la crescita dell'arusto/pianta.
  - copertura diffusa con astoni di salice
    - messa a dimora degli astoni nel periodo di riposo vegetativo, per garantire la ripresa ottimale e la crescita dell'arusto/pianta.
  - palizzata rinverdita; palificata semplice rinverdita con palo frontale verticale; palificata doppia rinverdita
    - periodo ideale per la realizzazione dell'opera è quello del riposo vegetativo delle piante.

## Manutenzione

- **Eseguire una gestione della vegetazione che coniughi esigenze idrauliche, strutturali e ambientali**
  - inerbimento protetto con georete in fibra naturale fissata con talee di salice
    - *inerbimento*: verifica iniziale dell'attecchimento ed eventuale risemina dove non ha attecchito; sfalcio della superficie inerbita tendenzialmente da evitarsi per scongiurare danni alla georete e alle talee e, in ogni caso, ridurre la manutenzione al minimo;
    - *talee di salice*: verifica iniziale dell'attecchimento; in seguito, taglio selettivo ogni 6/7 anni, preferibilmente per tratti discontinui non eccessivamente lunghi o in turni alterni sulle sponde; gestione straordinaria con taglio dei soli esemplari instabili e a rischio di crollo.
  - copertura diffusa con astoni di salice
    - potatura o diradamento selettivo per mantenere l'elasticità delle piante e ottenere nuovo materiale di propagazione, da eseguirsi tra novembre e marzo mediante taglio degli astoni al di sopra del livello del suolo; eventuale taglio dell'intero soprassuolo ogni 3/4 anni oppure a strisce annuali; dove la crescita dei salici non impedisca il deflusso, la fascia vegetata può essere trattata a ceduo con tagli ogni 7/10 anni.
  - palizzata rinverdita; palificata semplice rinverdita con palo frontale verticale; palificata doppia rinverdita
    - eseguire controlli periodici della struttura per verificare la presenza di rotture, cedimenti, svuotamenti, scalzamenti, ecc., almeno durante il primo anno dopo la realizzazione; taglio della vegetazione ogni 5-7 anni (o anche meno) se le simulazioni idrauliche indicano tale necessità; solo taglio degli individui deperienti se il rischio idraulico è minimo.

## 2.6 INDICAZIONI DI MASSIMA PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI

Il presente paragrafo schematizza gli aspetti tecnici, ambientali e socio-economici che occorre monitorare per valutare la riuscita degli interventi di riqualificazione ambientale dei canali proposti nel presente capitolo.

### • **Aspetti tecnici**

- Tasso di (eventuale) arretramento della sponda e rispetto della fascia di mobilità designata (solo per l'intervento *"Risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale"*, **SCHEDA D1**)
- Consolidamento della sponda
- Livelli idrometrici e portata in alveo, in magra e durante eventi di piena
- Qualità chimico-fisica delle acque

### • **Aspetti ambientali (alveo e sponda)**

- Evoluzione topografica e sviluppo/mantenimento/incremento di dinamiche evolutive morfologiche (solo per l'intervento *"Risagomatura e rivegetazione delle sponde o definizione di una "fascia di mobilità" del canale"*, **SCHEDA D1**)
- Evoluzione degli habitat presenti nel canale
- Evoluzione della vegetazione presente nel canale
- Fauna (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.)

### • **Aspetti socio-economici**

- Costi per la manutenzione del canale (sponda e alveo) e confronto con la situazione *ante operam* (sfalci, ripresa frane, ecc.)
- Rapporto con i frontisti
- Grado di apprezzamento da parte della cittadinanza

3

MIGLIORAMENTO  
DELLA QUALITÀ  
DELL'ACQUA



## INDICE

3.1	Approccio generale .....	pag. 63
3.2	Tipologie di intervento.....	» 63
	SCHEDA Q1 - Controllo dell'inquinamento diffuso mediante utilizzo di fasce tampone boscate .....	» 64
	SCHEDA Q2 - Interventi di riqualificazione morfologica finalizzati all'incremento della capacità autodepurativa dei canali .....	» 70
	SCHEDA Q3 - Creazione di zone umide in alveo.....	» 75
	SCHEDA Q4 - Creazione di zone umide fuori alveo.....	» 80
	SCHEDA Q5 - Creazione di trappole per sedimenti .....	» 83
	SCHEDA Q6 - Gestione conservativa della vegetazione acquatica .....	» 86
3.3	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 87
3.4	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 89

### Autori

Marco Monaci

Fabio Masi

Bruno Boz

## 3 Miglioramento della qualità dell'acqua

### 3.1 APPROCCIO GENERALE

Le acque dei canali manifestano spesso problemi di qualità che possono causare danni all'ecosistema e alle aziende agricole che le utilizzano per l'irrigazione, oltre che disagi alla fruizione del sistema idrico consortile.

Causa di questa situazione è l'immissione di acque ricche di nutrienti provenienti dalle aree agricole e la presenza di scarichi puntiformi che riversano nei canali le acque provenienti dagli impianti di depurazione e dagli scolmatori della rete fognaria. La scarsa capacità autodepurativa dei canali aggrava inoltre il problema: sezioni regolari prive di disomogeneità, scarsa presenza di vegetazione in alveo e lungo le sponde e tracciato tendenzialmente rettilineo, diminuiscono, infatti, i tempi di residenza delle acque e la presenza di comunità biologiche utili per la degradazione naturale degli inquinanti.

Una strategia utile per il miglioramento della qualità delle acque richiede perciò di integrare i classici interventi alla fonte (depurazione degli inquinanti immessi in modo puntuale), con azioni volte al recupero della capacità autodepurativa dei canali e del territorio, che possono generare benefici anche nei confronti della biodiversità, del paesaggio, della stabilità delle sponde, della fruibilità, e così via.

### 3.2 TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Esistono una molteplicità di azioni che permettono il recupero della capacità depurativa dei canali e delle fasce limitrofe, tra cui in questa sede si segnala in particolare:

- controllo dell'inquinamento diffuso mediante l'utilizzo di Fasce Tampone Boscate (FTB);
- interventi di riqualificazione morfologica finalizzati all'incremento della capacità autodepurativa dei canali;
- creazione di zone umide in alveo;
- creazione di zone umide fuori alveo;
- creazione di trappole per sedimenti;
- gestione conservativa della vegetazione acquatica.

Nel paragrafi seguenti si forniscono indicazioni tecniche per la realizzazione degli interventi proposti, allo scopo di inquadrare, senza la pretesa di essere esaustivi vista la complessità della materia, gli aspetti principali di cui tener conto in fase di pianificazione e progettazione di tali interventi.

## SCHEDA Q1 Controllo dell'inquinamento diffuso mediante l'utilizzo di fasce tampone boscate<sup>17</sup>

### a) Descrizione

Le Fasce Tampone Boscate (FTB) sono dei sistemi costituiti da filari di vegetazione arborea e arbustiva posti generalmente lungo le sponde dei corsi d'acqua o, ancor meglio, lungo la fitta rete di scoline presenti nei campi coltivati, in grado di intercettare e ridurre i nutrienti (azoto o fosforo) generati principalmente dalle attività agricole e diretti ai corpi idrici (Figura 3.1).

L'azione depurativa avviene grazie a una serie di processi che si svolgono sia nel soprassuolo (ad esempio ritenzione dei sedimenti da parte della vegetazione) sia e soprattutto nella porzione di suolo interessata dagli apparati radicali (rizosfera).

Nelle FTB avvengono processi combinati di degradazione degli inquinanti, quali:

- assimilazione e immagazzinamento da parte della vegetazione e della comunità microbica;
- ritenzione (sedimentazione, adsorbimento) del sedimento e degli inquinanti a esso adsorbiti;
- processi di trasformazione di sostanze da parte della comunità microbica dei suoli (la

vegetazione svolge prioritariamente un ruolo di sostegno alla loro attività metabolica).

In particolare, nel caso dell'azoto, l'effetto filtro è legato a:

- assorbimento radicale (*plant uptake*) delle sostanze azotate da parte della vegetazione;
- assorbimento da parte delle comunità microbiche dei suoli;
- processo di *denitrificazione* biologico svolto dai batteri denitrificanti che si trovano nei suoli.

Nel primo caso, la rimozione dal sistema dell'azoto assorbito per *uptake* può avvenire solo nel momento in cui gli alberi e gli arbusti che compongono la fascia sono rimossi; nel caso delle FTB associate a un utilizzo produttivo, questa operazione avviene generalmente con cadenza pluriennale. La denitrificazione invece costituisce un processo di rimozione definitiva.

Condizione necessaria perché i processi descritti avvengano è che i nutrienti, veicolati dai deflussi superficiali o sub-superficiali (Figura 3.1) o per risalita della falda, attraversino questi sistemi: da ciò ne consegue che non necessariamente ciascuna siepe o filare posto lungo un corso d'acqua possa essere definito fascia tampone, non potendo sempre svolgere il processo di rimozione degli inquinanti (effetto *tampone*).

### b) Schema progettuale

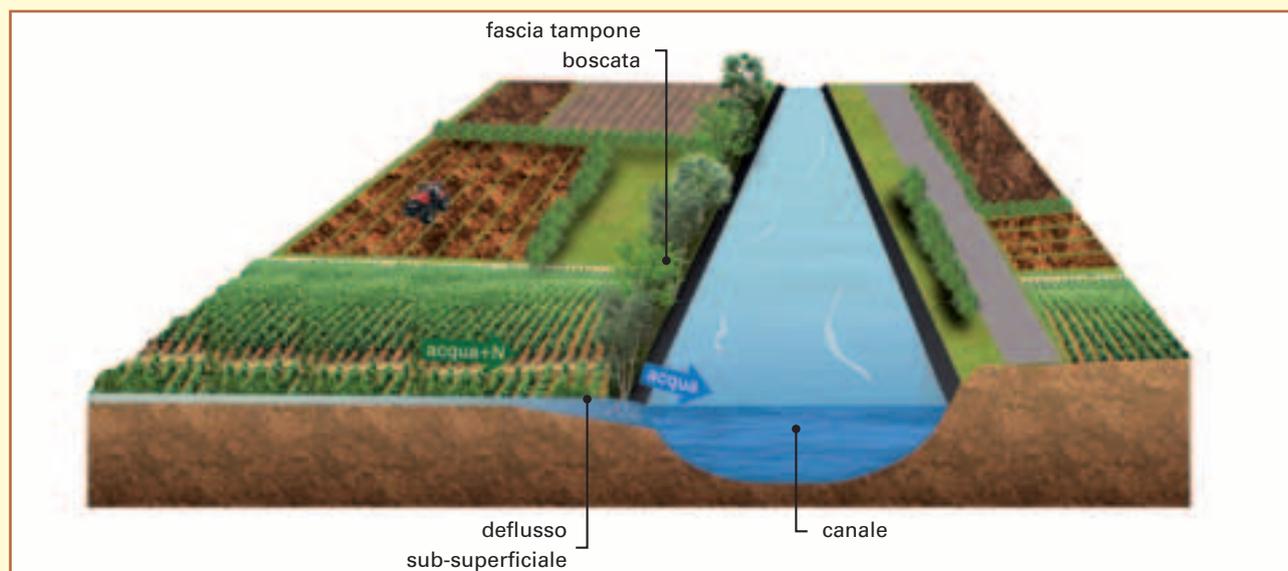


Figura 3.1 – Schema progettuale di una fascia tampone per il trattamento dei carichi di azoto (N) veicolati tramite deflusso sub-superficiale.

<sup>17</sup> Principali fonti consultate: Iridra, 2003; Conte G. *et al.*, 2005; Gumiero B. *et al.*, 2008; Gumiero B. *et al.*, 2010.

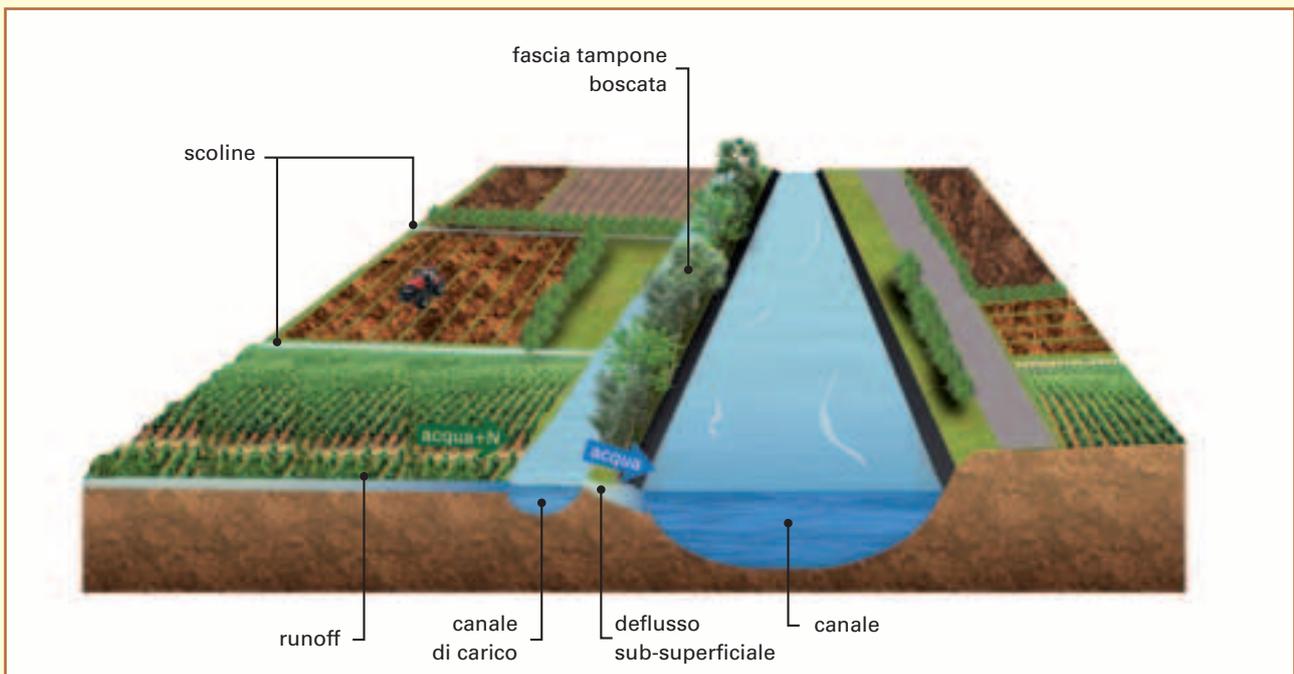


Figura 3.2 – Schema progettuale di una fascia tampone con canale di carico per il trattamento dei carichi di azoto (N) e fosforo (P) veicolati tramite deflusso sub-superficiale e runoff.



Figura 3.3 – Fascia tampone boscata posta tra un campo coltivato e un canale.

### c) Criteri di progettazione

Le modalità di messa a dimora delle FTB funzionali alla massimizzazione del rendimento depurativo dipendono dall'inquinante che si vuole intercettare (azoto o fosforo) e dalle modalità con cui viene veicolato (superficiale, sub-superficiale o per risalita della falda); sono state a tal proposito sviluppate due **tipologie principali di intervento**:

- Fascia tampone "classica";
- Fascia tampone con canale di carico.

#### a) Fascia tampone "classica"

Se l'inquinante di riferimento è quasi esclusivamente azoto (N), è necessario posizionare i filari arborei in modo che gli apparati radicali intercettino l'acqua carica di nutriente che scorre con flusso sub-superficiale (Figura 3.1).

In presenza di situazioni che non permettono il generarsi di deflussi sub-superficiali nell'area potenzialmente interessata dagli apparati radicali delle piante (rizosfera), come nel caso di canali arginati, presenza di drenaggio tubulare, suolo impermeabile, pendenze dirette verso altre direzioni ecc., tale tipologia di fascia perde la sua utilità in termini di capacità depurativa.

Se ai carichi di azoto veicolati per via sub-superficiale si aggiungono significativi fenomeni di trasporto di azoto, fosforo, solidi sospesi e pesticidi trasportati tramite ruscellamento superficiale (*runoff*), è necessario prevedere una struttura composita, costituita da una fascia erbacea posta a fianco del filare alberato, in modo che lo strato erbaceo possa intercettare e rallentare i deflussi prima che questi giungano alla fascia arborea; questa soluzione riduce la formazione di vie preferenziali, che porterebbero le acque cariche di inquinanti direttamente nel canale eludendo la fascia alberata, e favorisce i processi di sedimentazione, trasformazione e adsorbimento.

In molti casi questa fascia erbacea è fatta coincidere con la pista di passaggio dei mezzi di manutenzione consortili.

#### b) Fascia tampone con canale di carico

Per migliorare l'effetto di rimozione degli inquinanti trasportati tramite *runoff* (su cui le fasce tampone arboree sono scarsamente efficaci, in particolare nel caso di eventi meteorici intensi), è possibile prevedere strutture progettuali più complesse: tipico esempio è quello della creazione, fra l'area coltivata e i filari arboreo-arbustivi,

di scoline parallele al canale che intercettano i deflussi superficiali (canale di carico), andando a costituire un sistema integrato di *fitodepurazione-fascia tampone* (Figura 3.2). La scolina, che viene rapidamente colonizzata da vegetazione acquatica, svolge infatti la funzione di sedimentazione (deposito e accumulo di solidi sospesi e fosforo) e fitodepurazione, mentre la fascia tampone interviene sulle acque che dalla scolina filtrano verso di essa per via sub-superficiale. Tale soluzione può essere molto conveniente anche nel caso in cui il canale di carico funga da collettore delle acque provenienti dalla scoline poste a pieno campo, con portate in genere ridotte ma con concentrazioni di inquinanti molto elevate.

A prescindere dalla tipologia di FTB, è necessario seguire i seguenti **criteri generali di progettazione**:

- a parità di superficie da destinare alle FTB, è preferibile puntare a **massimizzare l'estensione lineare di tali sistemi piuttosto che la loro ampiezza**: filari stretti (mono o bifilari) interessati da acque con concentrazioni di inquinanti tipiche delle aree agricole, consentono di raggiungere percentuali di abbattimento comparabili con quelle ottenibili con sistemi plurifilari;
- non esistono chiare evidenze di una correlazione fra le specie vegetali utilizzate e l'efficienza depurativa; in ogni caso, nella **progettazione forestale** è opportuno avanzare qualche considerazione sulla possibile capacità di sviluppo degli apparati radicali rispetto alla profondità della falda e/o dei deflussi da intercettare. Nel caso di sistemi tampone ideati per la riduzione dell'azoto, sarebbe inoltre preferibile evitare l'inserimento di specie azoto-fissatrici (ad esempio le leguminose, gli ontani, ecc.); tuttavia il ricorso a queste specie non va escluso a priori, considerando che il processo di azoto-fissazione si attiva solo in carenza di questo elemento;
- qualora vi sia la possibilità di **gestire l'altezza dei deflussi** veicolati attraverso le FTB (ad esempio regolando le pendenze del terreno nella fascia compresa fra il canale di carico ed il corso d'acqua), è auspicabile mantenere tali deflussi negli orizzonti di suolo più superficiali (1 m di profondità), dove la maggiore disponibilità di carbonio, unita alla maggiore ricchezza sia in termini di biomassa che di diversità microbica, garantiscono generalmente

riduzioni degli inquinanti decisamente più elevate;

- l'effetto tampone viene incrementato effettuando **periodiche operazioni di taglio e asporto della vegetazione** (rimozione dal sistema dei nutrienti prima che essi rientrano in ciclo e stimolo a una maggiore attività di *uptake* durante la fase di ricrescita della pianta). Per questo motivo le fasce tampone ben si prestano a una progettazione che consideri anche altri usi, quale ad esempio quello produttivo legato alla creazione di biomassa a servizio di una eventuale filiera legno-energia.

Per una **stima degli effetti depurativi** conseguibili con un progetto di realizzazione di FTB, è necessario considerare le seguenti voci di bilancio:

- *Input* di nutrienti in ingresso al sistema<sup>18</sup>, dato dalla somma di:
  - immissione di azoto e fosforo dalle aree agricole limitrofe tramite deflussi superficiali o sub-superficiali verso le FTB (escludendo quindi le perdite per lisciviazione profonda);
  - eventuali immissioni di azoto e fosforo disciolti che giungono a contatto con la rizosfera dei sistemi di FTB per risalita o presenza stabile di una falda superficiale;
  - eventuale apporto di nutrienti da parte del corso d'acqua durante fasi di allagamento delle fasce tampone<sup>19</sup>.
- *Efficacia di rimozione delle FTB*, diversa per ciascun tipo di nutriente, per tipo di suolo, per clima, per tipo di vegetazione presente ed espressa in genere come percentuale media di abbattimento all'anno in funzione delle quantità di nutrienti in entrata.
- *Output* di nutrienti dal sistema, dipendente dall'efficacia di rimozione delle FTB nei confronti degli input di nutrienti, calcolato al netto delle perdite (lisciviazione, evapotraspirazione) e degli apporti (precipitazione) che av-

vengono direttamente all'interno del sistema tampone.

Per poter quantificare a livello progettuale tali voci sono possibili diversi approcci così sintetizzabili:

- ricorso a **modelli matematici** adeguatamente tarati e validati in grado di simulare l'intero processo sopra descritto.

Fra questi si segnala in particolare il modello REMM<sup>20</sup> (Riparian Ecosystem Management Model), sviluppato dallo United States Department of Agriculture (USDA), il quale ha il vantaggio di riuscire a quantificare (con alcune limitazioni) per azoto, fosforo, pesticidi e fitofarmaci tutte le voci di bilancio sopra descritte (stima degli apporti alla FTB, rimozione e calcolo dei flussi di massa in uscita). Tra gli svantaggi del modello si segnala la difficoltà di applicazione legata al numero molto elevato di parametri che occorre inserire e la sua applicabilità su scale spaziali ridotte (centinaia di metri). La sua applicazione può risultare idonea, ad esempio, in situazioni in cui è disponibile un sito sperimentale adeguatamente monitorato e rappresentativo di ampie porzioni di bacini o sottobacini. I risultati così ottenuti possono in seguito venire esportati a scala più ampia<sup>21</sup>;

- utilizzo di un **approccio semplificato** e di maggiore facilità applicativa.

In questo caso, per la stima degli input di nutrienti si utilizzano i dati (in genere già rinvenibili nell'ambito degli studi a supporto delle pianificazioni di bacino) derivanti dall'applicazione di modelli agronomici in grado di stimare i rilasci di nutrienti da diverse tipologie di colture agrarie per tipo di deflusso (ad esempio perdite per *runoff*, deflussi sub-superficiali o per lisciviazione profonda).

Raccolti questi dati, è necessario eseguire una stima della porzione di deflussi intercettabile dalle FTB in progetto, in base a dati quali, ad

<sup>18</sup> Si possono considerare trascurabili gli apporti diretti di azoto per via meteorica.

<sup>19</sup> Apporto generalmente non considerato nelle fasce tampone classiche poste sulle sponde dei canali.

<sup>20</sup> Per la descrizione generale del modello si rimanda a Lowrance *et al.* (2000). Per quanto riguarda invece gli algoritmi di calcolo, una loro descrizione è disponibile nella documentazione tecnica a supporto del modello (Altier *et al.*, 2002). Per informazioni relative alle singole componenti è possibile trovare informazioni in Inamdar *et al.* (1999a,b). Per tutte le informazioni si veda anche il sito <http://cpes.peachnet.edu/remmwww/> sviluppato da USDA.

<sup>21</sup> Nella Regione Veneto un esempio applicativo è in corso nell'ambito dell'attività sperimentale del sito Nicolas all'interno dell'Azienda Diana di Veneto Agricoltura.

esempio, lunghezza di FTB rispetto alla superficie agraria, possibile ubicazione anche in considerazione delle caratteristiche agronomiche delle aree interessate, tipologia di FTB, presenza o meno del canale di carico, e così via.

La stima degli effetti depurativi è effettuata sulla quota parte di carico intercettata dalle FTB, determinata al punto precedente, applicando una percentuale di rimozione in funzione dell'efficienza di questi sistemi per diverse tipologie di inquinanti. Da un'ampia analisi dei risultati di letteratura esistenti, le percentuali di rimozione dell'azoto sono generalmente elevate, superiori al 70% di azoto totale (Haycock, 1997; Pinay, 1992; Burt, 1997; Gumiero, 2008). Per quanto riguarda la rimozione del fosforo totale, dall'analisi della letteratura internazionale emergono valori con oscillazioni molto ampie, compresi tra il 30 e il 70% e con punte superiori al 90% (solo nei casi di scoline di carico che funzionino da trappole dei sedimenti) (Uusi-Kämpä *et al.*, 1997). Il prodotto di tali considerazioni può essere sintetizzato come riportato nell'esempio di Tabella 3.1 (Provincia di Bologna, 2009).

#### d) Indicazioni per l'esecuzione

Si rimanda al **CAP. 4** per gli aspetti forestali di messa a dimora delle specie vegetali arboreo-arbustive, con particolare riferimento alla **SCHEDE F1**.

#### e) Effetti ambientali

In Tabella 3.2 si riporta un confronto qualitativo tra diverse tipologie di fasce boscate, che mostra come le FTB possiedano caratteristiche di multifunzionalità elevate rispetto ad altre tipologie di impianto, che possono essere massimizzate in modo differenziato a seconda delle necessità. Le FTB, oltre agli effetti generati sulla qualità dell'acqua dei canali, possono infatti indurre notevoli benefici ambientali legati alle funzioni svolte dalle fasce riparie; vista la sostanziale indipendenza dell'effetto depurativo dal tipo di vegetazione prescelta, è però opportuno, in fase di progettazione, chiarire se la fascia boscata deve essere progettata cercando di massimizzare gli effetti depurativi e ambientali oppure se l'interesse prevalente riguarda, oltre ovviamente a quello depurativo, gli aspetti produttivi; questi possono infatti richiedere una manutenzione e un taglio completo più frequenti rispetto a una fascia progettata con funzioni prettamente naturalistiche, diminuendo quindi (ma non annullando) gli effetti positivi sull'ecosistema.

#### f) Manutenzione<sup>22</sup>

Per la manutenzione delle FTB classiche (Figura 3.1), si rimanda al **CAP. 4**, ove sono riportate le usuali pratiche forestali di manutenzione delle fasce riparie poste sul ciglio di sponda.

Tabella 3.1 – Esempio di rappresentazione di informazioni quali dimensione, capacità di intercettazione ed efficacia di rimozione previste per diverse tipologie di fasce tampone boscate in relazione a differenti situazioni territoriali, tratto da Provincia di Bologna, 2009.

Descrizione	Dimensione	Capacità di intercettazione	Efficacia di rimozione delle FTB in relazione alla quota di carico intercettata	
	m/ha	%	N (%)	P (%)
AREA DI BONIFICA - fascia monofilare semplice	50	80	80	30
AREA DI BONIFICA - fascia monofilare con scolina di carico	50	60	80	90
AREA DI BONIFICA - 60% fascia monofilare con scolina di carico 40% fascia monofilare semplice	50	68	80	66
AREA DI COLLINA - fascia monofilare semplice	80	90	60	30

<sup>22</sup> Si Principali fonti consultate: Gumiero *et al.*, 2010, scaricabile da [http://www.bonificadesesile.net/cms/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=59&Itemid=87](http://www.bonificadesesile.net/cms/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=59&Itemid=87).

Tabella 3.2 – Comparazione tra le funzioni potenziali delle FTB e quelle di altre colture legnose forestali.

	Legno da lavoro	Legno-energia	Depurazione	Paesaggio	Biodiversità	Ricreazione
FTB	+	+++	+++	++	++	++
SRF	o	+++	+ (1)	+	+	+
Bosco planiziale	++	++	+ (1)	+++	+++	+++
ADL	+++	+	+ (1)	++	++	+

**Legenda:** o = non efficace; + = poco efficace; ++ = efficace; +++ = molto efficace; (1) = efficace solo se idraulicamente connessa a un corso d'acqua

Se la fascia tampone è invece del tipo con canale di carico (Figura 3.2), la manutenzione necessaria richiede di tener conto di alcune prassi speciali, in particolare:

- rimozione, nel periodo estivo, della vegetazione acquatica e degli accumuli di sedimenti nei canali di carico;
- potature per il contenimento della vegetazione a ridosso del canale di carico, con successiva trinciatura delle ramaglie (Figura 3.4).

La potatura può essere eseguita sia manualmente che mediante l'utilizzo di barre di taglio meccaniche da applicare a un trattore;

- passaggio con scavafossi (Figura 3.5) e ripristino degli argini del canale di carico; la manutenzione di queste canalette può essere effettuata con una frequenza biennale.

**g) Voci di costo**

Si rimanda al CAP. 4.



Figura 3.4 – Potatura di contenimento a ridosso del canale di carico e successiva trinciatura delle ramaglie. (Foto: Paolo Giacobbi).



Figura 3.5 – Ripristino del canale di carico attraverso l'uso di uno scavafossi. (Foto: Paolo Giacobbi).

## **SCHEDA Q2** **Interventi di riqualificazione** **morfologica finalizzati** **all'incremento della capacità** **autodepurativa dei canali**<sup>23</sup>

### **a) Descrizione**

La depurazione delle acque ha luogo grazie a numerosi processi di tipo fisico (filtrazione, adsorbimento, sedimentazione, fotolisi, volatilizzazione, ecc.) e (bio)chimico (ossidazione, riduzione, nitrificazione, denitrificazione, ecc.) che avvengono spontaneamente nei corsi d'acqua naturali, caratterizzandone la capacità "autodepurante", grazie ad un complesso lavoro sinergico svolto da batteri, piante acquatiche, fitoplancton, perifiton, organismi trituratori, e così via.

Perché tali processi avvengano, occorre che siano garantite le condizioni ottimali di vita (idrodinamiche e morfologiche) a tutti questi organismi, in particolare un'elevata diversità ambientale alle diverse scale spaziali, tempi di deflusso sufficientemente lunghi perché i processi depurativi possano svolgersi e un'adeguata ossigenazione delle acque.

Nei canali questi processi di degradazione naturale degli inquinanti sono in parte limitati dalla morfologia uniforme dell'alveo, dalla scarsa complessità dell'ecosistema e dalle periodiche operazioni di manutenzione di vegetazione e substrato; per potenziare la capacità autodepurativa dei canali occorre perciò realizzare interventi di riqualificazione morfologica che puntino a diversificare, per quanto possibile, sezione e tracciato, attraverso:

- incremento della sinuosità del canale e ampliamento e diversificazione della sezione, per aumentare i tempi di residenza e favorire la presenza di numerosi microhabitat e vegetazione acquatica (Figura 3.6);
- creazione di aree golenali colonizzate da vegetazione palustre (es. *Phragmites Australis*), per consentire di ridurre il carico di inquinanti presente nelle acque che invadono la zona golenale, ove si sviluppano processi autodepurativi favoriti dalla presenza di vegetazione (Figura 3.7 nel presente capitolo e Figure 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4 nel [CAP. 1](#)).

---

<sup>23</sup> Principali fonti consultate: Iridra, 2003; Nardini *et al.*, 2006.

**b) Schema progettuale**



*Figura 3.6 – Intervento per l'incremento della sinuosità di un canale rettificato, al fine di aumentare il tempo di residenza delle acque.*



*Figura 3.7 – Creazione di aree golenali colonizzate da vegetazione palustre. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*

### c) Criteri di progettazione

La **stima degli effetti depurativi sull'azoto** di interventi quali **l'incremento di sinuosità del tracciato e la realizzazione di ampliamenti d'alveo**, atti a favorire alti tempi di residenza, habitat diversificati e la presenza di vegetazione in alveo, può essere realizzata in prima approssimazione facendo riferimento al modello elaborato da Arheimer-Wittgren (1994), che integra il modello idrologico HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) con routine dedicate all'azoto e permette di simulare i fenomeni di trasporto e trasformazione di tale nutriente a scala di bacino (da 1 km<sup>2</sup> a più di 1.000.000 km<sup>2</sup>).

HBV-N è un modello dinamico basato sul bilancio di massa che lavora su intervalli di tempo di un giorno e include tutte le sorgenti del bacino legate al bilancio dell'acqua, secondo l'espressione seguente:

$$\frac{d(cV)}{dt} = \sum \{c_{in} V_{in}\} + D + P - \Phi - cV_{out}$$

dove:

c = concentrazione dei nutrienti;

V = volume d'acqua riferito alla falda sotterranea, ai fiumi o ai laghi;

in = ingresso (ad esempio, per le acque sotterranee, l'infiltrazione dal suolo in funzione di differenti tipologie di uso del suolo);

out = uscita verso corsi d'acqua, laghi, ecc.;

D = deposizione atmosferica sulla superficie dell'acqua;

P = emissioni da sorgenti puntuali;

Φ = ritenzione (rimozione o rilascio).

In realtà, le esperienze di monitoraggio di tali tipologie d'intervento sono a oggi, in particolare in Italia, ancora poco diffuse e soprattutto non abbastanza differenziate sulla base delle diverse peculiarità territoriali; una stima degli effetti depurativi effettuata con il modello ora indicato deve perciò essere considerata un'indicazione di massima, da verificarsi mediante apposite sperimentazioni e raccolta di informazioni specifiche. Gli effetti degli interventi proposti sulla **materia organica biodegradabile** (misurata con il parametro **BOD**) possono essere determinati in prima approssimazione mediante l'uso dell'equazione di **Streeter-Phelps** (1925) relativa alla stima della concentrazione di ossigeno disciolto nel corpo idrico ricettore.

In un corso d'acqua, infatti, è presente un'attività biologica dovuta, tra gli altri, a batteri aerobici che degradano i composti organici naturali, presenti nell'acqua come conseguenza della stessa vita biologica che interessa l'ambiente acquatico: l'apporto di composti organici biodegradabili (ovvero di BOD) dall'esterno, ad opera di liquami più o meno depurati, comporta un'intensificazione dell'attività batterica, con conseguente maggior consumo dell'ossigeno disciolto in acqua. Nel corso d'acqua si sviluppano due fenomeni in competizione tra loro:

- consumo di ossigeno (deossigenazione), operato dalla flora batterica per degradare il BOD presente nelle acque;
- riossigenazione delle acque per scambio naturale di ossigeno con l'atmosfera.

Il modello di Streeter-Phelps sviluppa un bilancio semplificato tenendo conto di questi due contributi principali e permette di calcolare il deficit di ossigeno disciolto tramite la seguente formula:

$$D(t) = \frac{K_1}{K_2 - K_1} B_0 \cdot (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 \cdot e^{-K_2 t}$$

dove:

D(t) = deficit di ossigeno alla saturazione al tempo t (mg/l);

D<sub>0</sub> = deficit di ossigeno alla saturazione iniziale (mg/l);

K<sub>1</sub> = costante di deossigenazione (d<sup>-1</sup>);

K<sub>2</sub> = costante di riareazione (d<sup>-1</sup>);

B<sub>0</sub> = BOD iniziale (mg/l).

Gli interventi di riqualificazione devono quindi permettere di aumentare la riossigenazione dell'acqua in modo da compensare la deossigenazione causata dai composti organici biodegradabili immessi nel corso d'acqua.

Valgono anche in questo caso le considerazioni già esposte più sopra in merito alla necessità di sperimentazioni appropriate per l'ottenimento di valori di rendimento quanto più precisi possibile in relazione alla situazione territoriale in esame. Per quanto riguarda la determinazione della capacità depurativa delle **aree golenali**, occorre invece tener conto della peculiarità di queste zone, interessate solo sporadicamente dalle acque del canale durante gli eventi di piena. In molti casi, infatti, il numero di allagamenti che avvengono in un anno e i tempi di residenza risultano essere troppo bassi per poter utilizzare le tipiche per-

centuali di rimozione degli inquinanti indicate in letteratura per la stima degli effetti depurativi. In termini cautelativi, è allora consigliabile trascurare il contributo generato da tutti i processi autodepurativi associati all'aumento dei tempi di ritenzione, considerando invece come attiva la sola rimozione dell'**azoto** dovuta al *plant uptake*, cioè al quantitativo di nutrienti che le piante presenti in golena immagazzinano. Questo contributo può essere stimato secondo l'approccio proposto da Vymazal (2001), per il quale l'azoto totale potenzialmente rimovibile, considerando lo sfalcio stagionale delle piante nella stagione vegetativa, potrebbe essere compreso tra 1 e 2,5 t/ha all'anno. In realtà, in climi temperati questi tassi non sono raggiungibili, pena la distruzione del fragmiteto stesso e impatti sulla fauna presente; considerando allora la realizzazione di uno o due sfalci annuali, uno nel periodo invernale (febbraio) e uno eventualmente alla fine dell'estate (settembre), sebbene in questi periodi la quantità di biomassa presente sia sensibilmente inferiore rispetto alla stagione vegetativa, si possono utilizzare valori di rimozione dell'azoto compresi tra 0,1 e 0,45 t/ha all'anno (Hosoi *et al.*, 1998), con il valore più basso relativo alla realizzazione del solo sfalcio invernale.

Nei casi in cui, invece, **le aree golenali e l'alveo siano mantenuti allagati per lunghi periodi tramite appositi manufatti posti a valle**, che creano un rallentamento della corrente e tempi di ritenzione di circa 2 giorni in riferimento alla portata media annuale, è possibile stimare l'efficienza depurativa facendo riferimento al già citato modello Arheimer-Wittgren (1994), che indica una rimozione di azoto (N) pari a circa 400 kg N/ha all'anno, da prendersi come riferimento di massima valido per le basse concentrazioni medie di azoto tipiche dei canali.

#### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

Si rimanda alla [SCHEDA R1](#) al [CAP. 1](#).

#### **e) Effetti ambientali**

L'intervento permette lo sviluppo, il mantenimento o l'incremento delle dinamiche evolutive geomorfologiche ed ecologiche del canale, con conseguente creazione di habitat; si ottiene inoltre il miglioramento della capacità autodepurativa del canale, dello stato della vegetazione spondale, golenale e acquatica, nonché un miglioramento dello stato delle comunità faunisti-

che (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.). Per ulteriori dettagli si rimanda al [CAP. 1](#), alla [SCHEDA R1](#).

#### **f) Manutenzione**

La realizzazione di canali sinuosi e dalla morfologia diversificata, in cui la presenza di vegetazione acquatica è prevista sin dalla fase progettuale mediante apposita modellizzazione idraulica, porta ad una riduzione drastica delle necessità di manutenzione del canale; questa condizione è inoltre elemento essenziale per mantenere un elevato grado di diversificazione dell'alveo e rendere così possibili i processi autodepurativi. Rimane comunque la necessità di eseguire controlli periodici per verificare che la funzionalità idraulica di progetto sia garantita, a cui possono conseguire eventuali operazioni di riapertura del canale di corrente centrale (si veda il [CAP. 5](#)).

Anche le operazioni di espurgo e risonamento, che diminuiscono drasticamente la diversificazione dell'alveo e ne pregiudicano quindi la capacità autodepurativa, devono possibilmente essere evitate, salvo eventi eccezionali. I periodi di taglio e di espurgo in ogni caso devono tener conto delle necessità riproduttive e migratorie della fauna presente.

La creazione di golene colonizzate da piante acquatiche e palustri, realizzate a scopi depurativi, può invece richiedere, come descritto al punto *c)* "*Criteri di progettazione*", uno sfalcio periodico della vegetazione al fine di eliminare i nutrienti accumulatisi nelle piante.

#### **g) Voci di costo**

Si rimanda alla [SCHEDA R1](#) al [CAP. 1](#).

### SCHEDA Q3 Creazione di zone umide in alveo

#### a) Descrizione

Le zone umide (*wetland*) in alveo sono una tipologia d'intervento che punta a ricreare le caratteristiche idrauliche, vegetazionali, ambientali e i processi biologici propri delle zone umide naturali, al fine di migliorare la qualità delle acque dei corpi idrici, nel caso specifico dei canali; in queste aree, ottenute allargando parte del canale per ricreare lungo il suo tracciato una vasca naturaliforme, profonda qualche decina di centimetri, occupata dall'acqua che scorre lentamente verso valle e colonizzata da vegetazione acquatica, si svolgono infatti i processi autodepurativi tipici delle zone umide.

Le *wetland* trattano i carichi inquinanti (nutrienti, BOD, solidi sospesi) una volta che questi hanno già raggiunto il corso d'acqua; possono quindi essere utilizzate nei casi in cui non sia più possibile, o non sia sufficiente, intervenire sulla fonte degli inquinanti prima che questi giungano al canale.

Le zone umide in alveo permettono il trattamento di tutta la portata di un corso d'acqua e sono quindi spesso utilizzate su corpi idrici di piccole dimensioni, in particolare lungo i canali, i quali possono trarre un elevato beneficio non solo in termini di miglioramento della qualità dell'acqua ma anche di diversificazione di un ecosistema generalmente banalizzato.

Elementi peculiari delle zone umide in alveo sono il dissipatore di energia posto all'imbocco dell'opera, seguito da una zona profonda ad acqua libera per favorire la sedimentazione e da un sistema di fitodepurazione che occupa la maggior parte della superficie disponibile (Figura 3.8 e Figura 3.9). Il sistema di fitodepurazione è generalmente costituito da un invaso del tipo a superficie libera (*free water*, secondo la classificazione dei sistemi di fitodepurazione), con eventuali inserti a letto ghiaioso per aumentare i fenomeni di filtrazione nel caso, ad esempio, uno degli obiettivi di trattamento sia la rimozione del fosforo.

#### b) Schema progettuale

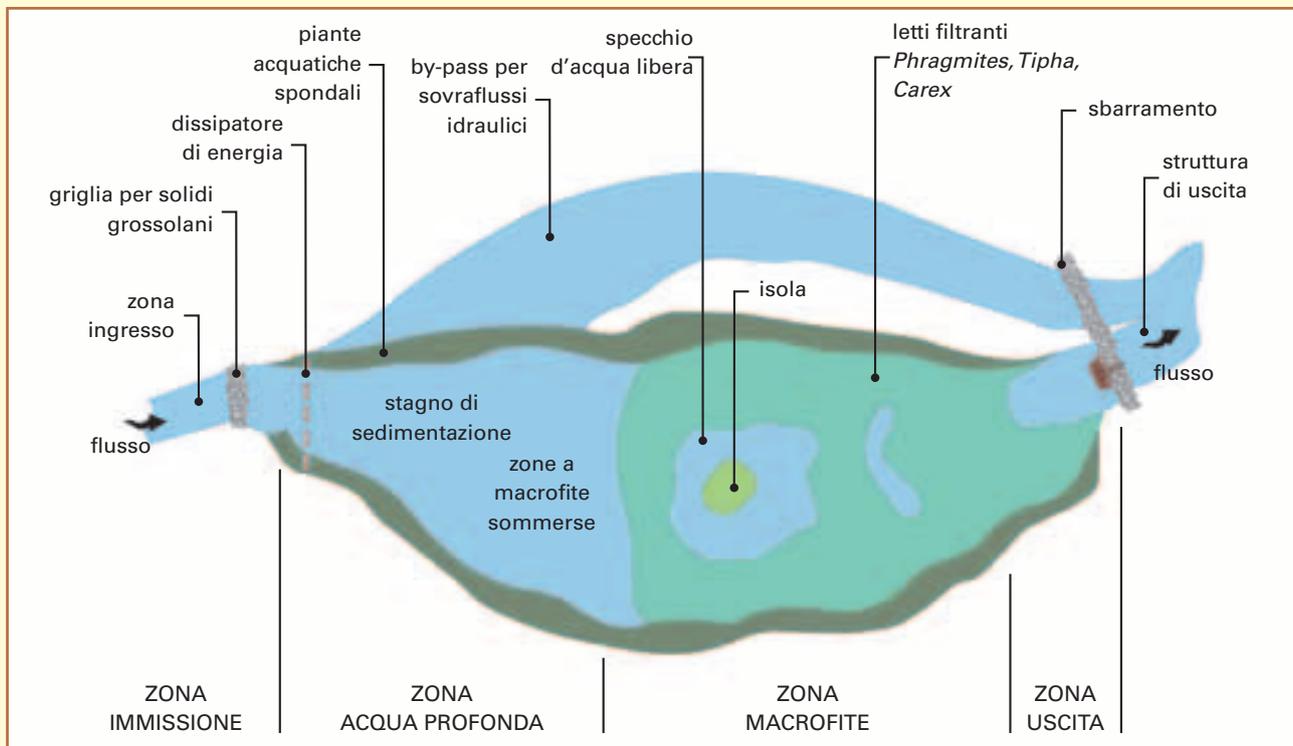


Figura 3.8 – Schema costruttivo di una zona umida in alveo. Come si osserva dallo schema essa comprende: ZONA DI IMMISSIONE (comprensiva di opera di presa, dissipatore di energia, griglia per solidi grossolani, eventuale); ZONA AD ACQUE PROFONDE (con stagno di sedimentazione, zona a macrofite sommerse, by-pass per sovrafflussi idraulici); ZONA A MACROFITE (con letti filtranti con *Phragmites*, *Tiphia*, *Carex* ecc., specchi di acqua libera, isole); ZONA DI USCITA (con zona ad acque profonde, sbarramento, dispositivo di regolazione livello). (Illustrazione: IRIDRA s.r.l. adattata).



*Figura 3.9 – Costruzione di una zona umida in alveo lungo la Fossa Pagana. In alto: il canale prima della realizzazione degli interventi di riqualificazione. In basso: allargamento e rimodellamento della sezione al fine di costruire la zona umida in alveo. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*

### c) Criteri di progettazione<sup>24</sup>

La progettazione di una zona umida in alveo prevede due fasi strettamente interrelate; la stima degli effetti sulla qualità dell'acqua e il dimensionamento idraulico, necessario per garantire tempi di ritenzione sufficienti a ottenere le rimozioni di inquinanti richieste.

La **progettazione idraulica** richiede il dimensionamento corretto dell'opera di uscita delle acque dalla zona umida, opera che permette la regolazione dei volumi invasati e dei tempi di residenza delle acque; la progettazione idraulica può essere ricondotta a quella degli stagni (vasca unica, dove le acque occupano progressivamente tutta la superficie utile) o a quella di un canale meandrizzato.

In letteratura esistono numerosi metodi per la **stima della rimozione dell'azoto nelle zone umide** (sia naturali che costruite); in questa sede si propone l'utilizzo del **modello k-C\* proposto da Kadlec** (Kadlec e Knight, 1996) e dei parametri di rimozione degli inquinanti (costanti areali) per **azoto totale e nitrati** ottenuti dai monitoraggi eseguiti sull'area umida sperimentale di Castelnuovo Bariano, in provincia di Rovigo, dall'Università di Padova. Le concentrazioni in ingresso alle zone umide poste lungo i canali sono, infatti, molto minori rispetto a quelle riscontrabili in un refluo di scarico, situazione da cui sono generalmente tratte le costanti areali proposte da Kadlec che, per il caso specifico dei canali, risultano essere troppo elevate; è allora preferibile avvalersi di costanti areali mutuata sulla base di una esperienza, quella di Castelnuovo Bariano, che per tipo di applicazione, condizioni climatico-ambientali e caratteristiche progettuali risulta essere paragonabile a quelle tipiche dei canali (Iridra, 2003).

Il modello di Kadlec si basa sulla seguente formula:

$$A_s = \frac{365 \cdot Q}{k} \cdot h \left( \frac{C_o - C^*}{C_i - C^*} \right)$$

$$k = K_R \cdot \vartheta_R^{(T_w - T_R)}$$

dove:

$A_s$  = superficie dell'area umida [m<sup>2</sup>];

$C_i$  = concentrazione di inquinante in ingresso [mg/l];

$C_o$  = concentrazione di inquinante in uscita [mg/l];

$C^*$  = concentrazione di fondo dell'inquinante [mg/l];

$Q$  = portata media che attraversa l'area umida [m<sup>3</sup>/d];

$k$  = costante areale di rimozione del primo ordine [m/y];

$\vartheta_R$  = coefficiente di temperatura;

$T_w$  = temperatura dell'acqua nell'area umida [C°];

$T_R$  = temperatura di riferimento [C°];

$K_R$  = costante di rimozione alla temperatura di riferimento [d<sup>-1</sup>].

Volendo stimare gli effetti su un periodo di un anno, è possibile utilizzare il modello di Kadlec trascurando gli effetti delle variazioni di temperatura e adottando i seguenti parametri:

$K_{TN} = 30$  m/anno (costante areale relativa alla rimozione di azoto totale, TN)

$C_{TN}^* = 0,5$  mg/l (concentrazione di azoto totale, TN, di fondo)

$K_{NO_x} = 46$  m/anno (costante areale relativa alla rimozione di nitrati e nitriti, NO<sub>x</sub>)

$C_{NO_x}^* = 0,5$  mg/l (concentrazione di nitrati e nitriti, NO<sub>x</sub>, di fondo)

Tenendo conto, inoltre, che nel caso di portate superiori a quella di magra si ha una netta diminuzione dei tempi di ritenzione idraulica e quindi delle efficienze di rimozione, nella valutazione dei carichi rimossi si suggerisce di calcolare il tempo di ritenzione del sistema sulla base delle portate di magra e morbida riferite a 10 mesi l'anno, trascurando totalmente le altre portate, così da evitare sovrastime degli abbattimenti potenziali.

Maggiori rimozioni in termini di quantitativi di azoto rimosso possono essere ottenuti mediante l'asportazione periodica delle piante acquatiche, che accumulano al loro interno una parte dei nutrienti: in tal caso occorre aggiungere al valore di rimozione potenziale ottenuto tramite

<sup>24</sup> Principali fonti consultate: Iridra, 2003; Mazzoni M., 2005.

il modello k-C\* anche un contributo aggiuntivo dovuto all'assimilazione dei nutrienti da parte della piante (*plant uptake*), stimabile come indicato nella **SCHEDA Q2**.

Per quanto riguarda la rimozione del **fosforo**, è consigliabile non considerare in termini cautelativi la quantità potenzialmente rimossa all'interno della zona umida, in quanto tale meccanismo è legato in realtà principalmente all'adsorbimento da parte del suolo ed alla formazione di fosfati insolubili con cationi che cambiano il loro stato di ossidazione al variare della concentrazione di ossigeno disciolto (ad es. Fe(II) presente nel periodo estivo diviene Fe(III) in quello invernale, facendo precipitare fosfato ferrico che si risolubilizza quando ritorna a essere fosfato ferroso); una volta raggiunta la saturazione, il fosforo viene infatti rilasciato e reimmeso nel sistema, senza generare così, alla fine di questo ciclo, alcuna riduzione di tale elemento presente nelle acque del canale; questa situazione potrebbe essere migliorata prevedendo di realizzare interventi di dragaggio del fondo, che però sono incompatibili per gli effetti negativi che comportano sull'ecosistema della zona umida. Si può quindi far riferimento al solo fosforo rimosso per sfalcio della vegetazione, utilizzando i dati di rimozione riportati da Vymazal (2001) e quelli relativi allo studio del CRA di Sirmione (2005) su alcuni canneti del Lago di Garda, da cui emerge che vengono rimossi 2 g P/m<sup>2</sup>. Considerando di eseguire due sfalci in periodi in cui la quantità di fosforo contenuta nella parte emersa delle piante (*standing stock*) è maggiore, si può applicare un valore unitario di rimozione pari a 6 g P/m<sup>2</sup> all'anno.

Gli effetti di tali interventi sulla **materia organica biodegradabile** (misurata con il parametro BOD) possono invece essere effettuati in prima approssimazione mediante l'uso dell'equazione di Streeter-Phelps già introdotta alla **SCHEDA Q2**. Valgono anche in questo caso le considerazioni già esposte in precedenza in merito alla necessità di sperimentazioni appropriate per l'ottenimento di valori di rendimento quanto più precisi possibile in relazione alla situazione territoriale in esame.

#### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

La zona umida è realizzata modellando il terreno per ottenere profondità variabili da 20 a 40 cm, alternate lungo lo sviluppo longitudinale della vasca, e la pendenza di progetto che garantisce il flusso verso valle; gli scavi sono preceduti dalla preparazione del sito mediante pulizia generale con mezzi meccanici per una profondità di circa 10 cm e conservazione della parte superficiale del terreno asportato, utile per essere utilizzata come buon substrato vegetale per l'attecchimento e la crescita delle specie vegetali messe a dimora.

L'alimentazione della zona umida deve consentire la distribuzione il più possibile uniforme della portata entrante su tutta la superficie trasversale di ingresso, in modo da limitare la formazione di cortocircuiti idraulici, che diminuiscono i tempi di residenza e non permettono a gran parte dell'area di trattare le acque immesse, fattori che riducono il rendimento depurativo della zona umida.

#### **e) Effetti ambientali**

La creazione di zone umide in alveo, oltre a migliorare la qualità delle acque, permette la creazione di habitat in alveo, il miglioramento dello stato delle comunità faunistiche (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi) e l'incremento della connessione ecologica.

#### **f) Manutenzione<sup>25</sup>**

La manutenzione della zona umida deve permettere di raggiungere una pluralità di obiettivi non sempre concordi tra loro, come la massimizzazione dell'efficienza dei processi depurativi, la garanzia contro eventuali esondazioni del canale e le condizioni per un appropriato sviluppo della vegetazione acquatica e della fauna.

Diverse sono le operazioni di gestione necessarie a raggiungere tali obiettivi, di cui le più significative sono la gestione dei livelli e della portata e quella delle piante erbacee palustri (canneto).

##### • Gestione dei livelli e della portata

Come già ricordato, i processi di depurazione sono influenzati dai livelli idrici e dalle portate presenti nella zona umida, su cui si può inter-

<sup>25</sup> Principali fonti consultate: Consorzio di bonifica Dese Sile, 2000.

venire direttamente attraverso la manovra degli apparati idraulici che costituiscono il sistema. La portata in ingresso e in uscita determina direttamente il carico idraulico e di nutrienti e i tempi di ritenzione idraulica, da cui dipende l'efficienza depurativa del sistema; per aumentare quest'ultima è necessario incamerare, per il periodo di tempo più lungo possibile, il massimo volume d'acqua, avendo in ogni caso premura di evitare esondazioni nel territorio circostante.

**Le operazioni di gestione delle portate devono quindi ottimizzare le portate in ingresso per garantire i rendimenti depurativi stabiliti in fase progettuale.**

I livelli idrici all'interno dell'area umida determinano l'estensione e l'alternanza delle zone emerse e sommerse e l'estensione e la composizione floristica del canneto; il livello idrometrico determina inoltre il tipo di associazione vegetale che colonizza l'area umida, sebbene in larga parte questa sia legata alla piantumazione effettuata direttamente.

**La gestione dei livelli deve quindi garantire anche l'instaurarsi e il mantenimento della vegetazione acquatica nelle aree stabilite in fase di progettazione.**

In Tabella 3.3 si riportano a tal proposito le condizioni tipiche di alcune specie vegetali in termini di profondità d'acqua.

Tabella 3.3 – Profondità tipiche di alcune piante adatte ad un'area umida (tratto da Dal Cin L. et al., 2002).

Tipologia vegetale	Specie	Profondità tipiche (m)	
		da	a
Emergenti	<i>Thypha</i> spp.	0,1	1
	<i>Phragmites</i> spp.	0,1	1
	<i>Scirpus</i> spp.	0,1	1
	<i>Juncus</i> spp.	0,1	0,3
	<i>Carex</i> spp.	0,1	0,3
Sommerse	<i>Potamogeton</i> spp.	> 0,5	
	<i>Vallisneria</i> spp.	> 0,5	
	<i>Ruppia</i> spp.	> 0,5	
	<i>Nuphar</i> spp.	> 0,5	
	<i>Elodea</i> spp.	> 0,5	
Galleggianti	<i>Lemna</i> spp.	suolo inondato	
	<i>Eichornia crassipes</i>	suolo inondato	
	<i>Hydrocotyle umbellata</i>	suolo inondato	
	<i>Azolla</i> spp.	suolo inondato	
	<i>Wolffia</i> spp.	suolo inondato	

La gestione dei livelli deve essere eseguita durante diverse fasi e periodi di funzionamento dell'impianto, in particolare:

- *fase immediatamente successiva alla piantumazione delle specie vegetali acquatiche*: la gestione del livello idrico deve essere effettuata per favorire l'attecchimento e lo sviluppo delle piante utilizzate per la colonizzazione delle aree umide. A tal proposito devono essere garantiti livelli idrometrici che non siano troppo elevati e tali da sommergere completamente le piantine, nel qual caso queste potrebbero essere soggette a morte per asfissia, ma anche tali da non generare situazioni di stress idrico per le giovani piantine, determinandone il disseccamento;
- *fase di funzionamento a regime dell'area umida dopo che le formazioni di Phragmites e Typha si sono affermate*: dopo tre anni dall'esecuzione dell'opera, il livello idrometrico all'interno dell'area umida potrà oscillare mediamente su valori compresi tra 0,1 ed 1 m, anche se potranno essere tollerati, per periodi di tempo limitati, livelli superiori, posto che non avvenga la sommersione completa dei culmi delle canne;
- *periodo immediatamente successivo allo sfalcio della vegetazione*: la manutenzione della vegetazione deve preferibilmente avvenire in settembre (si veda più sotto) e per una buona riuscita occorre evitare la completa sommersione del culmo delle canne, per evitare che marcisca;
- *periodo riproduttivo dell'avifauna (marzo-luglio)*: il mantenimento di adeguati livelli idrometrici nel periodo primaverile-estivo è fondamentale per il successo riproduttivo degli uccelli nidificanti nell'area. All'inizio del periodo della nidificazione i livelli idrici devono perciò essere mantenuti alle quote massime, in modo che gli uccelli si trovino costretti a realizzare il nido in aree elevate, così che durante tutto il periodo della nidificazione si abbia la certezza che le variazioni di livello non comportino la sommersione del nido e delle uova. In questo modo, anche in occasione di eventi di piena di natura eccezionale potrà in qualche misura essere scongiurato il pericolo della perdita dei nidi e delle uova.
- **Gestione delle piante erbacee palustri (canneto)**  
La gestione deve essere finalizzata a:
  - evitare l'interramento del canneto per sedimentazione dei solidi presenti nelle acque;
  - mantenere un'estensione del canneto almeno pari al 70% dell'area;

- assicurare un elevato grado di efficienza del processo di fitodepurazione;
- garantire la presenza di specchi d'acqua e canali liberi dal canneto, così da favorire la circolazione delle acque e la capacità di penetrazione nella zona umida dell'avifauna;
- diversificare il canneto garantendo la presenza di specie ed età differenziate, attraverso il periodico sfalcio e rinnovamento di una superficie pari a circa un quarto di quella complessiva, mantenendo comunque delle porzioni non sottoposte ad intervento di controllo per almeno 4-5 anni.

La tutela del ciclo riproduttivo degli uccelli nidificanti può essere raggiunta realizzando il taglio tra fine agosto e fine febbraio; per garantire la massima efficienza del processo depurativo si individua in settembre il mese più adatto all'interno della finestra temporale indicata.

#### **g) Voci di costo**

Le zone umide in alveo sono opere il cui costo è normalmente ricavabile dai vari prezziari ufficiali e che varia in funzione di come la zona umida è progettata e delle variabili di input (idrauliche, idrologiche, vegetazionali, meteo climatiche, ecc.). In generale le fasi lavorative per la costruzione di una zona umida in alveo sono:

- movimenti terra (scavi a sezione larga obbligata oltre a scavi a sezione obbligata per l'esecuzione di canali accessori e per l'eventuale posa di tubazioni di collegamento accessorie);
- posa in opera di terreno vegetale per la messa a dimora di specie vegetali;
- creazione di eventuali zone filtranti (forniture e posa in opera di inerti);
- opere di ingegneria naturalistica per la realizzazione di soglie stramazzanti e consolidamenti spondali, quali palizzate, palificate, inerbimenti protetti (per le quali si rimanda alle voci di costo descritte al [CAP. 2](#));
- by-pass per eventuali interventi di manutenzione (realizzabili sia come canali in terra, sia tramite l'impiego di tubazioni plastiche);
- fornitura e messa a dimora delle specie vegetali.

## **SCHEDE Q4**

### **Creazione di zone umide fuori alveo**

#### **a) Descrizione**

Le zone umide fuori alveo hanno una struttura analoga a quelle in alveo, ma differiscono da queste ultime nel sistema di alimentazione, costituito da un canale derivatore, preferibilmente seminaturale, che permette di alimentare la zona umida con una frazione della portata complessiva del corso d'acqua.

Si tratta quindi di sistemi che, a parità di tipologia e dimensioni del canale, possono trattare una portata inferiore rispetto alle zone umide in alveo, attraversate dall'intero flusso idrico, ma che in genere presentano migliori prestazioni grazie al mantenimento di condizioni più costanti per l'ottenimento di una capacità autodepurativa massima in ogni stagione dell'anno e indipendentemente dal regime idraulico del canale stesso.

Questa tipologia di zone umide può essere utilizzata nelle seguenti situazioni:

- per depurare una quota della portata ordinaria: l'alimentazione è costante e l'efficienza di rimozione degli inquinanti, dipendente dal tempo di ritenzione, è massima;
- per laminare e depurare le sole portate di piena: l'alimentazione è sporadica e lo scopo principale è la laminazione dei picchi di portata nel canale e solo secondariamente la depurazione delle sue acque. L'alimentazione discontinua, attraverso un funzionamento "a soglia", lascia la zona umida per lungo tempo priva di acque e permette quindi di depurare volumi molto minori rispetto al caso di alimentazione in continuo, diminuendo l'efficacia di rimozione degli inquinanti.

**b) Schema progettuale**

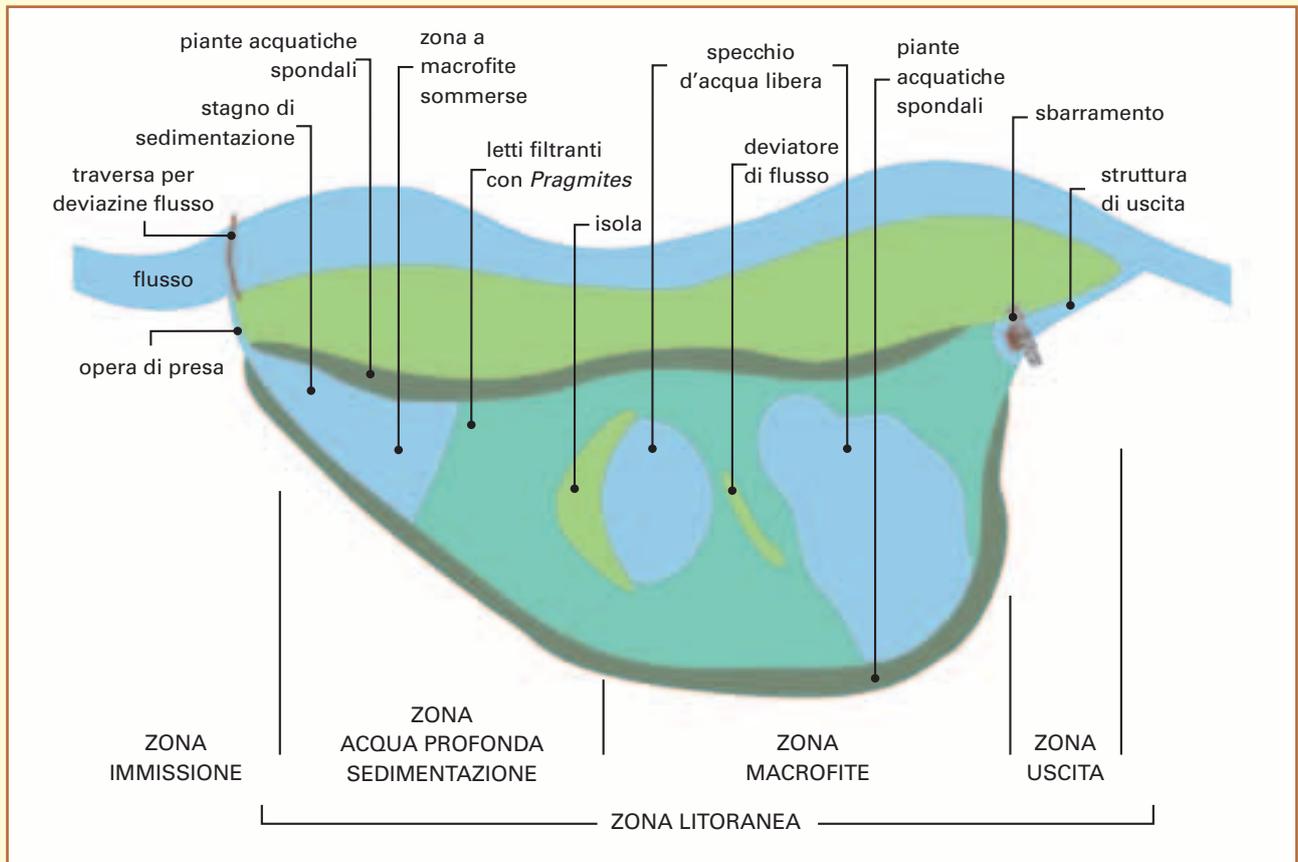


Figura 3.10 – Schema costruttivo di una zona umida fuori alveo. Come si osserva dallo schema essa comprende: ZONA DI IMMISSIONE (comprensiva di opera di presa e traversa per deviazione); ZONA AD ACQUE PROFONDE (con stagno di sedimentazione, zona a macrofite sommerse, piante acquatiche spondali); ZONA A MACROFITE (con letti filtranti con *Phragmites*, *Tipha*, *Carex* ecc., specchi di acqua libera, isole, deviatori di flusso, piante acquatiche spondali); ZONA DI USCITA (con sbarramento). (Illustrazione: IRIDRA s.r.l. adattata).



Figura 3.11 – Zona umida fuori alveo “Cà di mezzo” (Consorzio di bonifica Adige Euganeo, sull’area in gestione all’ex Consorzio di bonifica Adige Bacchiglione).

### **c) Criteri di progettazione**<sup>26</sup>

Come per le zone umide in alveo, anche per quelle fuori alveo la progettazione prevede due fasi strettamente interrelate: la stima degli effetti sulla qualità dell'acqua e il dimensionamento idraulico, necessario per garantire tempi di ritenzione sufficienti ad ottenere le rimozioni di inquinanti stimate e che, nel caso di una zona umida adibita alla laminazione delle piene, deve tener conto anche di questo obiettivo oltre che di quello, secondario, della depurazione delle acque laminate.

Per quanto riguarda le **stime di rimozione degli inquinanti** occorre considerare due situazioni tipiche:

- **alimentazione in continuo:** risulta semplice stimare i flussi in ingresso, considerati costanti durante tutto l'arco dell'anno; valgono quindi le stesse considerazioni e assunzioni fatte nella **SCHEDA Q3** per le zone umide in alveo;
- **alimentazione discontinua:** si consiglia di trascurare totalmente gli effetti sulla rimozione dei nutrienti, a causa dei lunghi periodi dell'anno durante i quali la zona umida non viene alimentata dalle acque del canale: i carichi trattati, infatti, se valutati in termini di quantità di massa su base annua, sono mol-

to minori rispetto al caso di alimentazione in continuo e molte possono essere le componenti di incertezza nel valutare l'efficienza di rimozione in coincidenza di eventi eccezionali (quali sono le piene).

### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

Si vedano le indicazioni fornite nella **SCHEDA Q3** per le zone umide in alveo.

### **e) Effetti ambientali**

La creazione di zone umide fuori alveo, oltre a migliorare la qualità delle acque, permette la creazione di habitat sul territorio rurale, che possono divenire nodi della rete ecologica, il miglioramento dello stato delle comunità faunistiche (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi) e l'incremento della connettività ecologica.

### **f) Manutenzione**

Valgono le indicazioni fornite per le zone umide in alveo nella **SCHEDA Q3**.

### **g) Voci di costo**

Valgono le indicazioni fornite per le zone umide in alveo nella **SCHEDA Q3**.

<sup>26</sup> Principali fonti consultate: Iridra, 2003; Consorzio di bonifica Dese Sile, 2006.

## **SCHEDA Q5** **Creazione di trappole per sedimenti<sup>27</sup>**

### **a) Descrizione**

Le trappole per sedimenti sono piccoli bacini ad acque profonde ricavati direttamente in alveo mediante scavo del fondo, ed eventuale allargamento di sezione, le quali permettono di creare

condizioni di calma favorevoli alla sedimentazione dei solidi sospesi presenti nelle acque; in questo modo si riduce la sedimentazione distribuita lungo l'asta del canale, si facilitano le operazioni di estrazione dei sedimenti, che possono essere realizzate prevalentemente nella trappola piuttosto che lungo l'intero alveo, e si diminuiscono di conseguenza gli impatti sull'ecosistema causati da operazioni di espurgo generalizzate.

### **b) Schema progettuale**



*Figura 3.13 – Schema costruttivo di una trappola per sedimenti; in rosso la sezione originale del canale, approfondita al fine di creare una zona di calma in alveo per favorire la sedimentazione all'interno della trappola. Su una sponda è inoltre presente una piazzola per l'accesso dei mezzi per l'espurgo dei sedimenti.*

<sup>27</sup> Principali fonti consultate: Consorzio di bonifica pianura di Ferrara, 2008.



Figura 3.14 – Trappola per sedimenti in fase di costruzione lungo il Canale di San Giovanni, al termine dei lavori di abbassamento del fondo alveo (2009). Si noti in primo piano e sullo sfondo, prima e dopo lo scavo, il livello del fondo del canale, superiore a quello presente all'interno della trappola. Il perimetro dello scavo è protetto, nel caso in esame, da paleria di castagno, per evitare il franamento delle pareti della trappola. (Fonte: Consorzio di bonifica pianura di Ferrara, 2008). (Foto: Marco Monaci).

### c) Criteri di progettazione

La trappola ha lo scopo di rallentare la corrente, così da permettere ai sedimenti trasportati di depositarsi prevalentemente al suo interno piuttosto che lungo l'asta del canale.

Una volta entrate nella trappola, le particelle di sedimento tendono a raggiungere una velocità di caduta costante, detta *velocità di sedimentazione* ( $v_s$ ).

In regime di moto laminare, quando cioè le particelle solide sedimentano tanto lentamente da non indurre moti vorticosi nel fluido, come avviene all'interno della trappola, la velocità di sedimentazione delle particelle immerse in acqua si può calcolare mediante la legge di Stokes:

$$v_s = \frac{g}{18} (\gamma_s - \gamma_w) \frac{D^2}{\mu}$$

dove:

$v_s$  = velocità di sedimentazione della particella (cm/s);

$g$  = accelerazione di gravità (981 cm/s);

$\gamma_s$  = peso specifico relativo delle particelle solide;

$\gamma_w$  = peso specifico relativo dell'acqua;

$\mu$  = viscosità cinematica dell'acqua (centistokes; centistokes = 0,01 cm<sup>2</sup>/s);

$D$  = diametro delle particelle che si intende far sedimentare.

Le trappole possono essere considerate un sedimentatore e dimensionate facendo riferimento al *carico idraulico superficiale*  $v_a$ , pari al rapporto  $Q/S$  tra la portata idraulica in ingresso  $Q$  e la superficie  $S$  della trappola. Tutte le particelle solide che possiedono una velocità di sedimentazione maggiore o uguale al carico idraulico superficiale ( $v_s \geq v_a$ ) sedimentano sul fondo della trappola; al contrario, le particelle che possiedono una velocità di sedimentazione minore sono trascinate nella rete idrica a valle della trappola.

Il dimensionamento richiede la conoscenza delle seguenti informazioni:

- curva granulometrica dei sedimenti o, quan-

tomeno, diametro inferiore dei sedimenti che si intende far sedimentare;

- regime delle portate idriche durante l'anno.

Nota la portata idraulica entrante nella trappola e la velocità di sedimentazione dei solidi sospesi che si intende far sedimentare, calcolata con la legge di Stokes, si ricava la superficie della trappola.

Grazie a questi dati, è possibile stimare durante l'arco dell'anno quali porzioni dei sedimenti trasportati vengono intrappolate e in quale misura con l'evolvere delle portate.

Come diametro delle particelle di sedimento D che si intendono far sedimentare, si può prendere a riferimento quello delle particelle di suolo alle quali viene adsorbita la maggior parte del fosforo dilavato dai suoli: è un diametro sufficientemente piccolo, essendo compreso tra 0,02 e 0,05 mm, da delimitare certamente una porzione significativa dei sedimenti trasportati; inoltre, in questo modo, la quota parte di sedimenti catturati assicura quanto meno il beneficio ambientale di rimuovere dalle acque un'importante porzione del fosforo dilavato.

#### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

Per facilitare le operazioni di svuotamento della trappola, le due sponde laterali possono essere rese sub-verticali sorreggendole mediante la costruzione di una palificata semplice; a monte e a valle la trappola può essere delimitata da una palancolata in pali di castagno infissi nel terreno, con quota delle teste al medesimo livello del canale prima dell'approfondimento.

Occorre inoltre ricavare lungo una delle due sponde della trappola una pista di accesso e manovra dei mezzi per l'espurgo, mediante eventuale sbancamento che avvicini la banca al livello dell'acqua.

L'esecuzione dei lavori richiede il preventivo isolamento idraulico del tratto di canale oggetto d'intervento, delimitandolo, ad esempio, a monte e a valle mediante una palancolata metallica,

e trasferimento a valle le portate in arrivo mediante apposita stazione di pompaggio. Se possibile, è inoltre utile provvedere alla riduzione della portata fluente nel canale mediante apposita gestione delle opere di regolazione idraulica della rete consortile.

Preventivamente all'avvio dei lavori è infine utile provvedere alla cattura della fauna ittica presente nel canale attraverso elettrostorditore e alla sua reimmissione in un altro tratto di canale non oggetto di intervento.

#### **e) Effetti ambientali**

Gli effetti principali riguardano la diminuzione della torbidità delle acque, con ripercussioni positive sulle comunità viventi del canale.

#### **f) Manutenzione**

L'espurgo dei sedimenti dalla trappola deve essere eseguito con cadenza pluriennale, in funzione della dimensione e dei tempi di riempimento previsti in fase progettuale.

#### **g) Voci di costo**

Le zone umide in alveo sono opere il cui costo è normalmente ricavabile dai vari prezziari ufficiali; spesso si tratta semplicemente di porzioni di canale in cui si realizza un bacino di calma e che quindi presuppongono solamente lavori di scavo e movimentazione del terreno.

Le altre opere a complemento possono essere:

- opere di ingegneria naturalistica per la realizzazione di eventuali soglie e consolidamenti spondali, quali palizzate, palificate, inerbimenti protetti (per le quali si rimanda alle voci di costo descritte al [CAP. 2](#));
- by-pass per eventuali interventi di manutenzione (realizzabili in genere come canali in terra);
- accessi per la manutenzione;
- messa a dimora di specie vegetali autoctone per il ripristino naturalistico.

## SCHEDA Q6 Gestione conservativa della vegetazione acquatica<sup>28</sup>

### a) Descrizione

La vegetazione acquatica presente nei canali trasforma, immagazzina e utilizza le sostanze inquinanti veicolate dalle acque e favorisce nel complesso una riduzione della loro concentrazione, tramite un'azione diretta (assorbimento) e indiretta (sostegno alle comunità batteriche che attuano processi di degradazione degli inquinanti). Un aumento di questa azione depurativa naturale può quindi essere ottenuta utilizzando modalità di manutenzione della vegetazione in alveo quanto più conservative possibili. La gestione della vegetazione acquatica non dovrebbe quindi prevedere lo sfalcio completo sull'intera

larghezza del fondo alveo, quanto piuttosto un taglio eseguito generalmente nella parte centrale dello stesso, così da creare un canale di corrente preferenziale e sinuoso, di ampiezza variabile nelle diverse situazioni. Si rimanda per ulteriori informazioni alla [SCHEDA G1](#) nel [CAP. 5](#).

### b) Schema progettuale

Si rimanda alla [SCHEDA G1](#) nel [CAP. 5](#) per alcuni esempi tipologici di gestione sostenibile della vegetazione in alveo (in Figura 3.15 è riportato un caso di manutenzione conservativa della vegetazione di un canale).

### c) Criteri di progettazione

Il mantenimento di parte della vegetazione acquatica in alveo permette una diversificazione dello stesso e la creazione di condizioni ido-



Figura 3.15 – Modalità di gestione della vegetazione in alveo funzionale a massimizzare i processi autodepurativi. La vegetazione palustre non è asportata totalmente, lasciando due strisce vegetate al piede della sponda. In questo modo le acque del canale possono attraversare, con velocità limitata, la zona vegetata e subire così i processi depurativi indotti da questo sistema fitodepurante naturale. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

<sup>28</sup> Principali fonti consultate: Iridra, 2003.

nee per lo sviluppo dei processi autodepurativi; la **stima degli effetti depurativi nei confronti dell'azoto** può essere compiuta in modo analogo a quanto introdotto per gli interventi di diversificazione dell'alveo (SCHEDE Q2), utilizzando il modello elaborato da Arheimer-Wittgren (1994). Come per il caso appena citato, sono però necessarie ulteriori esperienze di monitoraggio per consolidare i dati utilizzati; una stima degli effetti depurativi effettuata come ora indicato deve perciò essere considerata un'indicazione di massima, da verificare mediante apposite sperimentazioni.

#### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

Si rimanda alla **SCHEDE G1** nel **CAP. 5**.

#### **e) Effetti ambientali**

La gestione conservativa della vegetazione acquatica, oltre a migliorare la qualità delle acque, permette la creazione di habitat in alveo, il miglioramento dello stato delle comunità faunistiche (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi) e l'incremento della connessione ecologica. Per ulteriori dettagli si rimanda alla **SCHEDE G1** nel **CAP. 5**.

#### **f) Manutenzione**

Si rimanda alla **SCHEDE G1** nel **CAP. 5**.

#### **g) Voci di costo**

Si rimanda alla **SCHEDE G1** nel **CAP. 5**.

### **3.3 PROMEMORIA SINTETICO PER LA REALIZZAZIONE E LA MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI**

Il presente paragrafo sintetizza le indicazioni che occorre seguire in fase di realizzazione e manutenzione degli interventi proposti nel capitolo in oggetto, affinché si possano valorizzare al massimo le funzioni ambientali dei canali, in particolare con riferimento a<sup>29</sup>:

- controllo dell'inquinamento diffuso mediante l'utilizzo di Fasce Tampone Boscate (FTB);
- interventi di riqualificazione morfologica finalizzati all'incremento della capacità autodepurativa dei canali;
- creazione di zone umide in alveo;
- creazione di zone umide fuori alveo;
- creazione di trappole per sedimenti;
- gestione conservativa della vegetazione acquatica.

#### **(a) Controllo dell'inquinamento diffuso mediante l'utilizzo di Fasce Tampone Boscate**

##### **Realizzazione**

- **Potenziare l'azione tampone del filare alberato**
  - posizionare i filari in modo che intercettino l'acqua carica di nutrienti che scorre con flusso sub-superficiale e/o superficiale dal campo verso il corso d'acqua;
  - preferire lunghi monofilari posti lungo i canali rispetto a corti plurifilari.

##### **Manutenzione**

Si rimanda al **CAP. 4**.

#### **(b) Interventi di riqualificazione morfologica finalizzati all'incremento della capacità autodepurativa dei canali**

##### **Realizzazione**

- **Prendere a modello i corsi d'acqua naturali**
  - creare un alveo sinuoso e non rettilineo, con sponde e fondo dalle forme irregolari;
  - permettere lo sviluppo di vegetazione in alveo (specie palustri) e sulle sponde (alberi e arbusti);

<sup>29</sup> Sintesi di quanto descritto compiutamente nel presente Capitolo.

- realizzare golene allagabili non regolarizzate e contenenti zone a differente altezza e aree vegetate con alberi e arbusti.

### Manutenzione

- **Eseguire una gestione dell'alveo a bassa intensità**
  - sfalciare le piante palustri in alveo a frequenza minore rispetto alla situazione pre-allargamento;
  - creare un canale di corrente centrale nell'alveo di magra, bordato da macchie di vegetazione acquatica (canneto);
  - eseguire uno o due sfalci annuali delle piante palustri presenti nelle aree golenali, uno nel periodo invernale (febbraio) ed uno eventualmente alla fine dell'estate (settembre), ma non nel periodo vegetativo, al fine di potenziare gli effetti depurativi senza pregiudicare la conservazione degli habitat creatisi.
- **Consentire lo sviluppo dei processi di diversificazione morfologica dell'alveo tipici di un corso d'acqua naturale**
  - lasciar esprimere la mobilità morfologica potenziale dell'alveo di magra;
  - non regolarizzare alveo, sponde e golene con le operazioni di manutenzione.

### *(c) Creazione di zone umide in alveo e fuori alveo*

#### Realizzazione

- **Prendere a modello le zone umide naturali**
  - eseguire uno scavo naturaliforme con profondità diversificate, fino ad un massimo di qualche decina di centimetri;
  - favorire la presenza di vegetazione acquatica;
  - creare uno scorrimento delle acque lento attraverso la vegetazione acquatica;
  - distribuire le acque nel modo più uniforme possibile su tutta la superficie trasversale di ingresso, in modo da limitare la formazione di cortocircuiti idraulici.

#### Manutenzione

- **Gestione dei livelli idrici**
  - ottimizzare le portate in ingresso per garantire i rendimenti depurativi stabiliti in

fase progettuale e per favorire l'instaurarsi e il mantenimento della vegetazione acquatica nelle aree appropriate.

- **Gestione delle piante erbacee palustri (canneto)**

- evitare l'interramento del canneto;
- mantenere un'estensione del canneto almeno pari al 70% dell'area;
- garantire la presenza di specchi d'acqua e canali liberi dal canneto;
- eseguire il periodico sfalcio e rinnovamento di una superficie di canneto pari a circa un quarto di quella complessiva;
- effettuare la manutenzione della vegetazione tra fine agosto e fine febbraio per tutelare la fauna, in particolare a settembre per garantire la massima efficienza del processo depurativo.

### *(d) Creazione di trappole per sedimenti*

#### Realizzazione

- **Favorire la sedimentazione**
  - creare condizioni di calma (acque profonde, libere da vegetazione) favorevoli alla sedimentazione dei solidi sospesi presenti nelle acque.

#### Manutenzione

- **Gestione dei sedimenti depositati**
  - espurgo dei sedimenti dalla trappola con cadenza pluriennale, in funzione della dimensione e dei tempi di riempimento previsti in fase progettuale.

### *(e) Gestione conservativa della vegetazione acquatica*

#### Manutenzione

- **Prendere a modello i corsi d'acqua naturali**
  - sfalciare le piante palustri in alveo a frequenza minore rispetto alla situazione pre-allargamento
  - creare un canale di corrente centrale nell'alveo di magra, preferenziale e sinuoso, bordato da macchie di vegetazione acquatica (canneto)
  - non prevedere lo sfalcio completo sull'intera larghezza del fondo alveo

### 3.4 INDICAZIONI DI MASSIMA PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI

Il presente paragrafo schematizza gli aspetti tecnici, ambientali e socio-economici che occorre monitorare per valutare la riuscita degli interventi di riqualificazione ambientale dei canali proposti nel capitolo in oggetto.

Se il progetto prevede il *“Controllo dell’inquinamento diffuso mediante l’utilizzo di fasce tampone boscate”* (SCHEDE Q1), occorre indagare:

- **Aspetti tecnici**
  - Qualità chimico-fisica delle acque del canale a monte/valle degli interventi
  - Qualità chimico-fisica dei suoli/falda ipodermica a monte-valle del filare alberato
  - Grado di consolidamento della sponda
- **Aspetti ambientali (alveo e sponda)**
  - Evoluzione degli habitat presenti nel canale
  - Evoluzione della vegetazione presente nel canale
  - Fauna (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.)
- **Aspetti socio-economici**
  - Costi per la manutenzione del canale (sponda e alveo) e confronto con la situazione *ante operam* (sfalci, ripresa frane, ecc.)
  - Rapporto con i frontisti
  - Grado di apprezzamento da parte della cittadinanza

Se il progetto prevede *“Interventi di riqualificazione morfologica finalizzati all’incremento della capacità autodepurativa dei canali”*, *“Creazione di zone umide in alveo”*, *“Creazione di zone umide fuori alveo”*, *“Creazione di trappole per sedimenti”* e *“Gestione conservativa della vegetazione acquatica”* (SCHEDE Q2, Q3, Q4, Q5 e Q6), occorre indagare:

- **Aspetti tecnici**
  - Qualità chimico-fisica delle acque a monte/valle degli interventi
  - Livelli idrometrici e portata in alveo e nelle golene, in magra e durante eventi di piena
- **Aspetti ambientali (alveo e golene)**
  - Evoluzione topografica del canale, grado di interrimento e sviluppo/mantenimento/incremento di dinamiche evolutive morfologiche
  - Evoluzione degli habitat presenti nel canale
  - Evoluzione della vegetazione presente nel canale
  - Fauna (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.)
- **Aspetti socio-economici**
  - Costi per la manutenzione del canale e confronto con la situazione *ante operam*
  - Rapporto con i frontisti
  - Grado di apprezzamento da parte della cittadinanza



# 4

## FORESTAZIONE DELLE AREE RIPARIE E GOLENALI



## INDICE

4.1	Approccio generale .....	pag. 93
4.2	Criteri generali per la progettazione .....	» 93
4.3	Criteri generali per l'esecuzione.....	» 96
4.4	Tipologie di intervento.....	» 97
	SCHEDA F1 - Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi sul ciglio di sponda di canali e capofossi.....	» 97
	SCHEDA F2 - Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi esternamente alla pista di manutenzione.....	» 108
	SCHEDA F3 - Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi nelle aree golenali dei canali .....	» 110
4.5	Effetti ambientali.....	» 115
4.6	Voci di costo.....	» 115
4.7	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 116
4.8	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 117

### **Autori**

Marco Monaci  
Giordano Fossi  
Paolo Cornelio

### **Con la collaborazione di**

Loris Agostinetto  
Luigi Barella  
Cristina Dalla Valle  
Fabiano Dalla Venezia  
Roberto Fiorentin  
Andrea Rizzi  
Roberta Zanin

## 4 Forestazione delle aree riparie e golenali

### 4.1 APPROCCIO GENERALE

I canali sono stati storicamente costruiti a sezione regolare e andamento rettilineo, interrotti con frequenza da opere di regolazione delle portate e gestiti in modo da evitare lo sviluppo di dinamiche evolutive morfologiche, ecologiche e legate alla proliferazione della vegetazione in alveo o sulle rive.

Una tale configurazione ha permesso nei secoli di bonificare aree per renderle disponibili agli usi antropici, di mantenerle libere dalle acque e di fornire una risorsa idrica per l'irrigazione a vasti territori agricoli; progressivamente il processo ha determinato la **semplificazione e il degrado dell'ambiente di pianura**, che mantiene tuttavia le potenzialità per un significativo incremento della sua naturalità grazie proprio alla presenza del fitto intreccio di canali che attraversano e interconnettono la pianura, a formare la struttura di una potenziale rete ecologica.

Perché queste potenzialità possano essere espresse, la gestione ambientale dei canali diviene una scelta essenziale, che può essere perseguita attraverso due tipologie di approccio, integrabili o meno tra loro in funzione delle singole realtà territoriali:

- **realizzazione di interventi multiobiettivi** volti a risolvere problemi di interesse antropico (rischio idraulico, dissesto spondale, qualità dell'acqua, ecc.), progettati con l'ulteriore finalità di incrementare la valenza ecologica dei canali, secondo l'approccio generale suggerito dal presente manuale;
- messa in campo di azioni di puro **miglioramento naturalistico** dei canali e del territorio.

Nel presente capitolo si pone l'attenzione sugli interventi prettamente naturalistici, focalizzandosi in particolare sui progetti di **forestazione delle rive e delle aree golenali dei canali**, azioni che già oggi leggi e piani di finanziamento regionali individuano concretamente come prioritarie e la cui applicazione può avvenire su vasta scala.

Si rimanda invece al [CAP. 1](#) per dettagli sulla riqualificazione morfologica dei canali, che as-

sume un rilievo notevole al fine di ottenere un netto miglioramento dell'ecosistema della rete idrica consortile.

Oltre alla forestazione, molti altri **interventi di riqualificazione in chiave prettamente ecologica** possono essere realizzati lungo i canali, ma nel presente manuale si è scelto di non trattarli: da una parte, infatti, queste azioni possono avere una valenza molto limitata spazialmente, sebbene importante dal punto di vista biologico, dall'altra la trattazione richiesta per fornire utili elementi tecnici sarebbe troppo vasta e specifica, esulando dai fini generali del presente lavoro. Si pensi, ad esempio, alle innumerevoli modalità di ricostruzione di habitat finalizzate a favorire le specie di fauna e flora che potenzialmente interessano la rete consortile; o alla problematica dei conflitti di interesse legati alla gestione ambientale della risorsa idrica nei canali; o ancora ai problemi tecnici, ecologici ed etici legati al contenimento delle specie invasive presenti lungo i canali.

Per ognuno di questi temi, tutti di estremo interesse nell'ottica dello sviluppo di una rete ecologica basata sui canali, si rimanda pertanto alla letteratura specifica di settore.

Nei successivi paragrafi il tema della progettazione e realizzazione di siepi e boschi golenali lungo i canali è inizialmente esposto in termini generali (Par. 4.2 e Par. 4.3), per poi essere approfondito in relazione a specifiche collocazioni degli impianti arboreo-arbustivi (Par. 4.4).

### 4.2 CRITERI GENERALI PER LA PROGETTAZIONE

In termini generali, la progettazione di filari arboreo-arbustivi lungo le rive e nelle eventuali gole dei canali deve tener conto sia di aspetti generali, come il contesto naturalistico, paesaggistico, antropico (agricolo, urbanistico, ecc.), legislativo e sociale in cui si va a operare, sia di aspetti tecnici specifici, come la conoscenza della vegetazione potenziale e delle caratteristiche climatiche, pedologiche e morfologiche della zona.

Non meno importante è la necessità, specifica

degli impianti realizzati lungo i canali, di considerare in fase progettuale le finalità e le esigenze di gestione della rete idrica consortile, che impongono vincoli tipologici e dimensionali molto pressanti.

Altro aspetto di rilievo per la fase progettuale è la finalità che si vuole assegnare alla vegetazione messa a dimora, che può essere naturalistica, ingegneristica (consolidamento spondale, difesa del suolo, ecc.), produttiva oppure mista.

La vera sfida del lavoro progettuale diventa allora proprio quella di integrare le varie funzioni che una siepe può assolvere, attraverso la scelta delle specie, dei sestri d'impianto, della localizzazione dei filari.

### a) Scelta delle specie

In generale, gli impianti che abbiano una finalità anche di tipo naturalistico si devono configurare come un'alternanza di specie arboree e arbustive, così da ricreare una formazione naturaliforme che sia caratterizzata da un'elevata biodiversità complessiva, prediligendo specie di interesse fruttifero per la fauna; la componente arbustiva, importante perché simula ambienti di ecotono, cioè di passaggio tra matrice rurale e naturale, deve inoltre essere ben rappresentata e non sottovalutata rispetto alla componente arborea.

Per rendere conveniente la realizzazione e la ge-

stione di siepi su terreni posti lungo la rete dei canali e generalmente di proprietà privata, occorre inserire nella composizione della siepe anche specie che assicurino produzioni secondarie, come ad esempio biomassa da energia (legna da ardere in pezzi e/o cippato), paleria, ecc., così da consentire un potenziale ritorno economico al proprietario che mette a disposizione il proprio fondo. Considerando la biomassa legnosa, la predilezione verso la funzione produttiva o verso quella naturalistica si traduce quindi nella maggiore o minore partecipazione nel nuovo impianto di specie a rapido accrescimento, che si prestino al taglio e il cui legno abbia buone capacità di combustione.

Nella scelta delle specie, preferibilmente autoctone, devono essere considerati anche aspetti di natura:

- *biologica*, come la provenienza delle piantine, la loro persistenza, la competitività, l'adattabilità alla stazione, la resistenza ai patogeni, ecc.;
- *attitudinale*, in relazione alla finalità della siepe, utilizzando ad esempio specie che abbiano elevati accrescimenti, se la funzione prevalente è la produzione di biomassa legnosa da energia, oppure specie di interesse faunistico, se lo scopo della siepe è naturalistico, ecc.;

Tabella 4.1 - Specie da legna comunemente utilizzate nella pianura veneta.

Nome comune	Zona geografica		Dimensioni		Terreno				Turno (anni)	Densità del legno
	Pianura	Collina	Albero di 1° grandezza (25-40m)	Albero di 1° grandezza (12-25m)	Umidità		Tessitura			
					Asciutto	Umido	Leggera	Pesante		
Acero campestre	••	•		x	••	•	••	••	8-12	2-3
Carpino bianco	••	•		x		•	•	••	8-12	4
Carpino nero		••		x	••		•		8-12	4
Frassino ossifillo	••			x		••		••	6-7	3
Olmo campestre	••	•		x	•	••	••	••	5-6	3
Ontano nero	••	•		x		••	•	••	3-5	2
Orniello		••		x	••		•		8-12	3
Pioppo nero	••		x		•	••	••		3-5	1
Platano	••			x		••	•	••	3-6	3
Salice bianco	••	•		x		••	••	•	3-5	1

Legenda: •• = vegeta in modo ottimale; • = vegeta in modo sub-ottimale; densità: 1 = scarsa, 2 = buona, 3 = molto buona, 4 = ottima.

- *biotecnica*, in funzione, ad esempio, del tipo di apparato radicale o epigeo, ecc.;
- *funzionale*, come la reperibilità sul mercato (sono sempre da utilizzare piante di provenienza locale e certificata) e la tecnica di impianto (da talea, piantina radicata, in vaso, ecc.).

Le specie comunemente utilizzate nella pianura veneta per la formazione di siepi poderali o ripariali o per fasce arborate di tipo naturalistico sono indicate in Tabella 4.1 e Tabella 4.2.

Tabella 4.2 – Specie comunemente utilizzate nella pianura veneta per la formazione di fasce arborate di tipo naturalistico.

Nome comune	Albero di I° grandezza (25-40m)	Albero di II° grandezza (12-25m)	Alberello (7-12m)	Arbusto (3-5m)	Zona geografica		Terreno			
					Pianura	Collina	Umidità		Tessitura	
							Asciutto	Umido	Leggera	Pesante
Acero campestre		x			••	•	••	•	••	••
Bagolaro	x				••	••	••		••	•
Betulla	x				•	••		••	••	•
Carpino bianco		x			••	•		•	•	••
Cerro	x					••	•	•	••	•
Ciliegio selvatico	x					••	••		••	•
Corniolo			x		••	••	•	•	••	
Crespino				x	•*	••	••		••	•
Farnia	x				••			••	••	••
Frangola				x	••			••		•
Fusaggine				x	••	••	•	•	••	••
Lantana				x	•	••	••		••	•
Leccio	x				••*	••	••		••	•
Ligustrello			x	x	••	••	••	••	••	•
Melastro			x		••	••	•	•	••	
Nocciolo				x	••	••	•	•	••	
Ontano nero		x			••	•		••	•	••
Pallon di maggio				x	••			••	•	••
Perastro			x		••	••	••		••	•
Prugnolo				x	••	••	••	•	••	••
Rosa canina				x	••	••	••		••	•
Rovere	x					••	•	•	••	
Roverella		x				••	••		••	•
Salice cenerino			x	x						
Salice da ceste				x						
Salice rosso			x	x						
Sambuco nero				x	••	••	•	••	••	•
Sanguinella				x	••	••	•	••	••	•••
Sorbo domestico		x			••	••	•	•	••	
Spincervino				x	••	••	•	••	••	••

Legenda: •• = vegeta in modo ottimale; • = vegeta in modo sub-ottimale; \* = dune litoranee

### **b) Sesto d'impianto**

La scelta del sesto d'impianto deve essere eseguita in funzione delle finalità della siepe: se la funzione prevalente è naturalistica, si dovrà favorire la competizione degli individui e accelerarne la crescita in altezza, la copertura e l'ombreggiamento del suolo, ottenendo così una diminuzione dei costi di manutenzione e la realizzazione in breve tempo di aree rifugio per la fauna e strutture più prossime alla naturalità; se lo scopo della siepe è invece prevalentemente produttivo e secondariamente naturalistico, si consiglia comunque l'adozione di un sesto d'impianto fitto, così da ottenere una maggiore resa di biomassa vegetale. In realtà, la scelta di sestì con una densità elevata è in accordo anche con le finalità naturalistiche oltre che con quelle più produttive.

Per quel che riguarda la tipologia, sono da preferirsi dove possibile (come ad esempio nelle aree golenali) sestì d'impianto di tipo naturaliforme, realizzando file parallele ad andamento sinusoidale o inserendo gruppi arbustivi coniugati a individui arborei e frammisti ad aree prive di intervento, da cui compiere le manutenzione degli stessi.

Per favorire ulteriormente la differenziazione degli ambienti è inoltre possibile interrompere i filari con spazi di lunghezza variabile (max 50 m) privi di vegetazione arborea.

### **c) Localizzazione**

La scelta del sito d'impianto, come già ricordato, nel caso dei canali è spesso vincolata dalla disponibilità di spazio (limitato, ad esempio, dalla pista di manutenzione, da colture poste subito a ridosso di quest'ultima, da aree abitate prossime al canale), dalla necessità di garantire la funzionalità idraulica della rete consortile, dall'esigenza di lasciare spazi adeguati lungo i canali per effettuare le usuali pratiche di manutenzione e dal regime di proprietà dei terreni confinanti con il canale, spesso privati.

In funzione degli spazi disponibili e degli eventuali accordi con i proprietari delle aree, nel presente manuale si focalizza l'attenzione sui siti che solitamente sono ritenuti idonei per la localizzazione degli impianti arboreo-arbustivi: sul ciglio di sponda di canali e capofossi, esternamente alla pista di manutenzione e nelle aree golenali eventualmente presenti. Altre soluzioni sono ovviamente possibili in funzione del sito specifico

prescelto, ma si ritiene che la trattazione di questi tre casi possa fornire utili indicazioni anche per altre tipologie localizzative, senza in ogni caso avere la pretesa di esaurire l'argomento.

## **4.3 CRITERI GENERALI PER L'ESECUZIONE**

Alla corretta riuscita dell'impianto concorrono molteplici fattori, oltre a quelli già citati nel paragrafo precedente, quali:

- *la scelta del materiale*, di provenienza locale e certificata, privilegiando piantine di pochi anni (che hanno minori problemi di attecchimento) in contenitore. Quest'ultima scelta, rispetto a piantine a radice nuda, è senz'altro più costosa e presenta maggiori problemi di trasporto, ma assicura una percentuale di attecchimento maggiore, una migliore gestione e flessibilità del cantiere e una maggiore conservabilità del materiale;
- *la qualità del materiale*, che deve rispettare le normative vigenti in fatto di sanità e certificazioni e presentare un corretto sviluppo sia dell'apparato epigeo che dell'apparato radicale, da valutarsi al momento della fornitura;
- *il trasporto e la conservazione del materiale in cantiere*, assicurandosi che non si verifichino rotture, disseccamenti, ecc., e che la permanenza del materiale in cantiere prima dell'utilizzo sia limitata a pochi giorni;
- *l'epoca del trapianto*, tenendo conto che il periodo ottimale per la messa a dimora delle piantine è quello autunno-invernale (condizioni pedoclimatiche permettendo), sebbene sia possibile posticipare il trapianto fino a primavera inoltrata tenendo presente la necessità di ricorrere a irrigazioni di soccorso nei periodi di siccità;
- *la preparazione del terreno*, migliorando se necessario il substrato con opportune lavorazioni (atte a conferire sofficità e omogeneità al terreno per facilitare l'eventuale stesura del film pacciamante e la messa a dimora delle giovani piantine) e concimazioni;
- *la stesura del telo pacciamante (film plastico o materiali biodegradabili alternativi)*, efficace nel controllo delle erbe infestanti soprattutto nel primo periodo dopo la messa a dimora e utile al contenimento dell'evaporazione dell'acqua dal suolo, alla diminuzione del

compattamento del terreno e all'eliminazione di lavorazioni lungo la fila;

- *le prime cure colturali*, che devono permettere alle piante di superare il primo periodo successivo al trapianto, da effettuarsi in funzione del materiale e della tecnica di impianto utilizzata (utilizzo di talee o di piantine radicate, ecc.). In generale sono da prevedersi sfalci, irrigazioni, potature, pulizia del foro d'impianto e risarcimenti, almeno nelle prime due stagioni vegetative.

In caso di utilizzo del telo pacciante plastico, per la corretta gestione dell'impianto è fondamentale prevederne la rimozione una volta che il popolamento si sia sufficientemente affrancato dalla competizione delle infestanti, entro e non oltre il 4°-5° anno dalla messa a dimora, oltre il quale il film plastico perde le sue caratteristiche intrinseche di elasticità, rendendo la sua rimozione più difficoltosa e dispendiosa in termini economici. Il materiale asportato deve poi essere smaltito secondo le normative vigenti.

#### 4.4 TIPOLOGIE DI INTERVENTO

Come ricordato nei paragrafi precedenti, le modalità di realizzazione di una fascia arboreo-arbustiva lungo i canali sono numerose e si differenziano in funzione della disponibilità di terreno pubblico, del grado di coinvolgimento delle aziende agricole (nel caso l'area prescelta per la forestazione sia di proprietà privata), della necessità di mantenere o meno un passaggio per i mezzi meccanici del Consorzio per effettuare la manutenzione dell'alveo, delle finalità naturalistiche, produttive o miste degli impianti.

Nei paragrafi seguenti, oltre a fornire una guida concettuale per la scelta dei moduli compositivo-strutturali e delle specie con cui realizzare gli interventi di forestazione dei canali, s'illustrano a titolo di esempio alcune possibili applicazioni, che devono essere considerate come un semplice spunto per lo sviluppo di moduli appropriati alla singola situazione in esame, senza la pretesa di avere validità generale.

Le tipologie d'intervento considerate prevedono la messa a dimora di filari arboreo-arbustivi:

- sul ciglio di sponda di canali e capofossi;
- esternamente alla pista di manutenzione;
- nelle aree golenali dei canali.

#### SCHEDA F1

#### Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi sul ciglio di sponda di canali e capofossi

##### a) Descrizione

La messa a dimora di una siepe arboreo-arbustiva lungo i **canali** può essere eseguita sul ciglio di sponda secondo diverse modalità:

- sul ciglio di una sola sponda, se il Consorzio valuta possibile effettuare la manutenzione dell'alveo dalla sponda opposta a quella rivestita (Figura 4.1 e Figura 4.4);
- sul ciglio di entrambe le sponde:
  - se è possibile eseguire la manutenzione dell'alveo dall'interno del canale (Figura 4.2), oppure;
  - se è possibile non eseguire operazioni di manutenzione ordinaria dell'alveo con cadenza ravvicinata, rimandando tali interventi al momento del taglio completo della fascia boscata, da eseguirsi con periodicità pluriennale (Figura 4.3 e Figura 4.5).

Nella presente scheda la trattazione si limita a considerare siepi costituite da un unico filare di piante arboree ed arbustive o, tutt'al più, da due filari; questa scelta è motivata dagli obiettivi limitati che si trovano nell'operare in un territorio fortemente antropizzato, in cui gli spazi di pertinenza dei canali sono, nella quasi totalità dei casi, limitati al ciglio di sponda.

Ciò non toglie che la funzionalità ecologica di una tale tipologia di forestazione nei confronti del canale sia comunque elevata, in virtù della forte connessione con il corpo idrico; la siepe può avere inoltre un significativo ruolo tampone nei confronti degli inquinanti diffusi (si veda la **SCHEDA Q1** al **CAP. 3**).

La realizzazione di siepi sul ciglio di sponda può essere eseguita non solo lungo la rete dei canali in gestione diretta ai Consorzi, ma anche al margine dei **capofossi** che raccolgono le acque all'interno degli appezzamenti agricoli privati, per poi convogliarle verso la rete idrica consortile.

Le problematiche che occorre infatti affrontare per la messa a dimora di filari arboreo-arbustivi lungo i capofossi sono del tutto analoghe a quelle degli impianti realizzati lungo i canali:

- lo spazio a disposizione è scarso;
- la vegetazione, una volta sviluppata, deve permettere il passaggio dei mezzi agricoli

lungo le capezzagne o le piste di manutenzione che affiancano il capofosso o il canale;

- si deve evitare di sottrarre terreno utile alle colture agricole;
- la gestione del filare alberato deve possibilmente non generare maggiori oneri a carico dei privati che mettono a disposizione le aree, se non addirittura generare reddito agricolo integrativo grazie alla vendita della biomassa vegetale;
- le operazioni di gestione del canale, a carico dei Consorzi, e dei capofossi, di competenza

dei privati, devono essere ancora possibili o, in alternativa, la siepe deve essere progettata in modo che possa diminuire le necessità di manutenzione della vegetazione acquatica presente in alveo, ad esempio controllandola mediante l'ombreggiamento offerto dalle specie arboree;

- le modalità di messa a dimora di alberi e arbusti devono tener conto del particolare posizionamento sul ciglio di sponda (si veda al punto c) "Criteri di progettazione" nel seguito per ulteriori dettagli).

### b) Schema progettuale

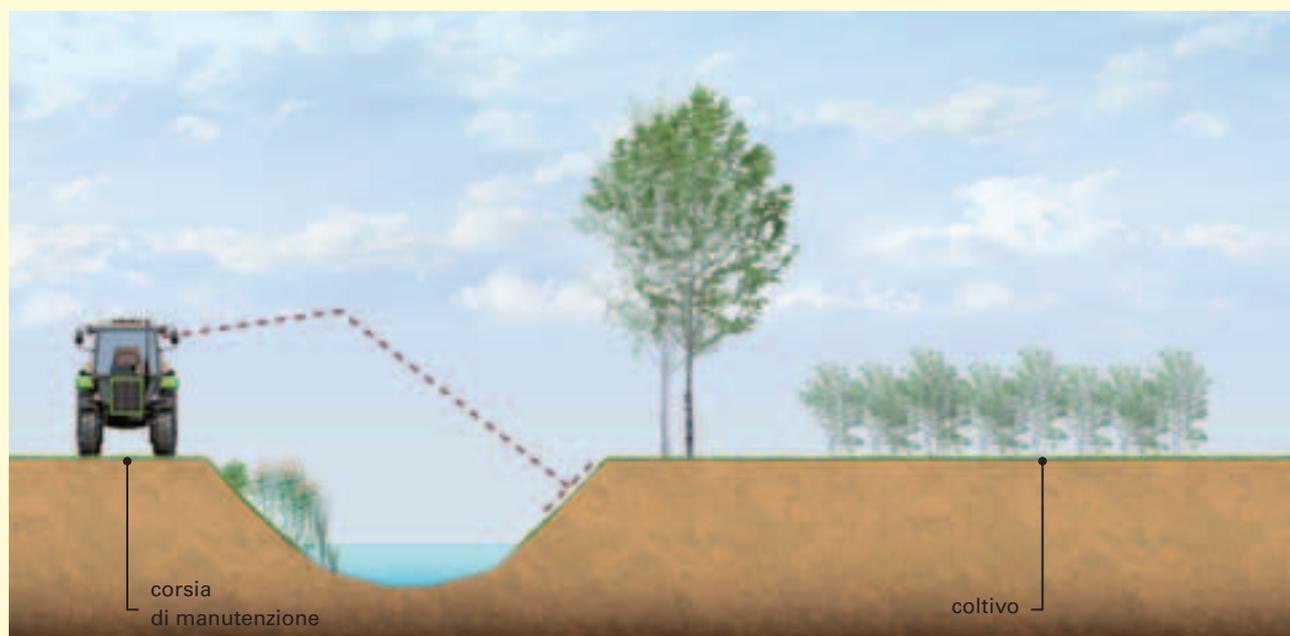


Figura 4.1 – Fascia arboreo-arbustiva posta sul ciglio di sponda su un solo lato di un canale o un capofosso; la manutenzione dell'alveo è eseguita dalla sponda opposta se la larghezza del canale lo consente, mentre quella della fascia boscata è operata dalla carreggiata presente sullo stesso lato della siepe.

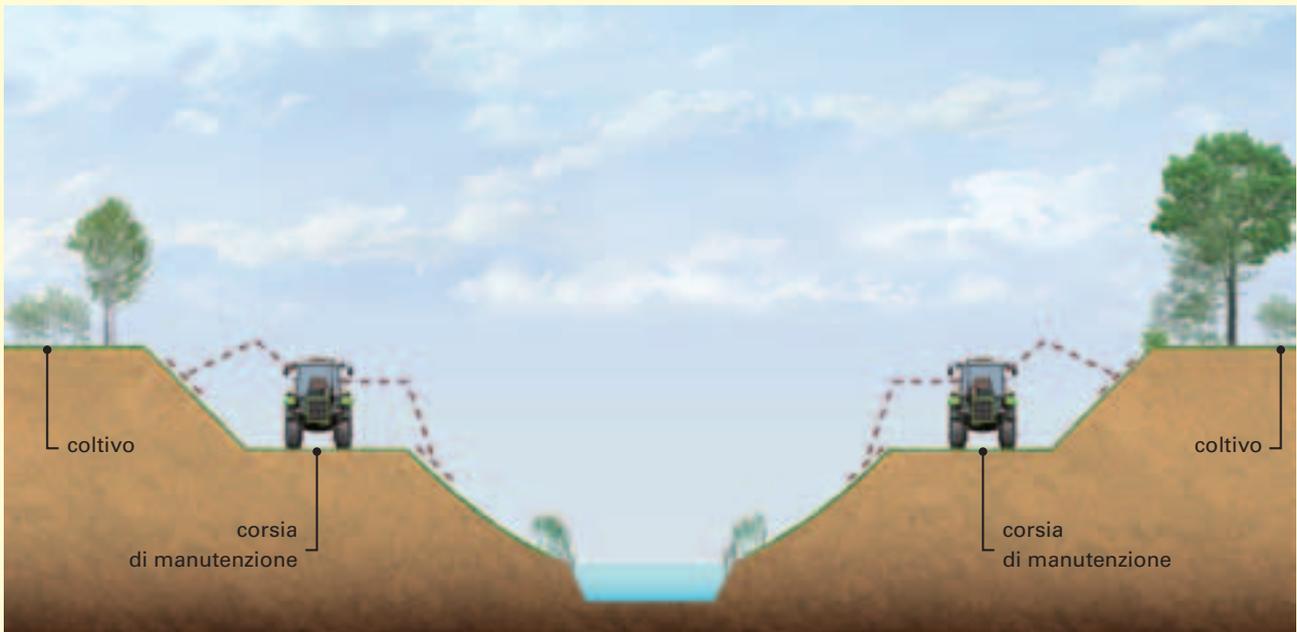


Figura 4.2 – Fascia arboreo-arbustiva posta sul ciglio di sponda da ambo i lati (o su un solo lato) di un canale; la manutenzione dell'alveo è eseguita dalle banche poste all'interno del canale, mentre quella della fascia boscata è invece operata eventualmente dalla carreggiata esterna alla siepe.

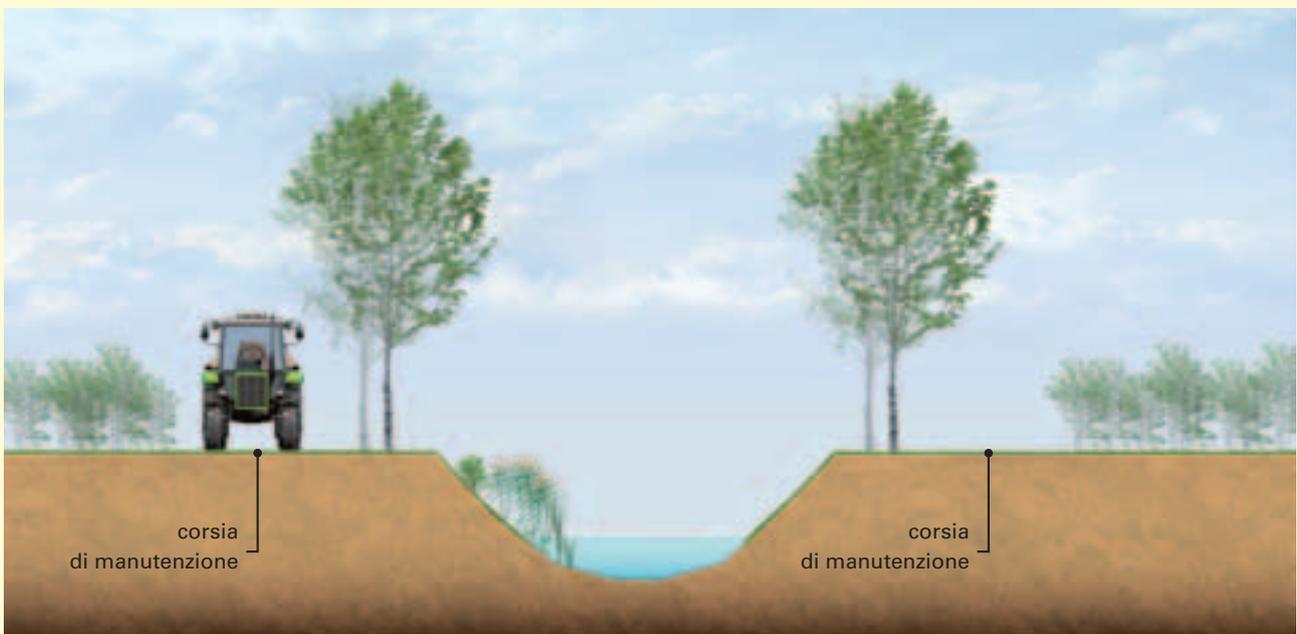


Figura 4.3 – Fascia arboreo-arbustiva posta sul ciglio di sponda da ambo i lati di un canale o un capofosso; la manutenzione dell'alveo è effettuata a cadenza pluriennale tramite taglio completo della fascia riparia, mentre quella della fascia boscata è operata dalla carreggiata esterna alla siepe.



Figura 4.4 – Filare arboreo-arbustivo con finalità naturalistiche posto sulla sponda subito a ridosso del ciglio: la pista di manutenzione rimane transitabile e la vegetazione non interferisce con la funzionalità idraulica del canale (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive). (Foto: Bruno Boz).



Figura 4.5 – Filare arboreo-arbustivo posto sul ciglio di entrambe le sponde di un canale; la pista di manutenzione rimane transitabile e la manutenzione dell'alveo del canale è effettuata con cadenza pluriennale. (Consorzio di bonifica Emilia Centrale) (Foto: Marco Monaci).

### c) Criteri specifici di progettazione

La progettazione di siepi, la cui messa a dimora è prevista sul ciglio di sponda di canali e capofossi, deve cercare di coniugare criteri naturalistici e paesaggistici con la necessità di facilitare le operazioni di manutenzione per i primi anni dall'impianto e con il rispetto delle proprietà confinanti. Infatti, fermo restando il rispetto della normativa vigente circa le piantagioni lungo le sponde e le eventuali deroghe da concordare con il servizio manutenzione dell'Ente gestore, deve essere valutato attentamente l'utilizzo di specie di prima grandezza (alberi ad alto fusto) per le quali occorre osservare le distanze previste dal codice civile, fatti salvi eventuali regolamenti locali o accordi con i proprietari confinanti. Meno problematico è l'utilizzo di arbusti o di specie che si presume mantenere a ceppaia, per i quali le distanze possono essere gestite all'interno della progettazione dei moduli d'impianto.

La scelta sulla **localizzazione della siepe** (e conseguentemente del modulo da adottare) deriva quindi in questi casi dalla necessità di minimizzare l'interferenza data alle coltivazioni, alla proprietà privata, alla pista di manutenzione dei canali o alla capezzagna nel caso dei capofossi, in particolare:

- se gli spazi a disposizione sono minimi, una possibile soluzione consiste nel collocare la siepe **sulla sponda subito a ridosso del ciglio** (Figura 4.6), così da diminuire l'area occupata dalle chiome al di fuori dell'alveo: questa soluzione permette inoltre di mantenere il filare alberato molto ravvicinato al canale, favorendo l'effetto ombreggiamento e coadiuvando così il controllo della vegetazione presente in alveo (si veda la **SCHEDA G2** al **CAP. 5**). In questo caso, le difficoltà nella posa del telo pacciamante a protezione delle piantine (si veda al punto *f*) "**Manutenzione**" nel seguito) comporta la rinuncia allo stesso, con conseguente aumento dell'incidenza delle cure colturali (che dovranno essere eseguite in gran parte con mezzi manuali) e la possibilità che si verifichino maggiori fallanze (bilanciate peraltro dalla maggior vicinanza all'acqua). Siepi collocate in simili contesti possono avere finalità sia naturalistiche sia produttive; le operazioni di taglio in questo caso devono essere condotte ricorrendo a una meccanizzazione razionale e avanzata (ad esempio

attrezzature portate sul braccio di un trattore o di un escavatore) in modo da rendere economicamente conveniente la produzione di biomassa. Inoltre, in funzione delle specifiche situazioni, dovrà essere sempre considerato con molta attenzione il contesto nel quale si va a operare, ad esempio valutando se sia possibile utilizzare moduli che prevedano specie ad alto fusto (alberi di prima grandezza) o se sia consigliabile utilizzare solo specie arbustive o a ceppaia, al fine di evitare problemi di stabilità della sponda, di deflusso idraulico, ecc.;

- se gli spazi a disposizione sono invece superiori al caso precedente, la siepe può essere posizionata **sulla pista di manutenzione a ridosso del ciglio di sponda**. Anche in questo caso le finalità del filare potranno essere sia naturalistiche (Figura 4.7, siepe monofilare, e Figura 4.8, siepe bifilare) che produttive (Figura 4.9 e Figura 4.10) con una meccanizzazione più semplificata rispetto al precedente scenario; l'area utilizzata per la siepe viene sottratta alla pista di manutenzione, che potrebbe quindi dover essere arretrata a scapito del coltivo retrostante, fatto che può essere giustificato da obiettivi ambientali pressanti o dalla remunerazione assicurata dalla biomassa ricavabile da una siepe in tal senso progettata, che può parzialmente compensare la perdita economica derivante dalla rinuncia a parte della superficie coltivabile. L'effetto ombreggiamento diminuisce rispetto al caso precedente ma non è comunque nullo.

In entrambi i casi, le siepi collocate presso il ciglio di sponda possono svolgere un'importante azione tampone nei confronti degli inquinanti provenienti dai terreni limitrofi che le attraversano, posto che questo flusso esista (si veda a tal proposito la **SCHEDA Q1** al **CAP. 3**).

Si riportano di seguito alcuni moduli che illustrano, a titolo di esempio, alcune possibili applicazioni di fasce boscate poste sul ciglio di sponda in diverse posizioni e realizzate con finalità differenziate, che devono essere considerate, come già ricordato a inizio capitolo, come un semplice spunto per lo sviluppo di moduli appropriati alla singola situazione in esame.

**Per la scelta delle specie si rimanda a quelle indicate al Par. 4.2**, salvo diverse indicazioni riportate nel testo.

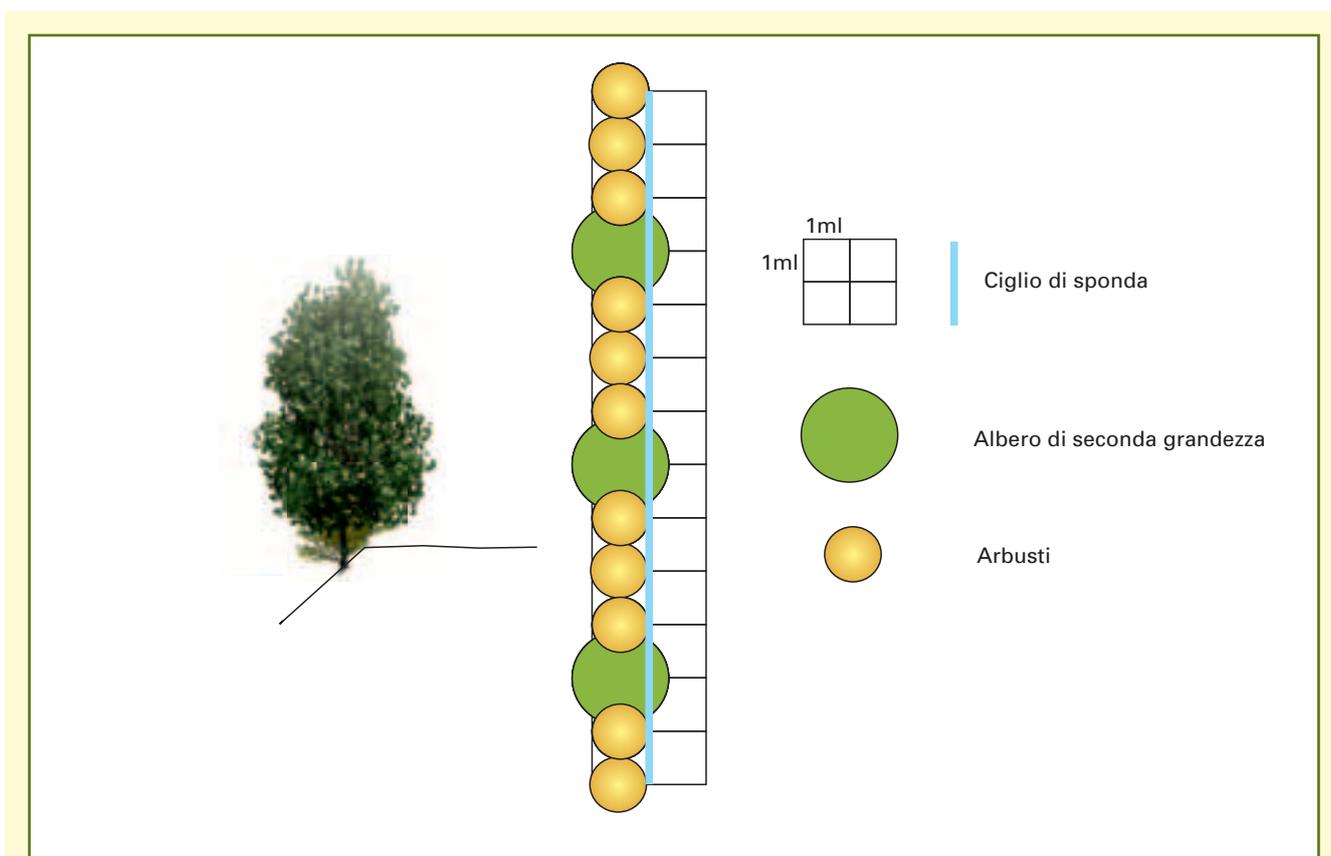


Figura 4.6 – Esempio di modulo compositivo-strutturale con funzione principale naturalistica, posto sulla sponda subito a ridosso del ciglio, utile nel caso in cui la pista di manutenzione (o la capezzagna nel caso di capofosso) che costeggia il canale non permetta un ingombro eccessivo da parte della siepe. Per la scelta delle specie si rimanda a quelle indicate al Par. 4.2. La distanza tra gli alberi di seconda grandezza può essere aumentata sino ad 8-10 metri, per favorire lo sviluppo di uno strato erbaceo plurispecifico e il conseguente aumento delle risorse alimentari e dei siti di nidificazione; tale soluzione diminuisce però l'effetto ombreggiante generato dalle alberature e il conseguente contributo al controllo della vegetazione presente all'interno del canale.

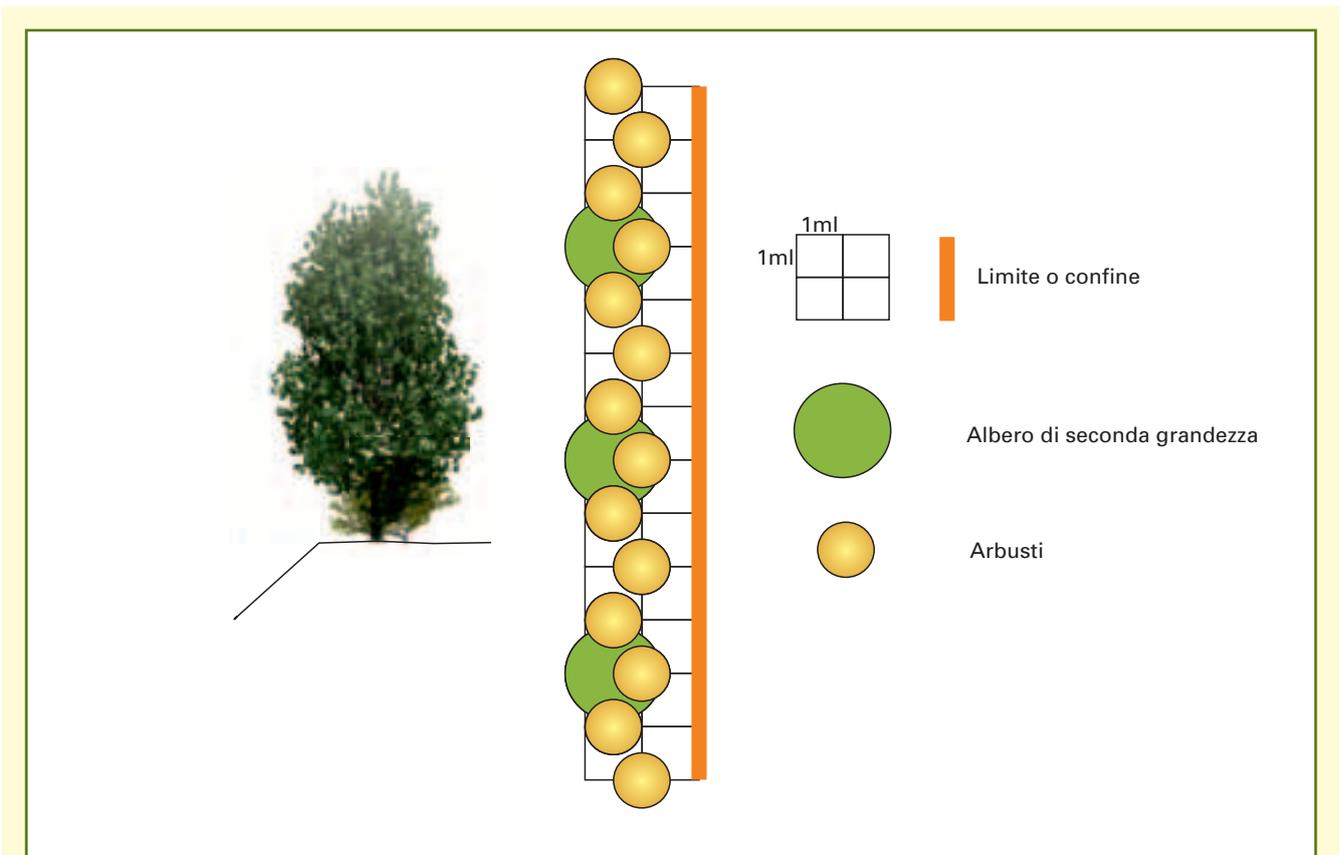


Figura 4.7 – Esempio di modulo compositivo-strutturale con funzione principale naturalistica e pista di manutenzione stretta, che consente la messa a dimora solo di una siepe monofilare (con eventuale sfalsamento delle specie arbustive lungo una seconda fila molto ravvicinata alla prima). Per la scelta delle specie si rimanda a quelle indicate al Par. 4.2.

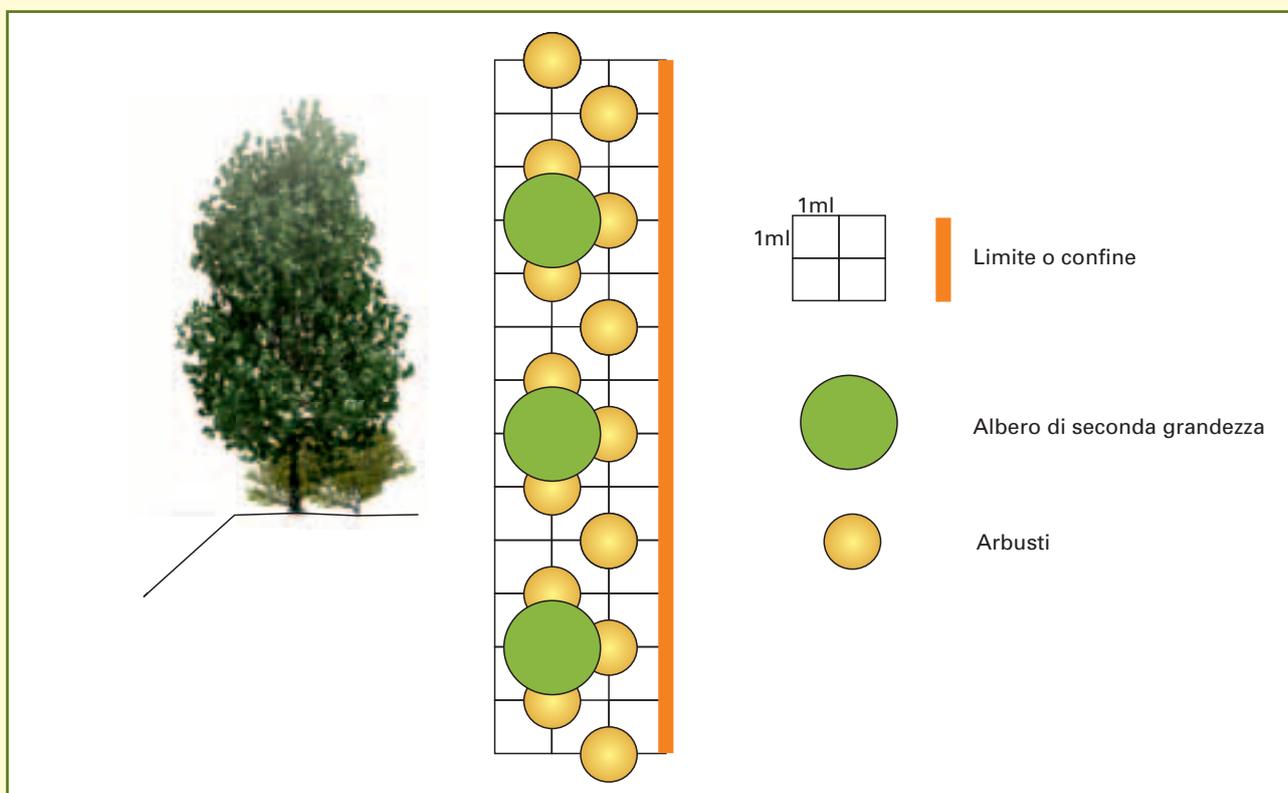
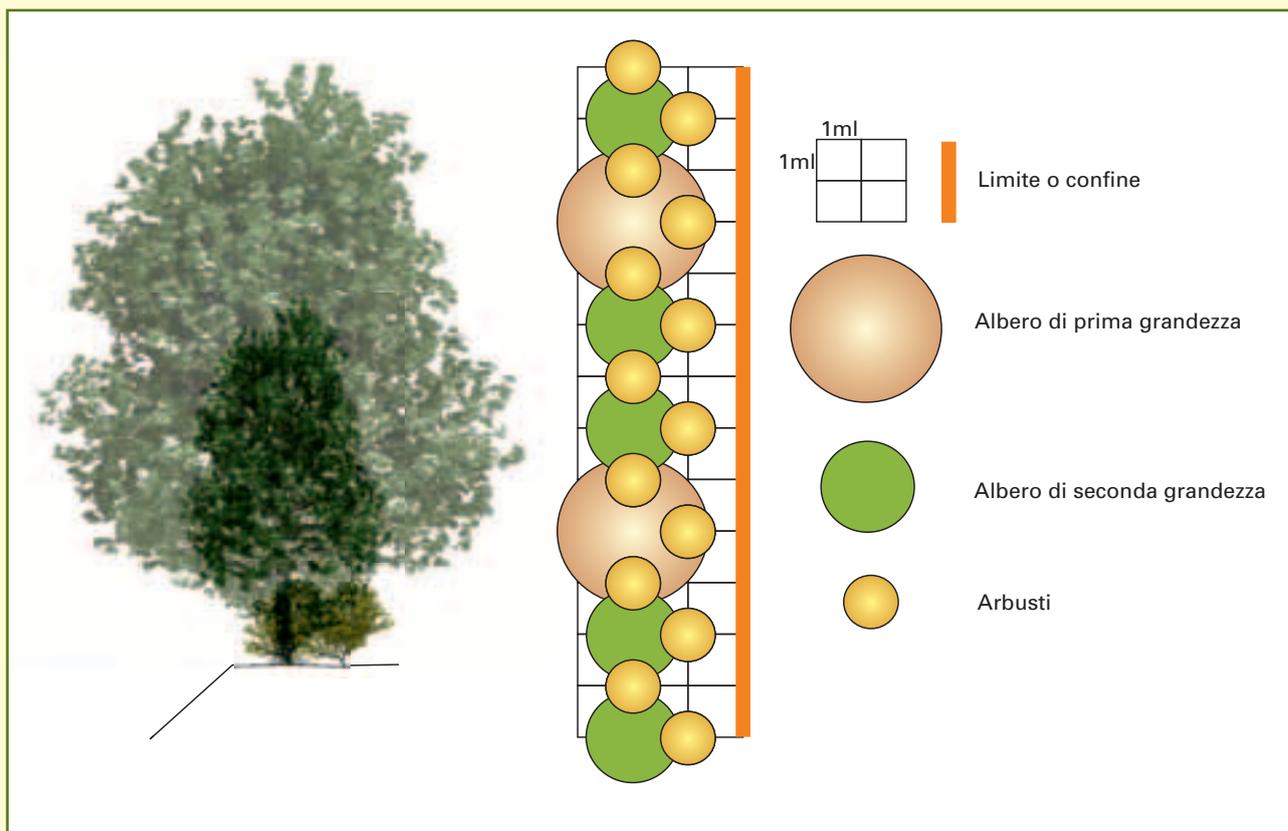
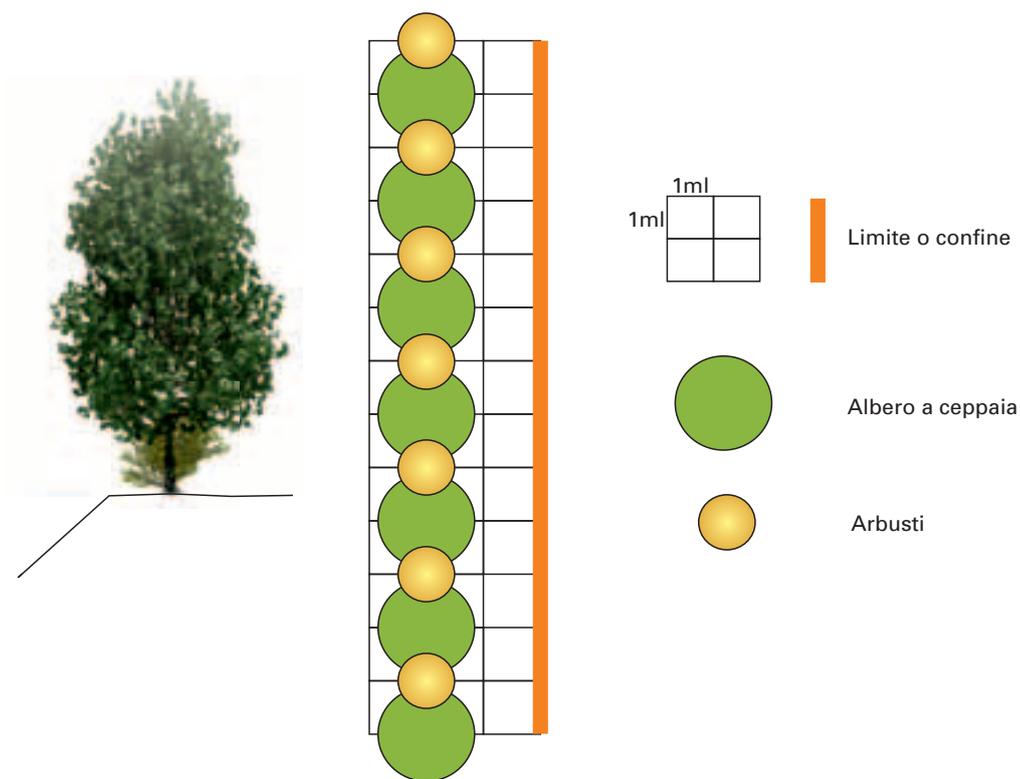
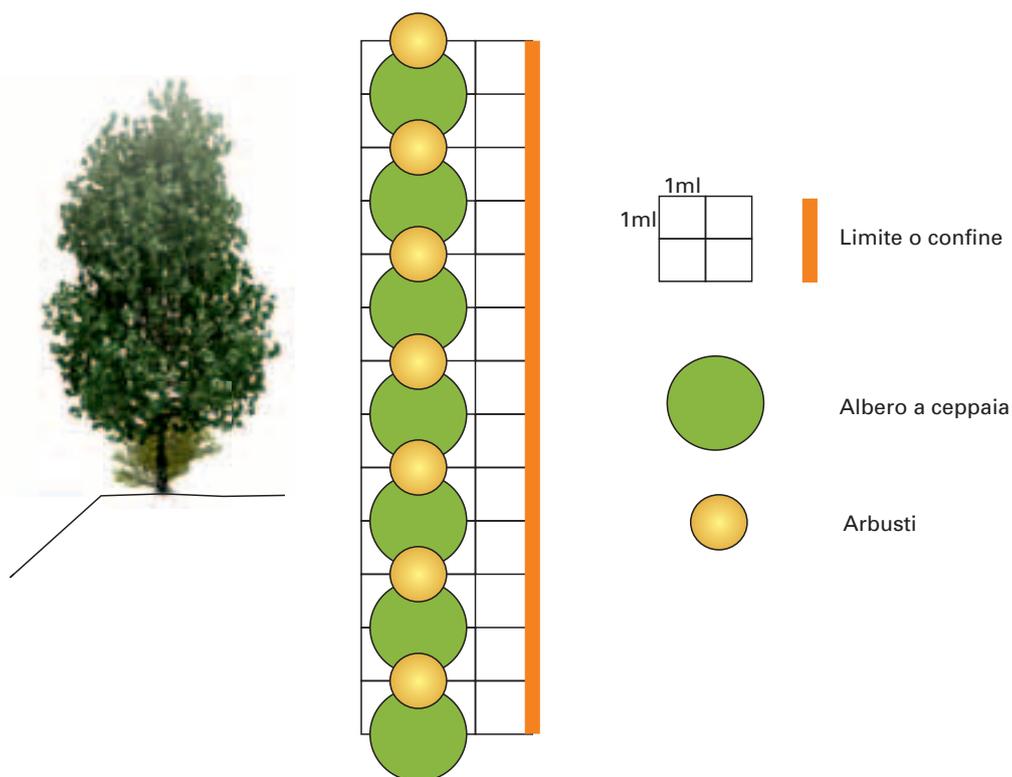


Figura 4.8 – Esempio di modulo compositivo-strutturale con funzione principale naturalistica e pista di manutenzione sufficientemente larga per ospitare una siepe plurifilare (in alto la siepe prevede la presenza di alberi di prima grandezza, in basso solo di alberi di seconda grandezza, entrambi accompagnanti da specie arbustive). Per la scelta delle specie si rimanda a quelle indicate al Par. 4.2.



Alberi a ceppaia	Arbusti
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertner	<i>Sambucus nigra</i> L.
<i>Fraxinus oxycarpa</i> Bieb.	<i>Euonymus europaeus</i> L.
<i>Platanus hispanica</i> Mill. ex Muench.	<i>Frangula alnus</i> Mill.
<i>Ulmus minor</i> Miller	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
<i>Salix alba</i> L.	<i>Rhamnus cathartica</i> L.
<i>Populus nigra</i> L.	<i>Salix cinerea</i> L.
	<i>Salix purpurea</i> L.
	<i>Salix triandra</i> L.
	<i>Viburnum opulus</i> L.

Figura 4.9 – Esempio di modulo compositivo-strutturale con funzione principale produttiva (legna da ardere) e secondaria naturalistica. Il modulo prevede la presenza di specie arboree a turno breve (in tabella: ontano nero, salice bianco, pioppo nero e platano: turno di 3-5 anni; olmo campestre e frassino ossifillo: turno di 5-7 anni). Lungo lo sviluppo di una stessa siepe si possono inserire più specie arboree diverse, alternando fasce monospecifiche di una certa lunghezza per facilitare le operazioni di utilizzazione.



Alberi a ceppaia	Arbusti
<i>Acer campestre</i> L.	<i>Sambucus nigra</i> L.
<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.	<i>Cornus mas</i> L.
<i>Carpinus betulus</i> L.	<i>Euonymus europaeus</i> L.
<i>Fraxinus ornus</i> L.	<i>Frangula alnus</i> Mill.
	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
	<i>Rhamnus cathartica</i> L.
	<i>Salix cinerea</i> L.
	<i>Salix purpurea</i> L.
	<i>Salix triandra</i> L.
	<i>Viburnum opulus</i> L.

Figura 4.10 – Esempio di modulo compositivo-strutturale con funzione principale produttiva (legna da ardere) e secondaria naturalistica. Presenza di specie arboree a turno lungo (in tabella: acero campestre, carpino bianco, carpino nero, orniello: turno di 8-12 anni). Lungo lo sviluppo di una stessa siepe si possono inserire più specie arboree diverse, e alternando fasce monospecifiche di una certa lunghezza per facilitare le operazioni di utilizzazione.

**d) Indicazioni per l'esecuzione**

Si rimanda ai criteri generali indicati al Par. 4.2 e alle indicazioni suggerite nel punto c) "Criteri specifici di progettazione" della presente scheda.

**e) Effetti ambientali**

Si rimanda al Par. 4.5.

**f) Manutenzione**

La manutenzione delle siepi poste sul ciglio di sponda richiede particolari attenzioni, essendo il filare interposto fra la pista di manutenzione e il canale, ed esige un approccio differenziato in funzione della collocazione e delle finalità specifiche:

- **Collocazione della siepe con finalità naturalistiche sulla sponda subito a ridosso del ciglio** (Figura 4.6).

Vista la particolare collocazione della siepe, gli interventi manutentivi devono considerare anche aspetti idraulici e di stabilità delle sponde, oltre che quelli normalmente considerati nella gestione di un filare arboreo-arbustivo. Conseguentemente, la gestione ordinaria della vegetazione deve prevedere in un primo momento il controllo della percentuale di attecchimento delle piante e, in seguito, un taglio selettivo da eseguirsi periodicamente a fine turno a seconda della diversa velocità di crescita delle specie messe a dimora (ad es. 5-7 anni per platano, olmo, frassino, pioppo, salice, ontano; 10-15 anni per carpino, ornello, acero), procedendo preferibilmente per tratti discontinui non eccessivamente lunghi o, dove possibile, in turni alterni sulle sponde, in modo da lasciare sempre una sponda o un tratto di essa vegetata.

In particolare, in base alle caratteristiche del canale sulle cui sponde è insediata la vegetazione, potranno essere previsti anche turni piuttosto brevi per il taglio, da eseguirsi sempre con attrezzature manuali e avendo cura, come gestione manutentiva straordinaria, di tagliare solo quegli esemplari che, per un qualche motivo, dovessero divenire instabili e a rischio di crollo in alveo.

In ogni caso, considerata la finalità naturalistica della siepe e non essendo quindi necessaria una produzione di biomassa, può essere ragionevole accettare maggiori fallanze ricorrendo a minori cure colturali rispetto a un impianto produttivo.

- **Collocazione della siepe sulla pista di manutenzione a ridosso del ciglio di sponda.**

- siepe con finalità naturalistiche (Figura 4.7 e Figura 4.8)

Valgono le indicazioni esposte per il caso precedente, ma è comunque possibile l'utilizzo di prassi manutentive maggiormente legate alla produttività, come quelle presentate di seguito;

- siepe con finalità produttive (Figura 4.9 e Figura 4.10)

In questo caso la manutenzione del filare alberato prevede il taglio a ceppaia alla scadenza del turno previsto. Questa siepe non richiede potature e alla scadenza del turno sono tagliate indifferentemente tutte le piante. Se si intendono privilegiare parzialmente anche gli effetti naturalistici della siepe, è allora auspicabile procedere al taglio delle piante per tratti discontinui non eccessivamente lunghi o, dove possibile, in turni alterni sulle sponde, in modo da lasciare sempre una sponda o un tratto di essa vegetata.

In ogni caso, se il filare è finanziato da apposite leggi regionali (ad esempio per la messa a dimora di fasce tampone boscate), non è possibile il taglio a raso se non dopo 7 anni a decorrere dalla data di concessione del finanziamento.

**Le operazioni relative all'esecuzione delle utilizzazioni** dovrebbero possibilmente essere realizzate con un'elevata meccanizzazione, allo scopo di ridurre la tempistica e i costi degli interventi. Le macchine (trattori, escavatori, motrici dedicate) si muovono lungo la pista di manutenzione e sono dotate di apposite attrezzature per eseguire le operazioni di taglio e in alcuni casi anche accatastamento e primo allestimento dei fusti tagliati per la produzione di biomassa legnosa. Le **manutenzioni** invece sono generalmente eseguite manualmente.

Ciò vale sia per la pulizia del colletto, allo scopo di ridurre la concorrenza delle malerbe nei primi anni dopo la messa a dimora delle piante, sia per l'eventuale ribassamento delle ceppaie dopo l'abbattimento, sia infine per la spollonatura (vale a dire la selezione, tra tutti i polloni ricacciati dopo il taglio, di quelli migliori destinati ad arrivare alla fine del turno successivo).

Le operazioni di **manutenzione dell'alveo** del canale possono essere eseguite:

- da una sola sponda, se la larghezza del canale lo consente e la fascia boscata è presente solo su un lato al posto della pista di manutenzione (Figura 4.1);
- tramite il taglio completo della fascia riparia, nel caso questa sia presente su una sola sponda ma il canale non sia dotato di banca interna e la larghezza dell'alveo non permetta di effettuare la manutenzione dalla sponda opposta a quella vegetata;
- da una banca interna all'alveo, quando presente, anche nel caso in cui la fascia boscata sia posta sul ciglio di entrambe le sponde (Figura 4.2);
- tramite il taglio completo della fascia riparia, nel caso questa sia presente su entrambe le sponde e il canale non sia dotato di banca interna.

#### **g) Voci di costo**

Si veda il Par. 4.6.

## **SCHEDA F2**

### **Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi esternamente alla pista di manutenzione**

#### **a) Descrizione**

La messa a dimora di filari arboreo-arbustivi è in questo caso prevista all'esterno della pista di manutenzione utilizzata dai mezzi meccanici consortili, allo scopo di permettere le normali operazioni di gestione del canale da parte del Consorzio di bonifica che lo amministra.

La funzionalità ecologica nei confronti del canale è però in questo caso più limitata rispetto al posizionamento sul ciglio di sponda, vista la quasi totale assenza di interconnessione con il corpo idrico, mentre il miglioramento paesaggistico ed ecologico del territorio di pianura rimane comunque potenzialmente elevato. Il filare può inoltre avere un effetto tampone non secondario nei confronti degli inquinanti diffusi, posto che il deflusso di questi ultimi avvenga dai terreni agricoli limitrofi verso il canale o che esista un'interazione diretta fra la zona radicale delle piante e la falda (si veda la **SCHEDA Q1** al **CAP. 3**).

#### **b) Schema progettuale**

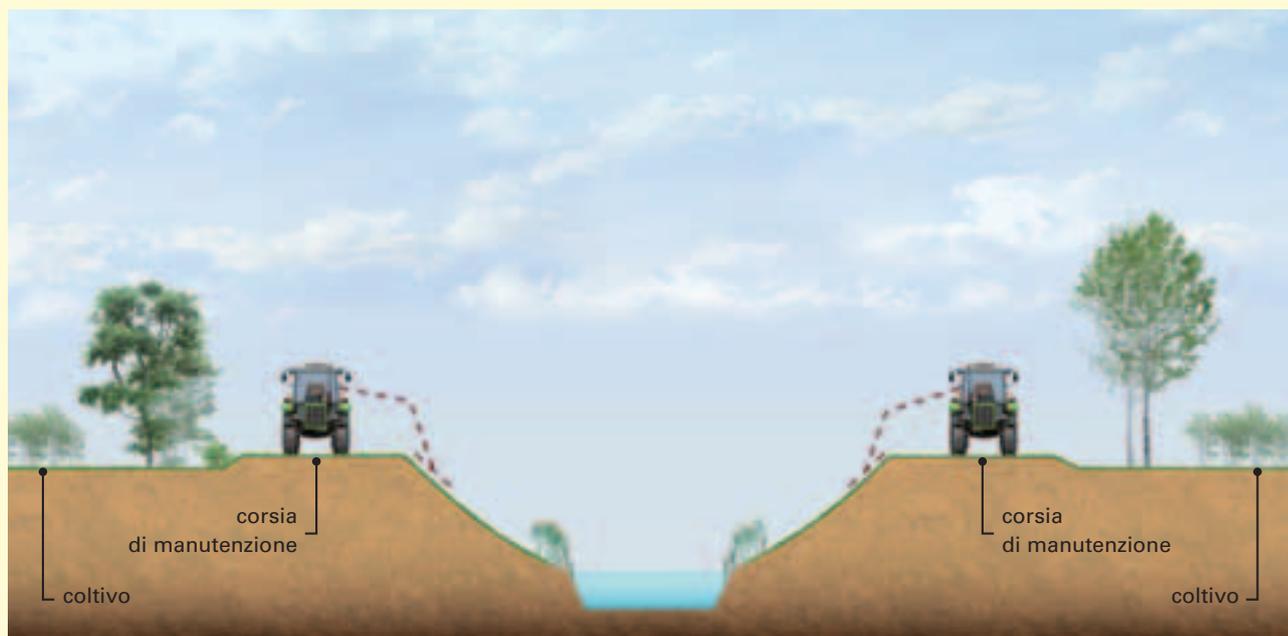


Figura 4.11 – Fascia arboreo-arbustiva posta esternamente alla pista di manutenzione del canale, da cui rimane quindi possibile effettuare la gestione sia della vegetazione acquatica e spondale del canale sia della fascia arboreo-arbustiva messa a dimora.



Figura 4.12 – Esempio di filare arboreo-arbustivo realizzato esternamente alla pista di manutenzione del canale. (Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

**c) Criteri di progettazione**

Si rimanda a quanto esposto alla SCHEDA F1, avendo in ogni caso cura di verificare il rispetto della normativa vigente circa le piantagioni lungo le sponde, come già esposte al paragrafo citato.

**d) Indicazioni specifiche per l'esecuzione**

Si rimanda a quanto esposto alla SCHEDA F1.

**e) Effetti ambientali**

Si veda il Par. 4.5.

**f) Manutenzione**

Si rimanda a quanto esposto alla SCHEDA F1.

**g) Voci di costo**

Si veda il Par. 4.6.

### **SCHEDA F3**

#### **Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi nelle aree golenali dei canali**

##### **a) Descrizione**

La creazione di golene lungo un canale, realizzate ad esempio grazie agli allargamenti di sezione descritti nella **SCHEDA R1** al **CAP. 1**, può generare le condizioni idrauliche e morfologiche adatte alla creazione di una fascia di vegetazione erbacea, arbustiva ed anche parzialmente arborea in queste aree interne, che interagisca direttamente con l'ambiente acquatico.

L'obiettivo dell'intervento è essenzialmente na-

turalistico e a tal fine deve ricreare o avvicinare la naturale successione vegetazionale (si veda Figura 2.13 nel **CAP. 2**), ottenendo vantaggi secondari quali un certo grado di stabilizzazione delle sponde (garantito dalla vegetazione) e la riduzione dell'azione erosiva della corrente.

La funzionalità ecologica nei confronti del canale è in questo caso estremamente elevata, vista la forte connessione con il corpo idrico, e la vegetazione può avere un significativo ruolo tampone, posto che i terreni agricoli limitrofi drenino direttamente verso il canale o che esista un'interazione diretta fra la zona radicale delle piante e la falda (si veda la **SCHEDA Q1** al **CAP. 3**).

##### **b) Schema progettuale**



*Figura 4.13 – Colonizzazione da parte della vegetazione di una golenata ricavata mediante allargamento di sezione di un canale (la linea gialla tratteggiata individua il piano golenale di neoformazione). Si noti la successione vegetazionale creatasi, che vede le elofite (canneto) nell'area di raccordo tra l'alveo bagnato e la golenata, specie arbustive igrofile nelle aree golenali più prossime all'acqua e allagabili con una certa frequenza e infine specie arboree al margine della golenata, nelle aree più distanti dall'acqua e soggette a rare sommersioni. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*

### c) Criteri di progettazione

Diversamente dai casi precedenti, la rivegetazione e la rinaturalizzazione di aree golenali devono confrontarsi con la contemporanea presenza di più "tipologie ambientali" in spazi spesso molto esigui; procedendo idealmente dal canale verso la golena, si possono infatti schematicamente individuare:

- il **piele di sponda dell'alveo di magra**, dove in genere si ha una presenza costante d'acqua a livelli variabili e velocità generalmente non elevate;
- la **golena**, che può presentare altezze diverse ed essere soggetta a sommersione per periodi anche piuttosto lunghi;
- la **sponda esterna della golena**, generalmente non soggetta a sommersione.

Di questa differenziazione spaziale occorre tener conto nella scelta delle specie da utilizzare, con l'obiettivo di ricreare quella che è una successione vegetazionale il più naturale possibile, in grado di svilupparsi grazie a pochi e mirati interventi manutentivi, atti sia a favorire l'evoluzione naturalistica dell'area sia a garantire la funzionalità idraulica di progetto.

L'intervento di forestazione del canale può quindi prevedere, procedendo dall'alveo verso la golena:

- colonizzazione (o messa a dimora diretta) di **idrofite** (in particolare **rizofite**<sup>30</sup> e **pleustofite**<sup>31</sup>) nell'area sommersa dalle acque compresa tra il fondo dell'alveo e il piede di sponda, nel caso in cui il livello dell'acqua non superi i 50-70 cm; la posa in alveo di idrofite è da prevedersi esclusivamente se le condizioni locali non permettono una colonizzazione autonoma o se lo scopo è evitare popolamenti monospecifici o favorire la presenza di specie rare o minacciate;
- colonizzazione (o messa a dimora diretta) di **elofite**<sup>32</sup> (*Phragmites australis*, *Carex* spp., *Scirpus* spp., *Typha* spp., ecc.) a cavallo del piede di sponda, o laddove si prevedono periodi di sommersione abbastanza lunghi;

- piantagione di **specie arbustive e arboree ripariali** igrofile del genere *Populus*, *Salix*, *Alnus*, ecc., nella porzione di golena soggetta a periodici periodi di sommersione, seppur più brevi del piede di sponda;
- piantagioni di **specie arbustive e arboree**, analoghe a quelle descritte alla **SCHEDA F1**, poste lungo la sponda esterna della golena, dove l'acqua giunge di rado.

È utile sottolineare come la ricostituzione di fasce di vegetazione erbacea igrofila di sponda può essere necessaria, ove tecnicamente possibile, nei casi in cui la ricolonizzazione spontanea da parte delle specie caratteristiche non possa avvenire in breve tempo, oppure laddove si voglia "pilotare" la spontanea evoluzione delle sponde, favorendo l'insediarsi di vegetazioni più rare o minacciate o con caratteristiche fisiologiche idonee alla gestione delle sponde stesse. In questi casi è possibile procedere all'impianto di materiale vivaistico (piantine) di specie erbacee scelte in base alle caratteristiche del sito di destinazione.

Per quanto riguarda la vegetazione spondicola, risulta particolarmente opportuno dal punto di vista conservazionistico favorire l'insediamento delle formazioni ad alte carichi (Tabella 4.3), scegliendo opportunamente le specie strutturali (ovvero edificatrici) della fascia spondale da piantare. Si tenga conto che tali vegetazioni possono ospitare al proprio interno specie, caratteristiche degli habitat umidi, particolarmente minacciate e per questo inserite in liste rosse e direttive internazionali. Tale presenza può essere a sua volta favorita con impianti ad hoc, con ciò incrementando di molto la portata di tali interventi in termini di biodiversità.

Analoghe considerazioni possono essere fatte laddove sia compatibile la presenza di comunità acquatiche natanti o sommerse, in considerazione della rarità e del percepito stato di minaccia crescente di alcune specie legate a questi ultimi tipi di habitat nella nostra pianura.

<sup>30</sup> Le *rizofite* raggruppano parte delle idrofite, in particolare le specie ancorate al fondo del corso d'acqua mediante un rizoma.

<sup>31</sup> Le *pleustofite* raggruppano parte delle idrofite, in particolare le specie galleggianti sprovviste di apparati radicali che svolgano la funzione di ancoraggio al canale.

<sup>32</sup> Le *elofite* (piante palustri tipiche del canneto) sono specie radicate nel sedimento saturo d'acqua, per le quali solo la porzione basale dell'apparato vegetativo è sommersa e la quasi totalità del fusto, delle foglie e degli apparati riproduttivi è invece emergente dall'acqua.

Tabella 4.3 – Alcune importanti specie strutturali costituenti vegetazione spondicola (comunità delle megaforie acquatiche)

	Umidità	Ph	Nutrienti	Sostanza organica	Granulometria	Luminosità
<i>Carex acuta</i>	4	3	3	9	9	3
<i>Carex acutiformis</i>	5	4	4	4	5	3
<i>Carex elata</i>	5	3	3	4	5	4
<i>Carex otrubae</i>	5	4	2	4	4	3
<i>Carex pseudocyperus</i>	5	4	3	4	5	4
<i>Carex riparia</i>	5	4	3	4	5	4
<i>Cyperus longus</i>	4	3	3	3	3	4
<i>Iris pseudacorus</i>	5	3	4	4	5	3
<i>Glyceria maxima</i>	5	4	5	3	5	4
<i>Phalaris arundinacea</i>	5	3	4	3	4	3
<i>Phragmites australis</i>	5	3	3	3	4	3
<i>Sparganium erectum</i>	5	3	4	3	4	4
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	5	3	3	4	4	5

Legenda: Indici di Landolt (in base a Poldini, 1991)

Umidità		Ph		Sostanza organica		Granulometria		Luminosità	
1	aridità elevata	1	3 - 4,5	1	suoli primitivi	1	roccia compatta	1	sciafila
2	aridità media	2	3,5 - 5,5	2	suoli minerali	2	> 2mm	2	mediamente sciafila
3	umidità media	3	4,5 - 7,5	3	suoli mediamente umiferi	3	2 - 0,05 mm	3	subeliofila
4	umidità alta	4	5,5 - 8	4	suoli umiferi	4	0,05 - 0,002	4	mediamente eliofila
5	umidità altissima	5	> 6,5	5	suoli molto umiferi	5	< 0,002	5	molto eliofila
9	eurivalente	9	eurivalente	9	eurivalente	9	eurivalente	9	eurivalente

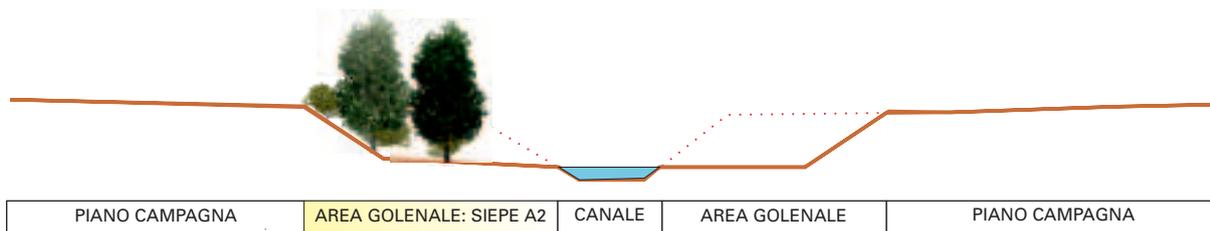
In alternativa alla forestazione della golena è possibile, dopo aver realizzato l'ampliamento naturalistico di sezione, attendere ed eventualmente indirizzare la colonizzazione spontanea da parte della vegetazione, posto che l'area non sia invasa da specie infestanti o che non sia necessario accelerare il processo di riqualificazione del sito.

La presenza di vegetazione in alveo e in golena richiede di eseguire un'attenta verifica idraulica del canale che, già in fase progettuale, indichi densità, tipologia e modalità di manutenzione

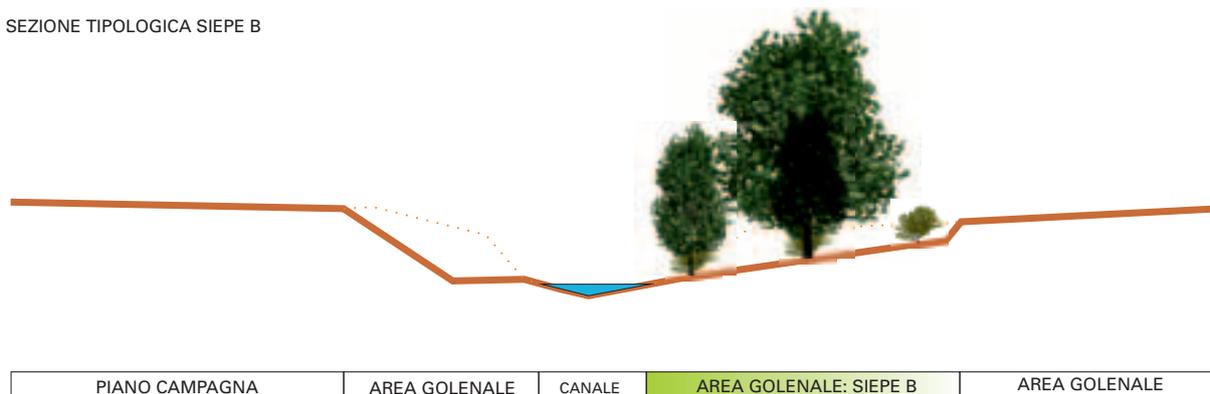
delle specie vegetali da mettere a dimora lungo il canale, al fine di garantire il transito e la laminazione delle portate di progetto: per ogni ulteriore dettaglio si rimanda al punto c) "Criteri di progettazione" della **SCHEDA R1** al **CAP. 1**.

Si riportano di seguito (Figura 4.14) alcuni moduli che illustrano, a titolo di esempio, alcune possibili modalità di forestazione di aree golenali presenti lungo i canali, che devono essere considerate, come già ricordato a inizio capitolo, come un semplice spunto per lo sviluppo di moduli appropriati alla singola situazione in esame.

SEZIONE TIPOLOGICA SIEPE A2



SEZIONE TIPOLOGICA SIEPE B



LEGENDA

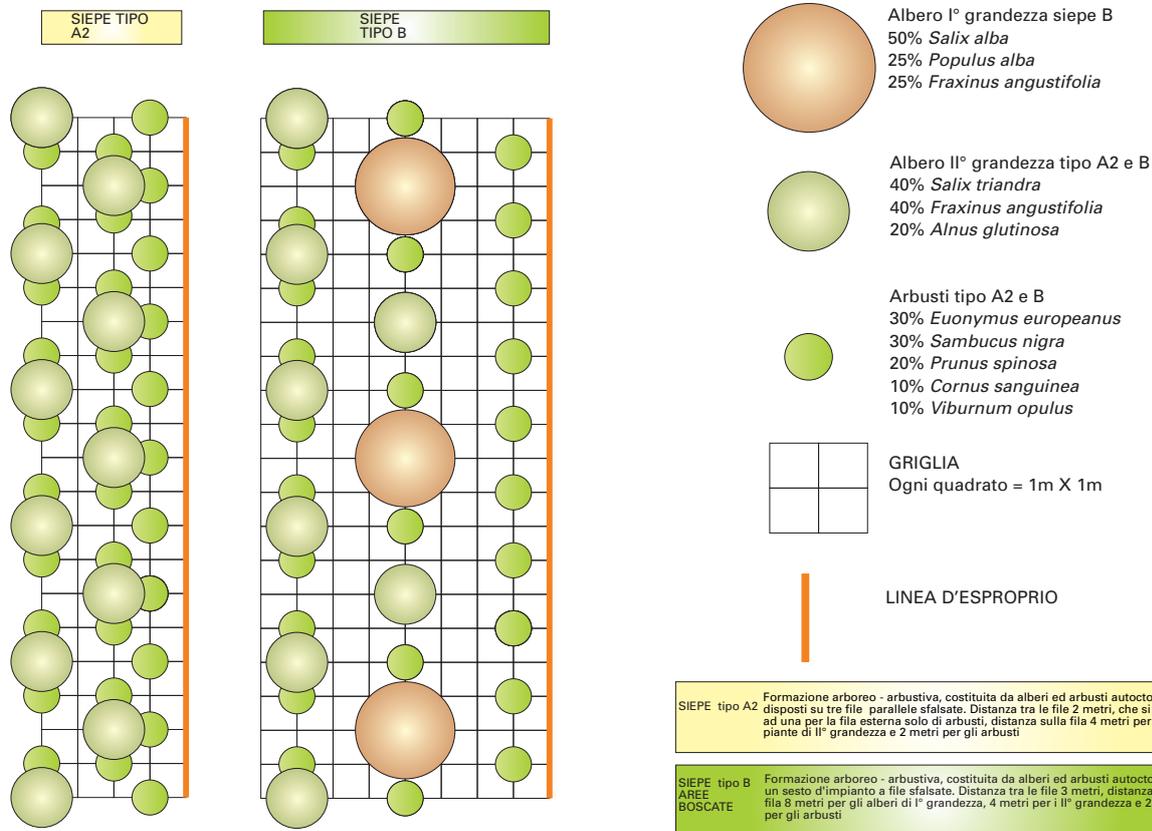


Figura 4.14 – Esempio di modulo compositivo-strutturale per la forestazione di aree golenali poste lungo i canali.

#### **d) Indicazioni specifiche per l'esecuzione**

Le golene poste lungo i canali sono aree in cui le situazioni ambientali ed idrauliche possono essere molto variabili e in cui può essere difficile effettuare la manutenzione forestale o gli interventi di controllo; la realizzazione delle piantagioni risponde quindi più a criteri di buon senso e di conoscenza delle problematiche specifiche che all'adozione di un determinato modulo per una certa finalità.

Così, ad esempio, nei tratti non rettilinei, più o meno sinuosi, può essere opportuno sistemare la fascia a elofite (canneto, cariceto, ecc.) in formazioni più dense ed estese nei tratti concavi delle rive, dove le sollecitazioni della corrente sono più elevate, collocando eventualmente nella zona retrostante piccoli boschetti ripariali, mentre nei tratti rettilinei si possono prevedere piantagioni arbustive/arboree solo per tratti, lasciando delle zone con sole elofite o semplicemente inerbite.

Per il materiale vegetale, nel caso di utilizzo di specie come salici e pioppi, soprattutto quando l'impianto è effettuato nel periodo invernale, è opportuno l'impiego di talee, che garantiscono un'elevata percentuale di attecchimento, una notevole velocità di accrescimento e una conseguente resistenza ai danni che piene improvvise potrebbero causare. Il ricorso alle talee permette inoltre di ridurre i costi dell'impianto e anche la possibilità di reperire il materiale vegetativo direttamente sul posto.

In caso di impianti autunnali o primaverili, e quando si vuole aumentare la composizione di specie e la biodiversità del sistema forestale, è consigliabile l'utilizzo di piantine con pane di terra di provenienza locale e certificata.

#### **e) Effetti ambientali**

Si veda il Par. 4.5.

#### **f) Manutenzione**

In funzione del coefficiente di scabrezza di progetto utilizzato per il dimensionamento idraulico del canale e della sua gola (che non deve essere superato a causa dello sviluppo eccessivo della vegetazione), può essere necessario eseguire interventi di manutenzione consistenti in tagli della vegetazione di tutta la gola anche a carico delle elofite. Questi interventi, da compiersi con una cadenza dipendente dallo sviluppo della vegetazione, dall'ingombro causato, ecc., devono essere gestiti per tratti, alternando zone in cui la vegetazione rimane inalterata con zone sottoposte al taglio; nelle zone soggette al taglio occorre inoltre, laddove risulti possibile ai fini della sicurezza idraulica, rilasciare individui arborei ad alto fusto che possiedono elevata valenza ecologica (come ad esempio le querce).

Accanto a questi interventi di carattere straordinario sono da prevedersi interventi manutentivi a cadenza regolare (generalmente annuale) con operazioni da eseguirsi a mano a carico dei soli individui deperienti, morti in piedi o crollati, in modo da consentire un regolare sviluppo delle fasce arboree ed arbustive ed evitare inoltre che queste interferiscano sulla funzionalità idraulica del canale, a causa di franamenti di sponda o cadute di alberi in alveo causa invecchiamento.

#### **g) Voci di costo**

Si veda il Par. 4.6.

## 4.5 EFFETTI AMBIENTALI

I filari arboreo-arbustivi, se ideati e progettati in consociazioni articolate con una vasta gamma di specie, si caratterizzano nel tempo per un'elevata complessità strutturale e compositiva, che attribuisce loro un carattere di accentuata polivalenza.

Tali impianti sono pertanto in grado di svolgere funzioni di tipo produttivo, ecologico-ambientale, naturalistico, protettivo, igienico-sanitario, estetico-paesaggistico.

Tra le funzioni ecologico-ambientali e naturalistiche vanno citate:

- la funzione tampone svolta dagli apparati radicali delle piante mediante intercettazione e successiva filtrazione/depurazione dei deflussi idrici provenienti dai terreni agrari coltivati;
- l'assorbimento dell'anidride carbonica;
- l'aumento della biodiversità dell'ecosistema;
- la creazione di habitat ideali per ospitare e favorire la diffusione della fauna selvatica ed eventualmente anche dell'entomofauna antagonista dei parassiti delle colture agrarie (contributo alla lotta biologica);
- la funzione frangivento a difesa delle colture agrarie adiacenti.

## 4.6 VOCI DI COSTO

La realizzazione e la gestione delle fasce arboreo-arbustive messe a dimora lungo i canali è caratterizzata tipicamente dalle voci di costo riportate di seguito; tale elenco deve essere ovviamente adattato alla specificità dell'intervento effettuato e al contesto logistico in cui si opera.

- Progettazione impianto
- Preparazione del terreno
  - Ripuntatura
  - Distribuzione di fertilizzante
  - Aratura
  - Erpicatura o fresatura
- Messa a dimora dell'impianto
  - Acquisto materiale pacciamante
  - Stesura o posa materiale pacciamante
  - Acquisto materiale forestale (piantine con pane di terra o talee)
  - Messa a dimora materiale forestale
- Gestione dell'impianto (manutenzioni e cure colturali)
  - Sfalci con trinciatura meccanica
  - Eventuale diserbo localizzato
  - Eventuale irrigazione di soccorso
  - Pulizia del foro d'impianto
  - Risarcimento fallanze
  - Rimozione e smaltimento film pacciamante plastico
  - Raccolta della biomassa legnosa in seguito a interventi di diradamento/sfollo o utilizzazione alla fine del turno previsto (abbattimento, esbosco, allestimento, prima trasformazione).

## 4.7 PROMEMORIA SINTETICO PER LA REALIZZAZIONE E LA MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI

Il presente paragrafo sintetizza le indicazioni che occorre seguire in fase di realizzazione e manutenzione degli interventi proposti nel capitolo in oggetto, affinché si possano valorizzare al massimo le funzioni ambientali dei canali, in particolare con riferimento a<sup>33</sup>:

- messa a dimora di filari arboreo-arbustivi sul ciglio di sponda di canali e capofossi;
- messa a dimora di filari arboreo-arbustivi esternamente alla pista di manutenzione;
- messa a dimora di filari arboreo-arbustivi nelle aree golenali dei canali.

### **(a) Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi sul ciglio di sponda di canali e capofossi o esternamente alla pista di manutenzione**

#### **Realizzazione**

- **Selezionare la tipologia di siepe in base alle caratteristiche del sito e agli obiettivi stabiliti**
  - siepe posta sulla sponda subito a ridosso del ciglio, se gli spazi a disposizione sono minimi;
  - siepe posta sulla pista di manutenzione a ridosso del ciglio di sponda, se gli spazi a disposizione sono superiori al caso precedente o se è possibile arretrare la pista di manutenzione;
  - siepe posta esternamente alla pista di manutenzione, se è necessario mantenere la pista nello stato di fatto per esigenze di manutenzione del canale.

#### **Manutenzione**

- **Scegliere le modalità di manutenzione in funzione della localizzazione e degli obiettivi della siepe**
  - siepe posta sulla sponda subito a ridosso del ciglio
    - difficoltà nel posizionare il telo pacciamante a protezione delle piantine;
    - conseguente aumento dell'incidenza delle cure colturali manuali e possibilità che si verifichino maggiori fallanze;
    - taglio selettivo da eseguirsi periodicamente a fine turno (se la siepe ha prevalenti finalità produttive), a seconda della diversa velocità di crescita delle specie messe a dimora, procedendo preferibilmente per tratti discontinui non eccessivamente lunghi o in turni alterni sulle sponde;
    - in base alle caratteristiche del canale, potranno essere previsti anche turni piuttosto brevi per il taglio, da eseguirsi sempre con attrezzature manuali;
    - gestione manutentiva straordinaria con taglio dei soli esemplari instabili e a rischio di crollo in alveo.
  - siepe posta sulla pista di manutenzione a ridosso del ciglio di sponda o esternamente alla pista di manutenzione
    - se la finalità è naturalistica, valgono le indicazioni espresse per il caso precedente (sono comunque possibili prassi manutentive legate alla produttività);
    - se la siepe ha finalità produttive, si prevede il taglio a ceppaia di tutte le piante alla scadenza del turno previsto; per privilegiare parzialmente anche gli effetti naturalistici, procedere al taglio per tratti discontinui non eccessivamente lunghi o in turni alterni sulle sponde.

<sup>33</sup> Sintesi di quanto descritto compiutamente nel presente Capitolo.

**(b) Messa a dimora di filari arboreo-arbustivi nelle aree golenali dei canali****Realizzazione**

- **Prendere a modello le aree golenali dei corsi d'acqua naturali**
  - ricreare o avvicinare la naturale successione vegetazionale;
  - in alternativa alla forestazione della gola, attendere ed eventualmente indirizzare la colonizzazione spontanea da parte della vegetazione, posto che l'area non sia invasa da specie infestanti o che non sia necessario accelerare il processo di riqualificazione del sito.

**Manutenzione**

- **Eeguire una gestione della vegetazione che coniughi esigenze idrauliche, strutturali e ambientali**
  - interventi manutentivi a cadenza regolare (generalmente annuale), da eseguirsi a mano a carico dei soli individui deperienti, morti in piedi o crollati;
  - in funzione del coefficiente di scabrezza di progetto, eseguire, eventualmente, tagli per tratti della vegetazione di tutta la gola, anche a carico delle elofite.

**4.8 INDICAZIONI DI MASSIMA PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI**

Il presente paragrafo schematizza gli aspetti tecnici, ambientali e socio-economici che occorre monitorare per valutare la riuscita degli interventi di riqualificazione ambientale dei canali proposti nel presente capitolo.

- **Aspetti tecnici**
  - Grado di consolidamento della sponda
  - Produzione di biomassa legnosa
- **Aspetti ambientali (alveo e sponda)**
  - Evoluzione degli habitat presenti nel canale
  - Evoluzione della vegetazione presente nel canale
  - Fauna (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.)
- **Aspetti socio-economici**
  - Costi per la manutenzione del canale (sponda e alveo) e confronto con la situazione *ante operam* (sfalci, ripresa frane, ecc.)
  - Rapporto con i frontisti
  - Grado di apprezzamento da parte della cittadinanza



# 5

## GESTIONE SOSTENIBILE DELLA VEGETAZIONE ACQUATICA E SPONDALE



## INDICE

5.1	Approccio generale .....	pag. 121
5.2	Tipologie di intervento.....	» 122
	SCHEDA G1 - Controllo a basso impatto della vegetazione in alveo.....	» 123
	SCHEDA G2 - Ombreggiamento per il controllo della vegetazione acquatica e spodale.....	» 136
5.3	Promemoria sintetico per la realizzazione e la manutenzione degli interventi.....	» 138
5.4	Indicazioni di massima per il monitoraggio degli effetti.....	» 138

### **Autori del capitolo**

Stefano Raimondi

Matteo Busolin

Marco Monaci

Bruno Boz

### **Con la collaborazione di**

Roberto Fiorentin

## 5 Gestione sostenibile della vegetazione acquatica e spondale

### 5.1 APPROCCIO GENERALE

L'alveo dei canali è potenzialmente ricco di **vegetazione** (Figura 5.1): la sezione bagnata ospita tipicamente le idrofite, in particolare piante acquatiche come *Ranunculus aquatilis* (ranuncolo acquatico) e *Berula erecta* (sedanina d'acqua), che prediligono il fondo, e piante galleggianti come *Lemna minor* (lenticchia d'acqua) e *Nuphar lutea* (ninfea gialla), caratteristiche dello specchio d'acqua; soprattutto nei canali più piccoli la sezione bagnata può essere invasa anche da *Phragmites australis* (cannuccia di palude) e da altre piante come *Typha* spp. Il piede di sponda può ospitare le piante palustri (elofite) tipiche del canneto, quali ad esempio la stessa *Phragmites australis*, *Carex* spp. (carice) e *Typha* spp., mentre la zona medio-alta della sponda, più arida perché soggetta a sommersioni sporadiche, è potenzialmente sede d'elezione di pian-

te erbacee come *Lythrum salicaria* (salcerella comune) e *Filipendula ulmaria* (olmaria comune); infine, la parte sommitale della sponda, meno umida, risulta idonea per cespugli e specie arboree del genere *Populus*, *Salix*, *Alnus*, ecc., e, in condizioni di scarsità di nutrienti, per piante erbacee tipiche dei prati magri. La situazione può in realtà presentarsi assai differenziata da caso a caso e favorire, a seconda delle dimensioni e della tipologia di canale (scolo, irrigazione, promiscuo), alcune specie a discapito di altre.

Le **positive ricadute ambientali** legate alla presenza di vegetazione in alveo lungo i canali sono innumerevoli: la comunità vegetale acquatica fornisce ad esempio risorse alimentari, ambienti di rifugio e substrati a una ricca varietà di vertebrati e invertebrati e può permettere perciò al canale di ospitare un numero elevato di specie e di sviluppare comunità animali e vegetali più

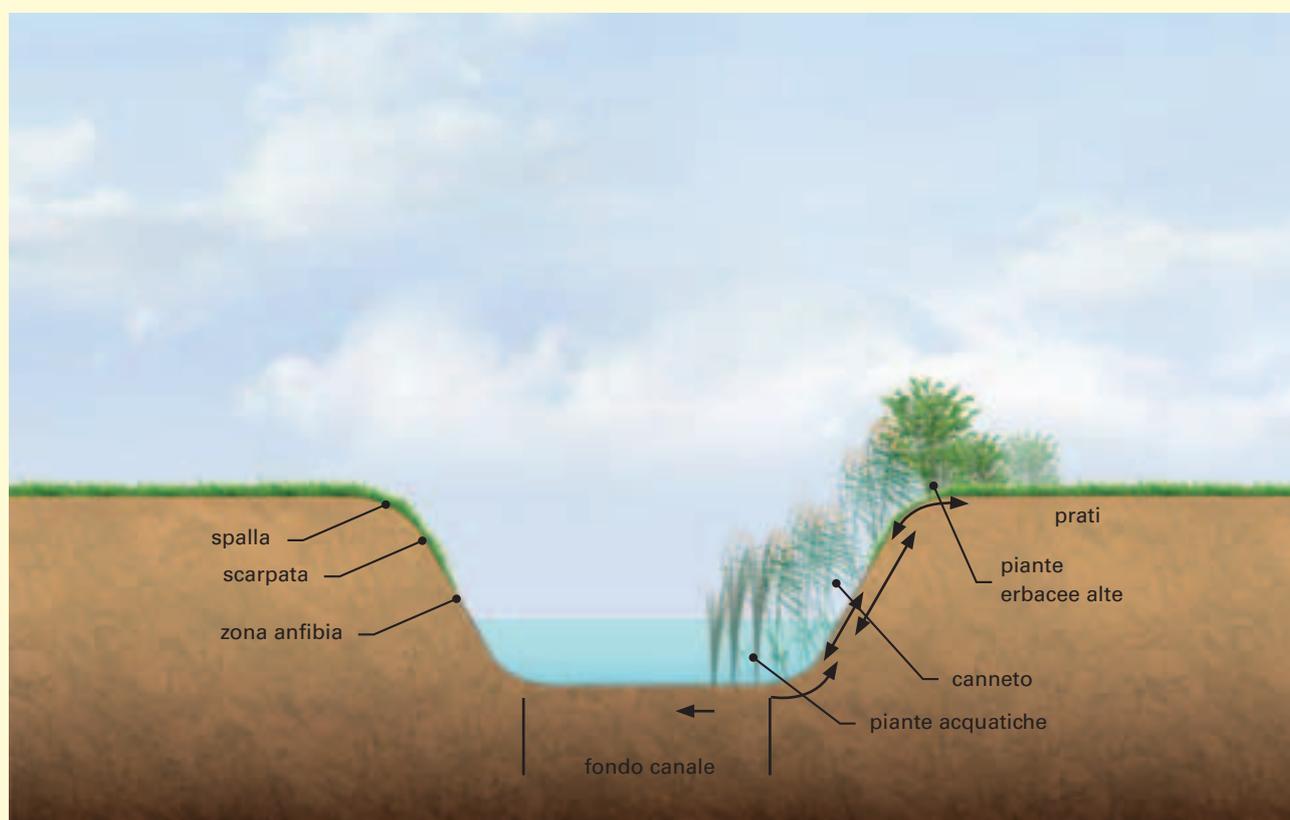


Figura 5.1 – Zonazione della vegetazione lungo la sponda di un canale.

stabili. Le foglie e gli steli della vegetazione costituiscono inoltre un esteso substrato che favorisce la colonizzazione da parte del perifiton, cioè dell'insieme di alghe, batteri, protozoi, detriti organici, particelle di carbonato di calcio che costituiscono un *biofilm* in grado di decomporre la sostanza organica presente nell'acqua, di assimilare i nutrienti e di favorire la trasformazione dell'azoto nitrico disciolto in azoto gassoso: la presenza delle piante acquatiche all'interno dell'alveo favorisce quindi la depurazione naturale delle acque e attenua così gli effetti dell'inquinamento in esse presente.

La presenza di vegetazione acquatica al piede di sponda ha inoltre **benefici effetti nei confronti del dissesto spondale** e può permettere di diminuire le necessità di ripresa frane e consolidamento spondale.

D'altro canto, lo sviluppo eccessivo della vegetazione acquatica lungo i canali può ridurre la loro **funzionalità idraulica** e portare all'esondazione delle acque in caso di eventi meteorici intensi; i Consorzi eseguono pertanto frequenti interventi di manutenzione della vegetazione (**sfalcio o diserbo**) allo scopo di evitarne la proliferazione e impedire così l'allagamento delle aree prospicienti i canali. Generalmente, tali operazioni di manutenzione prevedono la rimozione pressoché completa della vegetazione e la perdita delle potenzialità ecologiche ad essa associate, trasformando così i canali in ecosistemi degradati e banalizzati.

L'attuale presa di coscienza in merito all'importanza ecologica della vegetazione in alveo ha però iniziato a modificare tale approccio e ha portato allo sviluppo di **prassi di manutenzione più attente alla conservazione dell'ecosistema acquatico**, basate su modalità di taglio più conservative della vegetazione acquatica o sull'uso dell'ombreggiamento come tecnica alternativa per il suo controllo.

Numerose esperienze hanno infatti mostrato come in molti casi sia possibile, in condizioni di basso rischio idraulico, ottenere un consistente abbassamento del livello idrico e una conseguente diminuzione del rischio di esondazione senza effettuare un taglio completo della vegetazione presente in alveo e lungo le sponde, limitandosi a sfalciarne solo una porzione più o meno larga in funzione delle diverse situazioni. Queste esperienze hanno quindi aperto la strada alla sperimentazione delle modalità di "**gestione gentile**" (*gentle maintenance*) della vegetazione acquatica e spondale illustrate nel presente capitolo, che necessitano ora di essere sperimentate e adattate alle diverse tipologie di canali e alle differenti situazioni presenti nei Consorzi di bonifica della Regione Veneto, ricercando il giusto equilibrio tra le esigenze di sicurezza idraulica e quelle ambientali, paesaggistiche e fruibili dei canali.

## 5.2 TIPOLOGIE DI INTERVENTO

I principali interventi di manutenzione per il controllo della vegetazione acquatica e spondale attenti alle peculiarità naturalistiche dei canali possono essere così classificati:

- controllo a basso impatto della vegetazione in alveo;
- ombreggiamento per il controllo della vegetazione acquatica e spondale.

L'innovazione tecnologica dei mezzi per la manutenzione e la meccanizzazione delle operazioni possono inoltre fornire un ulteriore contributo per lo sviluppo di modalità manutentive sempre più attente alle valenze ecologiche dei canali. Nel paragrafi seguenti si forniscono indicazioni tecniche per la realizzazione degli interventi di manutenzione proposti, indicazioni che permettono di inquadrare, senza la pretesa di essere esaustivi, gli aspetti principali di cui tener conto in fase di pianificazione e progettazione di tali interventi.

## SCHEDA G1

### Controllo a basso impatto della vegetazione in alveo<sup>34</sup>

#### a) Descrizione

Le modalità di manutenzione a basso impatto della vegetazione, sia che riguardino il fondo sia che si riferiscano alle sponde del canale, devono tener conto di alcuni **accorgimenti generali** affinché possano esprimersi al meglio le potenzialità ecologiche della rete idrica consortile, accorgimenti che potranno essere applicati in modo più o meno stringente in funzione del grado di compromesso possibile con le esigenze idrauliche, paesaggistiche, fruttive di ogni singolo canale e della situazione territoriale:

- per ottenere un miglioramento significativo dello stato ecologico del canale è necessario **diversificare la velocità di corrente** e puntare a raggiungere un assetto generale del canale molto più simile a quello di un corso d'acqua in condizioni naturali, ove l'acqua scorre in modo sinuoso; la meandrazione della corrente, ottenibile anche in canali rettilinei agendo sulle modalità di taglio della vegetazione e senza prevedere allargamenti di sezione, crea infatti zone a differenti velocità e di conseguenza microhabitat e maggiore biodiversità;
  - durante lo sfalcio della vegetazione acquatica è essenziale, per quanto possibile, **evitare di movimentare il fondo**, così da limitare i fenomeni di scalzamento delle sponde dovute all'eccessivo approfondimento dell'alveo, evitare i rilasci di fosforo solubile causati dalla risospensione del sedimento e preservare la zona iporreica del canale (ambiente sub-superficiale dei sedimenti di fondo in cui possono essere trasformati sia i nutrienti apportati dalla falda sia quelli trasportati dal corso d'acqua stesso);
  - la vegetazione sfalciata dovrebbe essere **raccolta entro 12 ore dal taglio**, in modo da evitare il rilascio nel corso d'acqua dei nutrienti immagazzinati nei tessuti vegetali (*leaching*);
  - ove possibile, da un punto di vista ambientale è ideale **evitare lo sfalcio di un intero canale nello stesso momento** per mantenere sempre, in tratti dello stesso corso d'acqua, bioce-
- nosi sufficientemente diversificate e in grado di ricolonizzare rapidamente le contigue porzioni impattate dal taglio della vegetazione; l'applicazione di tale accorgimento può però scontrarsi con difficoltà operative e di sicurezza in corsi d'acqua soggetti a rischio idraulico e può essere potenzialmente onerosa da un punto di vista economico a causa dei notevoli spostamenti di mezzi e operatori;
- al fine di rispettare il periodo riproduttivo della fauna ittica, che generalmente si concentra nel periodo compreso tra febbraio e giugno, **il momento ideale per eseguire il taglio della vegetazione acquatica del canale è compreso tra agosto e ottobre**; anche in questo caso possono però incontrarsi difficoltà attuative dovute alla crescente domanda di sfalcio delle zone urbane e periurbane. È quindi opportuno considerare ogni canale in base alle sue peculiarità (presenza di particolari valenze ecologiche, ubicazione in ambiente urbano o in aree di particolare pregio naturalistico/ambientale, ecc.);
  - in un'ottica di salvaguardia della biodiversità, particolarmente importante è porre attenzione alla conservazione di **specie vegetali rare e minacciate**. Alcune specie di elevato valore conservazionistico sono proprie di habitat scomparsi dalla generalità della pianura, quali i prati umidi (molini in senso lato), e pertanto relegate entro vegetazioni più igrofile, quali le cenosi di sponda ad alte cariche, tuttora localmente diffuse e che presentano sufficienti affinità ecologiche. Entro la fascia di vegetazione spondale sono inoltre presenti anche svariate specie rare proprie degli stessi cariceti e canneti. Molte di queste specie, tra cui si citano a titolo esemplificativo *Allium angulosum*, *Cirsium canum*, *Gentiana pneumonanthe*, *Senecio paludosus*, *Hibiscus palustris*, sono caratterizzate da fioriture e fruttificazioni tardive (piena/tarda estate, inizio autunno) e in alcuni casi non hanno una efficace propagazione agamica, perciò le popolazioni relitte presenti lungo la fascia anfibia dei corsi d'acqua a lento deflusso subiscono una progressiva rarefazione in conseguenza di tagli reiterati in periodo vegetativo, che non consentono loro di riprodursi efficacemente per

<sup>34</sup> Principali fonti consultate: Raimondi, Busolin, 2009; Consorzio di bonifica Acque Risorgive, <http://www.acquerisorgive.it>; Bischetti G.B. *et al.*, 2008.

via gamica e di disseminare. Per conservare efficacemente tali importanti componenti della diversità biologica planiziale, è necessario, oltre alla localizzazione con mappatura e georeferenziazione delle popolazioni residuali, una pianificazione dei tagli che individui porzioni di vegetazione da destinare alla conservazione, per le quali lo sfalcio avvenga il più tardivamente possibile (autunno) compatibilmente con le esigenze idrauliche;

- è necessario **lasciare una fascia di vegetazione al piede di sponda**, in particolare in corrispondenza della parte esterna della curva, in modo da diminuire gli effetti destabilizzanti della corrente sulla sponda e, allo stesso tempo, ridurre i danni apportati dai mezzi di manutenzione durante le operazioni di sfalcio.

L'adozione e sperimentazione di modalità di manutenzione a basso impatto della vegetazione deve tener conto, oltre che delle indicazioni generali sopra esposte, anche di **accorgimenti specifici**, illustrati di seguito, relativi a:

- manutenzione della vegetazione sul fondo;
- manutenzione della vegetazione sulle sponde;
- innovazioni tecnologiche: nuovi mezzi per la meccanizzazione.

#### *Manutenzione della vegetazione sul fondo*

La manutenzione della vegetazione del fondo è effettuata solitamente sia nei confronti delle piante acquatiche (idrofite) sia di quelle palustri (elofite); quando la profondità dell'acqua è limitata e costante, si possono infatti formare in alveo densi popolamenti di vegetazione palustre che invadono il canale e oppongono una forte resistenza al deflusso idrico.

Il contenimento di tale vegetazione, in particolare delle specie palustri tipiche del canneto, si rende pertanto necessario per limitare i rischi di esondazione e, dal punto di vista ambientale, per evitare il formarsi di popolamenti monospecifici (Figura 5.3).

La gestione della vegetazione di fondo può essere eseguita adottando in molte situazioni strategie di sfalcio a basso impatto, che prevedono il taglio delle specie vegetali solo su 1/3 o 2/3 della larghezza del fondo alveo, evitando per quanto possibile la sua completa eliminazione e creando così un **canale di corrente** possibilmente **sinuoso** (Figura 5.2 e Figura 5.4); questo, come già ricordato in premessa, favorisce la di-

versità morfologica e ambientale all'interno del corso d'acqua, protegge il piede della sponda da fenomeni di erosione e permette di conservare il potere autodepurante delle piante acquatiche. Tale modalità di manutenzione può essere attuata mediante l'impiego dei normali mezzi a disposizione dei Consorzi, quali ad esempio la barra falciante montata su un'imbarcazione sul braccio di un trattore o la benna falciante montata su un escavatore.

La **barra falciante** a doppia lama oscillante è caratterizzata da una ridotta velocità di lavoro e dalla necessità di provvedere al recupero della vegetazione tagliata. Quando la barra viene montata su motobarche per eliminare le macrofite acquatiche, la vegetazione fluttua sull'acqua e il recupero può essere eseguito immediatamente da personale posto sugli argini con l'ausilio di forche o, in seguito, in corrispondenza di ponti dove vengono realizzate le "ferme". Il recupero avviene poi mediante un autocarro dotato di gru a braccio articolato con apposita "forca prensile".

La **benna falciante**, attrezzatura intercambiabile montata di norma su macchine operatrici adibite a movimento terra, è costituita da una benna formata da barre di ferro sagomate che, durante la lavorazione, lasciano passare l'acqua trattenendo invece la vegetazione sfalciata; al posto dei denti da scavo è montata una barra falciante a doppia lama oscillante. Le modalità d'uso e le caratteristiche intrinseche delle benne falcianti possono determinare un'azione di risezionamento del fondo dei canali, che comporta la movimentazione di sostanze organiche, la rimozione di nicchie ecologiche, danni al piede di sponda e conseguente aumento del trasporto solido: per evitare tale azione di risezionamento è necessario porre attenzione a non approfondire troppo il taglio della vegetazione di fondo e concentrare tale intervento lungo il canale di corrente. Diventano quindi di estrema importanza, per ottenere i risultati voluti, la formazione dell'operatore, la consistenza dell'attrezzatura e le sue modalità d'uso.

Il taglio incompleto della vegetazione sul fondo permette generalmente di abbassare in modo consistente il **livello idrico** e, allo stesso tempo, di mantenere alta la funzionalità ecologica del canale; come già ricordato, intensità di taglio maggiori portano a miglioramenti trascurabili dell'efficienza idraulica ma ad un incremento

significativo degli impatti ambientali sul canale, fatto che ne consiglia l'uso solo nelle situazioni a conclamato ed elevato rischio di esondazione, ad esempio nei casi in cui la sezione idraulica sia insufficiente anche eliminando totalmente la vegetazione (si veda al punto c) "*Criteri di progettazione*" per ulteriori dettagli tecnici).

Il canale di corrente può tendere ad **approfondire la sezione centrale dell'alveo** in cui si sviluppa il deflusso sinuoso a causa dell'aumento di velocità generato dalla minor sezione a disposizione dell'acqua, ristretta dalla presenza di vegetazione al piede di sponda; questo fatto può far sì che il canale di corrente si mantenga autonomamente libero dalla vegetazione e richieda progressivamente un numero sempre più esiguo di sfalci annui per mantenerlo funzionale, che può ridursi anche a uno solo; in altri casi il numero di interventi di sfalcio necessari nel corso di un anno può salire fino a un massimo di quattro, ma in alcuni casi si riduce a due, uno estivo seguito da un taglio nel periodo autunnale.

Da un'analisi dei **tempi di lavorazione** eseguita dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive nel corso di 8 anni, in alcune situazioni specifiche, si è osservato come l'utilizzo del canale di corrente, quando eseguito in particolar modo mediante benna falciante, determini una notevole diminuzione nei tempi di esecuzione del taglio. Ciò è dovuto in primo luogo al fatto che con il canale di corrente lo sfalcio è limitato a una ridotta fascia di vegetazione senza procedere con più passaggi, in secondo luogo si è riscontrata una maggior celerità nei movimenti del braccio idraulico, qualora lo sfalcio riguardi esclusivamente la vegetazione erbacea senza alcun asporto di sedimento (per ulteriori dettagli si rimanda al punto g) "*Voci di costo*").

#### *Manutenzione della vegetazione sulle sponde*

Come già anticipato in precedenza, per quanto concerne l'utilizzo di modalità a basso impatto per la manutenzione della vegetazione di sponda occorre tenere in debita considerazione le caratteristiche e la localizzazione del canale.

In linea teorica, infatti, potrebbe essere sufficiente eseguire un unico taglio annuale lungo tutta la scarpata, per limitare l'accumulo della lettiera ed evitare lo sviluppo della vegetazione arbustiva; nella maggior parte dei casi però si rendono necessari due tagli annui, che aumentano a tre nei casi di canali inseriti in ambito urbano, per i

quali la sicurezza idraulica, la salvaguardia e la tutela della salubrità ambientale e l'eventuale fruibilità ricreativa dell'argine e della sponda risultano prioritarie.

Nelle altre situazioni territoriali è invece auspicabile valutare la possibilità di **mantenere una fascia di vegetazione palustre al piede di sponda** che, oltre a potenziare la valenza ecologica del canale, permette di evitare i danni, e conseguenti cedimenti spondali, causati dall'azione diretta dei mezzi di manutenzione, oltre che contribuire alla protezione della sponda dall'azione della corrente (si veda al punto c) "*Criteri di progettazione*" per ulteriori dettagli tecnici).

Tra i mezzi d'opera maggiormente utilizzati per lo sfalcio della vegetazione spondale o arginale è utile citare:

- il **trinciasarmenti**, il quale può operare fino al piede di sponda o bagnasciuga. Le diverse situazioni in cui tali macchine operano hanno portato allo sviluppo di varie combinazioni e attacchi al fine di realizzare lo sfalcio in tutte le tipologie di corso d'acqua. Il trinciasarmenti può essere ad esempio montato su braccio articolato portato da un trattore agricolo o da uno specifico semovente, che consente passate di larghezza pari a 1-1,5 m e di accedere a zone altrimenti non raggiungibili, scavalcando una vegetazione a ciglio che può giungere sino ad un'altezza di 1-1,5 m; tale combinazione consente di lavorare anche sulla sponda opposta a quella di transito in canali di ridotte dimensioni e presenta una velocità di lavorazione media di circa 4 km/h.

Il trinciasarmenti può inoltre essere montato posteriormente e lateralmente a un trattore agricolo, che in questo caso permette di realizzare passate con larghezza di lavoro di 2-2,5 m; in questo modo è possibile operare sulla sommità arginale e lavorare in un solo passaggio su sponde con larghezza pari o inferiore alla larghezza dell'attrezzatura stessa, con velocità di lavorazione che possono arrivare anche a 6 km/h.

Queste attrezzature, nei loro diversi aspetti, sono ampiamente diffuse per i vantaggi operativi ed economici che comportano: consentono, infatti, una buona velocità di esecuzione e una triturazione e distribuzione omogenea della vegetazione sul terreno, necessaria per la sua degradazione, tali da rendere non

necessario l'intervento di altre macchine. I fenomeni di umificazione e mineralizzazione che s'instaurano contribuiscono ad aumentare la fertilità del suolo, favorendo così lo sviluppo di specie erbacee a rapida crescita (nitrofile). D'altro canto lo svantaggio del trinciasarmenti è che non favorisce lo sviluppo di un cotico erboso in grado di stabilizzare la sponda, ma facilita l'insediamento di specie macroterma rizomatose come ad esempio il Sorgo, dotato di rapidissima crescita e che, diffondendosi velocemente nel mese di agosto, riduce l'efficacia temporale degli sfalci precedenti. Per limitare tale fenomeno, che è causa di una maggior frequenza negli interventi, è ipotizzabile l'utilizzo di trinciasarmenti in grado di raccogliere l'erba in contemporanea al taglio;

- le **falciatrici a dischi** montate su trattori tradizionali o specifiche per pendenze elevate; si tratta di un'attrezzatura utilizzata solitamente per la produzione di foraggio, caratterizzata da una buona velocità di lavorazione unita a una bassa richiesta di potenza idraulica e meccanica e da pesi non rilevanti.

Le falciatrici a dischi sono costituite da una serie di dischi orizzontali – circolari, ellittici o triangolari – posti in parallelo sul telaio, dotati ai loro estremi di due lamini articolati.

Sebbene l'utilizzo di queste attrezzature non sia molto diffuso nella manutenzione dei corsi d'acqua, se non nello sfalcio delle grandi arginature, soprattutto lato campagna, per scopi di fienagione, la loro diffusione, anche su piccoli mezzi radiocomandati, riveste un certo interesse perché favorisce lo sviluppo di un cotico erboso di qualità con buona capacità di consolidamento delle sponde.

#### *Innovazioni tecnologiche: nuovi mezzi per la meccanizzazione*

La manutenzione della vegetazione dei canali, eseguita secondo le modalità innovative sinteticamente illustrate in precedenza, può essere favorita, oltre che da un diverso utilizzo dei mezzi a disposizione dei Consorzi e delle Aziende, dall'adozione di **attrezzature e mezzi d'opera appositamente progettati per l'uso lungo i canali**.

I mezzi utilizzati oggi sono infatti stati adattati a partire dai macchinari normalmente utilizzati in agricoltura e sono soggetti a evidenti difficoltà nell'operare in situazioni, tipiche dei canali, in cui

la macchina operatrice (es. trinciatrice montata su braccio) si trova a sbalzo rispetto alla macchina motrice, sottoponendo quest'ultima a sollecitazioni strutturali anomale; sono poi frequenti situazioni in cui la possibilità di accesso al canale da parte dei mezzi per la manutenzione risulta difficoltosa a causa delle dimensioni dei macchinari utilizzati, progettati originariamente per lavorare su campi e non lungo strette piste di manutenzione.

I mezzi d'opera specifici per lo sfalcio dei canali sono una nuova categoria di macchine che negli ultimi anni ha riscontrato un notevole sviluppo e successo; tra i mezzi innovativi, oltre alla **barca** dotata di barra falciante (Figura 5.5) e già adottata dai Consorzi, si segnalano:

- I **semoventi idrostatici** (Figura 5.6), caratterizzati da alcune specificità costruttive che li rendono generalmente più efficienti dei mezzi tradizionali: presentano infatti notevoli capacità di sbraccio, un baricentro basso e diverse particolarità che li differenziano da quelli classici, come la pressione al suolo o la versatilità dei movimenti;
- i **mezzi anfibi** (Figura 5.7), utili per lavorare in tratti di canale altrimenti inaccessibili, in quanto in grado di operare come natanti, in presenza di un sufficiente tirante d'acqua e, qualora ciò non sia possibile, anche in appoggio sul fondo del canale. Questi mezzi sono infatti dotati di un doppio sistema di propulsione a elica per la navigazione e mediante specifici cingoli per i lavori in appoggio sul letto del canale.

Gli anfibi sono mezzi d'opera che si differenziano principalmente per le diverse soluzioni di propulsione e galleggiamento adottate e per le specializzazioni operative.

Si possono infatti avere anfibi dotati o meno di braccio idraulico, per lavorare anche sulle sponde di canali di ridotte dimensioni, o specializzati per l'uso di attrezzature come pompe da fango, benne da scavo, trinciasarmenti, barre falcianti di svariate forme o apposite forche o rastrelli per la rimozione della vegetazione dall'alveo;

- il **"ragno"** (Figura 5.8), mezzo flessibile dotato di eccellenti doti di stabilità anche in situazioni dove il piano di appoggio è minimo, non regolare e variabile lungo il canale.

*Diserbo chimico*

Oltre alle tecniche e alle strategie descritte, può risultare utile valutare in situazioni specifiche anche un razionale utilizzo delle possibilità offerte dal diserbo chimico.

Esperienze svolte in alcuni Consorzi di bonifica sembrano infatti mostrare che l'uso integrato e localizzato del diserbo chimico, con prodotti ad alta compatibilità ambientale, può contribuire a ridurre i costi del controllo della vegetazione in alveo e gli impatti ambientali.

Saltuari interventi di diserbo chimico potrebbero permettere di ottenere tali risultati, purché si rispettino le seguenti condizioni:

- utilizzo di prodotti contenenti un principio attivo a basso impatto su macro, meso e microfauna (al momento il glifosate, positivamente collaudato per decenni), in cui anche i coformulanti siano assolutamente "neutri" per l'ambiente (quelli per uso civile sono adatti in tal senso);
- utilizzo di dosaggi ben tarati per le principali specie vegetali da controllare, eseguiti da personale preparato provvisto di patentino;
- utilizzo di basse dosi di glifosate nel periodo

tra la piena fioritura della canna di palude e i primi freddi, così da evitare ricacci per uno o più anni e mantenere il materiale vegetale nei siti ove le condizioni idrauliche lo consentono, riducendo così il disturbo per la fauna causato dal passaggio dei mezzi per la manutenzione;

- utilizzo di macchine irroratrici che consentano la precisa localizzazione dell'intervento, evitando ogni fenomeno di deriva (schermature).

Questa tecnica, nelle situazioni in cui è stata correttamente applicata, ha evidenziato:

- riduzione dell'impatto meccanico sulla fauna;
- riduzione degli interventi di manutenzione (sfalci) e dei relativi costi;
- riduzione dei costi energetici degli interventi di controllo delle infestanti, grazie al minor numero di passaggi con i mezzi meccanici per la manutenzione e alla minor potenza necessaria per l'utilizzo delle irroratrici;
- riduzione della necessità di interventi di escavo, con diminuzione sia dei costi sia del rischio di destabilizzazione delle scarpate causato dai mezzi adibiti alla manutenzione meccanica.

**b) Schema progettuale**

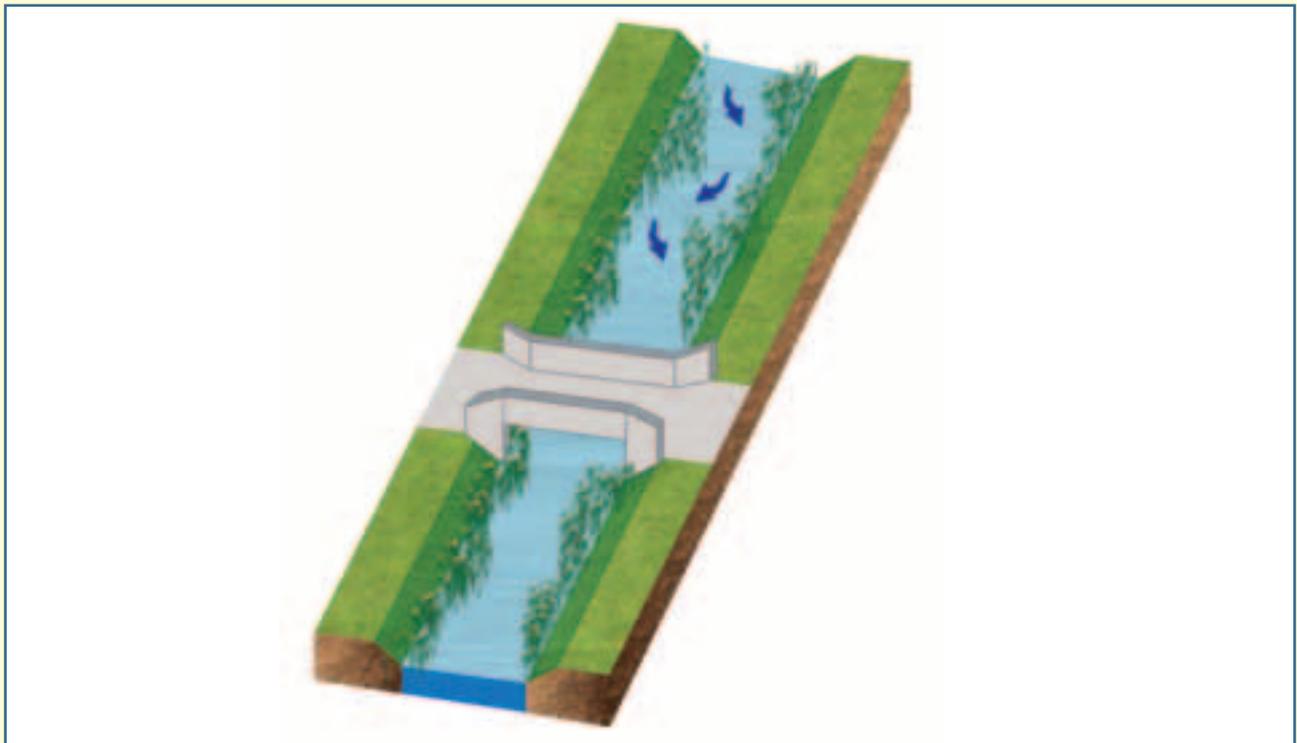


Figura 5.2 – Rappresentazione schematica di un canale di corrente sinuoso. La vegetazione acquatica è eliminata solo nella parte centrale dell'alveo, possibilmente con andamento sinuoso, lasciando al piede di sponda le specie vegetali presenti.



Figura 5.3 – Canale di corrente centrale creato mediante sfalcio parziale della vegetazione palustre. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).



Figura 5.4 – Manutenzione della vegetazione acquatica presente sul fondo: in giallo si nota il canale di corrente ove la vegetazione è stata eliminata e, sulla destra della foto, la vegetazione acquatica lasciata a protezione della sponda in curva contro le erosioni. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).



Figura 5.5 – Per la manutenzione dell'alveo può essere impiegata la barra falciante montata su un'imbarcazione. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).



Figura 5.6 – Mezzo d'opera specifico per le attività di manutenzione nei corsi d'acqua. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).



*Figura 5.7 – Mezzo anfibia per la manutenzione dei canali operante in appoggio sul fondo del canale (in alto) oppure come natante (in basso) in presenza di un sufficiente tirante idrico. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).*



Figura 5.8 – “Ragno”, mezzo flessibile dotato di eccellenti doti di stabilità anche in situazioni dove il piano di appoggio è minimo, non regolare e variabile lungo il canale. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

### c) Criteri di progettazione

La **capacità di deflusso** del canale è influenzata dalla presenza di vegetazione in alveo e l'estensione e la frequenza delle operazioni di manutenzione devono essere definite tenendo conto degli effetti idraulici potenzialmente prodotti; per stabilire quale grado di compromesso accettare tra garanzia della funzionalità idraulica e conservazione della valenza ecologica del canale è quindi necessario effettuare da una parte simulazioni idrauliche che permettano di stabilire gli effetti di diverse modalità di gestione della vegetazione sui livelli idrometrici e in generale sul rischio idraulico, e dall'altra sperimentazioni in campo che permettano di tarare i modelli di taglio ipotizzati.

La **simulazione idraulica** deve tener conto della capacità della vegetazione di flettere all'aumentare della portata e di modificare quindi la resistenza offerta al moto al variare dei deflussi (per ulteriori dettagli si veda la **SCHEDA R1** al **CAP. 1**); senza tener conto di questa peculiarità, i modelli idraulici possono infatti sovrastimare

gli innalzamenti dei livelli idrici generati dalla presenza di vegetazione acquatica, inducendo all'utilizzo di pratiche di gestione molto impattanti sull'ecosistema dei canali; occorre inoltre tener conto, come già ricordato, che una manutenzione effettuata mediante la creazione di un canale di corrente sinuoso (Par.0) può portare ad un approfondimento spontaneo del fondo a causa dell'aumento di velocità che si genera nella sezione ridotta del canale di corrente.

Le **sperimentazioni in campo**, come quelle eseguite dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive (Zane G., 2003; Mazzuccato C., 2003) o dalla Facoltà di agraria dell'Università degli studi di Milano (Bischetti G.B., Gandolfi C., 2005), possono invece permettere ai Consorzi di bonifica di verificare nelle differenti situazioni territoriali quale sia l'influenza di diverse modalità di taglio della vegetazione sui livelli idrici, sulle velocità e sulle portate e in definitiva confermare la non proporzionalità tra ampiezza delle porzioni di sezione sfalciate e diminuzione dei livelli idrici.

Le sperimentazioni eseguite dal Consorzio di

bonifica Acque Risorgive ad esempio sul **Rio Draganziolo** (in provincia di Treviso), in occasione degli sfalci, eseguiti con motobarca falciante, della vegetazione acquatica (*Vallisneria sp.*) ancorata al fondo del canale e occupante l'intera sezione liquida, confermano la tesi sostenuta; tali esperienze non hanno in ogni caso la pretesa di fornire risultati con validità generale, ma solo un'importante dimostrazione locale di come sia possibile, anche dal punto di vista idraulico, adottare metodi di gestione della vegetazione più conservativi rispetto alla prassi abituale. Seguendo il calendario degli interventi di manutenzione, nella sperimentazione sul Rio Draganziolo è stato eseguito dapprima lo sfalcio di un canale di corrente centrale (1° sfalcio) corrispondente a circa 1/3 della larghezza del fondo del canale, seguito poi dal taglio di un secondo corridoio in destra idraulica (2° sfalcio), portando a 2/3 la larghezza sfalciata, sfalciando infine il restante corridoio in sinistra idraulica (3° sfalcio). L'abbassamento dei livelli idrici conseguente alle tre operazioni è riportato in Figura 5.9 in relazione a sei sezioni individuate in successione lungo il canale (dalla 14 alla 20). Come si può notare dalla figura, con il taglio di un canale di corrente

di larghezza pari a 1/3 del fondo, il livello idrico subisce un calo molto consistente, decisamente maggiore di quello ottenuto successivamente mediante i tagli consecutivi delle due strisce laterali di vegetazione.

Come riportato in Tabella 5.1, relativa alle stesse sezioni appena citate del Rio Draganziolo, con la creazione di un canale di corrente pari a 1/3 della larghezza del fondo (1° sfalcio) il livello idrico si abbassa di una percentuale variabile dal 73% all'81% rispetto alla massima diminuzione ottenibile mediante sfalcio completo della vegetazione; con la creazione di un canale di corrente di ampiezza maggiore (2/3 della larghezza del fondo), corrispondente al taglio di due strisce di vegetazione (2° sfalcio), la diminuzione percentuale del livello idrico rispetto al massimo possibile oscilla dall'83% al 93%.

La sperimentazione effettuata evidenzia quindi che con il taglio di un canale di corrente, non necessariamente rettilineo, la diminuzione del livello idrico che ne consegue si attesta su valori di poco inferiori al massimo ottenibile con il taglio completo; questo fatto suggerisce la possibilità di tutelare parte della vegetazione acquatica presente nei canali, posto che situazioni di elevato

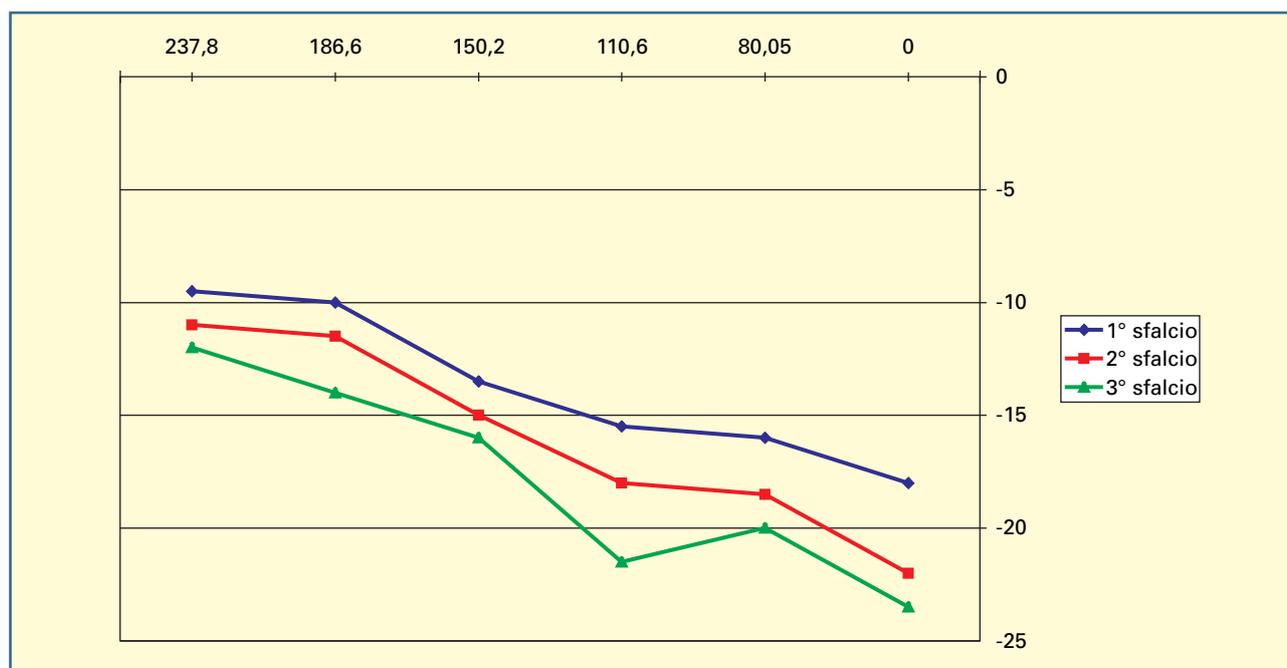


Figura 5.9 – Variazioni dei livelli idrici (in ordinata) in corrispondenza di diverse sezioni del Rio Draganziolo (in ascissa), dovute allo sfalcio della vegetazione acquatica, in particolare di un canale di corrente centrale (1° sfalcio, in rosso) e, successivamente, delle due fasce laterali presenti in destra (2° sfalcio, in verde) e sinistra idraulica (3° sfalcio, in viola). (NOTA: è presente un'ulteriore variazione del livello idrico conseguente al taglio della vegetazione a valle del tratto studiato) (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

rischio idraulico non richiedano di massimizzare la funzionalità idraulica del canale, sfruttando anche l'ulteriore e molto limitato abbassamento del livello idrico ottenibile dallo sfalcio completo della vegetazione. I risultati ora descritti sono stati ulteriormente confermati dalle esperienze realizzate sui corsi d'acqua Tasca e Bigonzo.

Tabella 5.1 – Diminuzione percentuale del livello idrico conseguente al taglio di un canale di corrente pari a 1/3 e 2/3 della larghezza del fondo del canale, percentuale riferita alla situazione di completa asportazione della vegetazione (a cui corrisponde il 100% della diminuzione del livello idrico) (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

Sezione	Canale di corrente largo 1/3 della larghezza del fondo	Canale di corrente largo 2/3 della larghezza del fondo
14	76,39%	89,27%
16	80,40%	91,45%
17	73,11%	83,49%
18	79,75%	90,79%
19	74,07%	85,18%
20	81,89%	93,10%

La letteratura scientifica degli ultimi decenni ha dimostrato inoltre a più riprese l'importanza della vegetazione in alveo (e di quella spondale) per la **stabilità delle sponde**, fatto che avvalorava la scelta di mantenere (o favorire) per quanto possibile la presenza di vegetazione lungo i canali, ad esempio mediante la creazione appena descritta di un canale di corrente.

Alcune sperimentazioni realizzate dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive, ad esempio sullo scolmatore di Noale, sullo scolmatore di Mestre e sul collettore Carmason, forniscono un'ulteriore conferma a tale tesi e, seppur con valenza locale, suggeriscono di continuare ed ampliare la ricerca di modalità conservative della vegetazione acquatica. La colonizzazione del piede di sponda da parte delle elofite permessa lungo i canali citati e soggetti a franamenti spondali ha infatti mostrato numerosi vantaggi, sia strutturali, quali il rallentamento o la stabilizzazione dei franamenti dove la vegetazione ha colonizzato stabilmente il piede di sponda danneggiato, sia ambientali, con l'aumento della biodiversità faunistica e vegetazionale.

Dal punto di vista gestionale queste osservazioni, qualora verificate su larga scala, potrebbero avere dei risvolti molto interessanti per lo sviluppo di criteri innovativi di gestione dei canali, ottenendo come importante effetto, oltre a quelli

ambientali, una possibile riduzione dei costi relativi ai ripristini spondali dovuta:

- a una possibile programmazione di medio-lungo periodo dei consolidamenti, grazie alla stabilizzazione delle frane già in atto (dilazione di costi e miglior programmazione);
- alla possibile scelta di non intervenire nei casi meno gravi;
- alla progressiva riduzione nel tempo del numero dei ripristini, la cui concausa è in molti casi legata proprio all'eliminazione dei canneti al piede di sponda e ai danni diretti causati in questo punto dai mezzi per la manutenzione dei canali.

#### d) Indicazioni per l'esecuzione

Si rimanda al punto (a) "Descrizione".

#### e) Effetti ambientali

a manutenzione a basso impatto della vegetazione in alveo permette un notevole incremento della biodiversità dei canali: la manutenzione continua e caratterizzata dall'asportazione totale della vegetazione genera infatti una netta riduzione delle specie vegetali e animali presenti nel corso d'acqua e la conseguente proliferazione di poche specie molto resistenti e ben adattate a questo tipo di stress. Lo sviluppo e il mantenimento della vegetazione favorisce invece un incremento del numero di specie vegetali presenti nei canali che, a medio-lungo termine, può permettere di tenere sotto controllo lo sviluppo delle specie invasive; si può inoltre assistere all'arricchimento delle zoocenosi, che dalla vegetazione traggono risorse alimentari, ambienti di rifugio e habitat per lo svolgimento delle diverse fasi del ciclo vitale.

La vegetazione in alveo, come già ricordato, incrementa inoltre la capacità autodepurativa grazie al ruolo diretto (assorbimento) e indiretto (sostegno alle comunità batteriche) esercitato dalla vegetazione nella trasformazione, nell'immagazzinamento e nell'utilizzo delle sostanze veicolate dalle acque.

#### f) Manutenzione

La manutenzione dei canali relativamente al controllo della vegetazione dovrebbe essere basata su piani di gestione annuali flessibili, da definire a seguito di controlli periodici della composizione e della quantità della vegetazione in scarpata e alveo, che prevedano per quanto possibile l'al-

ternanza e/o l'implementazione contemporanea di strategie diverse, evitando schemi rigidi di turni a calendario.

Ciò può consentire:

- riduzione dei fenomeni di selezione delle infestanti;
- riduzione dei costi di gestione;
- minor impatto ambientale.

Si rimanda per ulteriori approfondimenti al punto (a) "Descrizione".

#### g) Voci di costo

I costi di manutenzione dovuti a una gestione più conservativa della vegetazione in alveo possono essere ricavati con le usuali metodologie di calcolo in uso presso i Consorzi, alle quali si rimanda; mediamente, rispetto alla prassi di manutenzione classica, il taglio parziale della vegetazione in alveo permette un risparmio di tempo dovuto allo sfalcio del solo canale di corrente centrale al posto dell'intera sezione e una possibile diminuzione del numero di sfalci annui, come conseguenza dell'auto-mantenimento del canale di corrente centrale, aspetti di cui occorre tener conto per effettuare calcoli corretti.

A questo proposito, una recente analisi delle ore impiegate (e quindi dei costi sostenuti) per la manutenzione dello **Scolo Roviego** (provincia

di Venezia), realizzata dal Consorzio di bonifica Acque Risorgive con riferimento al periodo 2002-2009, ha confermato tale ipotesi e suggerisce di proseguire e ampliare nei Consorzi della Regione questa tipologia di sperimentazioni e analisi al fine di valutare l'effettivo risparmio economico dovuto a pratiche di gestione dei canali a basso impatto ambientale. Tipologie di canali ottimali per eseguire tali sperimentazioni risultano essere quelli con un medio-basso rischio idraulico o quelli per i quali altre esigenze non siano prioritarie rispetto agli obiettivi ambientali.

Nel caso studio analizzato, le modalità di manutenzione hanno subito una progressiva modifica, passando da un tipo di manutenzione classica a una a basso impatto quale quella descritta nei paragrafi precedenti, modifica che ha necessitato di un periodo di adattamento perché potesse diventare un *modus operandi* ordinario.

In Tabella 5.2 e in Figura 5.10 sono riportate le ore impiegate per lo sfalcio spondale e di fondo tra gli anni 2002 e 2009 lungo lo Scolo Roviego; dall'analisi dei dati si può notare come progressivamente il numero di ore totali annue impiegate per lo sfalcio siano diminuite.

Questa diminuzione è attribuibile con ogni probabilità al progressivo impiego di mezzi d'opera più specializzati, in particolare l'uso di una benna fal-

Tabella 5.2 – Diminuzione percentuale del livello idrico conseguente al taglio di un canale di corrente pari a 1/3 e 2/3 della larghezza del fondo del canale, percentuale riferita alla situazione di completa asportazione della vegetazione (a cui corrisponde il 100% della diminuzione del livello idrico) (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

anni	ore sfalcio spondale	ore sfalcio fondo	totale ore sfalcio
2002	304,5	624,5	929
2003	418	279	697
2004	615	242,5	857,5
2005	294,5	34,5	329
2006	540	101	641
2007	364	104,5	468,5
2008	329,5	9	338,5
2009	309	63	372

anni	sfalcio spondale				sfalcio fondo		
	1° sfalcio spondale	2° sfalcio spondale	3° sfalcio spondale	4° sfalcio spondale	1° sfalcio fondo	2° sfalcio fondo	3° sfalcio fondo
2002	97	136,5	71	0	97,5	68,5	458,5
2003	116	88	120	94	212	67	0
2004	85	186	217,5	126,5	20,5	110,5	111,5
2005	49,5	117	45	83	19,5	15	0
2006	200,5	86,5	253	0	64	37	0
2007	28,5	100,5	235	0	15	23,5	66
2008	187	142,5	0	0	9	0	0
2009	222,5	86,5	0	0	63	0	0

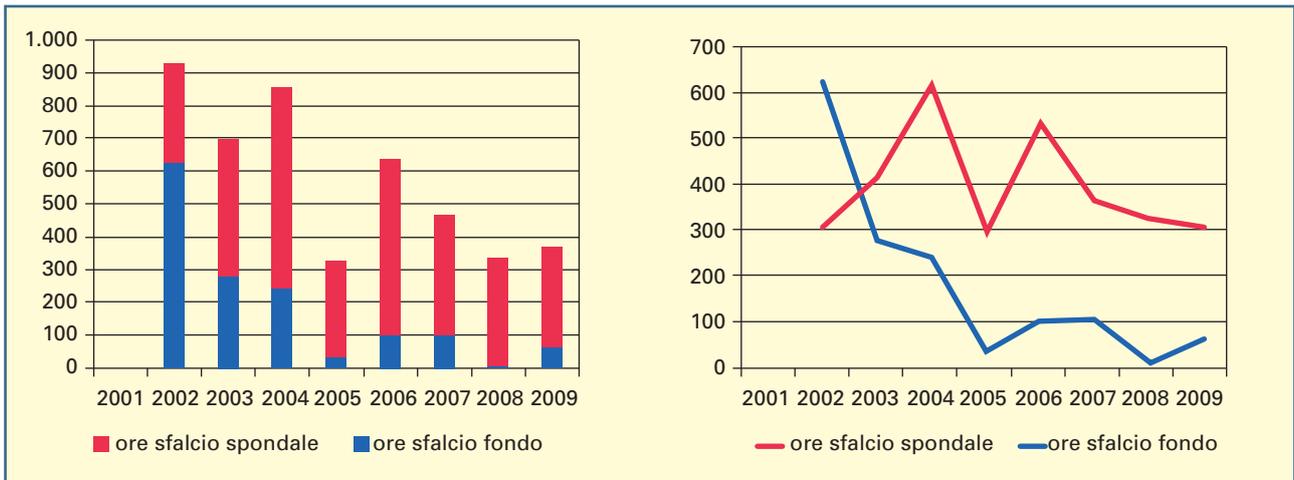


Figura 5.10 – Andamento del numero di ore impiegate per lo sfalcio spondale e di fondo tra gli anni 2002 e 2009 lungo lo Scolo Roviego (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

ciante di produzione olandese dotata di “prolunga” in luogo delle tradizionali motobarca (si veda Figura 5.11) e l’utilizzo delle modalità di gestione a basso impatto descritte nei paragrafi precedenti. Per quanto riguarda lo **sfalcio spondale**, da una prima analisi il numero di ore impiegate sembra in realtà essere rimasto sostanzialmente invariato negli anni; questo fatto sembrerebbe allora contraddire la tesi iniziale di risparmio sulle ore lavorate e sui costi. In realtà gli ultimi anni hanno visto un aumento della richiesta di sfalcio della sommità arginale e della parte alta della sponda (in particolare negli ambiti urbani) e conseguentemente del numero di sfalci annui; a questo au-

mento non è però conseguito un accrescimento sostanziale delle ore di lavoro, fatto con ogni probabilità attribuibile all’utilizzo progressivo di modalità di manutenzione a basso impatto che prevedono di tralasciare il taglio della vegetazione al piede di sponda.

Molto più marcata risulta invece la diminuzione delle ore impiegate per lo **sfalcio della vegetazione di fondo**, grazie sia al taglio della sola fascia centrale dell’alveo (canale di corrente) sia all’introduzione dei nuovi mezzi d’opera quali la benna falciante sopradescritta che, utilizzata per lo sfalcio del canale di corrente, ha permesso di diminuire le ore impiegate per tale operazione.



Figura 5.11 – Benna falciante dotata di “prolunga” (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

## SCHEDA G2 Ombreggiamento per il controllo della vegetazione acquatica e spondale<sup>35</sup>

### a) Descrizione

La presenza di vegetazione acquatica e spondale apporta notevoli vantaggi all'ecosistema del canale ma, d'altra parte, in molte situazioni occorre rimuoverla per evitare pericolose esondazioni causate da una sezione di deflusso resa insufficiente dalla vegetazione stessa.

In questi casi, oltre che eseguire sfalci spondali e della vegetazione di fondo con le modalità a basso impatto descritte nella scheda precedente, può essere utile sfruttare la capacità dei filari

arborei di ombreggiare l'alveo del canale e limitare così il proliferare della vegetazione acquatica e spondale (Figura 5.12).

Contenendo il passaggio dei raggi solari, si diminuisce infatti la crescita delle piante acquatiche ed erbacee a tal punto che, in alcune situazioni, può essere consigliabile prevedere filari arborei discontinui sulle due sponde o lungo un solo lato del canale, al fine di evitare un'eccessiva riduzione della presenza di vegetazione e dei danni ambientali che ne conseguono.

La presenza di vegetazione arborea lungo le sponde dei canali deve ovviamente essere attentamente conciliata con le necessità di gestione del canale e degli individui arborei o arbustivi, come specificato al CAP. 4.

### b) Schema progettuale

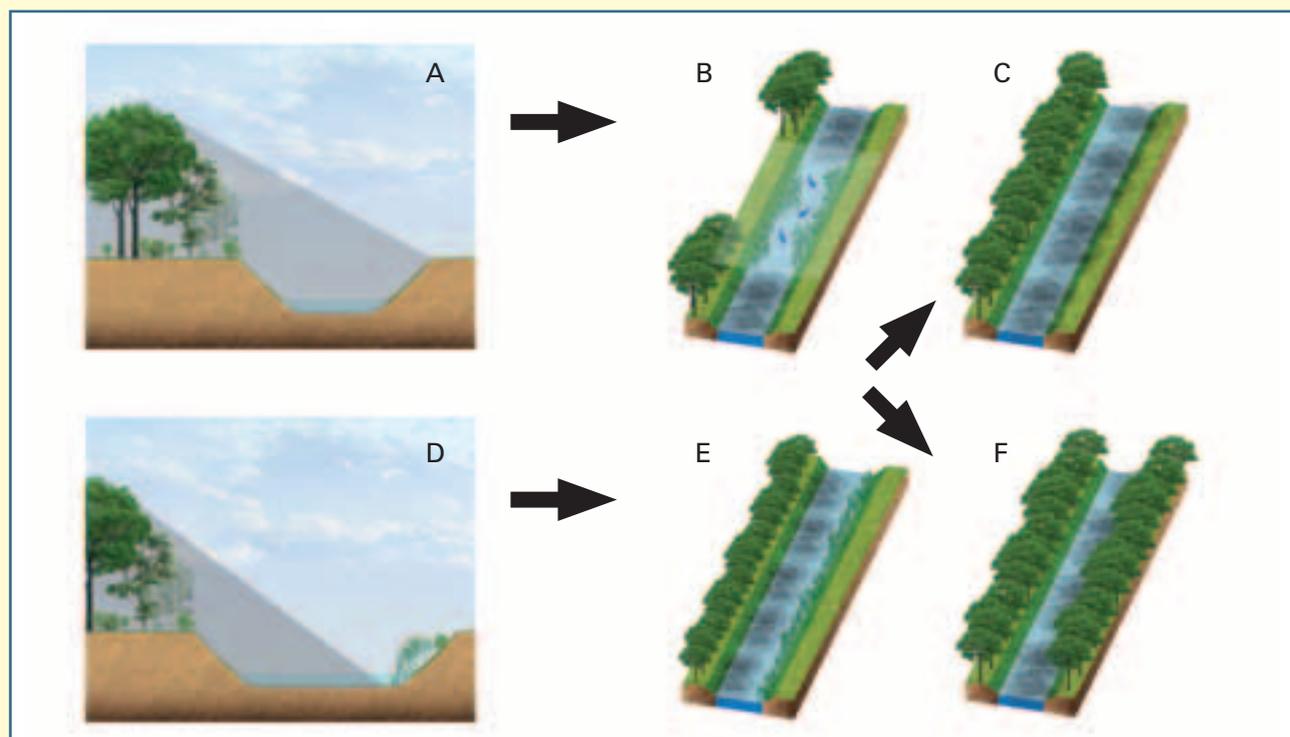


Figura 5.12 – La figura riporta a titolo esemplificativo alcune situazioni differenziate di ombreggiamento in funzione della larghezza del canale e del grado di controllo della vegetazione acquatica che il filare alberato deve raggiungere. Parte alta della figura: se il canale non è eccessivamente largo, l'ombreggiamento può interessare tutto l'alveo e, in situazioni particolarmente favorevoli, può essere talmente efficace da eliminare gran parte della vegetazione acquatica presente in alveo (A e C), creando quindi un danno a tale componente biologica. Può quindi essere utile alternare zone alberate e altre prive di siepi sulla stessa riva (B), così da favorire una diversificazione biologica in alveo e sulle sponde. Parte bassa della figura: se il canale è particolarmente ampio, l'ombreggiamento non interessa l'intera larghezza e permette lo sviluppo parziale di vegetazione sul fondo (D ed E). Nei casi in cui vi sia necessità di controllo "totale" della vegetazione in alveo può essere utile utilizzare un filare posto su entrambe le sponde (F), purché compatibile in termini di gestione e controllo del canale e di larghezza dello stesso.

<sup>35</sup> Principali fonti consultate: Baldo et al., 2003.



Figura 5.13 – Esempio di ombreggiamento totale e conseguente assenza di vegetazione acquatica. (Fonte: Consorzio di bonifica Acque Risorgive).

### **c) Criteri di progettazione**

L'ombreggiamento derivante dalle chiome di piante arboree e arbustive messe a dimora lungo le sponde dei canali può:

- contribuire a limitare lo sviluppo abnorme della vegetazione acquatica e delle sponde dei canali, limitando così l'eccesso di eutrofizzazione;
- permettere una riduzione degli interventi di manutenzione meccanica in alveo.

È tuttavia evidente che, in chiave ecologica, l'ombreggiamento può essere considerato d'ostacolo alla crescita di altri organismi se elimina completamente la vegetazione in alveo, specialmente in situazioni a basso rischio di esondazioni ove la vegetazione acquatica può essere, almeno in parte, conservata (Figura 5.12).

Le modalità di messa a dimora di filari alberati lungo i canali allo scopo di favorire l'ombreggiamento e il controllo della vegetazione acquatica non possono essere facilmente generalizzate e richiedono lo studio dei singoli casi specifici da

parte dei Consorzi, così da valutare non solo il posizionamento ottimale in relazione al sole, ma anche gli aspetti legati alla manutenzione del canale e alla gestione dei filari alberati trattati al [CAP. 4](#).

### **d) Indicazioni per l'esecuzione**

Si rimanda al [CAP. 4](#).

### **e) Effetti ambientali**

La presenza di vegetazione acquatica, seppur parzialmente controllata dall'ombreggiamento dei filari boscati posti lungo le sponde dei canali, genera gli effetti ambientali descritti nella [SCHEDA G1](#), mentre i filari alberati migliorano lo stato ecologico di canale e territorio, come descritto al [CAP. 4](#).

### **f) Manutenzione**

Si rimanda al [CAP. 4](#).

### **g) Voci di costo**

Si rimanda al [CAP. 4](#).

### 5.3 PROMEMORIA SINTETICO PER LA REALIZZAZIONE E LA MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI

Il presente paragrafo sintetizza le indicazioni che occorre seguire in fase di realizzazione e manutenzione degli interventi proposti nel capitolo in oggetto, affinché si possano valorizzare al massimo le funzioni ambientali dei canali, in particolare con riferimento a<sup>36</sup>:

- controllo a basso impatto della vegetazione in alveo;
- ombreggiamento per il controllo della vegetazione acquatica e spondale.

#### **(a) Controllo a basso impatto della vegetazione in alveo**

##### **Manutenzione**

- **Prendere a modello i corsi d'acqua naturali**
  - sfalciare le piante palustri in alveo a frequenza minore rispetto alla situazione pre-allargamento;
  - creare un canale di corrente centrale nell'alveo di magra, preferenziale e sinuoso, bordato da macchie di vegetazione acquatica (canneto);
  - lasciare una fascia di vegetazione al piede di sponda, in particolar modo in corrispondenza della parte esterna della curva, per diminuire gli effetti destabilizzanti della corrente sulla sponda e ridurre i danni apportati dagli stessi mezzi di manutenzione durante le operazioni di sfalcio;
  - evitare di movimentare il fondo, così da limitare i fenomeni di scalzamento delle sponde dovute all'eccessivo approfondimento dell'alveo;
  - raccogliere la vegetazione entro 12 ore dal taglio, in modo da evitare il rilascio nel corso d'acqua dei nutrienti immagazzinati nei tessuti vegetali;
  - eseguire il taglio della vegetazione acquatica del canale tra agosto e ottobre, momento ideale, dal punto di vista biologico; considerare in ogni caso il singolo canale in base alle sue peculiarità, in particolare se posto all'interno di aree urbane e periurbane;
  - porre attenzione alla conservazione di specie vegetali rare e minacciate.

#### **(b) Ombreggiamento per il controllo della vegetazione acquatica e spondale**

##### **Realizzazione**

- **Sfruttare la capacità dei filari arborei di ombreggiare l'alveo del canale per limitare il proliferare della vegetazione acquatica e spondale**
  - posizionare le siepi sulla sponda lato sud del canale, con un orientamento est-ovest.

##### **Manutenzione**

Si rimanda al **CAP. 4**.

### 5.4 INDICAZIONI DI MASSIMA PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI

Il presente paragrafo schematizza gli aspetti tecnici, ambientali e socio-economici che occorre monitorare per valutare la riuscita degli interventi di riqualificazione ambientale dei canali proposti nel presente capitolo.

- **Aspetti tecnici**
  - Qualità chimico-fisica delle acque a monte/valle degli interventi
  - Evoluzione topografica, grado di interramento e sviluppo/mantenimento/incremento di dinamiche evolutive morfologiche
  - Livelli idrometrici e portata in alveo, in magra e durante eventi di piena e confronto con la situazione *ante operam*
  - Grado di consolidamento della sponda
- **Aspetti ambientali (alveo e sponda)**
  - Evoluzione degli habitat presenti nel canale
  - Evoluzione della vegetazione presente nel canale
  - Fauna (macroinvertebrati, fauna ittica, fauna terrestre, avifauna, anfibi, ecc.)
- **Aspetti socio-economici**
  - Costi per la manutenzione del canale e confronto con la situazione *ante operam*
  - Rapporto con i frontisti
  - Grado di apprezzamento da parte della cittadinanza

<sup>36</sup> Sintesi di quanto descritto compiutamente nel presente Capitolo.

## Bibliografia

- Agapito Ludovici A., Cremascoli F., Fanfani E., Pirovano S., Sozzi P., 2006. *La gestione naturalistica del reticolo idrico di pianura*. WWF Italia, Consorzio di bonifica Muzza Bassa Lodigiana.
- Altier L.S., Lowrance R., Williams R.G., Inamdar S.P., Sheridan J.M., Bosch D.D., Hubbard R.K., and Thomas D.L., 2002. *Riparian Ecosystem Management Model: Simulator for Ecological Processes in Riparian Zones*. U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report 46.
- Arheimer B. and Wittgren H.B., 1994. *Modelling the effects of wetlands on regional nitrogen transport*. *Ambio* 23(6): 378-386.
- Baldo G., Monaci M., Boz B., Romagnoli F., 2003. *I Canali di bonifica e i corsi d'acqua delle Province di Modena e Bologna - Progetto Life Econet*. CIRF, Regione Emilia Romagna. [www.cirf.org](http://www.cirf.org)
- Borin M., 2003. *Fitodepurazione. Soluzioni per il trattamento dei reflui con le piante*. Edagricole, Bologna.
- Bischetti G.B., Chiaradia E.A., Conti M., Di Fidio M., Morlotti E., Cremascoli F., 2008. *Linee guida per la Riqualificazione dei Canali Agricoli (LIRICA)*. In: Quaderni della ricerca, 92. Regione Lombardia <http://www.agricoltura.regione.lombardia.it>.
- Bischetti G.B., Gandolfi C., 2005. *Un canale sperimentale per la valutazione delle resistenze idrauliche della vegetazione*. Atti del Convegno AIIA, L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea, 2005.
- Bresciani M. e Fila G.L., 2005. *Rapporto di attività: manutenzione dei canneti a Sirmione*. CRA - Centro Rilevamento Ambientale. <http://www.crasirmione.it/relazionecannetisirmione2005.pdf>.
- Burt T.P., 1997. *The Hydrological role of floodplain within the drainage basin system*. In Haycock N.E., Burt T.P., Goulding K.W.T. and Pinay G. (Eds.), *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*, Quest Environmental, Harpenden.
- Consorzio di bonifica acque risorgive (a cura di), 2000. *Lotto 2: Ristrutturazione rete di bonifica dell'area centrale e del medio corso dei Fiumi Dese e Zero nei Comuni di Scorzè, Zero Branco, Trebaseleghe, Piombino Dese e Mogliano Veneto e tributaria dei corsi d'acqua consortili: Piovega di Cappella, scolo Desolino, Rio San Martino, Piovega di Scandolara, Rio S. Ambrogio, Piovega di Levada e Piovega di Tre Comuni, Fossa Storta e Zermason*. Progetto. <http://www.bonificadesesile.net>.
- Consorzio di bonifica acque risorgive (a cura di), 2006. *Interventi per il disinquinamento della Laguna di Venezia. Progetto P107. Lotto n.1. Ristrutturazione rete di bonifica tributaria dei collettori Marignana, deviatore Piovega di Peseggia, Bacino Pisani, Peseggiana, Marocchesa e Tarù in Comune di Venezia, Mogliano Veneto e Scorzè*. Progetto. <http://www.bonificadesesile.net>.
- Consorzio di bonifica dell'Emilia centrale (a cura di), 2005. *Riqualificazione idraulico-ambientale dei canali Cavo Lama, Fossetta dei morti, Canale di Migliarina e Canale di Budrione*. Progetto.
- Consorzio di bonifica pianura di Ferrara (a cura di), 2008. *Riqualificazione del Canale di San Giovanni nel tratto a monte dell'abitato di San Matteo della Decima - Comune di San Giovanni in Persiceto*. Progetto.
- Conte G., Monaci M., Boz B. (a cura di), 2005. *Studio per l'individuazione delle aree prioritarie per la messa a dimora di Fasce Tampone vegetate finalizzate al controllo dell'inquinamento di origine diffusa lungo i corsi d'acqua dell'intero bacino del fiume Po*. Autorità di bacino del fiume Po.

- 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.
- Dal Cin L., Bendoricchio G., Coffaro G., 2002. *Linee guida per la ricostruzione di aree umide per il trattamento di acque superficiali*. ANPA, Manuali e linee guida 9/2002.
- DeLoach RE Jr., 1972. *Oxygen sag and stream self-purification*. J. Water Pollution Control Fed. 1972 Jun;44(6): 1198-204.
- Fantesini M., Catellani A., Manfredini V., 2009. *Interventi di riqualificazione morfologico - ambientale dei canali di bonifica nella provincia di Modena*. In: *Riqualificazione fluviale*, 2. CIRF. [www.cirf.org](http://www.cirf.org).
- Gumiero B., Boz B. (a cura di) e coll., 2010. *Il sito sperimentale NICOLAS, estensione, completamento e gestione della zona tampone arborea realizzata presso l'azienda Diana di Veneto Agricoltura, con raccolta ed elaborazione di dati per il monitoraggio dell'efficacia delle fasce tampone arboree nel controllo dell'inquinamento*. Relazione tecnica. Consorzio di bonifica Acque Risorgive. <http://www.bonificadesesile.net>.
- Gumiero B., Boz B., Cornelio P., 2008. *Il sito sperimentale NICOLAS. Efficacia delle fasce tampone arboree nella riduzione dei carichi di azoto. Monitoraggio e sperimentazione presso l'azienda pilota e dimostrativa "Diana" di Veneto Agricoltura*. Report dalla Ricerca. Veneto Agricoltura (ed.).
- Haycock N.E., Burt T.P., Goulding K.W.T. and Pinay G., 1997. *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden, UK.
- Hosoi Y., Kido Y., Miki M. and Sumida M., 1998. *Field observation on reed harvest and regrowth with respect to nutrient removal*. Journal of Hydraulic, Coastal and Environmental Engineering, JSCE, 594(7): 45-55 (In Japanese with English abstract).
- Inamdar S.P., Lowrance R.R., Altier L.S., Williams R.G. and Hubbard R.K., 1999a. *Riparian Ecosystem Management Model (REMM): I. Testing of the Hydrologic Component for a Coastal Plain Riparian System*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 42(6): 1679-1689.
- Inamdar S.P., Lowrance R.R., Altier L.S., Williams R.G., and Hubbard R.K., 1999b. *Riparian Ecosystem Management Model (REMM): II. Testing of the Water Quality and Nutrient Cycling Component for a Coastal Plain Riparian System*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 42(6):1691-1707.
- Iridra, 2003. *Interventi per il disinquinamento della Laguna di Venezia: revisione dei modelli e dei metodi utilizzati per il calcolo dell'abbattimento di azoto e fosforo*. Consorzio di bonifica acque risorgive. <http://www.bonificadesesile.net>.
- Kadlec R.H. and Knight R.L., 1996. *Treatment wetlands*, Lewis Publisher - CRC, Boca Raton. - ISBN 0-87371-930-1.
- Lowrance R., Altier L.S., Williams R.G., Inamdar S.P., Sheridan J.M., Bosch D.D., Hubbard R.K. and Thomas D.L., 2000. *REMM The Riparian Ecosystem Management Model*. Journal of Soil and Water Conservation. First Quarter: 27-34.
- Luchetta A., Andrich A., Gnech R. (a cura di), 2000. *Ingegneria naturalistica e ambiente - Gli ambiti di intervento, le tecniche, i materiali, gli aspetti normativi ed economici*. CD-ROM. ARPAV. Centro valanghe di Arabba.
- Mazzoni M. (a cura di), 2005. *Linee guida per la progettazione e la gestione di zone umide artificiali per la depurazione dei reflui civili*. ARPAT. <http://www.arpat.toscana.it>.
- Mazzucato C., 2003. *Indagine sperimentale sulla manutenzione di un corso d'acqua consorziale in relazione alla sicurezza idraulica. Il caso pilota del Rio Draganziolo*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria, Anno accad. 2002-2003.
- Milhous R.T., Updike M.A. and 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.
- Monaci M. (a cura di), 2009. *Studio di fattibilità per la riqualificazione del Canale di San Giovanni*. Relazione inedita. [www.cirf.org](http://www.cirf.org).
- Monaci M., Schipani I. (a cura di), 2010. *Buone pratiche per la progettazione e la gestione del reticolo idrografico minore naturale nell'ottica della riqualificazione fluviale*. CIRF. Provincia dell'Aquila. [www.cirf.org](http://www.cirf.org).
- Muzzi E., Rossi G. (a cura di), 2003. *Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia Romagna. Manuale teorico-pratico*. Regione Emilia Romagna.
- Nardini A., 2005. *Decidere l'ambiente con l'approccio partecipato*. CIRF. Mazzanti Editori, Venezia. [www.cirf.org](http://www.cirf.org).
- Nardini A., Sansoni G. (a cura di) e coll., 2006. *La riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio*. CIRF. Mazzanti Editori, Venezia.
- Ortolano L., 1973. *Artificial Aeration as a Substitute for Wastewater Treatment*. Chapter 7. In Dorfman, R., et al., *Models for Managing Regional Water Quality*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts (1973), pp. 263-311.
- Ortolano L. and Thomas H.A. Jr., 1968. *An Examination of Non-Treatment Plant Alternatives in Water Pollution Control*. In L. K. Cecil (ed.), *Water - 1968*, Chemical Engineering Progress Symposium Series, Vol.64, No.90: 10-20.
- Pinay G., Fabre A., Vervier Ph. and Gazelle F., 1992. *Control of C.N.P distribution in soils of riparian forests*. *Landscape Ecology*, 6 (3): 121-132.
- Poldini L., 1991. *Atlante corologico delle piante vascolari dei Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli V.G., Direzione Regionale delle Foreste e dei Parchi.
- Provincia di Bologna (a cura di), 2009. *Valsat - Rapporto ambientale di VAS, in variante al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale per il recepimento del Piano regionale di tutela delle acque*. [http://www.provincia.mi.it/pianificazione\\_territoriale/paesaggio\\_ambiente/pubblicazioni/quaderno\\_del\\_piano\\_n20.html](http://www.provincia.mi.it/pianificazione_territoriale/paesaggio_ambiente/pubblicazioni/quaderno_del_piano_n20.html).
- Provincia di Terni (a cura di), 2003. *Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni*. [http://www.provincia.terni.it/urbanistica/cave/Manu\\_Ing.htm](http://www.provincia.terni.it/urbanistica/cave/Manu_Ing.htm).
- Raimondi S., Busolin M., 2009. *La gestione dei corsi d'acqua*. In: MAD (Macchine Agricole Domani), numero speciale 6. Edizioni L'informatore agrario.
- Regione Lazio (a cura di), 2002. *Quaderni di cantiere*. [http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria\\_naturalistica](http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica).
- Regione Lombardia (a cura di), 2000. *Quaderno opere tipo di ingegneria naturalistica*. <http://www.agricoltura.regione.lombardia.it>.
- Regione Toscana (a cura di), 2001. *Principi e linee guida per l'ingegneria naturalistica, volumi 1 e 2 - Processi territoriali e criteri metodologici*, Edizioni Regione Toscana-Collana Fiume e Territorio, Firenze.
- Regione Veneto (a cura di), 2009. *Linee guida di natura ambientale per gli interventi consortili*. Bur n. 100 del 08/12/2009 - Allegato G alla Deliberazione della Giunta Regionale n. 3357 del 10 novembre 2009 in merito a: Legge regionale n.12 del 8 maggio 2009 "Nuove norme per la bonifica e la tutela del territorio. Ulteriori disposizioni applicative concernenti l'operatività dei nuovi Consorzi di bonifica". <http://bur.regione.veneto.it>.
- Ricciardelli F., Caggianelli A., Milandri M., Simonati W. (a cura di), 2009. *Disciplinare tecnico per la manutenzione ordinaria dei corsi d'acqua naturali ed artificiali e delle opere di difesa della costa nei siti della rete Natura 2000 (SIC e ZPS)*. Regione Emilia Romagna. <http://www.regione.emilia-romagna.it>.
- Romagnolli F., 2000. *La fitodepurazione. Manuale tecnico divulgativo per una gestione sostenibile del ciclo delle acque*. Comune di Reggio Emilia.

- Sacchi L. (a cura di), 2003. *Linee guida per interventi di ingegneria naturalistica lungo i corsi d'acqua*. In: Quaderni del piano territoriale, 20. Provincia di Milano.
- Sauli G., Cornelini P., Preti F. (a cura di), 2002. *Manuale di ingegneria naturalistica applicabile al settore idraulico nella Regione Lazio*. Regione Lazio. [http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria\\_naturalistica](http://www.regione.lazio.it/web2/contents/ingegneria_naturalistica).
- Streeter H.W. and Phelps E.B., 1925. *Study of the pollution and natural purification of the Ohio river*. U.S. Public Health Service, Washington D.C., Bulletin N0. 146 (reprinted 1958).
- Uusi-Kämpä J., Turtola E., Hartikainen H., Ylärinta T., 1997. *The interactions of buffer zones and phosphorus runoff*. In: Haycock N.E., Burt T.P., Goulding K.W.T. and Pinay G., 1997. *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden, UK. pp. 43-53.
- Veneto Agricoltura, 2002. *Fasce Tampone Boscate in ambiente agricolo*.
- Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B. and Haberl R., eds., 1998. *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Backhuis Publishers, Leiden. - ISBN 90-73348-72-2.
- Vymazal J., 2001. *Types of constructed wetlands for wastewater treatment: their potential for nutrient removal*. 1-93. In Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B. and Haberl R., eds., 1998. *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Backhuis Publishers, Leiden. - ISBN 90-73348-72-2.
- Washington State, 2002. *Integrated stream-bank protection guidelines*. Washington State, Dept. of Fish and Wildlife, Dept. of Transportation, Dept. of Ecology. <http://www.wdfw.wa.gov>.
- Zane G., 2003. *Analisi e proposte per la manutenzione della vegetazione erbacea nei canali di bonifica*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria, Anno accad. 2002-2003.



Finito nel mese di Aprile 2011



ISBN 978-98-6337-074-4



9 789863 370744