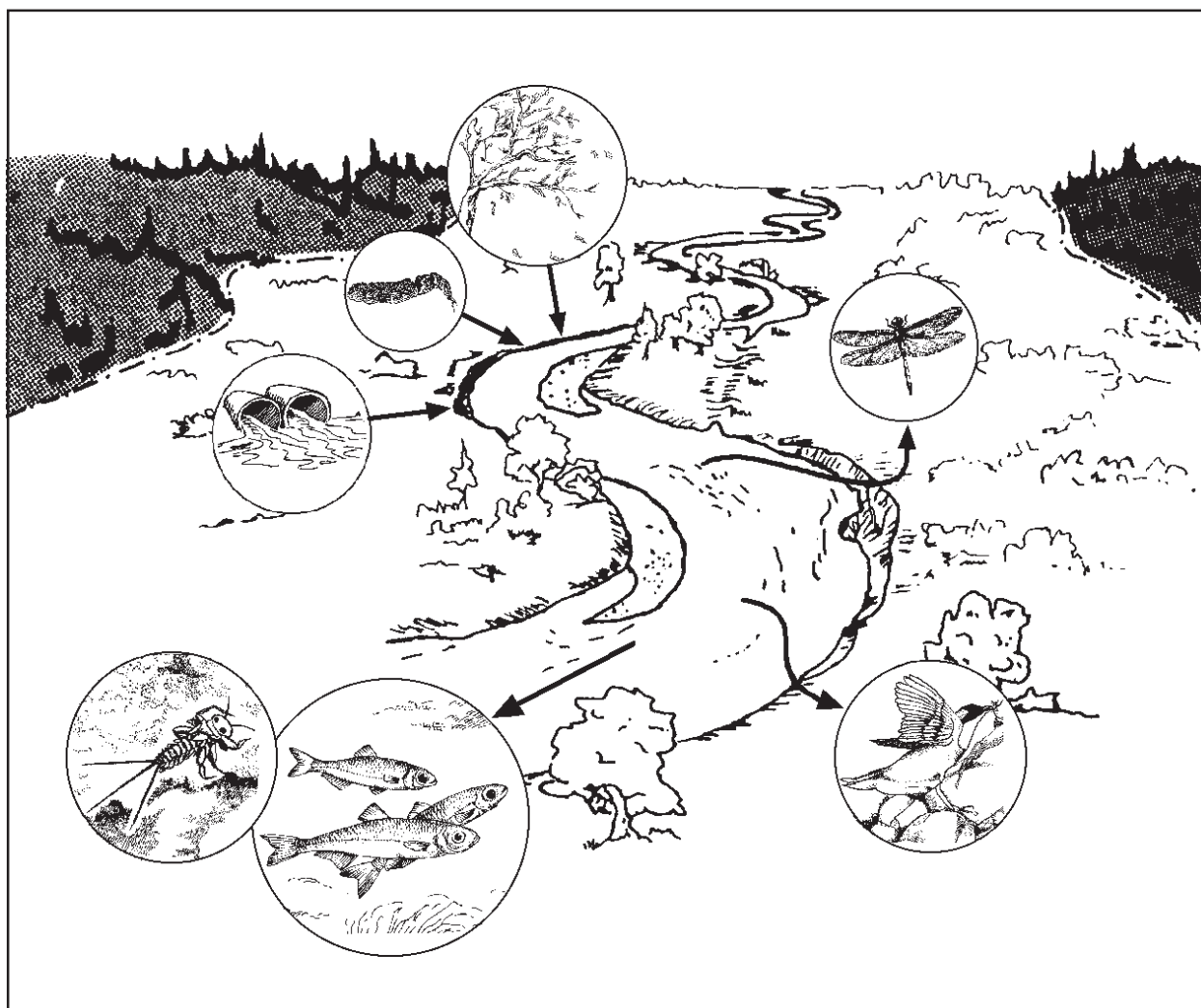


ELEMENTI DI PROGETTAZIONE AMBIENTALE DEI LAVORI FLUVIALI

(DELIBERA N. 32 DEL 6.5.1998: ALLEGATO 4)



Indice

Premessa	7
Cap. 1	
Elementi di ecologia fluviale	11
1.1 L'ambiente fluviale come insieme di sistemi depuranti	11
1.2 I fiumi come successione di ecosistemi interconnessi (<i>River Continuum Concept</i>)	13
1.3 La spiralizzazione dei nutrienti (<i>Nutrient Spiralling</i>)	15
1.4 Il collegamento funzionale tra il fiume e il suo territorio	16
1.5 L'importanza della diversità ambientale	18
1.6 I corsi d'acqua come corridoi ecologici	21
Cap. 2	
Indicazioni pratiche per l'esecuzione degli interventi fluviali	23
2.1 Difese spondali	24
2.2 Arginature	25
2.3 Rettifiche	27
2.4 Escavazioni, dragaggi, movimentazione di inerti	28
2.5 Briglie	30
2.6 "Pulizie" dalla vegetazione	34
2.7 Spianamento dell'alveo	37
2.8 Alvei a due stadi, sezione similnaturale	38
2.9 Deflettori di corrente	38
2.10 Introduzione di massi in alveo	43
2.11 Ricoveri per pesci	44
2.12 Buche e raschi	46
2.13 Ponti e attraversamenti	47
Cap. 3	
Indicazioni pratiche per gli interventi su fossi e canali	49
Bibliografia	63

Premessa

Il miglioramento della qualità ecologica del territorio e, più in particolare, degli ambienti fluviali rientra tra gli obiettivi centrali di ogni piano di bacino.

In passato la progettazione e l'esecuzione dei lavori fluviali hanno spesso limitato la loro attenzione ai soli aspetti idraulici, trascurando quelli biologico-naturalistici e determinando impatti ambientali che avrebbero potuto essere evitati.

Per il miglioramento della qualità ecologica degli ambienti fluviali è dunque necessario superare la monodisciplinarietà dell'approccio idraulico adottando, fin dalla fase della progettazione, un approccio integrato volto al raggiungimento contestuale degli obiettivi idraulici ed ecologici.

Considerato che le indicazioni e le prescrizioni di tipo ecologico da adottare nell'esecuzione dei lavori troveranno una applicazione tanto più estesa, puntuale e motivata quanto più profonda sarà la consapevolezza degli elementi ambientali da tutelare, prima di esporre le tecniche di lavoro prescritte vengono richiamati nel capitolo 1, sia pure in forma succinta, alcuni principi di ecologia fluviale più strettamente e frequentemente implicati nei lavori fluviali.

Le norme tecniche indicate nei capitoli 2 e 3 sono da intendersi come obbligatorie in senso lato per tutti gli interventi sui corsi d'acqua ricadenti nell'ambito territoriale di competenza dell'Autorità di bacino del fiume Magra. È cioè obbligatoria non l'adozione di un particolare accorgimento tecnico, ma una progettazione che prenda espressamente in considerazione le possibili ripercussioni ecologiche dei lavori e che adotti gli accorgimenti tecnici ritenuti più op-

portuni per minimizzare l'impatto ambientale dei lavori e, ogniqualvolta possibile, per migliorare la funzionalità ecologica dell'area in cui si interviene.

Sebbene gran parte degli accorgimenti suggeriti attinga largamente alle tecniche di ingegneria naturalistica, è essenziale chiarire che non si tratta semplicemente di cambiare le modalità tecnico-esecutive delle opere fluviali: ciò che viene richiesto è un cambiamento ben più radicale, un vero e proprio capovolgimento del modo tradizionale di concepire la gestione dei fiumi e del territorio.

Finora, infatti, il vero obiettivo di fondo è stato quello di "domare" i fiumi per consentire la valorizzazione dei terreni perifericali (ieri agricolo; oggi residenziale, industriale, commerciale) e ad esso sono stati spesso subordinati gli obiettivi della sicurezza idraulica e delle qualità ecologica. La scala di valori deve essere invertita con l'adozione di un complesso di misure di buongoverno del territorio e dei fiumi le cui linee fondamentali sono tracciate nella tab. 1.

La progettazione di un intervento deve essere preceduta da una verifica di coerenza con le misure di buongoverno del territorio e dei fiumi; solo in caso affermativo e dopo averne preso in considerazione le possibili ripercussioni negative, l'intervento potrà essere realizzato, facendo il massimo ricorso possibile alle tecniche di ingegneria naturalistica (fig. 1). Al di fuori di questo percorso, in assenza di questa verifica, qualunque intervento è scorretto, sia esso di ingegneria tradizionale o naturalistica.

Non sono rari, infatti, gli interventi di ingegneria naturalistica che, sottraendosi a questa verifica, si riducono a consolidare l'assetto at-

tuale dei fiumi, sia pure con tecniche costruttive più rispettose dell'ambiente. In questi casi, a dispetto delle lodevoli intenzioni dei progettisti, l'ingegneria naturalistica viene svilita ad un mistificante ruolo di cosmesi ambientale che favorisce il perpetuarsi di una politica territoriale gravida di conseguenze indesiderate.

Assicurata così prioritariamente la coerenza con una corretta strategia di buongoverno dei

fiumi e del territorio, ogni intervento dovrà essere accompagnato da tutti gli accorgimenti tecnici necessari a minimizzare l'impatto ambientale e, possibilmente, a migliorare la funzionalità ecologica.

Negli impianti vegetali erbacei, arbustivi e arborei, particolare attenzione deve essere rivolta alla scelta di ecotipi locali di specie autoctone, al duplice scopo di evitare l'inquina-

Tab. 1. Linee-guida per un approccio integrato idraulico-naturalistico alla gestione territoriale, basato sul rallentamento dei deflussi e sulla rinaturazione. [da Sansoni, 1996]

Misure di governo del territorio	
Misure	Scopo
Stop alla impermeabilizzazione del suolo	evitare un ulteriore incremento delle punte di piena riducendo la frazione di acque meteoriche che raggiunge i fiumi e ritardandone la corrivazione. (Puntare sul recupero del patrimonio edilizio esistente anziché estendere l'urbanizzazione; per nuove edificazioni costruire "in verticale")
Fasce perifluviali inedificabili	ridurre i danni in caso di esondazioni (da applicare perciò anche ad aree già parzialmente edificate)
Forestazione bacino	aumentare l'infiltrazione e l'evapotraspirazione; ridurre la frazione di acque meteoriche che raggiunge i fiumi e ritardarne la corrivazione
Superfici urbane drenanti (parcheggi, piazze, marciapiedi, strade)	ridurre la frazione di acque meteoriche che raggiunge i fiumi e ritardarne la corrivazione. (In Giappone ogni edificio è dotato di una vasca che raccoglie tutte le acque cadute su di esso).
Misure di governo dei fiumi	
Misure	Scopo
Ampliamento degli alvei e delle golene	aumentare il volume di volano idraulico e la portata veicolabile; ridurre la velocità della corrente
Casse di espansione plurifunzionali	laminare le punte di piena immagazzinando le acque eccedenti una data soglia di portata; ricaricare le falde; creare habitat per flora e fauna ed aree ricreative
Bacini di ritenzione delle acque meteoriche urbane	intercettare le acque di dilavamento urbano prima che raggiungano i fiumi e immagazzinarle temporaneamente, rilasciandole dopo il passaggio della piena; depurare le acque; creare habitat per flora e fauna ed aree ricreative
Rimozione delle strozzature idrauliche	eliminazione dei fattori locali di esondazione; consentire il mantenimento della vegetazione alveale e riparia lungo le intere aste fluviali
Restituzione della sinuosità al tracciato	allungare il percorso e ridurre la pendenza e la velocità, innescare sequenze buche-raschi
Mantenimento della vegetazione alveale e golenale	rallentare la velocità, ridurre l'erosione, migliorare la limpidezza e la capacità autodepurante; funzioni ecologiche plurime e paesaggistiche
Rinaturalizzazione e ingegneria naturalistica	funzioni ecologiche plurime e paesaggistiche; ridurre l'impatto ambientale delle opere idrauliche

mento genetico conseguente ad ibridazioni con individui di provenienza estranea e di garantire l'attecchimento, la rusticità e l'adattamento degli esemplari impiegati alle condizioni pedologiche e microclimatiche locali. Ciò richiede, nella maggior parte dei casi, il ricorso all'ap-

provvigionamento in natura del materiale vegetale da seminare o da mettere a dimora.

Nella tab. 2 è riportata a scopo esemplificativo una sintesi schematica degli interventi consigliati.

È doveroso osservare che l'impiego delle

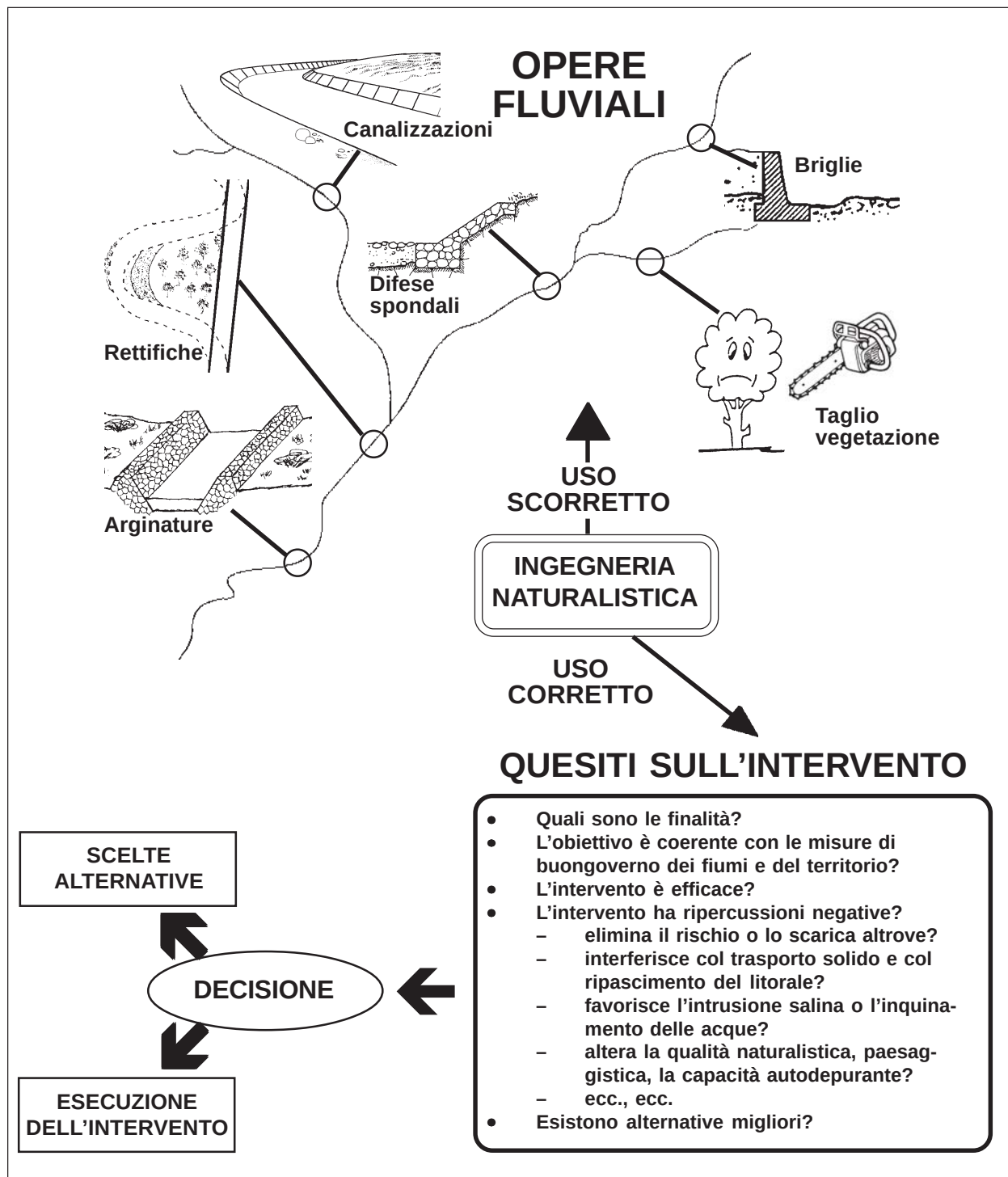


Fig. 1. Percorso logico da seguire per valutare l'opportunità di un intervento fluviale e il corretto inserimento delle tecniche di ingegneria naturalistica. [da Sansoni, 1996]

tecniche di ingegneria naturalistica (soprattutto gli impianti vegetali) può apparire in contrasto con l'art. 96 del R.D. 523 del 1904 che vieta «in modo assoluto» le piantagioni «che si inoltrino dentro gli alvei» ... «sulle alluvioni delle sponde» ... «sul piano e sulle scarpe degli argini, loro banche e sottobanche» e quelle a distanza minore di 4 m dal piede esterno degli argini.

Queste norme non tengono conto delle esigenze ambientali e sociali maturate in quasi un secolo di grandi trasformazioni e sono talmente anacronistiche da rendere urgente la loro soppressione o una loro radicale revisione.

In questo spirito si sono mosse le Regioni Liguria e Toscana che –rispettivamente con la

L.R. n. 9/93 di recepimento della L. 183/89 e con la delibera del Consiglio Regionale n. 155 del 20 maggio 1997– hanno vietato opere idrauliche ecologicamente controproducenti (rettifiche, coperture, plateazioni, inalveazioni ... e quelle che possono impedire una naturale diversificazione degli habitat, l'autodepurazione ...). La L.R. ligure, addirittura, ha esplicitamente soppresso le norme superate del R.D. 523/1904 (L.R. n. 9/93, art. 34: «Nel territorio della Regione Liguria le norme della presente legge sostituiscono quelle in contrasto contenute nel Testo Unico delle disposizioni di legge sulle opere idrauliche approvate con R.D. 25 luglio 1904, n. 523.»

Va tuttavia sottolineato che ad una attenta lettura delle norme, inquadrare nel contesto storico di allora, gli impedimenti del R.D. 523/1904 sono già oggi superabili in tutto il territorio nazionale. Il loro spirito, infatti, era quello di vietare le piantagioni (cioè vere e proprie coltivazioni arboree produttive) e la loro finalità, come desumibile dal comma b dell'art. 96, era quella di impedire la «costrizione della sezione normale e necessaria al libero deflusso delle acque».

Pertanto, pur ribadendo l'esigenza di sopprimere le norme anacronistiche –che, tra l'altro, non potevano prevedere il sorgere di nuove tecniche costruttive basate sulla capacità consolidante delle piante– è evidente che gli impianti vegetali che non provochino «costrizioni della sezione normale e necessaria» non entrano in conflitto col R.D. 523.

D'altronde sulla stessa linea si pongono le deliberazioni di alcune Regioni (Del. C.R. Piemonte, n. 259 del 31.7.91; Del. G.R. Emilia-Romagna, n. 3939 del 6.9.94; D.G.R. Lombardia, n. 6/6586 del 19.12.95) volte ad incoraggiare l'impiego delle tecniche di ingegneria naturalistica e, più in generale, il miglioramento ecologico degli ambienti fluviali.

Tab. 2. Tipologie di interventi fluviali consigliati.

Fiumi e fossi:

- sezione similnaturale
- alvei a due stadi
- deflettori di corrente
- introduzione di massi in alveo
- ricoveri per pesci
- sequenze buche-raschi
- restituzione della sinuosità al tracciato
- ingegneria naturalistica
- rinaturazione

Fossi:

- diserbo mediante ombreggiamento
- sfalcio di un canale di corrente
- trappole per fango
- eliminazione tombature
- frammentatori di corrente
- ecc., ecc.

INTERVENTI RICHIEDENTI

PROGETTAZIONE ECOLOGICA

- tutti

Cap. 1

Elementi di ecologia fluviale

1.1 L'ambiente fluviale come insieme di sistemi depuranti

La sostanza organica che raggiunge un corso d'acqua, sia essa di origine naturale (foglie, escrementi e spoglie animali) o antropica (liquami fognari), viene demolita da microrganismi (batteri, funghi) e i prodotti della mineralizzazione vengono riciclati dai vegetali (principalmente microalghe). Le multiformi comunità microscopiche (batteri, funghi, ciliati, microalghe, amebe, rotiferi, nematodi, gastrotrichi, tardigradi, ecc.) che, nell'insieme, formano quella sottile pellicola biologica scivolosa al tatto (*perifiton*) che riveste i ciottoli fluviali, rappresentano il primo sistema depurante dei corsi d'acqua.

Questo silenzioso, ma efficiente, depuratore naturale supporta fisicamente e biologicamente un secondo sistema depurante rappresentato dai macroinvertebrati (crostacei, molluschi, vermi, larve di vari ordini di insetti) che funge da acceleratore e regolatore del processo.

Le specializzazioni alimentari dei macroinvertebrati sono innumerevoli: macro- e microfiltratori, trituratori di materiale grossolano o minuto, sedimentato o sospeso, erbivori brucatori e succhiatori, raschiatori di *perifiton*, microspazzolatori della superficie dell'acqua, predatori di ogni tipo, parassiti, detritivori, limivori. Anche le specializzazioni e gli adattamenti (anatomici, fisiologici e comportamentali) a particolari microambienti sono innumerevoli, consentendo così ai macroinvertebrati l'occupazione e lo sfruttamento di tutte le nicchie disponibili nel corso d'acqua. Gli adattamenti e le specializzazioni non sono altro, in fin dei conti, che un modo di assicurarsi il pane quotidiano grazie ad una particolare abilità a procurarsi un ben determinato tipo di cibo in

un ben determinato microambiente. La ricchezza di specializzazioni fa sì che vengano utilizzate tutte le forme di risorse alimentari disponibili (scarichi umani compresi) e rende la comunità in grado di rispondere in maniera flessibile alle variazioni stagionali o antropiche del carico organico.

I macroinvertebrati che si nutrono di batteri ne "ringiovaniscono" le popolazioni mantenendole così in uno stato di elevata attività; inoltre i macroinvertebrati, sminuzzando i detriti organici grossolani in particelle minute, ne aumentano grandemente la superficie, potenziando così l'attacco da parte dei batteri; a loro volta i frammenti organici parzialmente "trattati" dai batteri risultano più appetibili ai macroinvertebrati. In altre parole, l'efficienza di ciascun sistema depurante viene potenziata dall'efficienza dell'altro; inversamente, il danneggiamento di un sistema depurante si ripercuote negativamente anche sull'efficienza dell'altro.

Un ulteriore contributo alla rimozione di biomassa è fornito dai vertebrati, compresi quelli terrestri, che si nutrono dei macroinvertebrati acquatici: pesci, anfibi, rettili, uccelli, mammiferi. Questi organismi, nel loro insieme, possono essere considerati il terzo grande sistema depurante dell'ambiente fluviale.

L'efficienza dei tre sistemi depuranti è, a sua volta, condizionata dall'integrità dell'ambiente terrestre circostante, in particolare delle fasce di vegetazione riparia. Questo quarto sistema, oltre a creare un ambiente favorevole agli organismi microscopici, ai macroinvertebrati e ai vertebrati, svolge una duplice funzione depurante diretta, agendo da filtro meccanico e da filtro biologico.

La vegetazione riparia, infatti, intercetta le acque di dilavamento dei versanti e ne rallenta la

velocità inducendo la sedimentazione del carico solido e degli inquinanti ad esso legati. A questa azione di chiarificazione delle acque –che contribuisce alla limpidezza dei fiumi e ad impedire il colmamento degli interstizi tra i ciottoli (microambienti di primaria importanza per i primi tre sistemi depuranti)– si accompagna un ruolo protettivo nei confronti dell'eutrofizzazione fluviale per la rimozione del fosforo (legato alle particelle argillose sedimentate) e dell'azoto (assorbito dalle piante e denitrificato dai batteri associati allo strato radicale).

Un aspetto essenziale da mettere in rilievo, per la comprensione del processo depurante, è il

bilancio di massa di ogni livello trofico. In ogni passaggio della catena alimentare viene infatti conservato circa il 10% della biomassa, mentre il restante 90% viene consumato con produzione di anidride carbonica e calore. Nelle lunghe catene alimentari che caratterizzano gli ecosistemi naturali la sostanza organica (immessa ad esempio da uno scarico) viene così ridotta progressivamente di 10, 100, 1000 volte e così via. L'autodepurazione è quindi un processo attivo, da non confondere assolutamente con la diluizione passiva degli inquinanti.

Volendo fornire una visione di sintesi del funzionamento sinergico dei quattro sistemi de-

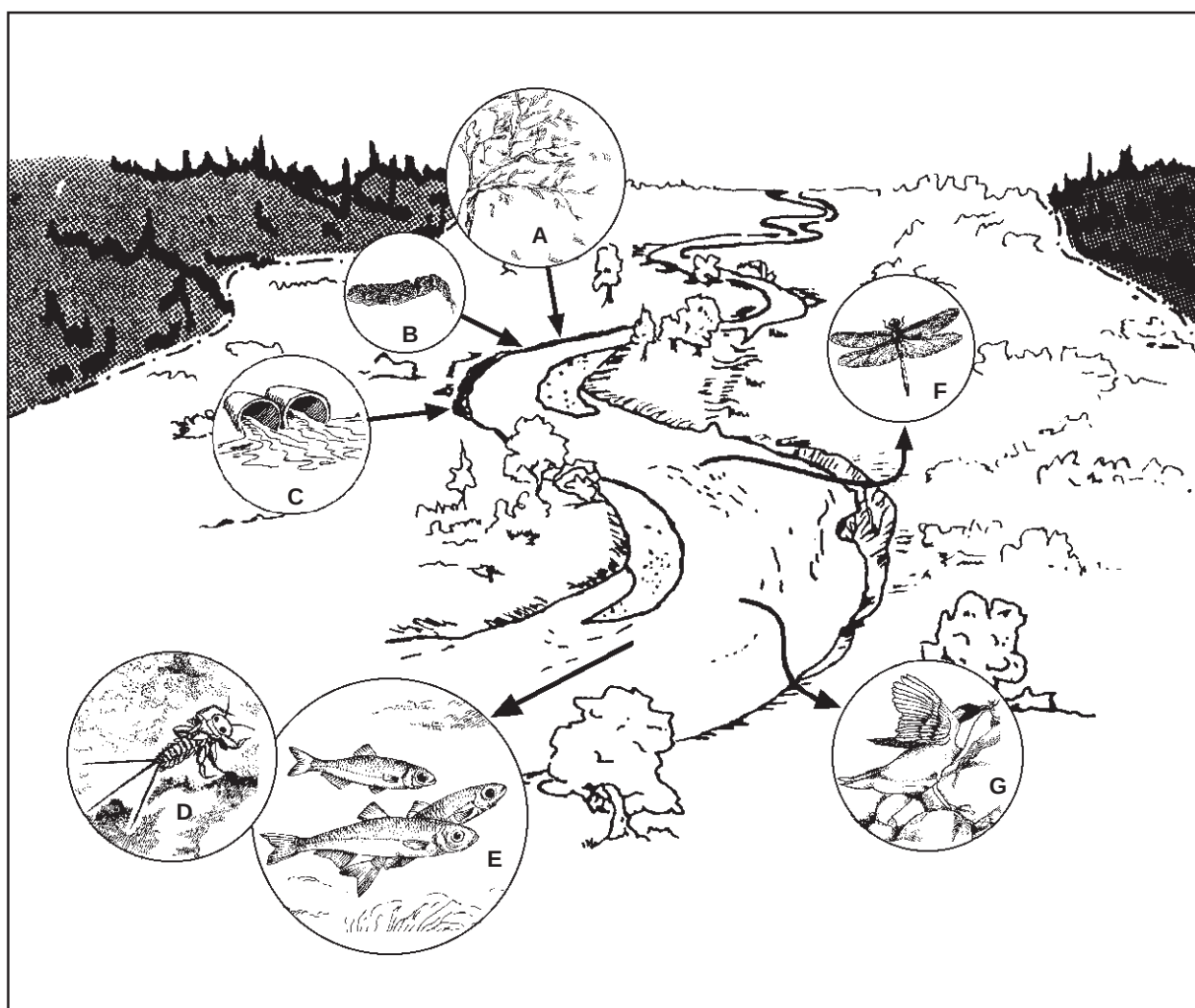


Fig. 2. L'essenza del processo autodepurante. I rifiuti organici provenienti dal territorio (A: foglie e frammenti vegetali, B: escrementi e spoglie animali, C: scarichi antropici), raggiunto il fiume vengono "trasformati" in organismi viventi acquatici (D: macroinvertebrati, E: pesci, ecc.) e in parte restituiti al territorio sotto forma di libellule (F), effimere, perle, uccelli (G) e di altri organismi che contribuiscono a rendere così affascinanti gli ambienti fluviali. (Sansoni, 1997)

puranti, potremmo immaginare il fiume come un dispositivo miracoloso che, sebbene riceva continuamente rifiuti (escrementi e spoglie animali, frammenti vegetali, scarichi antropici), riesce a mantenere limpide e pulite le sue acque trasformandoli in quella varietà di organismi acquatici e terrestri (libellule, perle, effimere, molluschi, gamberetti, pesci, anfibi, uccelli, mammiferi, ecc.) che rende così affascinanti gli ambienti fluviali. Non è superfluo sottolineare che questa immagine non è una rappresentazione poetica o fantasiosa della realtà, ma è proprio la realtà (fig. 2).

Nell'esecuzione dei lavori fluviali occorre dunque prestare la massima attenzione a non arrecare danni a questo meraviglioso quanto utile dono della natura.

1.2 I fiumi come successione di ecosistemi interconnessi (*River Continuum Concept*)

Un corso d'acqua può essere considerato una successione di ecosistemi che sfumano gradualmente l'uno nell'altro e sono interconnessi con gli ecosistemi terrestri circostanti: dalla sorgente alla foce variano i parametri fisici (temperatura, illuminazione, pendenza, velocità della corrente, granulometria del substrato, nutrienti, sostanza organica, gas disciolti, salinità, trasparenza, ecc.) e, in relazione ad essi, i popolamenti biologici.

Il *River Continuum Concept* propone una visione unificante dell'ecologia fluviale che richiama l'attenzione sulla stretta dipendenza della struttura e delle funzioni delle comunità biologiche dalle condizioni geomorfologiche ed idrauliche medie del sistema fisico (VANNOTE et al., 1980; MINSHALL et al., 1985; STATZNER et HIGLER, 1985).

Nei corsi d'acqua montani (1°-3° ordine) le comunità biologiche acquatiche sono sostenute dalle grandi quantità di detrito organico (foglie, rami) fornite dalla vegetazione riparia mentre l'ombreggiamento di quest'ultima riduce lo sviluppo dei produttori fotosintetici (es. alghe). Il metabolismo fluviale è eterotrofico (sostenuto

dagli apporti organici terrestri) e la struttura della comunità è dominata dai trituratori e dai collettori mentre i pascolatori sono poco rappresentati, riflettendo la limitata disponibilità delle loro risorse alimentari (alghe, muschi, idrofite vascolari) (fig. 3).

Procedendo verso valle, nei fiumi di media grandezza (4°-6° ordine) la riduzione della superficie ombreggiata e il conseguente aumento della fotosintesi inducono il passaggio ad un metabolismo fluviale autotrofico (sostenuto dalla produzione organica acquatica) rendendo le comunità acquatiche energeticamente autosufficienti rispetto agli apporti terrestri che, tuttavia, continuano ad essere utilizzati; aumentano i pascolatori a scapito dei trituratori, mentre i collettori continuano ad abbondare sfruttando il particolato organico fine prodotto dai trituratori nei rami montani.

Nei grandi fiumi (di ordine superiore al 6°) l'ombreggiamento diviene trascurabile, ma la fotosintesi è generalmente limitata dalla torbidità delle acque: le condizioni ritornano eterotrofiche e la comunità –sostenuta da grandi quantità di materia organica particolata fine proveniente in gran parte dai tratti superiori– diviene nettamente dominata dai collettori.

La tendenza a mantenere costante il flusso di energia su base annua, nonostante le variazioni stagionali degli apporti dei principali substrati organici (detrito vegetale in autunno-inverno e organismi fotosintetici in primavera-estate), è ottenuta accoppiando ad esse una serie di accorgimenti regolativi: sequenza temporale sincronizzata nell'arco dell'anno di sostituzioni di specie e di specializzazioni alimentari, variazioni temporali dei gruppi funzionali e dei processi di immagazzinamento (ritenzione fisica del detrito organico e produzione di nuova biomassa) e di perdita di energia (trasporto verso valle e respirazione).

A differenza dei sistemi dotati di una struttura fisica poco variabile nel tempo (es. alcune foreste), nei quali la stabilità dell'ecosistema può essere mantenuta anche con una bassa diversità biologica, negli ecosistemi fluviali –caratterizzati da marcate variazioni fisiche, soprattutto di por-

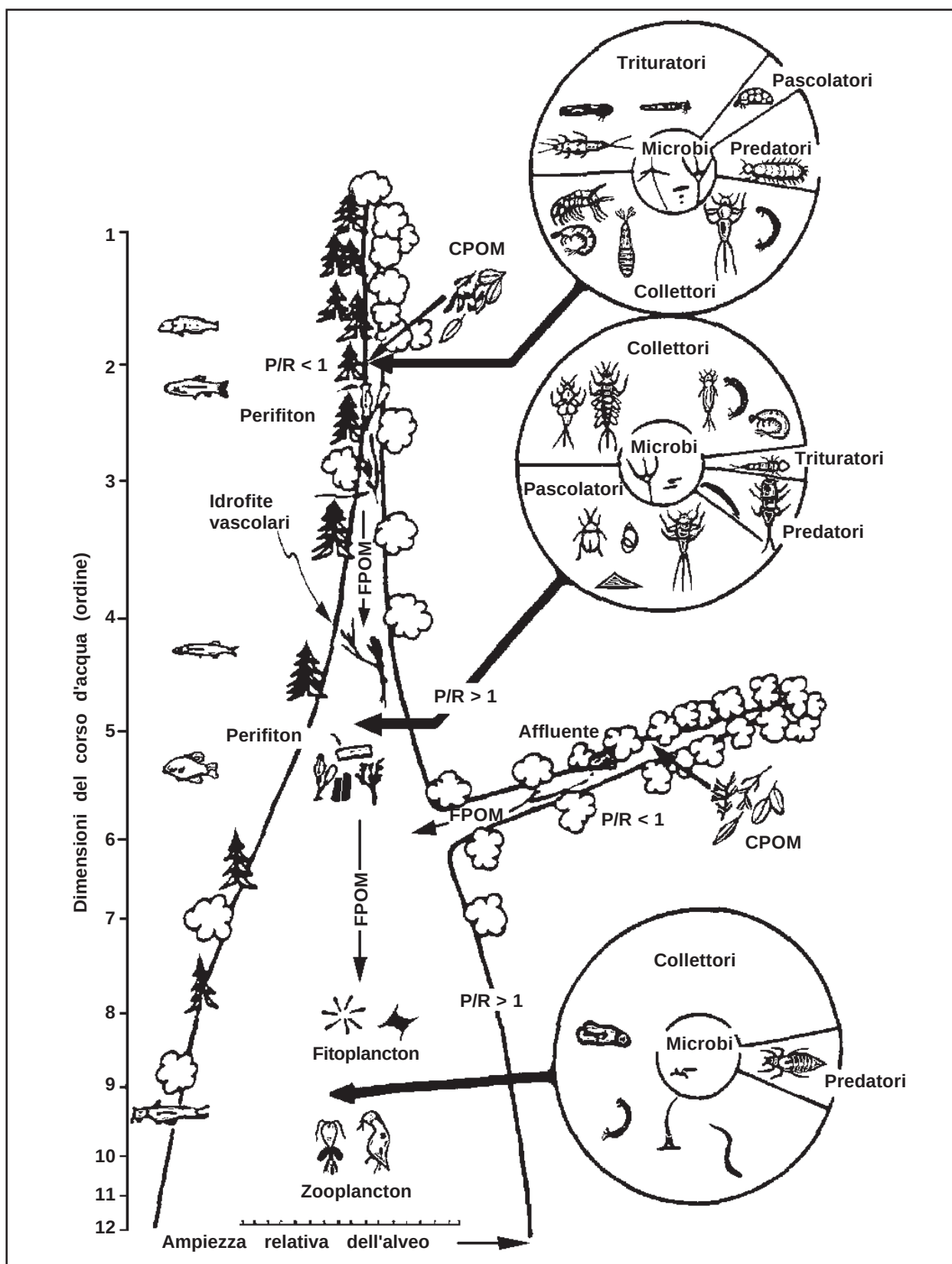


Fig. 3. Relazioni proposte dal River Continuum Concept tra le dimensioni del corso d'acqua e i graduali aggiustamenti nella struttura e nella funzione delle comunità lotiche. [VANNOTE et al., 1980]

CPOM = Coarse Particulate Organic Matter (materia organica particolata grossolana);

FPOM = Fine Particulate Organic Matter (materia organica particolata fine);

P/R = Rapporto Fotosintesi/Respirazione.

tata— il mantenimento della stabilità richiede una elevata diversità biologica che, come si vedrà, è condizionata dalla presenza di una elevata diversità ambientale.

La concezione del continuum fluviale mette in evidenza come le comunità acquatiche e il metabolismo fluviale siano condizionate non solo dalle condizioni locali, ma anche dai processi che si verificano nei tratti a monte. Nella progettazione dei lavori fluviali è dunque importante rispettare al massimo la diversità ambientale per evitare la rottura della stabilità dell'ecosistema locale e le sue ripercussioni sui tratti situati più a valle.

1.3 La spiralizzazione dei nutrienti (*Nutrient Spiralling*)

A differenza di quanto avviene nei classici ecosistemi chiusi (es. stagno, foresta), nei corsi

d'acqua la mineralizzazione e il continuo riciclo della materia organica non avvengono sul posto, ma durante il loro trasporto ad opera della corrente: è come se la serie di cicli che si succedono nel tempo venisse “stirata” nello spazio a formare una spirale. L'accoppiamento tra ciclizzazione e trasporto—la “spiralizzazione dei nutrienti”—viene rappresentata infatti con una spirale di diametro tanto più stretto quanto più elevata è l'attività biologica (più veloce il riciclo) e con spire tanto più ravvicinate tra loro quanto più elevata è la capacità di ritenzione del sistema (più ridotto il trasporto) (fig. 4: MINSHALL et al., 1983).

L'entità del trasporto non dipende solo dalla velocità della corrente, ma anche dalla presenza ed efficienza di dispositivi di ritenzione fisici (massi, tronchi incastrati) e biologici (es. organismi collettori-filtratori e collettori-raccoglitori) della materia organica. In un test interbioma, ad esempio, i corsi d'acqua di 1°-3° ordine, nono-

	Meccanismi		Ciclizzazione nutrienti		Risposta dell'ecosistema all'aggiunta di nutrienti	Stabilità ecosistema
	Ritenzione	Attività biologica	Tasso di ciclizzazione	Distanza fra le spire		
(a)	Alta	Alta	Veloce 	Corta	Conservativo ($I > E$)	Alta
(b)	Alta	Bassa	Lento 	Corta	Accumulatore ($I > E$)	Alta
(c)	Bassa	Alta	Veloce 	Lunga	Conservativo intermedio - di (a) ma + di (d)	Bassa
(d)	Bassa	Bassa	Lento 	Lunga	Esportatore ($I = E$)	Bassa

Fig. 4. Spiralizzazione dei nutrienti. Effetti di differenti relazioni fra la distanza del trasporto ad opera della corrente (velocità x tempo) e l'attività biologica sulla materia organica metabolizzabile ciclizzata in diversi corsi d'acqua. Più piccolo è il diametro della spira e più veloce è il tasso di riciclo; la distanza fra le spire indica la distanza a valle del trasporto. [MINSHALL et al., 1983]

I = Import; **E** = Export.

stante la maggiore velocità di corrente, hanno mostrato una ritenzione più elevata dei fiumi di 5°-7° ordine; ciò sottolinea l'importanza della presenza in alveo di grossi massi e dell'eterogeneità del substrato.

Le tradizionali modalità esecutive di molti lavori fluviali rendono il substrato più uniforme riducendo sia i dispositivi di ritenzione sia l'attività biologica e trasformando così ambienti conservativi in ambienti esportatori. In altre parole, la semplice alterazione fisica del substrato (ad es. lo spianamento dell'alveo) riduce il fiume ad un trasportatore passivo del carico organico, con una secca perdita del potere depurante, un deterioramento della qualità delle acque, una marcata instabilità ecosistemica e una elevata vulnerabilità all'immissione di carichi organici aggiuntivi.

1.4 Il collegamento funzionale tra il fiume e il suo territorio

Una notevole mole di ricerche ecologiche ha messo in luce come la qualità e le dinamiche fluviali siano condizionate in larga misura dalle condizioni del territorio circostante, sia dalle adiacenti fasce di vegetazione riparia sia dall'intero bacino e, in particolare dal suo grado di copertura forestale.

Negli ambienti fluviali naturali la transizione tra l'ambiente acquatico e quello terrestre non è confinata ad una ristretta fascia di vegetazione riparia, ma si estende attraverso un'ampia fascia ecotonale costellata di deboli rilievi e bassure e di una vasta gamma tipologica di zone umide: alvei secondari interessati da un debole deflusso; meandri abbandonati collegati al fiume solo ad una estremità; oppure disgiunti, ma comunicanti con esso in occasione delle piene; stagni, acquitrini, paludi, aree inondabili, boschi igrofili. L'insieme degli ecotoni ripari costituisce un mosaico di straordinaria importanza ecologica polifunzionale: fasce tampone per i nutrienti; aree di riproduzione e svezamento per l'ittiofauna; rifugio per la fauna selvatica; rotte di transito per gli uccelli migratori ed altri animali; regolazione idrogeologica; elevata diversità biologica; ricco pool gene-

tico per la microevoluzione; regolatori e stabilizzatori del paesaggio e del clima; aree essenziali per anfibi, rettili, uccelli e alcuni mammiferi; ripari per pesci durante le piene; corridoi di collegamento tra diversi ecosistemi.

I corsi d'acqua dunque sono una successione di ecosistemi "aperti" (dotati cioè di importanti interconnessioni trofiche, flussi di materia ed energia) non solo in senso longitudinale, ma anche lateralmente; in essi le fasce di vegetazione riparia esplicano un ruolo talmente importante da divenire inscindibili dal fiume in senso stretto (fig. 5); per questi motivi, anche se per brevità si continua a parlare di fiumi, bisognerebbe sempre parlare di *ambienti fluviali*.

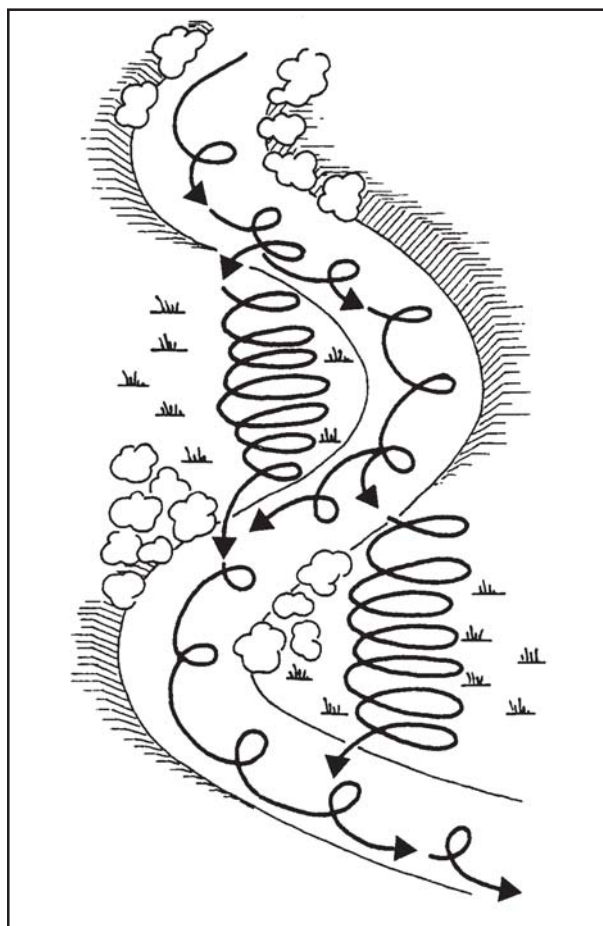


Fig. 5. *Spiralizzazione dei nutrienti in un sistema fluviale*
[PINAY et al, 1990]

Procedendo verso valle, un singolo atomo passa ripetutamente tra stati organici e inorganici (l'ordine di grandezza del ciclo è del centinaio di metri). A questo processo partecipano attivamente anche le zone riparie periodicamente inondate, parte integrante dell'ecosistema fluviale.

Questo approccio culturale pluridimensionale (fig. 6) rende più intuitiva la comprensione della vulnerabilità dell'intero ecosistema all'interposizione di barriere che ne interrompano la continuità in ciascuna delle direzioni spaziali: longitudinale (es. dighe, briglie), laterale (es. arginature, difese spondali), verticale (es. plateazioni) (BOON, 1992).

A queste dimensioni si aggiunge quella temporale: considerato che la morfologia dell'alveo può variare su lunghi periodi di tempo (fig. 7) e che le ripercussioni sull'ecosistema fluviale di alcune modifiche ambientali – pur essendo molto rilevanti – possono non manifestarsi per diversi decenni, la gestione fluviale deve essere pianificata in una prospettiva di lungo termine. Tanto per fare un esempio, se gli apporti organici al fiume possono essere garantiti anche da vegetazione arbustiva e non richiedono necessariamente la presenza di alberi d'alto fusto, a lungo termine questi ultimi sono indispensabili alla conservazione dinamica dell'ecosistema fluviale in quanto, cadendo in alveo, esplicano una azione morfogenetica molto rilevante (l'ostacolo locale alla corrente induce deviazioni del tracciato e diversifica il substrato) ed autocatalitica (favorisce

l'abbattimento di altri alberi). Da qui l'importanza di non rimuovere, soprattutto nei tratti montani, gli alberi pericolanti e i tronchi caduti in alveo (salvo casi localizzati di effettivo pericolo per centri abitati) (PETERSEN et al., 1987).

A causa della localizzazione inopportuna di molti centri abitati, della imprudente realizzazione di strozzature idrauliche (es. ponti stretti) e di altre forme di cattiva gestione dei fiumi, oggi la

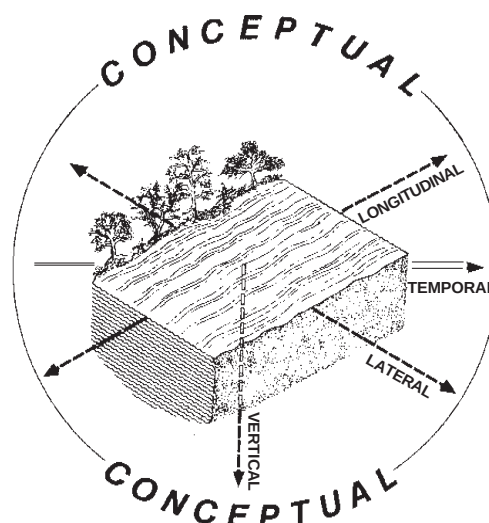


Fig. 6. Approccio pluridimensionale all'ambiente fluviale [BOON, 1992]

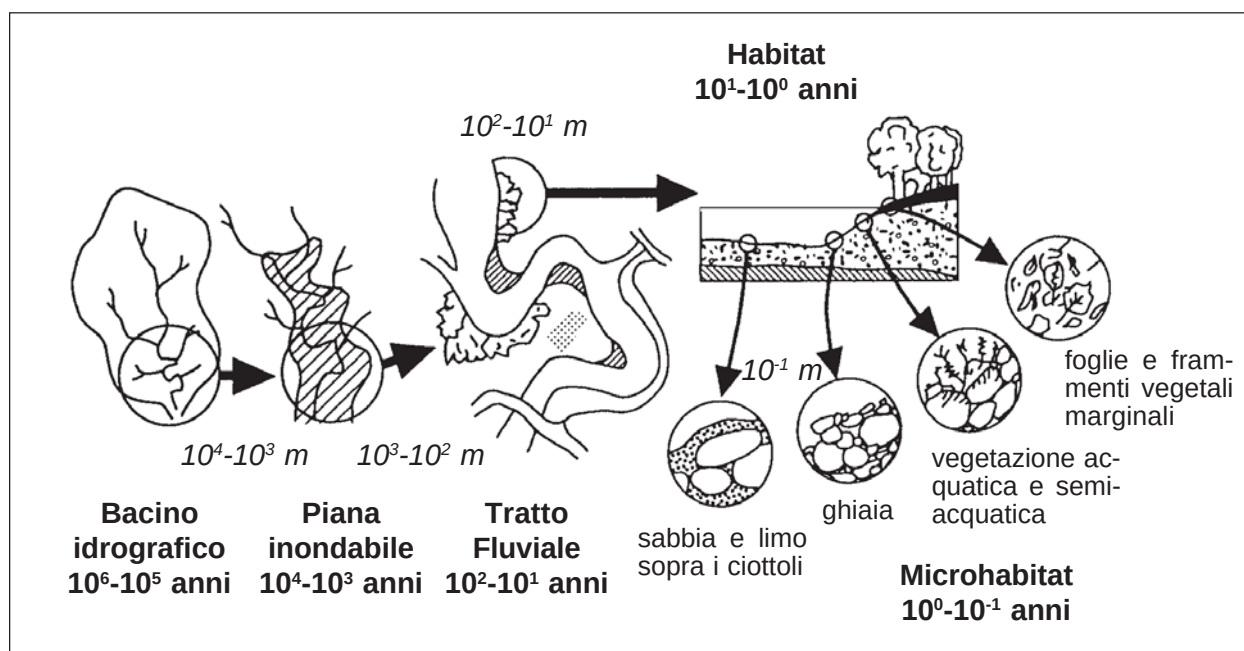


Fig. 7. Scala spaziale e temporale dell'organizzazione gerarchica di un sistema fluviale e dei suoi sub-sistemi di habitat. (La scala spaziale lineare indicata è relativa ad un corso d'acqua montano di 2°-3° ordine). [NAIMAN et al., 1992]

loro gestione ecologicamente corretta entra spesso in conflitto con la realtà ed occorre perciò trovare soluzioni di compromesso.

Una soluzione ragionevole per l'annoso e controverso problema degli alberi pericolanti è quella di procedere al loro abbattimento, lasciandoli però in loco dopo averli sezionati in spezzoni di dimensioni tali da non rappresentare più un pericolo idraulico. Non va dimenticato che anche tronchi marcescenti sono veri e propri ecosistemi in miniatura che forniscono cibo e rifugio a molte specie e nei quali si instaurano comunità specializzate e reti trofiche. La vegetazione arbustiva, invece, va sempre mantenuta.

1.5 L'importanza della diversità ambientale

Lo studio ecologico dei fiumi –sistemi interattivi per eccellenza– incorpora livelli di risoluzione spaziale annidati: microhabitat, sequenza buca-raschio, tratto fluviale, segmento vallivo, bacino, ciascuno dei quali è caratterizzato da proprie forme e processi e richiede quindi una specifica analisi ecologica.

Dal punto di vista delle ricadute pratiche emerge prepotentemente l'importanza di alcune componenti ambientali (in particolare eterogeneità del substrato, sequenze buche-raschi, sinuosità del tracciato, vegetazione riparia, ecotoni acquatici/terrestri), riconducibili al principio unificante della diversità ambientale, riproposto a diverse scale spaziali.

Alla scala minore –a livello del microhabitat– la diversità ambientale è rappresentata soprattutto dalla eterogeneità del substrato, densamente popolato da una grande varietà di macroinvertebrati. Poiché ciascuna specie presenta un optimum e un proprio intervallo di tolleranza delle condizioni ambientali (legato alle esigenze fisiologiche, agli adattamenti morfologici e comportamentali, alle modalità di procacciamento del cibo, alle strategie riproduttive, ecc.) quanto maggiore è l'eterogeneità del substrato, tanto maggiore sarà il numero di specie che possono

convivere nell'ambiente.

L'elevata diversità biologica, a sua volta, è garanzia di una più pronta ed efficace risposta alle variazioni temporali del carico organico, di una migliore efficienza depurante, di una maggiore stabilità del sistema. L'importanza dell'eterogeneità del substrato è mostrata anche dal fatto che in diverse situazioni la distribuzione dei macroinvertebrati e la qualità biologica sono correlate più alle caratteristiche del substrato che alla qualità dell'acqua (RUGGIERO et MERCHANT, 1979; SANSONI, 1987).

Il principio "*diversità ambientale → diversità biologica → qualità ambientale complessiva*" è stato proposto come chiave interpretativa per la previsione dell'impatto biologico delle opere di artificializzazione, che sarebbe sostanzialmente legato al grado di uniformità introdotto nell'ambiente fluviale (SANSONI, 1990, 1991).

Alla scala immediatamente superiore, la diversità ambientale è espressa dalla sequenza buche-raschi, oltreché dalla sinuosità del tracciato e dalla presenza di barre di meandro, di rive dolcemente digradanti, di ostacoli locali alla corrente (grossi massi, rami incastrati sul fondo), di vegetazione sommersa e di radici sommerse di alberi ripari (fig. 8).

A questo livello la diversità ambientale riveste una particolare importanza per l'ittiofauna. Ciascuna specie ittica, infatti, trascorre la sua esistenza trasferendosi dall'uno all'altro di questi ambienti per compiere le proprie attività vitali (sosta, rifugio, esplorazione, alimentazione, riproduzione): in linea di massima, le buche e i ricoveri sono utilizzati come area di sosta e rifugio e i raschi per l'alimentazione, mentre le aree di transizione tra buche e raschi forniscono un eccellente habitat per l'ovodeposizione.

Tra i principali fattori abiotici che condizionano l'idoneità ambientale per i pesci vi sono la disponibilità di adeguati ripari, buche e raschi, le fluttuazioni della portata, della velocità della corrente e della temperatura (che oltre all'influenza diretta sul contenuto in ossigeno disciolto, ne esercita una indiretta, sul suo consumo metabolico) (HYNES, 1970; FRASER, 1975; MIL-

DIVERSITÀ AMBIENTALE

Nei corsi d'acqua naturali la corrente è continuamente variabile sia nel tempo che nello spazio, anche a distanze molto brevi; non vi sono filetti fluidi paralleli tra loro o alle rive. Si formano così irregolarità morfologiche che restano stabili per un ampio intervallo di portate e si automantengono:

- ⊙ **Buche** (pool): approfondimenti allungati, generalmente sul lato esterno delle anse; flusso convergente alle alte portate; bassa velocità alle basse portate; sedimenti fini;
- ⊙ **Barre di meandro** (o barre a punta, point bar): zone di sedimentazione adiacenti alle buche, sul lato interno delle anse; sezione trasversale asimmetrica;
- ⊙ **Raschi** (riffle): aree rilevate, generalmente nei tratti rettilinei; flusso divergente alle alte portate; elevata velocità e turbolenza, anche alle basse portate; substrato grossolano; sezione trasversale simmetrica; rischio di prosciugamento alle basse portate;
- ⊙ **Vegetazione riparia**: stabilizza l'alveo, fornisce detrito organico (cibo per gli organismi acquatici), limita l'eccessivo sviluppo della vegetazione acquatica, protegge dall'eccessiva illuminazione e riscaldamento, intercetta, filtra e depura le acque di dilavamento del suolo.

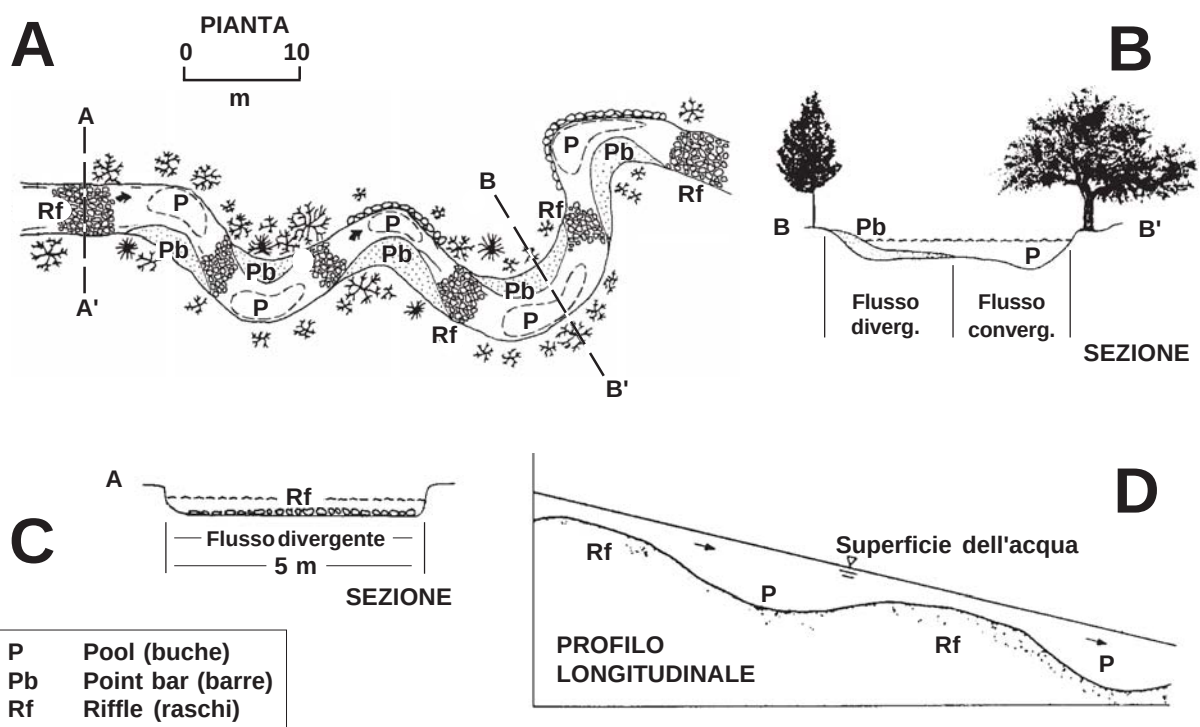


Fig. 8. Elementi morfologici di rilevanza ecologica in un alveo naturale

[A da KELLER et BROOKES, 1984 (modif.); B e C da BROOKES, 1988; D da CHANG, 1988]

NER, 1984).

Ciascuna attività richiede una data combinazione di parametri ambientali (profondità, velocità della corrente, substrato, ecc.), compresi entro determinati intervalli di tolleranza. Ne consegue, ad esempio, che un lungo tratto canalizzato avente le caratteristiche di raschio, nonostante l'abbondante disponibilità di cibo (nei raschi si trova la massima densità di macroinvertebrati), risulta inidoneo ad altre attività vitali dei pesci e, quindi, inadatto ad essi.

Va sottolineato che le esigenze ambientali per ciascuna attività differiscono da una specie ittica all'altra e, all'interno di ciascuna specie, tra i vari stadi di sviluppo. L'ambiente ideale per i pesci è dunque quello caratterizzato da una elevata diversità, in grado di fornire, in un tratto di alveo non eccessivamente esteso, l'intero mosaico di ambienti necessari alle varie specie ittiche e, per ciascuna di esse, agli individui delle varie classi di età.

Buche di adeguata profondità sono essenziali per la sopravvivenza dei pesci nei periodi di basse portate in cui i raschi restano quasi asciutti (CÔTÉ, 1970). Particolare importanza, data la grande diffusione del comportamento territoriale nei pesci, riveste la presenza di ricoveri e di ripari in alveo o sottosponda (grossi massi, rami incastrati sul fondo, sponde sottoescavate, radici arboree sommerse). Ogni individuo, infatti, trascorre la maggior parte del suo tempo in un habitat-rifugio circoscritto, che occupa e difende con decisione dagli intrusi. L'abbondanza di rifugi, strettamente legata alla diversità ambientale, condiziona perciò direttamente – ancor più delle disponibilità alimentari – l'abbondanza del popolamento ittico.

Oltre a fornire protezione dalla predazione, i ripari forniscono ai pesci un ambiente relativamente calmo, che consente di superare i periodi di elevate portate. Ciò spiega, tra l'altro, il fallimento di alcuni ripopolamenti in tratti artificializzati, incapaci di fornire habitat-rifugio agli esemplari introdotti: gli individui privi di ripari sono infatti costretti a vivere costantemente in piena corrente, con un dispendio energetico ed un accumulo

di acido lattico che possono risultare incompatibili con la sopravvivenza. La lentezza di metabolizzazione dell'acido lattico nei pesci è all'origine di alcune morie ittiche conseguenti ad una piena; simili morie possono manifestarsi differite anche di alcuni giorni.

Le onnipresenti irregolarità della morfologia fluviale e la loro mutevolezza spaziale e temporale non vanno dunque considerate fattori di "disordine idraulico" o indisponenti deviazioni da un ipotetico "modello ideale" di corso d'acqua (con profilo longitudinale regolare e sezione di forma geometrica). Il modello ideale di fiume è quello "inventato" dalla natura: in esso la forma geometrica, l'ordine, la regolarità sono eccezioni rarissime, quasi impensabili. Proprio a quel "disordine idraulico" (più propriamente a quella "diversità ambientale") le scienze ecologiche attribuiscono una straordinaria importanza per la funzionalità degli ecosistemi fluviali.

La rivalutazione dell'importanza ecologica della diversità ambientale e delle fasce di vegetazione riparia si riflette nel campo applicativo con alcuni metodi pratici di valutazione della qualità ambientale complessiva.

L'Extended Biotic Index (E.B.I.) – basato sullo studio delle comunità di macroinvertebrati bentonici e sensibile soprattutto alla qualità dell'acqua e all'eterogeneità del substrato – è applicato da anni in Europa (WOODIWISS, 1978; GHETTI, 1995) e si è ormai consolidato come strumento principe di valutazione della qualità biologica delle acque correnti. Ad esso si sta affiancando negli ultimi anni il Riparian Channel Environmental Inventory (RCE), un metodo complementare di valutazione della qualità complessiva dell'ambiente fluviale centrato esplicitamente sulla rilevazione di elementi morfologici (oltreché biologici) di rilievo ecologico: presenza, ampiezza, continuità, tipo e grado di copertura vegetale delle zone riparie; uso del territorio circostante; stabilità delle rive; erosione; strutture di ritenzione del detrito organico; granulometria del substrato; sinuosità, buche e raschi; tipo, quantità e qualità del perifiton; organismi acquatici (PETERSEN, 1992).

1.6 I corsi d'acqua come corridoi ecologici

L'ecologia del paesaggio (*landscape ecology*) ha messo in evidenza come il degrado della natura non derivi solo da una riduzione quantitativa delle aree naturali, ma anche dalla loro frammentazione in "isole" di ridotta estensione, non collegate tra loro ed immerse in una matrice territoriale più o meno fortemente artificializzata ed ostile agli spostamenti delle specie.

Per superare i limiti delle politiche di conservazione della natura basate sulla sola istituzione di isole di naturalità (parchi e riserve) è necessario liberare queste ultime dall'isolamento realizzando reti ecologiche che garantiscano la "libera circolazione" delle specie (MALCEVSKI et al., 1996).

Un problema particolarmente diffuso, derivante da una antropizzazione del territorio non supportata da criteri ecologici di programmazione, è quello connesso alle vie di comunicazione

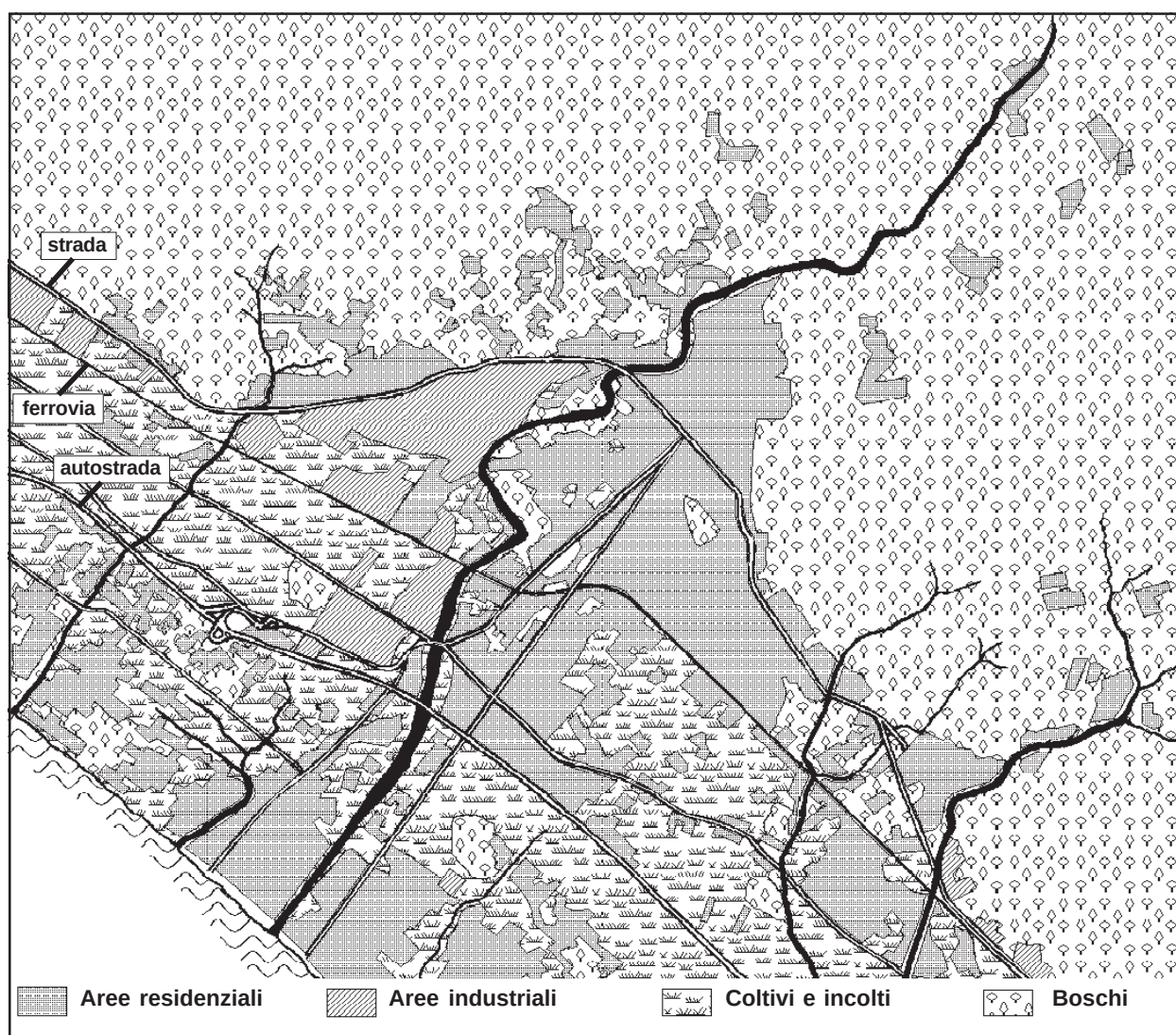


Fig. 9. Importanza dei corridoi ecologici. Aree urbanizzate, strade, autostrade, ferrovie, costituiscono una serie di barriere per gli spostamenti della fauna. Le popolazioni animali rimaste isolate nei lembi di aree seminaturali vanno incontro a rarefazione, con pericolo di estinzione locale. I fiumi e le loro fasce di vegetazione riparia costituiscono provvidenziali corridoi ecologici che collegano le aree naturali costiere a quelle montane consentendo gli spostamenti animali, il rimescolamento genetico e l'immigrazione nelle aree faunisticamente impoverite. La funzionalità di questi corridoi è strettamente legata al loro grado di naturalità. (La rete stradale reale è, ovviamente, molto più fitta di quella riportata nella figura) (SANSONI, 1997)

(strade, autostrade, ferrovie) che, comportandosi da barriera più o meno insuperabile per molte specie, frammentano il territorio in fasce ecologicamente disgiunte.

L'intervento principe per garantire la sopravvivenza di questi ecosistemi consiste nel romperne l'isolamento mediante la realizzazione di corridoi ecologici che interrompano la continuità delle barriere consentendo alle specie animali di passare da un ecosistema all'altro.

I fiumi e, più precisamente, i loro sistemi ripari a vegetazione arbustiva e arborea, rappresentano i principali (talora gli unici) corridoi ecologici naturali ed assumono perciò un'importanza determinante per la dispersione di molte specie e per il mantenimento della funzionalità degli ecosistemi da essi attraversati (fig. 9).

Il rispetto di fasce perifluviali ben strutturate (ampie, con essenze autoctone erbacee, arbustive ed arboree, costellate da rilievi, bassure, zone umide, ecc.) deve dunque essere un obiettivo centrale di ogni intervento fluviale nella consapevolezza del loro valore inestimabile per la funzionalità non solo degli ecosistemi fluviali, ma anche dell'ecomosaico territoriale che compone l'intero bacino.

Cap. 2

Indicazioni pratiche per l'esecuzione degli interventi fluviali

Nel capitolo precedente sono stati tracciati i principi ecologici fondamentali che devono guidare la progettazione degli interventi fluviali; scopo di questo capitolo è fornirne esempi applicativi per i tipi di intervento più frequenti.

Sebbene questo capitolo non abbia alcuna pretesa di completezza, gli esempi indicati potranno rappresentare un'utile guida metodologica di riferimento anche per i casi non trattati. Una volta compreso e fatta propria la filosofia ispiratrice delle metodologie proposte, infatti, la creatività dei progettisti saprà certamente individuare

gli adattamenti e le varianti migliorative più adeguate ai singoli casi specifici.

Prima ancora di affrontare le singole tipologie di lavori fluviali va ricordata l'importanza di scegliere oculatamente il periodo più opportuno di esecuzione di ciascun intervento, al fine di arrecare il minor danno possibile alla flora e alla fauna terrestri ed acquatiche. Un primo orientamento su tale scelta è fornito dalla tab. 3.

Nel caso di difese spondali, arginature ed altri interventi sulle sponde occorre tenere pre-

Tab. 3. Calendario dell'ingegneria naturalistica in ambito fluviale [da LACHAT, 1991 (in REG. EMILIA-ROMAGNA e VENETO, 1993)]

Mesi →	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	
Cicli riproduttivi: fauna acquatica	Invertebrati/Insetti												
	Salmonidi	Ciprinidi e altri					Pesca		Salmonidi				
Cicli biologici: idrofite					Sviluppo								
Manutenzioni						Diserbo							
Lavori in alveo	Zone Cipr.							Zone a salmonidi					
											Zone a Ciprinidi		
Sistemazioni e manutenzioni (elofite)	Fusti, rizomi, talee								Fusti, rizomi, talee				
							Cure alle talee						
	+	+	+	+	-	-	Sfalcio	-	-	+	+	+	
Sistemazioni e manutenzioni (sp. erbacee)	Semine												
						Sfalcio, diserbo							
Sistemazioni e manutenzioni (sp. legnose)	Talee/margotte								Talee/margotte				
			Piantagione							Piantagione			
	+	+	+	-	-	-	Potature	-	-	+	+	+	
Cicli biologici: fauna terrestre			Nidificazione, riproduzione vertebrati										
Vegetazione esistente	+	+	+	+	-	-	Manutenzione	-	+	+	+		

senti le molteplici funzioni ecologiche svolte dalle fasce di vegetazione riparia, già accennate nel capitolo 1: ruolo depurante, risorsa alimentare primaria per l'ambiente fluviale, ruolo regolatore nella spiralizzazione dei nutrienti, azione morfogenetica, habitat essenziale per una moltitudine di specie, aree ad elevata diversità biologica, corridoi ecologici per eccellenza.

Dalla considerazione che difese spondali e arginature comportano spesso la soppressione delle fasce di vegetazione riparia e rappresentano comunque barriere che interrompono il continuum morfologico-funzionale tra l'ambiente acquatico e quello terrestre, discende l'obbligo di chiedersi se gli interventi progettati siano realmente indispensabili e di prendere in considerazione ogni possibile alternativa.

2.1 Difese spondali

La realizzazione di difese spondali, giustificata quando sia minacciata la stabilità di importanti manufatti, è ingiustificata quando si tratti semplicemente di proteggere dall'erosione terreni agricoli o incolti.

Un altro caso frequente è quello dell'erosione delle sponde che minaccia la stabilità di una scarpata stradale; è evidente che tale rischio è il diretto risultato della scelta del tracciato stradale, imprudentemente posizionata troppo a ridosso del corso d'acqua. Prima di progettare una difesa spondale volta a consolidare la scarpata occorre verificare la fattibilità tecnica ed economica di spostare il tracciato stradale a maggior distanza dal fiume, in modo da eliminare definitivamente il rischio di instabilità e da restituire contemporaneamente al fiume la fascia riparia sottratta a suo tempo. Qualora tale soluzione sia fattibile tecnicamente, ma, almeno a breve termine, non economicamente, deve essere posta la massima attenzione ad individuare misure volte ad impedire che venga pregiudicata la possibilità della futura rilocalizzazione del tracciato stradale (ad es., vincolare le aree necessarie).

Nella valutazione dell'opportunità di realizzare difese spondali occorre tenere presente che

esse non eliminano il problema dell'erosione, ma lo risolvono localmente trasferendolo più a valle ed innescando la "necessità" di altri interventi difensivi. Va inoltre ricordato che nel reticolo idrografico del Magra – come in qualunque corso d'acqua con deficit solido – l'erosione spondale non va vista come un "dissesto" da contrastare, ma come un processo di riequilibrio da assecondare. In altre parole, il fiume cerca di sanare il proprio deficit solido (conseguente alle escavazioni del passato) prendendo in carico materiali dai terreni ripari e redistribuendoli lungo l'alveo per ripristinare il proprio profilo d'equilibrio.

Merita osservare, oltretutto, come la costruzione di difese spondali di terreni agricoli o incolti sia spesso più costosa dell'acquisizione al patrimonio demaniale di una fascia di terreno ripario larga alcune decine di metri, operazione decisamente da preferire per i vantaggi collaterali: l'erosione non verrebbe trasferita sui terreni

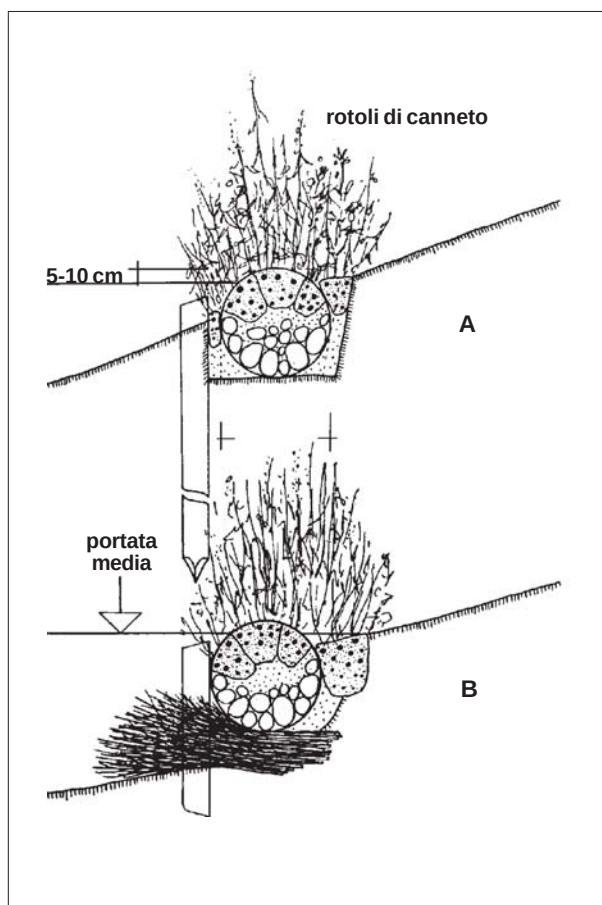


Fig. 10. Consolidamento spondale con rotoli di canneto
[da SCHIECHTL, 1991]

situati a valle, il fiume si modellerebbe un alveo più ampio (col vantaggio addizionale di attenuazione delle piene), resterebbe indisturbato e più bello e si acquisirebbe terreno per la fruizione pubblica.

Nei casi in cui si rivelino veramente indispensabili, comunque, alle rigide scogliere in massi ciclopici e al calcestruzzo sono da preferire i metodi dell'ingegneria naturalistica. A titolo di esempio, la fig. 10A mostra il consolidamento con rotoli di canneto delle sponde di corsi d'ac-

qua di pianura; se la sponda è già incisa da una scarpatina d'erosione, i rotoli vanno adagiati su ramaglia (fig. 10B). Per il consolidamento spondale di corsi d'acqua con maggior energia l'ingegneria naturalistica impiega tecniche combinate (ad es., fig. 11), mentre nei tratti montani con elevata pendenza e forti piene ricorre a strutture molto resistenti quali palificate vive, gabbioni rinverditi, rivestimenti con astoni di salice (fig. 12). Oltre agli evidenti vantaggi ambientali, va ricordato che –a differenza delle tecniche tradizionali– l'azione consolidante delle tecniche di ingegneria naturalistica aumenta nel tempo (parallelamente allo sviluppo dell'apparato radicale delle piante impiegate).

In ogni caso, ogniquale volta possibile, vanno evitate le scarpate oblique, ripide e con pendenza uniforme; anche per le sponde il principio ispiratore da seguire è quello di tendere ad incrementare la diversità ambientale.

È appena il caso di ricordare l'esigenza di norme che regolamentino l'ingegneria naturalistica al fine di evitare i rischi ambientali derivanti da un uso non corretto di questa giovane disciplina (ad es. introduzione di ceppi vegetali geneticamente inidonei).

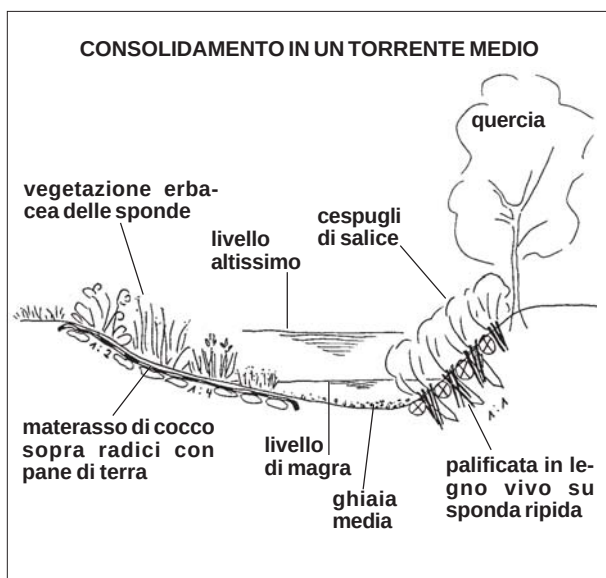


Fig. 11. Consolidamento spondale con tecniche combinate
[da SCHIECHTL, 1991]

2.2 Arginature

Gli argini costruiti a diretto contatto dell'alveo differiscono dalle difese spondali nella forma (per la sopraelevazione rispetto al piano di campagna) e nelle finalità (contenere anche le acque di piena anziché la sola erosione delle sponde). A tutti gli inconvenienti ambientali delle difese spondali, amplificati per la sopraelevazione, si aggiungono quelli di natura idraulica. Gli argini, infatti, se localmente impediscono le esondazioni, trasferiscono il rischio idraulico a valle, ove risulta così accentuato.

La scelta di realizzare argini deve quindi essere preceduta da una seria riflessione critica sulla loro reale opportunità. In linea di massima, le arginature sono giustificate solo in casi particolari, ad esempio in alcuni attraversamenti abitati. Esse possono risultare utili anche per proteggere

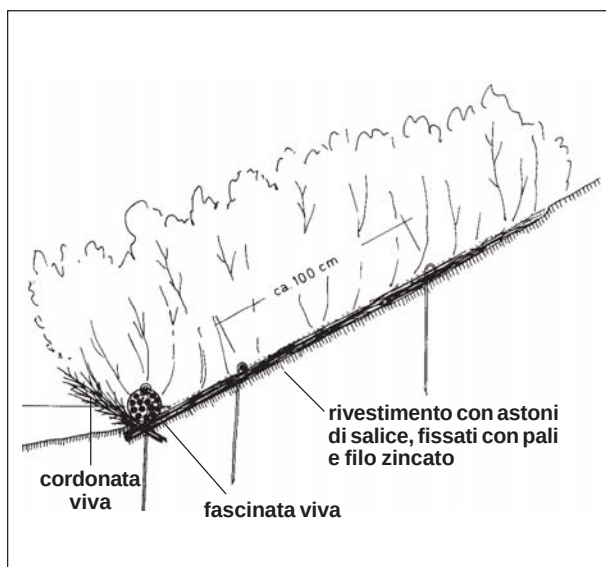


Fig. 12. Rivestimento spondale con astoni di salice
[da SCHIECHTL, 1991]

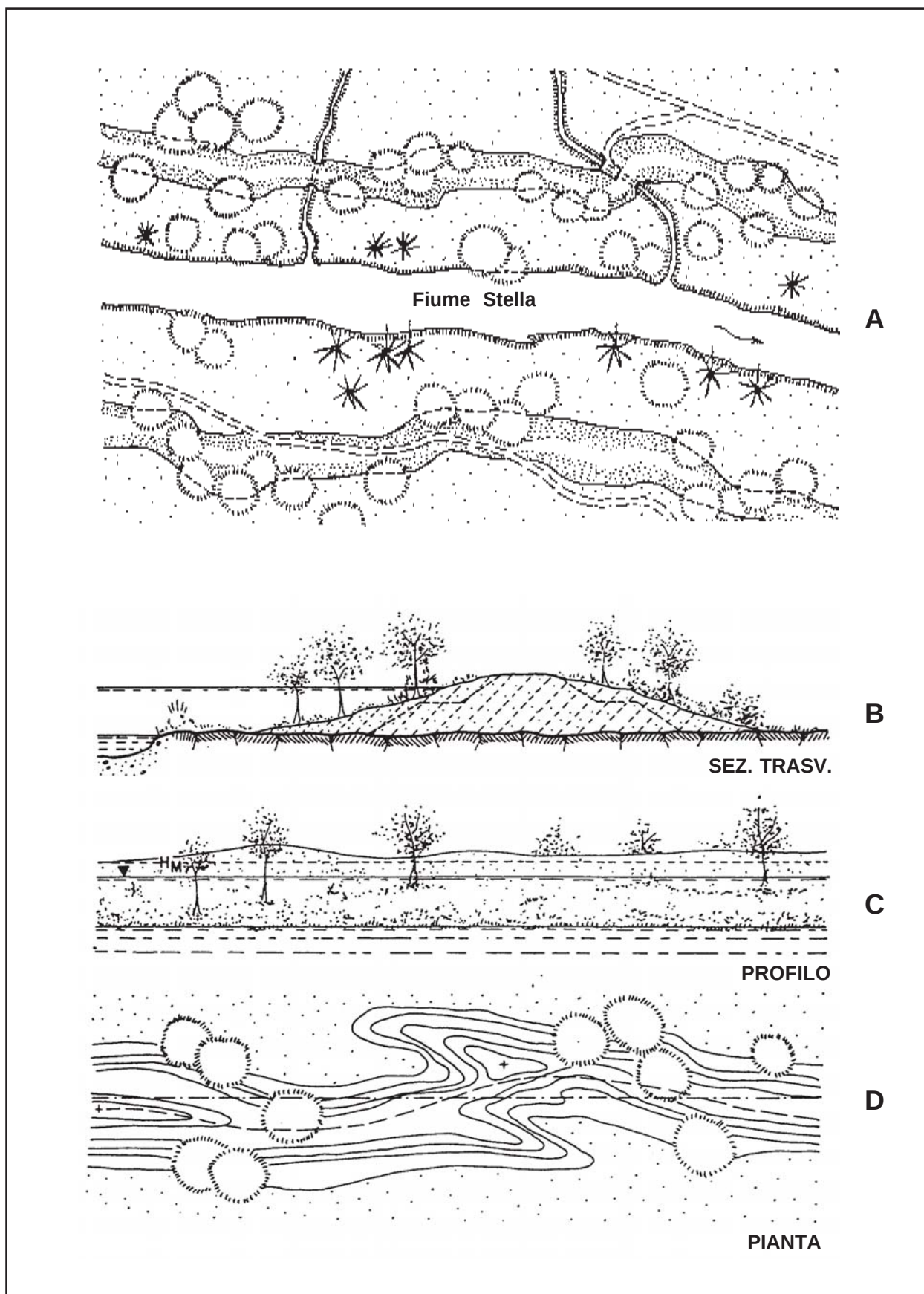


Fig. 13. Sostituzione di argini con rilievi arginali a nastro nel Parco Naturale del fiume Stella, in Friuli. [da CAVAZZA, 1990]

terreni agricoli, purché vengano realizzate a notevole distanza dal fiume, garantendo così una capacità idraulica di assoluta sicurezza (non solo locale, ma soprattutto per gli abitati posti a valle).

Anche nei casi in cui risultino indispensabili, tuttavia, non vi è alcuna necessità, a meno che non ci si trovi in pieno centro cittadino con assoluta mancanza di spazio, che gli argini vengano realizzati rettilinei, a sezione trapezoidale uniforme e privi di vegetazione arborea.

La fig. 13 mostra un esempio di approccio da seguire: argini costruiti a debita distanza dal fiume (A), con uno scheletro rigido ben ricoperto di terra e scarpate a dolce pendenza, piantumate su entrambi i lati (B); profilo longitudinale non piatto, ma leggermente ondulado (C), e andamento planimetrico non rettilineo, ma irregolarmente sinuoso (D). Con tali accorgimenti, anche la fascia golenale può essere piantumata (A) e gli argini possono svolgere, oltre a quella idraulica, anche una funzione ecologica (cibo e rifugio per la fauna), ricreativa e paesaggistica.

2.3 Rettifiche e nuove inalveazioni

Le nuove inalveazioni dei torrenti riguardano la realizzazione di nuovi tratti di alveo che non abbiano parti in comune con quello originario. Il torrente, pertanto, viene forzato ad abbandonare –per tratti più o meno brevi– il letto originario.

Per rettifiche di alveo si intendono quegli interventi arginali, su una delle due sponde o su entrambe, a volte realizzati per assicurare il deflusso idraulico –eliminando varici spondali od accumuli detritici lungo gli argini– od, ancora, per definire argini incerti. Si tratta pertanto di interventi che procedono per linee geometriche (rette o a debole curvatura), raccordate a monte e a valle, che lasciano scorrere il torrente nel proprio alveo, seppure modificato in larghezza.

Le nuove inalveazioni con tracciato non rettilineo, di norma vietate, possono essere ammesse solo eccezionalmente ove sussistano inderogabili motivi urbanistici, in particolar modo suffragati da esigenze di pubblica o privata inco-

lunità o per consentire la realizzazione di opere pubbliche o, infine, per consentire la rinaturazione di tratti altrimenti difficilmente recuperabili.

Le nuove inalveazioni ad andamento rettilineo, invece, determinando un accorciamento del percorso, sono sempre vietate, salvo casi assolutamente eccezionali.

L'accorciamento del percorso, infatti, restando invariate le quote dei due estremi del tratto rettificato, comportano un aumento della pendenza, cui conseguono una maggiore velocità della corrente e una maggiore forza erosiva mentre a valle, a causa della ridotta pendenza, si verifica il deposito dei sedimenti così mobilizzati (fig. 14).

L'erosione verticale e laterale nel tratto rettificato e a monte di esso, affluenti compresi, comporta aggiustamenti morfologici con rilevanti conseguenze economiche (instabilità delle sponde, scalzamento e crollo di ponti, strade, manufatti) inducendo la necessità di ulteriori interventi difensivi (briglie, soglie, difese spondali, muri di sostegno) che, a loro volta, trasferiscono altrove il danno, in un circolo vizioso di danni ambientali e di dissipazione di risorse economiche.

L'aumento di velocità della corrente comporta una protezione locale dalle esondazioni, ma determina a valle piene più frequenti e violente, i cui danni sono ulteriormente accentuati dalla ridotta capacità dell'alveo e dal restringimento della luce dei ponti indotti dalla sedimentazione che si verifica a valle del tratto rettificato. Inoltre, come si è già visto, la geometrizzazione dell'alveo e l'uniformità morfologica e idraulica del tratto rettificato esercitano un sensibile impatto sui popolamenti acquatici.

Vi sono dunque motivi più che sufficienti per ritenere le nuove inalveazioni fluviali a carattere rettilineo uno degli interventi più dannosi, da evitare rigorosamente ogniquale volta possibile. Possono essere ammesse eccezioni in tratti ben delimitati, ove sussistano motivi inderogabili di sicurezza di un abitato, solo qualora non siano praticabili interventi alternativi strutturali o estensivi (es. casse di laminazione delle piene, ampliamento dell'alveo, forestazione, bacini di ritenzione delle acque meteoriche urbane, scolmatori,

diversivi, ecc.). In tal caso la nuova inalveazione va accompagnata da dispositivi volti a compensarne gli effetti morfologici e biologici negativi (ad es., a monte: rampe in pietrame e introduzione di massi in alveo; a valle: alvei di secondo stadio, ampliamento della luce dei ponti, by-pass delle strozzature idrauliche; nel tratto rettificato: dispositivi di miglioramento dell'habitat).

Assai nocive e di norma vietate sono pure le rettifiche dell'alveo, per l'ingiustificato restringimento dell'alveo solitamente prodotto e, comunque, per gli effetti biologici negativi conseguenti alla banalizzazione dell'habitat da esse indotto.

Una possibile eccezione può riguardare rettifiche di brevi tratti in cui, per particolari ragioni (anche di conservazione ambientale), si intenda espressamente intervenire sui processi di erosione e di accumulo (ad es. necessità di un aumento dell'erosione e del trasporto solido, necessità di creare o di salvaguardare ambienti umidi, ecc.).

Ovunque possibile, invece, occorre restituire la sinuosità ai tratti rettificati, soprattutto se essi sono anche ristretti ed arginati; se l'urbanizzazione del territorio rende spesso difficile tale

intervento sull'asta principale, possibilità molto più ampie sono offerte dal reticolo idrografico minore (naturale o artificiale), con benefiche ripercussioni anche sull'asta principale.

2.4 Escavazioni, dragaggi, movimentazione di inerti

Le escavazioni di inerti fluviali –per favorire il deflusso delle acque o la navigazione o, più spesso, per ricavare materiali da costruzione– determinano un deficit solido locale che progressivamente viene redistribuito lungo tutta l'asta fluviale, fino al raggiungimento di un nuovo profilo d'equilibrio (fig. 15). Il tratto approfondito dall'escavazione, infatti, oltre a determinare una rottura di pendenza che innesci l'erosione regressiva, si comporta come una trappola per inerti che trattiene i sedimenti asportati a monte dalla corrente; anche a valle di esso, quindi, si verifica erosione, sia per il mancato apporto solido da monte, sia perché l'acqua, liberatasi del carico solido, acquista una maggiore energia.

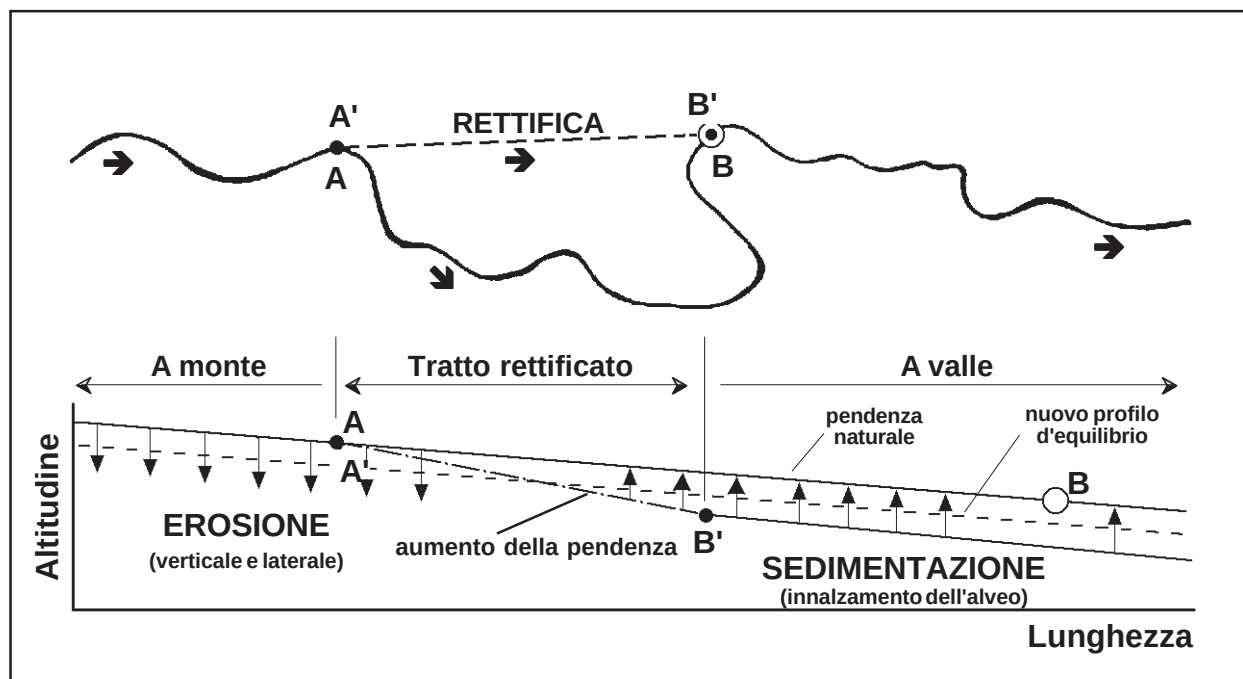


Fig. 14. Erosione e sedimentazione negli alvei rettificati [da LACHAT, 1991 (in REGIONE EM.-ROMAGNA e VENETO, 1993), modif.]
L'aumento di pendenza nel tratto rettificato innesca erosione a monte e sedimentazione a valle, tendenti al raggiungimento di un nuovo profilo d'equilibrio.

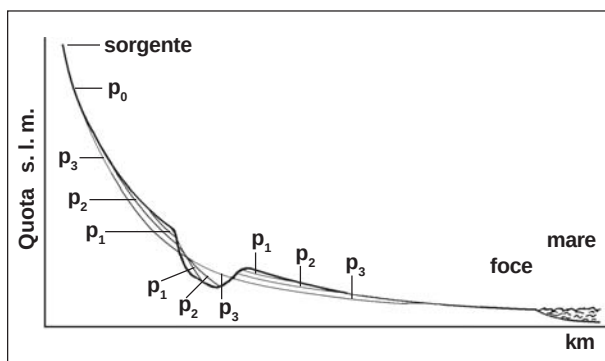


Fig. 15. Fasi del raggiungimento di un nuovo profilo d'equilibrio conseguente ad una escavazione localizzata.

L'originario profilo longitudinale d'equilibrio (p_0) viene alterato sia a monte che a valle dell'escavazione.

p_1, p_2, p_3 : stadi successivi di abbassamento dell'alveo

(La scala delle altezze è esagerata ad arte). [da SANSONI, 1988]

L'abbassamento dell'alveo (al quale si accompagnano scalzamenti di ponti, strade, manufatti) non altera solo il profilo longitudinale, ma anche quello trasversale: l'alveo bagnato diviene più profondo, le sponde più ripide, il corso d'acqua si "canalizza" (fig. 16). Ciò determina un aumento della velocità della corrente che inizia ad erodere le sponde inducendo la "necessità" di difese spondali che, come già visto, interrompono ancor più bruscamente la transizione tra l'ambiente acquatico e quello terrestre; agli aggiustamenti morfologici si accompagna la scomparsa dei microambienti ripari con ripercussioni sugli organismi acquatici in essi ospitati.

Gli interventi che inducono un abbassamento dell'alveo, infine, rendono il fiume drenante rispetto alla falda e comportano un analogo abbassamento di quest'ultima; vengono così ridotte le risorse idriche sotterranee e, nelle fasce costiere, viene favorita l'intrusione salina (fig. 17).

Va ricordato quanto affermato dalla Commissione Tecnica Ministeriale appositamente istituita per il fiume Magra: «*Il grave deficit solido suggerisce l'opportunità di studiare soluzioni finalizzate al ripascimento degli alvei e del litorale. Tra le possibili soluzioni meritano di essere approfondite qualitativamente e quantitativamente il ripascimento artificiale degli alvei con pietre di idonea pezzatura (ad es. risultanti da lavori di scavo) e il favorimento del ripascimento naturale o "pilotato" (individuando, ad es.,*

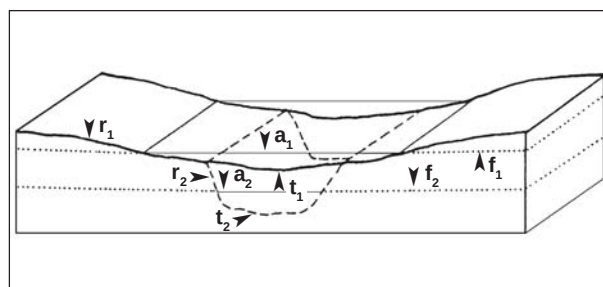


Fig. 16. "Effetto canalizzazione" di un fiume, esteso a tutta l'asta fluviale, conseguente ad escavazioni localizzate.

Il talweg si abbassa da t_1 a t_2 , il pelo libero dell'acqua da a_1 ad a_2 e la superficie freatica da f_1 ad f_2 ; le rive, originariamente con debole pendenza (r_1), divengono più ripide (r_2).

[da SANSONI, 1988]

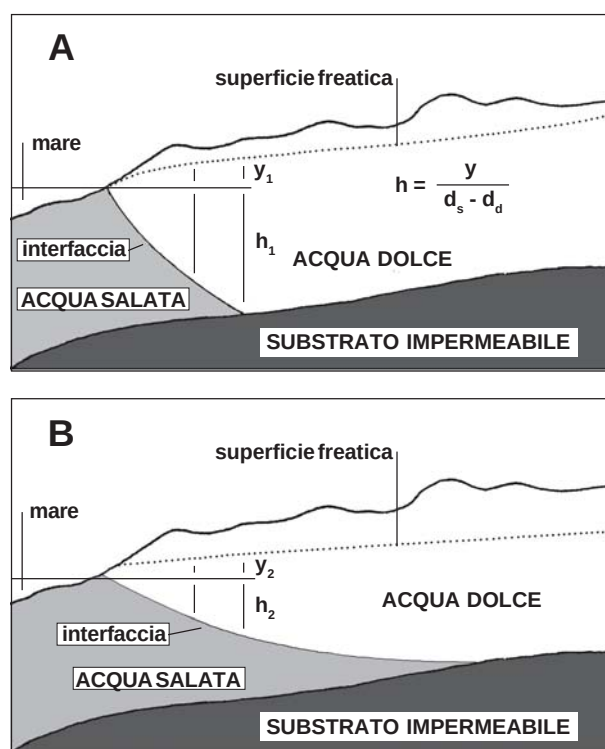


Fig. 17. Intrusione salina.

A: situazione originaria. Il carico idrostatico esercitato dall'acqua dolce (y_1) impedisce all'acqua salata di penetrare nell'entroterra; l'interfaccia acqua dolce/salata è molto inclinata.

B: dopo le escavazioni. L'abbassamento dell'alveo e della superficie freatica determinano una riduzione del carico idrostatico (y_2), che diviene insufficiente a contrastare la spinta dell'acqua salata; l'interfaccia si solleva divenendo meno inclinata e l'acqua salata penetra nell'entroterra.

h = altezza acqua dolce dall'interfaccia al livello del mare;
 y = altezza acqua dolce dal livello del mare alla superficie freatica;

d_s = densità acqua salata;

d_d = densità acqua dolce.

[da SANSONI, 1988]

aree e versanti non abitati nei quali favorire l'erosione e la franosità, anziché contrastarle).» (COMMISS. TECN. MIN. PER IL MAGRA, 1990).

Considerato il deficit solido degli alvei e del litorale (conseguente, almeno in parte, alle escavazioni del passato) in tutto il reticolo idrografico del Magra è vietata l'asportazione di inerti. Anche qualora motivi inderogabili di sicurezza idraulica imponessero la rimozione di accumuli localizzati di inerti, non è in alcun caso consentita la loro asportazione: è consentito, invece, movimentarli localmente o trasferirli in altri tratti del reticolo idrografico. In quest'ultimo caso si avrà cura di collocare gli inerti in punti soggetti ad erosione, in modo da favorire la loro presa in carico da parte delle acque di piena e la loro redistribuzione lungo l'alveo.

2.5 Briglie

Le principali componenti dell'impatto ambientale delle briglie sono:

- ostacolo alla risalita dell'ittiofauna, che viene frammentata in tanti popolamenti riproduttivamente isolati (la maggior parte della fauna ittica non riesce a superare ostacoli più alti di 30-40 cm);
- a monte delle briglie, per l'accumulo di sedimenti e la ridotta pendenza, l'alveo diviene un materasso ciottoloso piatto e uniforme; vengono così ridotte la diversità ambientale, la diversità biologica e la capacità autodepurante;
- l'accumulo di sedimenti a monte delle briglie si riflette in un'erosione accentuata a valle di esse.

La costruzione di nuove briglie deve dunque essere preceduta da una rigorosa valutazione della loro effettiva necessità, tenuto conto anche della loro contraddittorietà con le esigenze del ripascimento solido degli alvei e del litorale. Va ricordato che, tra gli interventi volti a contrastare l'erosione del litorale, l'Autorità di bacino dovrà prendere in considerazione anche l'eventualità di programmare la demolizione, il ribassamento o la modifica di parte delle centinaia di briglie oggi presenti, in modo da mobilitare gli inerti accumulati a monte di esse e da favorire la franosità

pilotata di alcuni versanti.

Nei casi puntuali in cui le briglie risultino veramente necessarie (ad es. per proteggere dallo scalzamento al piede i piloni di un ponte), occorre adottare gli accorgimenti opportuni a contenere almeno il loro impatto biologico. Al fine di garantire la loro funzione idraulica e geomorfologica, infatti, non vi è alcuna necessità di costruirle nel modo tradizionale, a scalino in calcestruzzo: in particolare, il dislivello tra il fondo dell'alveo a monte e a valle della briglia può essere realizzato gradualmente, su una distanza maggiore, anziché con un unico salto.

Anche una abbondante distribuzione di massi in alveo, ad esempio, può rappresentare un'alternativa ecologica alla realizzazione di briglie (CAVAZZA, 1990). La fig. 18 mostra la transizione concettuale da queste ultime (A) ai massi sparsi (D): il primo passaggio è la realizzazione di uno scivolo di valle in massi che protegga la briglia dallo scalzamento e favorisca la risalita dei pesci (B); anche la briglia, in realtà, può essere realizzata in massi (C) con rampe ascendente e discendente a minore pendenza, in modo da coprire il dislivello di progetto in un tratto più lungo, anziché con un singolo salto; il passaggio finale (D) è l'ottenere la riduzione di velocità della corrente aumentando in maniera diffusa la scabrezza dell'alveo con massi sparsi, anziché con un'opera fissa. L'obiettivo idraulico è raggiunto ugualmente, a costi inferiori e con un miglioramento dell'habitat.

Un'altra alternativa –concettualmente più vicina alla briglia tradizionale ma ugualmente ecologica– è la rampa in pietrame. I principali obiettivi ecologici della sostituzione delle briglie con rampe in pietrame sono l'eliminazione di barriere verticali insormontabili, consentendo così la risalita dei pesci verso le aree di frega, e l'eliminazione dell'isolamento riproduttivo tra le popolazioni ittiche dei tratti fluviali separati da barriere fisiche. Restano soddisfatti, nel contempo, gli obiettivi di ridurre la forza erosiva della corrente –la cui energia viene dissipata nel turbolento deflusso lungo la rampa con elevata scabrosità– e di indurre un innalzamento dell'alveo a monte della rampa, stabilizzando così il piede

delle sponde. Dislivelli graduali consentono la risalita non solo dei pesci, ma anche dei macroinvertebrati e di altri componenti delle biocenosi acquatiche.

Le esperienze europee di rampe di risalita per i pesci hanno fornito risultati estremamente positivi; particolarmente efficaci si sono dimostrate le rampe di modesta altezza ($h < 2$ m), di limitata pendenza ($i < 1:8$), con altezze medie di scabrosità pari a 0,3-0,5 ds (ds= diametro della sfera equivalente del pietrame) e strutturalmente eterogenee. I principi costruttivi e una rassegna di varie tipologie di rampe sono riportati nel manuale delle REGIONI EMILIA-ROMAGNA e VENETO (1993), dal quale sono tratte le figure 19 e 20.

Tra gli accorgimenti costruttivi suggeriti vanno ricordati: l'utilizzo di massi di diverse dimensioni; la solida infissione dei massi ciclopici nel fondo (fig. 19A); il rafforzamento delle strutture con pali metallici verticali profondamente infissi (es. rotaie ferroviarie); la posa del pietrame in modo da formare spazi vuoti o, addirittura una struttura alveolare (fig. 19B), in modo da creare un'alternanza di zone a corrente rapida e di zone di sosta, favorendo la risalita dell'ittiofauna e diversificando i microambienti; una maggiore altezza presso le sponde, in modo da convogliare la corrente verso il centro dell'alveo, proteggere le sponde dall'erosione e concentrare le portate di magra; il consolidamento con alberi e arbusti

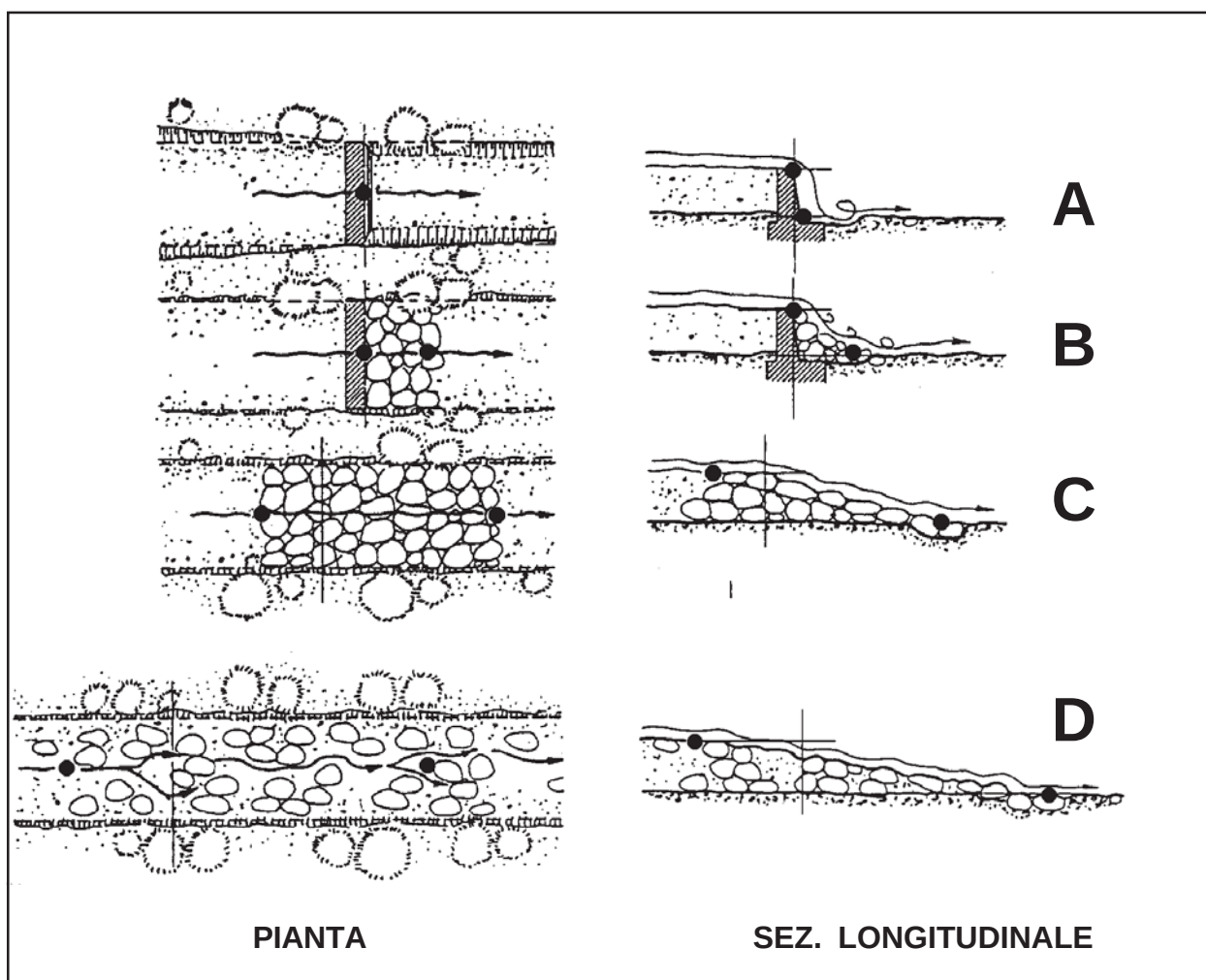


Fig. 18. Evoluzione formale idraulica ed ambientale di opere di dissipazione di energia, dalla briglia alla scogliera obliqua ed all'aumento diffuso della scabrezza dell'alveo [da CAVAZZA, 1990]

Il dislivello tra il fondo dell'alveo a monte ed a valle della briglia (rappresentato dai cerchietti pieni) viene realizzato gradualmente su una distanza maggiore, anziché con un unico salto; l'energia è dissipata dalla turbolenza.

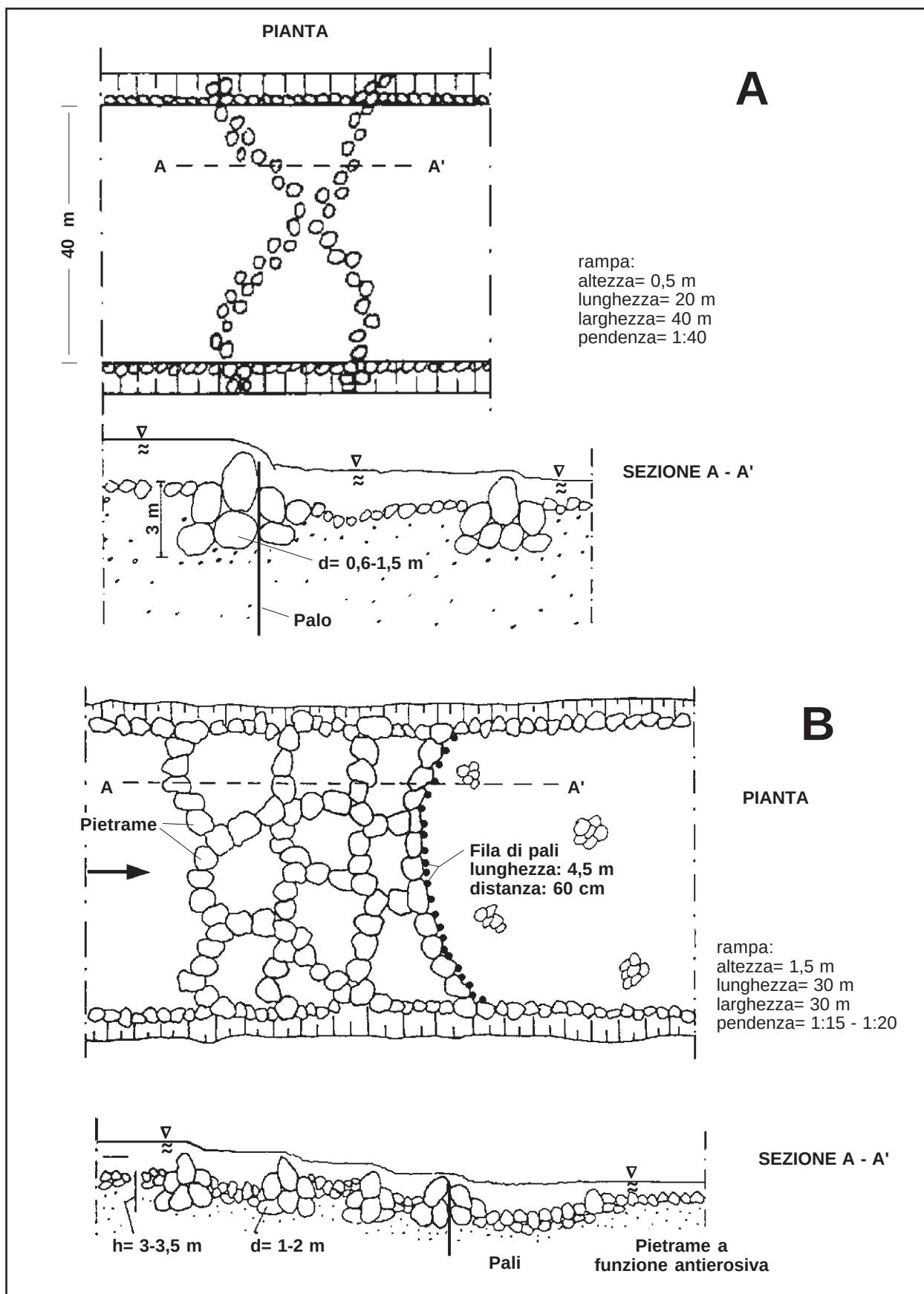


Fig. 19. Rampe in pietrame. A: a due archi contrapposti; B: a struttura reticolare [da REGIONI EMILIA-ROMAGNA e VENETO, 1993]

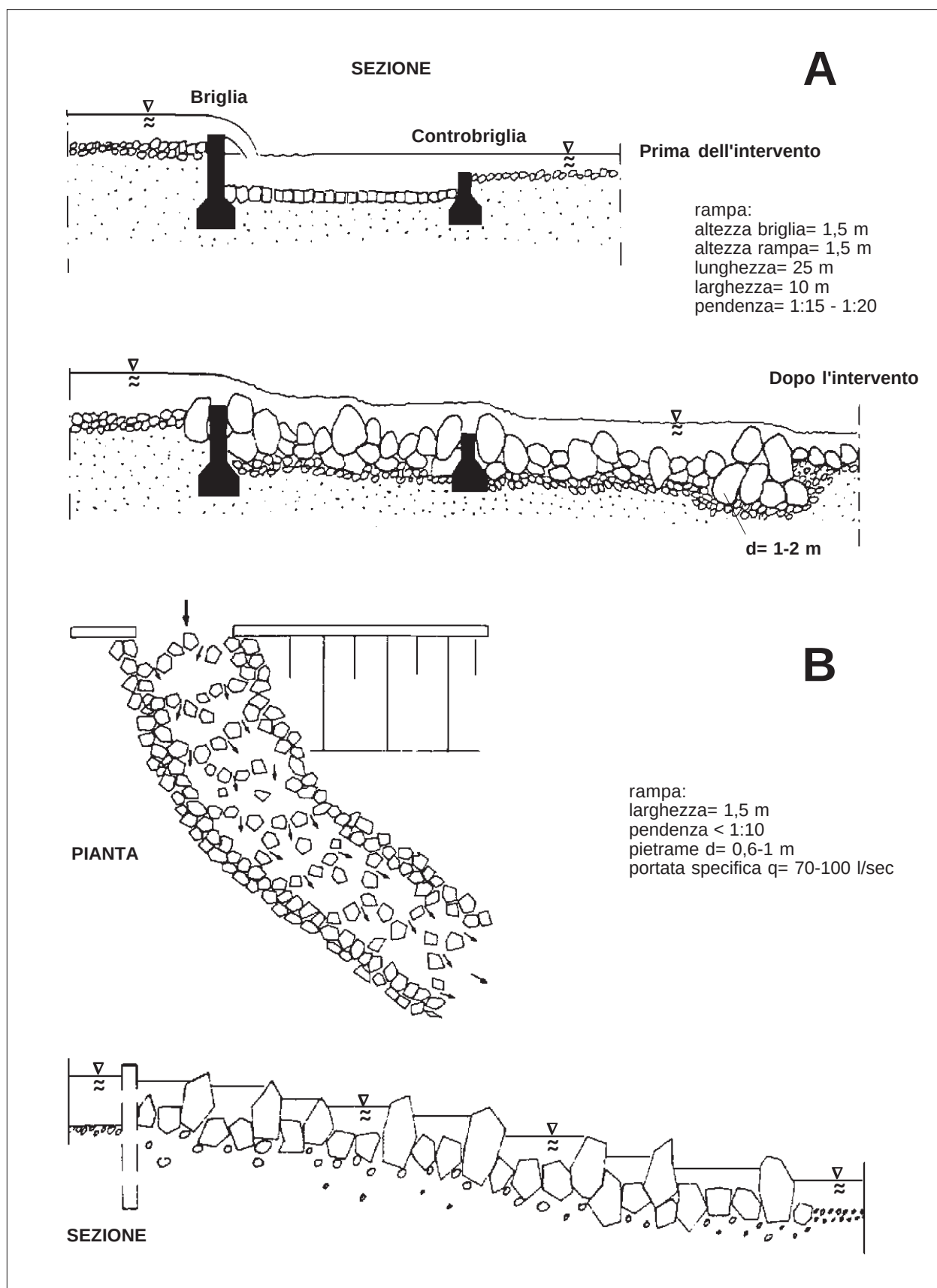


Fig. 20. Restauro ambientale di briglie esistenti. A: rampa in pietrame; B: piccola rampa di risalita in pietrame, per corsi d'acqua soggetti a lunghi periodi di magra
 [da REGIONI EMILIA-ROMAGNA e VENETO, 1993]

delle sponde ai lati delle rampe.

Nel caso di interventi su briglie già esistenti è dunque d'obbligo prendere in seria considerazione almeno un loro progressivo adeguamento strutturale; una metodologia di intervento già positivamente sperimentata consiste nel collocare pietrame a valle della briglia e nell'eventuale riduzione dell'altezza di quest'ultima, in modo da raccordare meglio il manufatto in calcestruzzo con i massi (fig. 20A).

Un'interessante variante per corsi d'acqua soggetti a lunghi periodi di magra o in corrispondenza di traverse di derivazione o d'invaso è la realizzazione di una rampa che non interessa l'intera larghezza dell'alveo (fig. 20B). Veri e propri ruscelli artificiali, laterali al corso d'acqua principale, possono consentire ai pesci il superamento di ostacoli di notevoli dimensioni, quali grandi briglie o, addirittura, dighe (REGIONI EMILIA-ROMAGNA e VENETO, 1993).

2.6 "Pulizie" dalla vegetazione

La scelta del termine "pulizia", infelice dal punto di vista linguistico (le piante non sono "sporcizia"!), è tuttavia molto illuminante poiché riflette fedelmente quella profonda ostilità nei confronti della vegetazione – frutto di un pregiudizio largamente diffuso – che è la motivazione di fondo dei frequenti tagli della vegetazione dagli alvei, dalle sponde e dalle golene. I "capi di imputazione" riguardano la resistenza opposta al deflusso delle acque e la brutta abitudine degli alberi divelti dalle piene ad ostruire la luce dei ponti stretti, provocando esondazioni.

Per esprimere un giudizio equilibrato occorre però tener conto anche dei contributi positivi della vegetazione, sia dal punto di vista naturalistico, sia da quello idraulico. Se la vegetazione forestale che ricopre i versanti svolge un insostituibile ruolo nella regolazione delle piene (fig. 21), quella fluviale consolida le sponde e, proprio offrendo resistenza alla corrente, ritarda la corruzione delle acque, attenuando così i picchi di piena.

Se è vero dunque che localmente alcune

piante possono favorire l'esondazione, è altrettanto vero che la loro azione cumulativa, estesa a tutto il reticolo idrografico, attenua il rischio idraulico e che quest'ultimo è in massima parte la diretta conseguenza dell'imprevidenza umana: costrizione dei fiumi in alvei ristretti per "guadagnare" terreno, ponti con luci inadeguate, localizzazione imprudente degli insediamenti, impermeabilizzazione del territorio, ecc.

Nell'ambito di una strategia che non subordini ad altri interessi la sicurezza idraulica – basata quindi sul miglioramento della permeabilità del territorio, sull'allungamento dei tempi di corruzione, sull'ampliamento degli alvei in larghezza anziché in altezza, sull'eliminazione delle strozzature idrauliche, sulla prudente localizzazione degli insediamenti – il mantenimento della vegetazione alveale e riparia incrementa ulteriormente la sicurezza idraulica. È solo nell'ambito della scelta di restringere gli spazi concessi al fiume che la vegetazione, da fattore di sicurezza, diventa un pericolo da rimuovere.

La vegetazione presente in alveo e sulle sponde svolge una importante funzione antierosiva (fig. 22) trattenendo con gli apparati radicali le particelle di suolo; sono state calcolate resistenze a trazione di 20-30 N/m² per le radici di alcune graminacee (BORKENSTEIN, in REG. EMILIA-ROMAGNA e VENETO, 1993), di 100-140 N/m² per arbusti e di 150-300 N/m² per la copertura diffusa di salici (FLORINETH, in REG. EMILIA-ROMAGNA e VENETO, 1993).

La copertura vegetale conferisce stabilità al terreno in maniera dinamica, in proporzione allo stadio di sviluppo raggiunto; crea habitat naturali per la fauna selvatica, fornendo luoghi di alimentazione, rifugio e riproduzione; l'ombreggiamento del corso d'acqua è utile al controllo dell'eccessivo sviluppo di altri vegetali ed ostacola il riscaldamento delle acque. A livello radicale si realizzano meccanismi di depurazione, vengono assimilati eccessi di sostanza organica e assorbiti metalli pesanti e altre sostanze chimiche.

La vegetazione, infine, non interferisce negativamente sulle relazioni intercorrenti tra il corso d'acqua e la falda freatica, contribuendo nettamente ad incrementare la diversità biologica

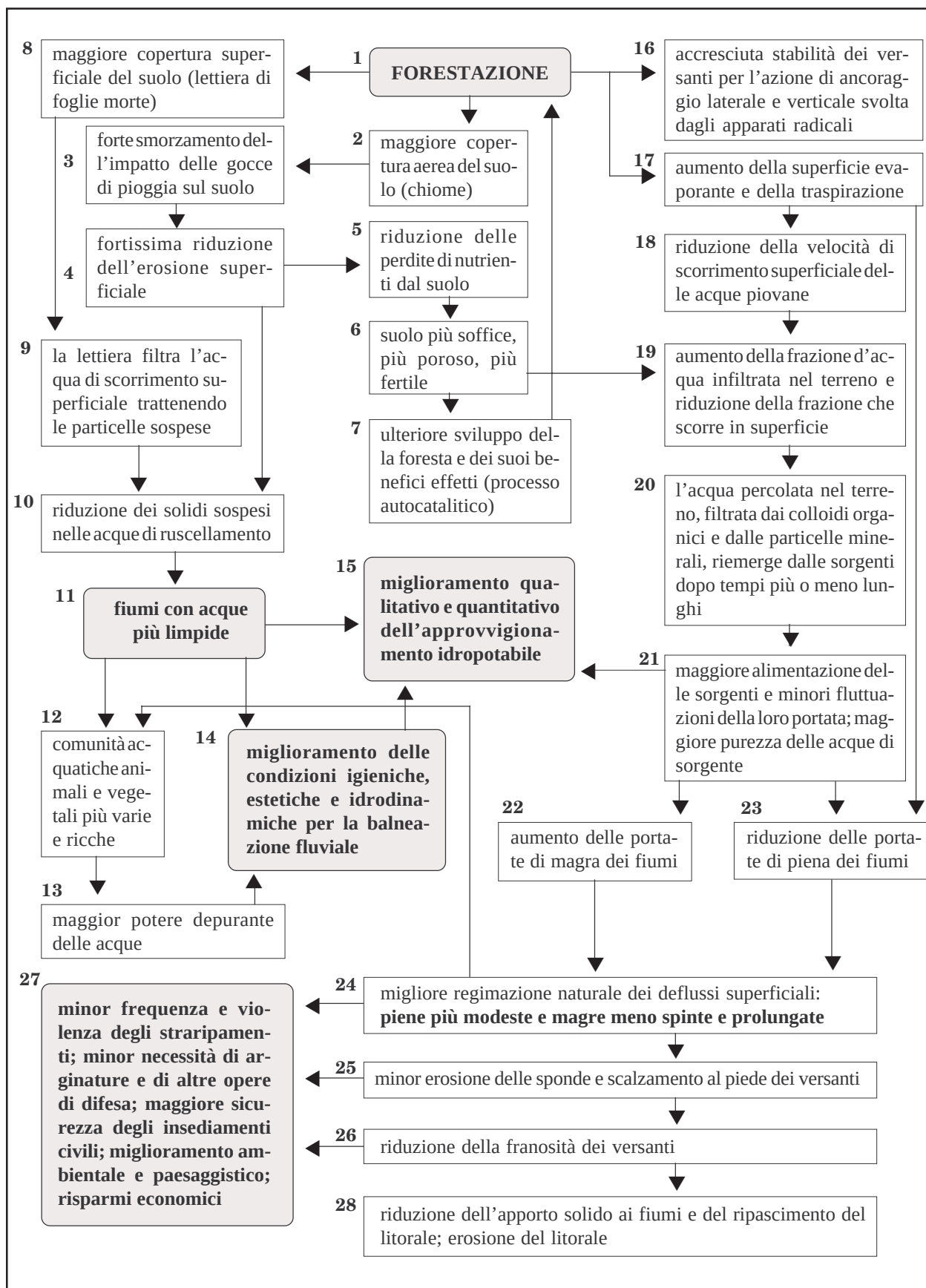


Fig. 21. Il complesso di benefici effetti della forestazione

[da SANSONI, 1993b]

–fattore di pregio e di stabilità di ogni ambiente naturale– e consente la conservazione e il miglioramento del paesaggio in senso naturalistico oltre che culturale.

Gli alberi e gli arbusti che più frequentemente colonizzano gli ambiti ripari posseggono generalmente la proprietà di sopportare forti inghiaimenti e successive erosioni conseguenti al transito delle piene. Le specie riparie dispongono di un sistema radicale profondo, elastico e resistente allo strappo, oppure di un apparato radicale compatto che consente di risanare i danni ai germogli conseguenti a sollecitazioni estreme. Molti salici ed altre latifoglie come il maggiociondolo (*Laburnum anagyroides*), il ligustro (*Ligustrum vulgare*) ed il nocciolo (*Corylus avellana*) sono spiccatamente elastiche: spinti a terra e piegati in occasione delle piene, si rigenerano con l'emissione di nuovi germogli dopo il ritiro dell'acqua.

Nonostante la sua doverosa riabilitazione, occorre prendere atto che in molte situazioni la vegetazione arborea –sia pure a causa degli errori umani– rappresenta un effettivo pericolo.

Pur ribadendo l'esigenza prioritaria di per-

seguire la sicurezza idraulica seguendo la corretta strategia sopra accennata, vi sono dunque situazioni locali in cui occorre procedere al taglio della vegetazione. Ciò non giustifica, tuttavia, tagli indiscriminati; impone, anzi, l'adozione di accorgimenti volti a minimizzare il danno ecologico.

Devono quindi essere individuate le singole piante che, rappresentando un pericolo, vanno potate o abbattute; gli alberi tagliati, inoltre (o almeno una loro consistente frazione), non vanno allontanati, ma vanno depezzati in modo da non rappresentare più un pericolo idraulico. I tronchetti vanno in parte abbandonati in piccole cataste nei terreni ripari e in parte disseminati in pieno alveo, preferibilmente incassati nel substrato ciotoloso.

In questo modo viene rimosso il pericolo idraulico, ma il materiale legnoso genera nuovi habitat e nuove reti alimentari; quello in alveo, inoltre, similmente all'introduzione di massi, diversifica anche il substrato migliorandone l'idoneità ai macroinvertebrati ed ai pesci.

Gli interventi di contenimento della vegeta-

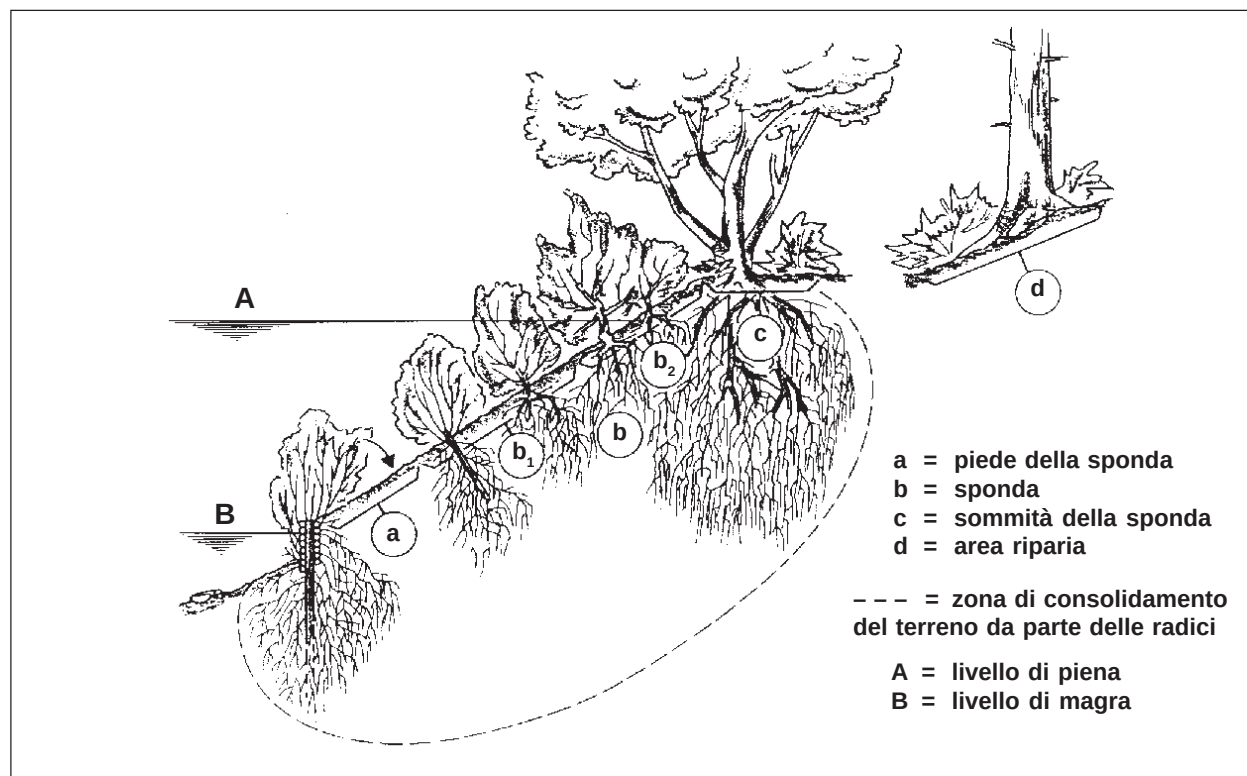


Fig. 22. Possibili applicazioni di vegetali nel consolidamento delle sponde

[da REG. EMILIA-ROMAGNA E VENETO, 1993]

zione devono essere colti anche come occasione di miglioramento delle formazioni riparie; a meno che non vi si oppongano inderogabili esigenze di sicurezza idraulica occorre quindi rilasciare – soprattutto in aree di elevato valore paesaggistico – eventuali esemplari di specie pregiate (aceri, frassini, ciliegi, ecc.) a svantaggio di specie non autoctone (es. robinia, ailanto) o autoctone ma largamente diffuse quali salici, ontani, noccioli (REG. LIGURIA, 1997).

Per analoghi motivi i tronchetti e la ramaglia delle specie esotiche invasive dotate di alta capacità vegetativa vanno rigorosamente allontanati dall'ambiente fluviale, onde evitare il rischio di radicamento e della loro diffusione. Nel caso del bacino del Magra si tratta soprattutto della robinia (*Robinia pseudoacacia*), ma anche – in minor misura – dell'ailanto (*Ailanthus altissima*), del prugnolo tardivo (*Prunus serotina*), dell'indaco bastardo (*Amorpha fruticosa*) e di altre specie, i cui residui vanno asportati ed eliminati.

Naturalmente, qualora l'eliminazione del pericolo dovesse richiedere il taglio diffuso della vegetazione, questo può essere ammesso solo in via transitoria e deve essere affiancato dalla predisposizione di un progetto di rimozione delle strozzature idrauliche e/o di ampliamento dell'alveo; quest'ultimo deve essere dimensionato "a misura d'albero", cioè sufficientemente ampio da consentire la permanenza della vegetazione arborea. In assenza di tale progetto, il taglio della vegetazione può essere ammesso solo nei tratti in cui le soluzioni alternative siano tecnicamente impraticabili (ad esempio in alcuni attraversamenti urbani).

La vegetazione arbustiva, invece, flettendosi al passaggio delle piene ed essendo di dimensioni più contenute, non corre il rischio, di norma, di ostruire la luce dei ponti. Essa, pertanto, va sempre mantenuta; in casi particolari, soprattutto nei piccoli corsi d'acqua, possono essere ammesse ceduzioni (taglio all'altezza del colletto) e potature di contenimento. Qualora l'attrito da essa generato rischi di indurre esondazioni locali, significa che le dimensioni dell'alveo sono già di per sé critiche. Anche in questo caso, anziché procedere al taglio indiscriminato della vegeta-

zione è necessario affrontare il problema alla radice procedendo ad un ampliamento dell'alveo sufficiente a garantire la sicurezza idraulica senza degradare la qualità ecologica.

2.7 Spianamento dell'alveo

Nel caso di dragaggi, risagomature, ricalibrature ed altri interventi in alveo, la consapevolezza dell'importanza ecologica della diversità ambientale dovrà far rifuggire da ogni forma geometrica e, in particolare, dallo spianamento dell'alveo.

Spesso la finalità di questi lavori è l'aumento della sezione di deflusso, per adeguarla al transito delle piene con tempi di ritorno pluridecennali o plurisecolari. Per quasi tutti i giorni dell'anno, nei lunghi periodi intercorrenti tra una piena e la successiva, la sezione risulterà quindi nettamente sovradimensionata rispetto alle portate abituali.

In tali condizioni lo spianamento dell'alveo, costringendo le acque a disperdersi su una superficie molto ampia, può determinare una profondità ed una velocità talmente ridotte da non soddisfare i requisiti minimi per le attività vitali dei pesci: frega, incubazione sosta, migrazione, alimentazione. Ancora più dannosa per i popolamenti ittici può essere la riduzione della rugosità dell'alveo che comporta la scomparsa di habitat vitali: aree di sosta, ripari dalla corrente, rifugi dai predatori. Naturalmente le condizioni più critiche si verificheranno nei periodi di basse portate; anche durante le piene, tuttavia, la mancanza di ripari dalla corrente potrebbe risultare letale per i pesci.

Si noti che la riduzione della rugosità dell'alveo non è solo quella determinata direttamente dallo spianamento dell'alveo; ad essa si aggiunge quella indotta dalla sedimentazione di materiali a minor granulometria (causata alla ridotta velocità di corrente) che tendono a colmare gli interstizi tra i ciottoli riducendo ulteriormente la diversità ambientale del substrato.

Ai danni al popolamento ittico vanno aggiunti quelli a carico dei macroinvertebrati, conseguenti alla distruzione della varietà di micro-

ambienti e all'innesco di crisi di ipossia. La maggior superficie esposta all'irraggiamento solare e il più prolungato tempo di esposizione provocherebbero il riscaldamento delle acque che, a sua volta, favorirebbe l'abnorme crescita del perifton (fino al possibile innesco di fenomeni eutrofici) e ridurrebbe il contenuto di ossigeno disciolto proprio quando gli organismi acquatici ne abbisognano maggiormente (per l'accelerazione del metabolismo indotta dall'aumento di temperatura). L'acme di questi fenomeni si verifica nelle notti estive, quando cioè viene a mancare l'apporto di ossigeno della fotosintesi e alla richiesta di ossigeno della comunità animale viene ad aggiungersi quella dell'intera comunità vegetale, abnormemente sviluppata.

La consapevolezza del complesso di conseguenze negative derivanti semplicemente da una morfologia geometrica dell'alveo impone l'adozione di accorgimenti volti ad evitarle.

2.8 Alvei a due stadi, sezione similnaturale

Le corrette modalità di intervento devono perciò mirare ad ottenere l'aumento di sezione senza ricorrere allo spianamento dell'alveo. Due esempi di soluzione sono illustrati nella fig. 23.

Le esigenze idrauliche e quelle ecologiche possono essere soddisfatte contestualmente realizzando un alveo a due stadi, in modo che le portate normali restino confinate nell'alveo originario mentre quelle di piena possano essere accolte nell'alveo più ampio e con letto più elevato, ricavato dallo scavo del piano di campagna (fig. 23D e 24). In questo modo l'alveo normale, più ristretto, previene l'eccessivo deposito di sedimenti, conserva l'eterogeneità del substrato, i ripari per pesci e la sequenza buche-raschi e fornisce habitat idonei ai pesci ed ai macroinvertebrati. Sulle banchine dell'alveo originario e/o di quello di piena può essere reimpiantata o può svilupparsi spontaneamente una vegetazione tipica delle zone umide (SHIELDS, 1982a).

Per esaltare il valore ambientale dell'alveo a due stadi occorre avere l'accortezza di lasciare

indisturbato l'alveo originario e di effettuare gli scavi alternativamente sulle due sponde (fig. 24) (WOJCIC, 1981; PAYNTING, 1982; WEEKS, 1982).

Per contenere l'eccessivo sviluppo della vegetazione alveale si può ricorrere all'impianto di alberi sul bordo dell'alveo di piena (in modo da sfruttarne l'ombreggiamento) oppure all'adozione di una sezione trasversale "autopulente", che induca cioè un aumento della velocità della corrente (RAVEN, 1986).

Qualora l'alveo sia già stato spianato in passato o si sia comunque costretti a spianarlo (ad esempio perché la presenza di edifici sulle sponde ne impedisce l'ampliamento) è necessaria l'adozione di accorgimenti volti a ripristinare condizioni ecologiche accettabili; particolarmente indicati a questo scopo sono i deflettori di corrente e l'introduzione di massi in alveo.

2.9 Deflettori di corrente

I deflettori di corrente sono uno degli accorgimenti tecnici più ampiamente impiegati per migliorare l'idoneità ambientale, soprattutto per l'ittiofauna: sono economici, di semplice costruzione, facilmente modificabili per adattarli alle condizioni del sito e possono essere realizzati in una grande varietà di materiali.

Essi possono essere finalizzati a vari scopi (WESCHE, 1985), tra i quali: indirizzare la corrente in habitat-chiave, ad esempio in ricoveri sottoponda; innescare o facilitare lo sviluppo di meandri entro gli argini dei tratti canalizzati; restringere e approfondire l'alveo; mantenere le buche, incrementando localmente la velocità della corrente; ripulire da depositi fangosi i siti ghiaiosi di ovodeposizione dei pesci e le aree critiche per la produzione dei macroinvertebrati; proteggere la sponda dall'erosione; funzionare da barriera per mantenere a valle dei deflettori, presso la riva da essi protetta, un'area con bassa velocità di corrente; stimolare la formazione di barre, incoraggiando lo sviluppo della vegetazione riparia; mantenere temperature dell'acqua più basse (incrementandone la velocità); favorire la formazione di sequenze buche-raschi. Gli effetti di maggior

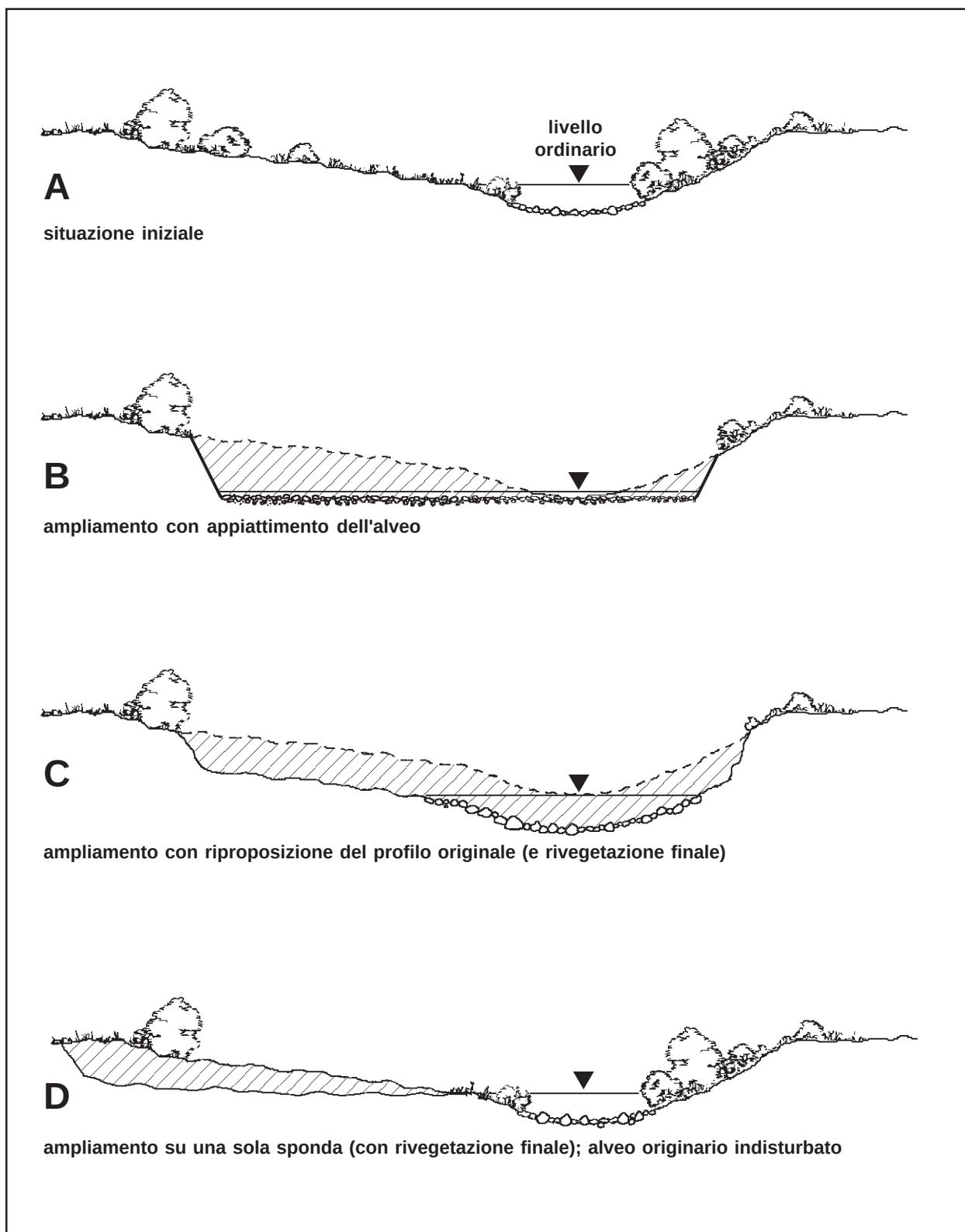


Fig. 23. Modalità di ampliamento dell'alveo ecologicamente scorrette (B) e corrette (C e D).
A: profilo trasversale originale. **B:** l'appiattimento dell'alveo induce notevoli riduzioni della profondità, della velocità della corrente, della granulometria del substrato, della diversità ambientale, della funzionalità ecologica. **C:** l'ampliamento (con rivegetazione a fine lavori) tende ad aumentare la capacità idraulica ed a consentire il ristabilirsi di equilibri biologici simili a quelli della situazione di partenza. **D:** l'ampliamento viene effettuato su una sola sponda al fine di lasciare indisturbato l'alveo e di minimizzare l'impatto ambientale. (SANSONI, 1997)

rilievo ecologico sono l'aumento locale della velocità della corrente (un processo autopulente che rimuove i depositi fini dal substrato) e la formazione di una buca a valle del deflettore, seguita a breve distanza da una barra.

La fig. 25 mostra l'impiego di deflettori in massi (di circa $0,5 \text{ m}^3$) nel recupero ambientale di un piccolo affluente rettificato del Tamigi: per conferire al filone principale della corrente un andamento sinuoso, i deflettori sono stati posizionati alternativamente sulle due sponde. La convergenza delle linee di flusso determinata dai deflettori ha prodotto, immediatamente a valle di essi, buche lunghe circa 3 m e profonde 0,75 m; a monte di essi sono stati realizzati raschi artificiali introducendo un substrato ciottoloso.

Nella fig. 26, un deflettore alare è accoppiato ad una difesa spondale sul lato opposto, realizzata in massi sciolti e seguita da un ricovero artificiale per pesci: questo, costituito da una

pensilina riparia sporgente e ricoperta di terra, fornisce un ambiente protetto dalla luce.

Nella fig. 27 è mostrato un esempio di deflettore a molo obliquo, di altezza modesta e gradatamente riducentesi verso l'estremità libera. Gli ambienti creati sono un raschio ciottoloso seguito da una buca e da una barra ciottoloso-ghiaiosa e –sul lato esterno del deflettore– sedimenti più fini coperti da acque calme e colonizzati da vegetazione acquatica.

Le forme di deflettori più comuni sono quelle allungata (a molo obliquo rispetto alla corrente) e triangolare; per evitare il danneggiamento della struttura stessa e della sponda opposta durante le piene, l'elevazione del deflettore non deve superare più di 15-30 cm il livello di magra; l'angolo del margine frontale con l'asse del corso d'acqua non deve superare di norma i 45° ; per regolare l'angolo appropriato è possibile, prima di installare la struttura definitiva, posi-

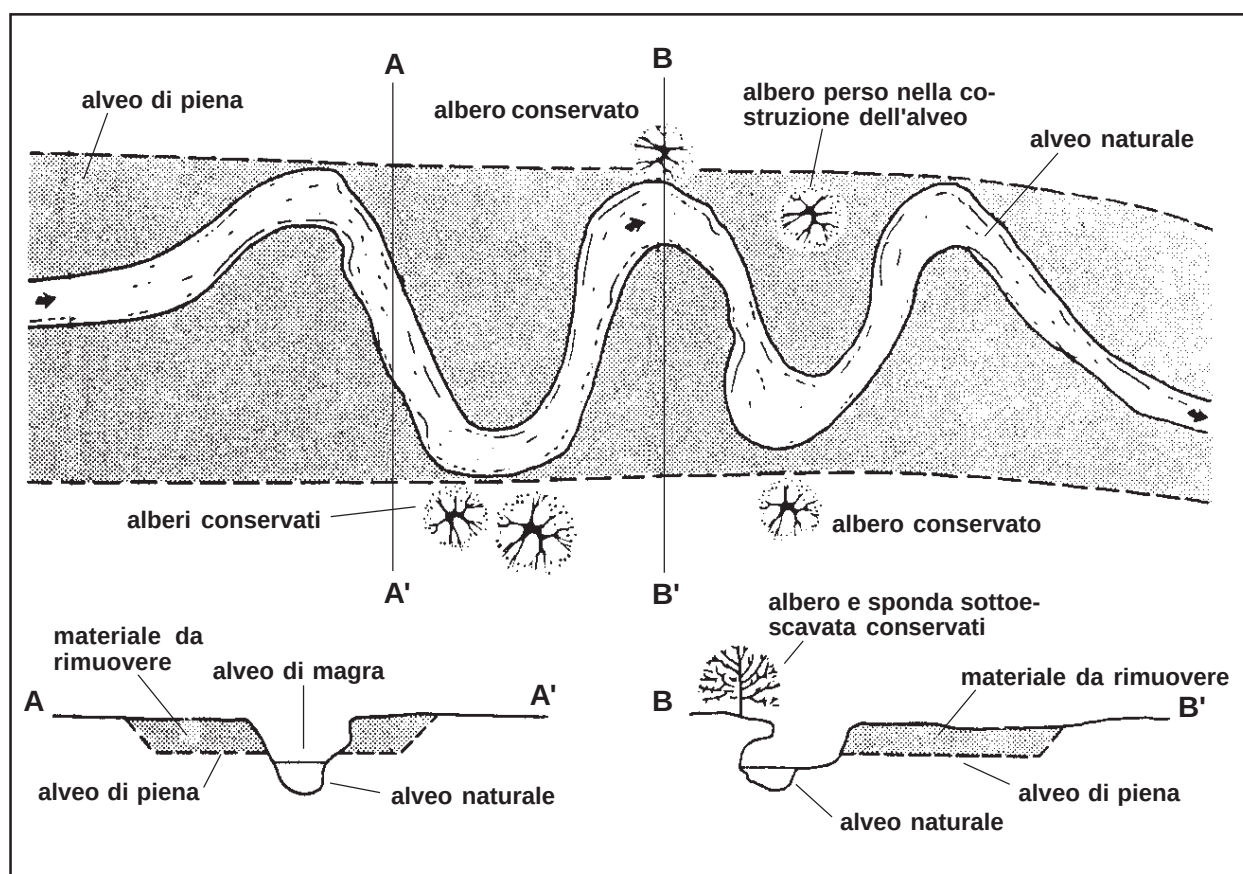


Fig. 24. Alveo a due stadi progettato per lasciare il più possibile indisturbato l'alveo originario (River Roding, England)
[da KELLER e BROOKES, 1984 (in BROOKES, 1988)]

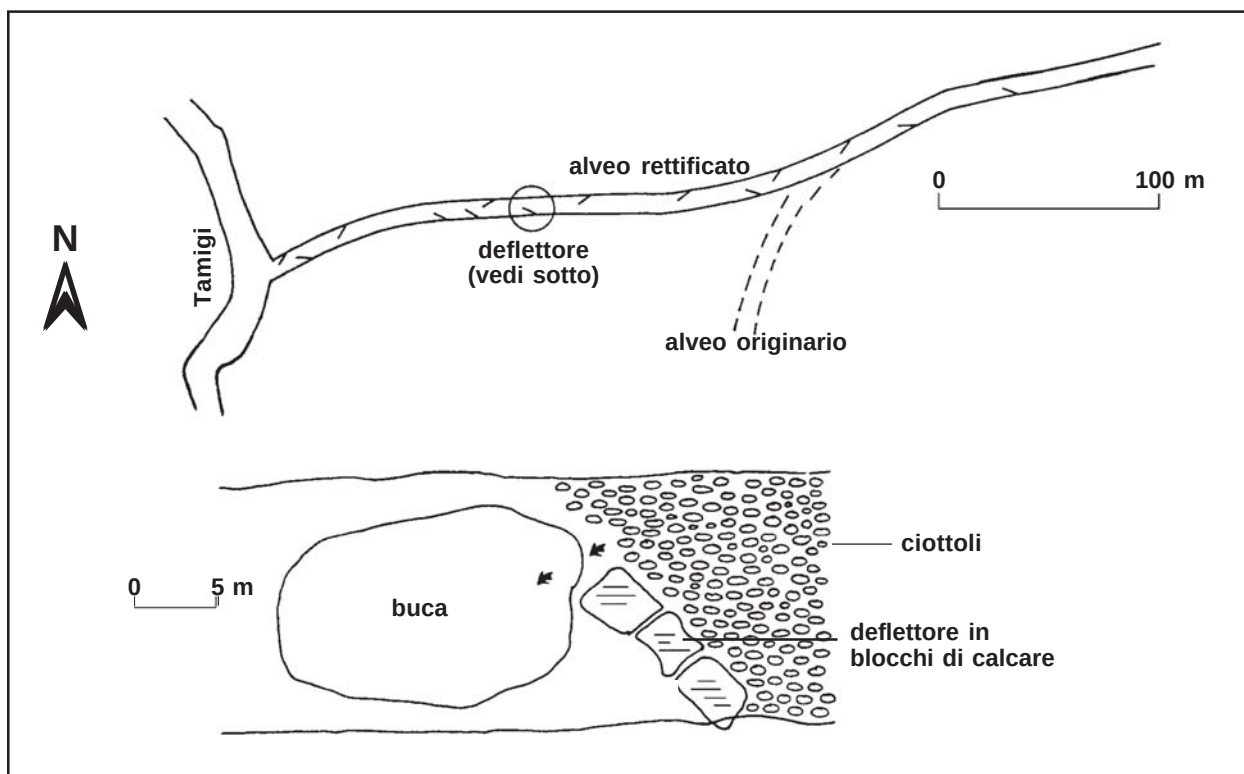


Fig. 25. Scotsgrove Brook, Oxfordshire: uso di deflettori in massi, alternati su sponde opposte, e di substrato ciottoloso nel restauro di un tratto rettificato [da BROOKES, 1992]

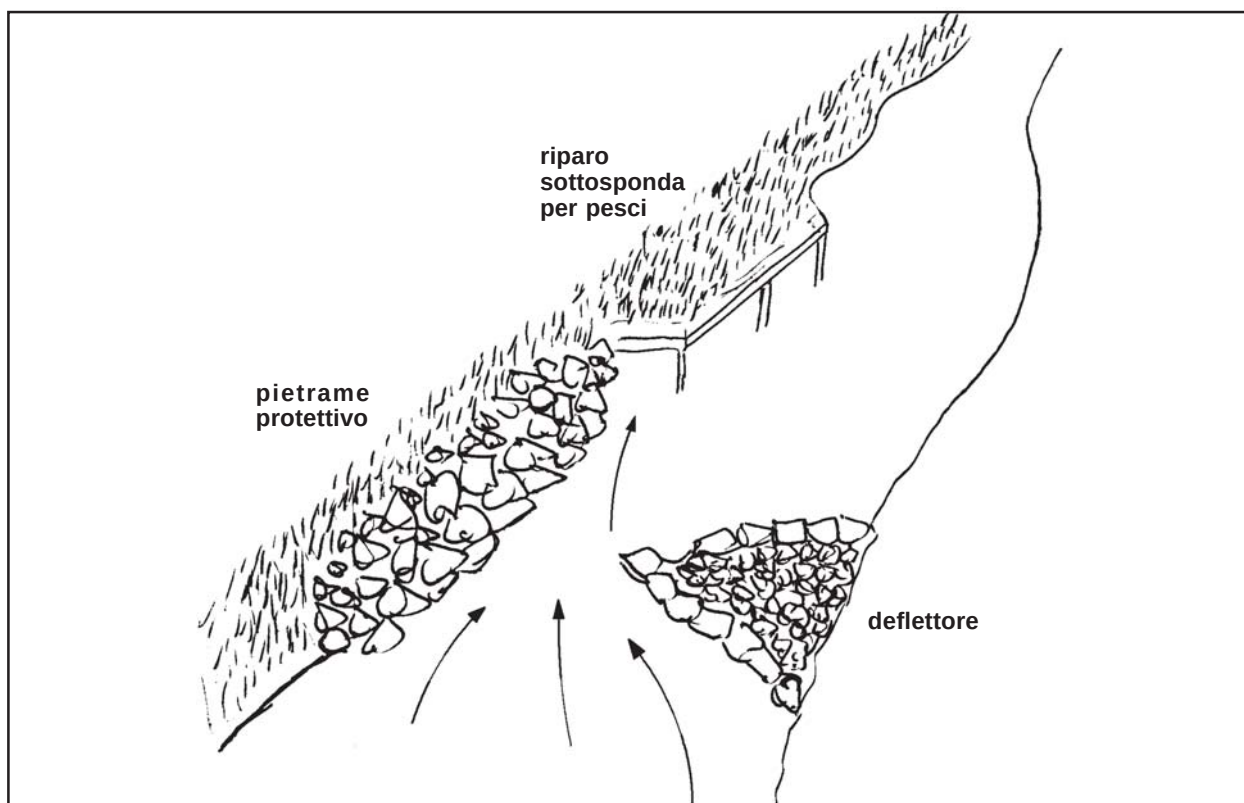


Fig. 26. Deflettore alare accoppiato ad una difesa in pietrame della sponda opposta, seguita da un ricovero artificiale per pesci [disegno originale, ispirato ad una foto di WESCHE, 1985]

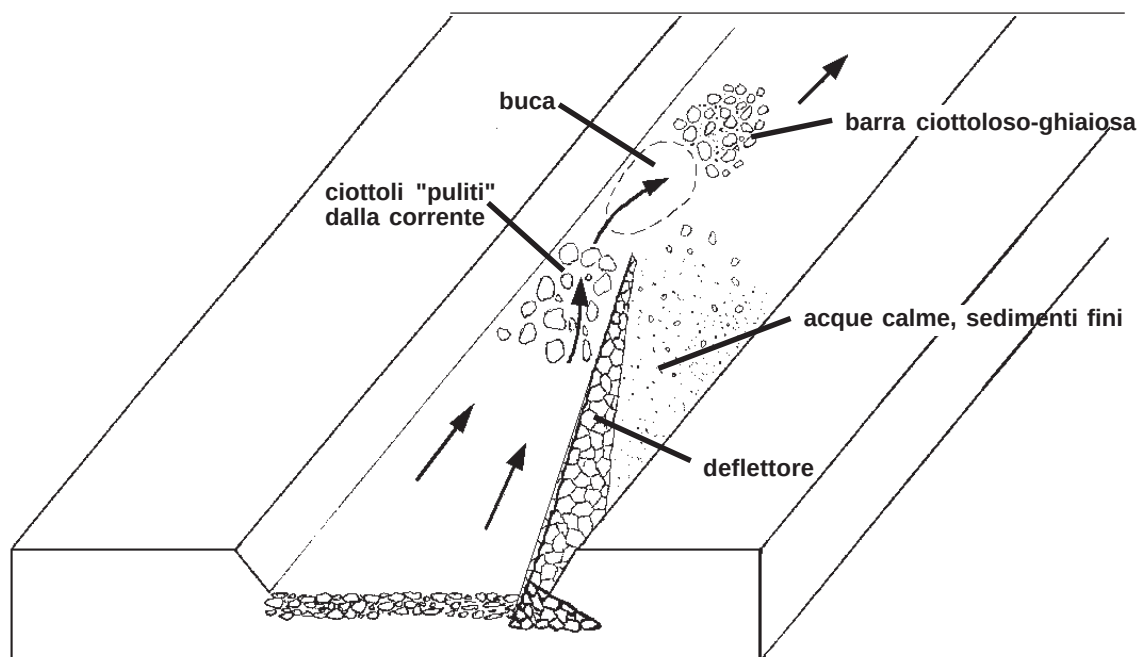


Fig. 27. Deflettore a molo sommersibile dalle piene: la sporgenza dall'alveo diminuisce progressivamente dalla radice (ben immersata nella sponda) all'estremità libera. (SANSONI, 1997)

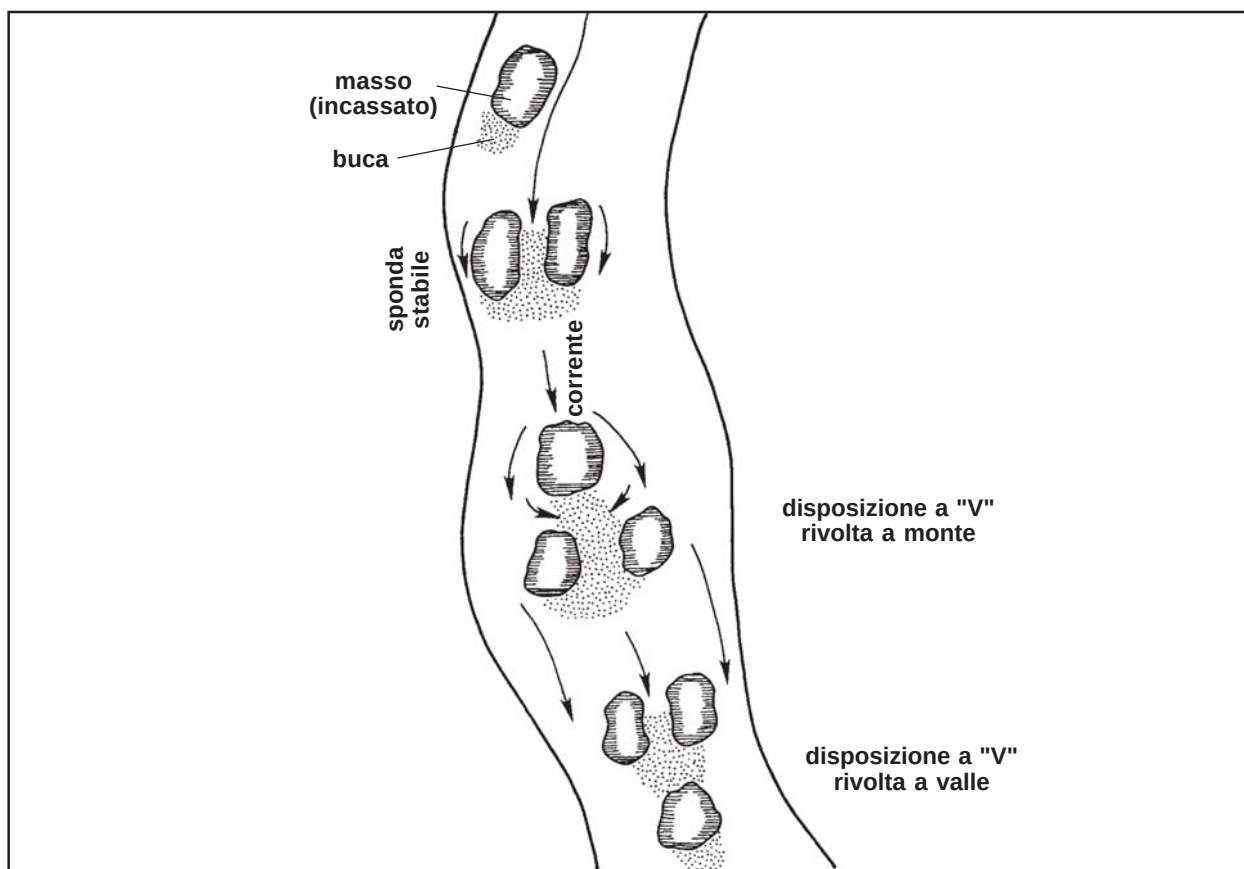


Fig. 28. Massi collocati in alveo: alcune disposizioni

[da WESCHE, 1985]

zionare deflettori provvisori e mobili, costituiti da tavole incernierate e da sacchi di sabbia.

L'uso dei deflettori è particolarmente indicato nelle sezioni più larghe, meno profonde e con debole pendenza, prive di buche e di ripari per pesci; sono da evitare i tratti con sponde alte, ripide, soggette ad erosione; se la sponda esterna è stabile, un deflettore posizionato sulla sponda interna di un'ansa può migliorare la buca marginale (SEEHORN, 1982); sono da evitare installazioni in tratti con pendenza superiore al 3%, a meno che non si realizzino deflettori più bassi, tarati per le portate di magra (US FOREST SERVICE, 1969); è sempre buona norma prudenziale realizzare deflettori bassi, funzionanti nei periodi di magra e di morbida, ma ampiamente sommergibili dalle piene; nei tratti rettilinei, deflettori alterni sulle sponde opposte, distanziati 5-7 volte la larghezza dell'alveo, inducono un andamento sinuoso naturale della corrente (NELSON et al, 1978); evitare i tratti con elevato trasporto di detriti poiché possono verificarsi occlusioni; la sponda opposta al deflettore deve essere stabile altrimenti, se ne è necessaria la protezione, va stabilizzata (CLAIRE, 1980); per esaltare la qualità dell'habitat, sul margine di valle del deflettore possono essere ancorati arbusti o sporgenze artificiali (es. lamie ondulate poste orizzontalmente, ottimi ripari coperti per pesci).

I deflettori di corrente e l'introduzione in alveo di massi e di ripari per pesci sono i dispositivi di miglioramento dell'habitat d'elezione da realizzare nei tratti fluviali canalizzati di attraversamento dei centri urbani, dove gli insediamenti sulle sponde rendono improponibile l'ampliamento e la rinaturazione dell'alveo.

2.10 Introduzione di massi in alveo

L'introduzione in alveo di massi, singoli o in gruppi, è uno dei metodi più semplici e più largamente applicati per il miglioramento dell'habitat in corsi d'acqua di ogni dimensione; ad essa si può ricorrere avendo in mente uno o più dei seguenti obiettivi: fornire ai pesci ricoveri ed habitat addizionali; aumentare il rapporto buche/

raschi, (creando nuove buche); ricreare meandri e buche nei tratti canalizzati; proteggere le sponde dall'erosione (deviando la corrente); mitigare l'uniformità di alvei piatti.

La fig. 28 mostra alcune delle possibili disposizioni dei massi nell'alveo; a valle dei massi e nei punti di convergenza del flusso il substrato viene "spazzato" dalla corrente e si forma una buca che, protetta dal masso stesso, costituirà, in occasioni delle piene, un prezioso riparo dalla corrente.

Sebbene la letteratura che documenta il recupero biologico dei corsi d'acqua così trattati non sia abbondante, nella grande maggioranza dei casi si registra un netto successo (WESCHE, 1985). La scelta della disposizione dei massi – singoli o in gruppi, casuale o selettiva – dipende soprattutto dal giudizio del progettista biologo, dalle dimensioni del corso d'acqua e dal numero, dimensione e disposizione dei massi naturali nel tratto considerato.

Sebbene, a differenza di altri dispositivi, la scelta del sito e le modalità tecniche di installazione non siano critiche, si riportano alcuni consigli utili: la collocazione dei massi va eseguita nei periodi di magra, onde assicurare meglio la disposizione voluta e facilitare il movimento dei mezzi meccanici; le dimensioni dei massi dipendono dalla dimensione del corso d'acqua, dall'andamento delle portate e dalla stabilità dell'alveo; i diametri raccomandati sono 0,6-1,5 m (CLAIRE, 1980), 1,5 m (KANALY, 1971) e 1-1,3 m (US BUREAU OF LAND MANAGEMENT, 1968); sono preferibili rocce dure; la stabilità dei massi può essere grandemente accresciuta incassandoli leggermente nel fondo; il posizionamento presso le rive richiede molta cautela qualora occorra evitarne l'erosione; l'effetto più spiccato sulle popolazioni ittiche si ottiene in corsi d'acqua in cui meno del 20% della superficie è rappresentata da buche; i costi si riducono notevolmente se sono disponibili in loco massi naturali; per non danneggiare l'alveo, i mezzi meccanici devono essere gommati.

Nei corsi d'acqua più grandi, inaccessibili ai mezzi pesanti, possono essere realizzati "massi artificiali" in gabbioni che offrono alla corrente

una rampa ascendente e favoriscono, a valle, la formazione di una buca seguita da una barra (fig. 29). Si notino, nella figura, lo strato impermeabilizzante di gomma e la sporgenza artificiale (es. lamiera) che fornisce un ottimo riparo ai pesci; la barra ghiaiosa a valle della buca è un eccellente sito per l'ovodeposizione. La struttura è piuttosto costosa (almeno 8 ore lavorative) e deve essere saldamente ancorata al fondo con pioli metallici.

2.11 Ricoveri per pesci

Un altro dispositivo adottabile negli alvei piatti, al fine di aumentarne l'idoneità ambientale

per l'ittiofauna, è l'introduzione di ricoveri per pesci, sia in pieno alveo che sottosponda. Il valore ambientale dei ricoveri sottosponda, quali sponde sottoescavate, radici arboree sommerse, tronchi caduti in acqua, è ampiamente documentato nella letteratura. La fig. 26 mostra un ricovero artificiale costituito da una pensilina in tavole di legno, sporgente sull'acqua e ricoperta da ciottoli e terra. Analoghi ricoveri, come strutture a sé stanti o realizzati nel corpo dei deflettori, sono mostrati nella fig. 30. Se la profondità lo consente, la pensilina emersa in legno può essere sostituita da lastre in lamiera o in fibra di vetro, messe in opera in regime di magra e in modo tale da restare permanentemente sommerse. Diversi massi sistemati sotto la lastra consolidano la struttura,

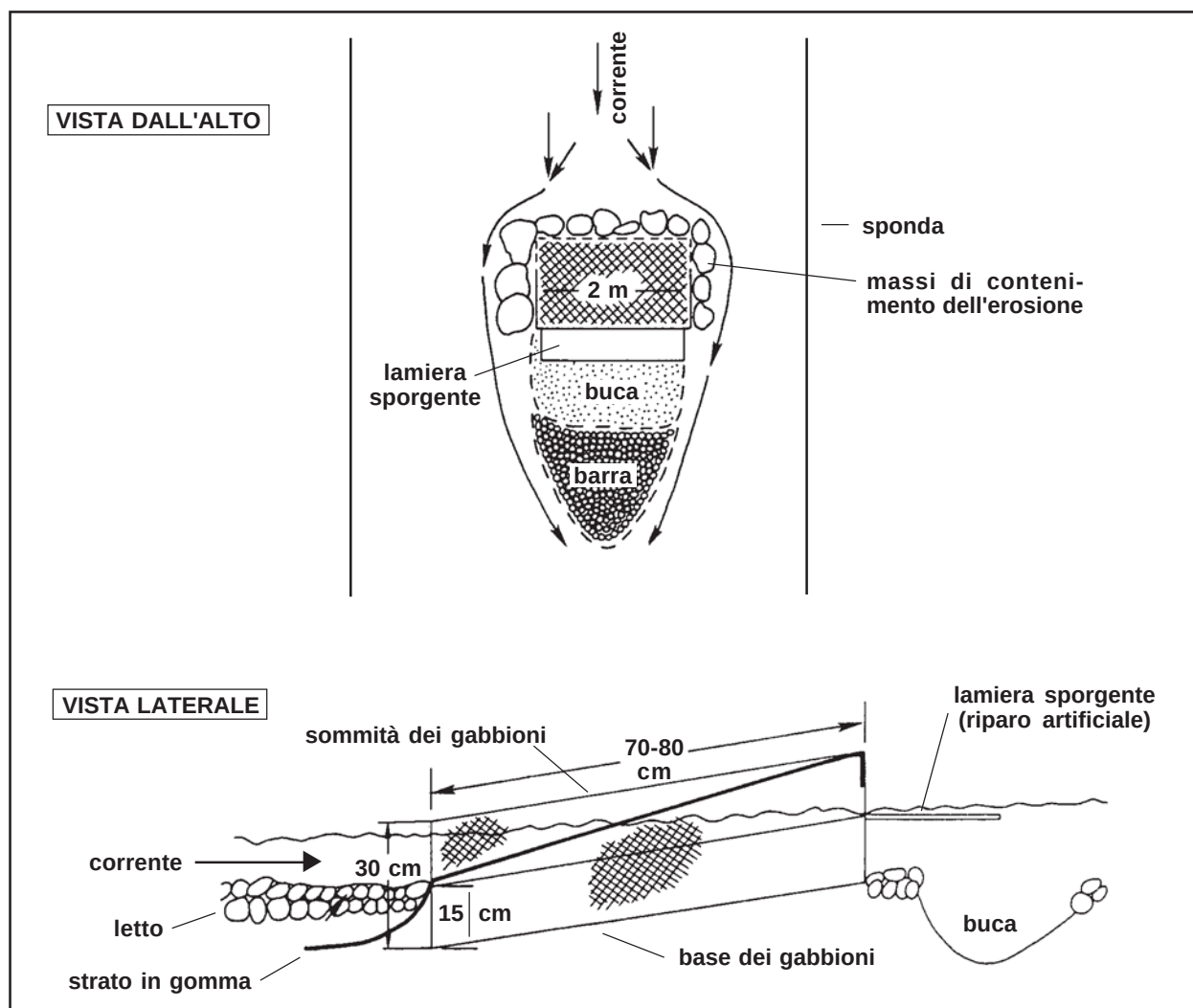


Fig. 29. Dettagli costruttivi di un masso artificiale in gabbioni

[da WESCHE, 1985]

migliorano il ricovero e proteggono la sponda dall'erosione.

Ricoveri in lamiera ondulata possono essere installati anche in sponde già difese da gabbionate, onde mitigarne l'impatto sulla ittiofauna (fig. 30E). Anche strutture flottanti (ben ancorate con cavi al substrato) che seguano le variazioni del livello idrico, possono rappresentare buoni ricoveri per l'ittiofauna (COOPER e WESCHE, 1976; WHITE, 1968). Un'analoga funzione di ricovero per pesci, oltretutto di consolidamento delle sponde, è svolta da due altri semplici dispositivi: cumuli di massi e alberi frondosi o arbusti abbattuti e saldamente ancorati (fig. 31). Gli alberi,

preferibilmente a chioma folta, vengono sistemati in serie, con la base sulla sponda, inclinati verso valle e parzialmente sovrapposti; i ceppi vengono legati con robusti cavi metallici ad ancoraggi arretrati di almeno 1,5 m dalla sponda. La velocità della corrente viene sensibilmente ridotta e sedimentano materiali fini che favoriscono l'insediamento della vegetazione naturale. Alberi frondosi possono essere impiegati con successo anche per migliorare l'habitat in corsi d'acqua fortemente artificializzati (fig. 32).

L'introduzione in alveo di rami di salice intrecciati è applicata da tempo con notevole successo per aumentare il numero e la biomassa

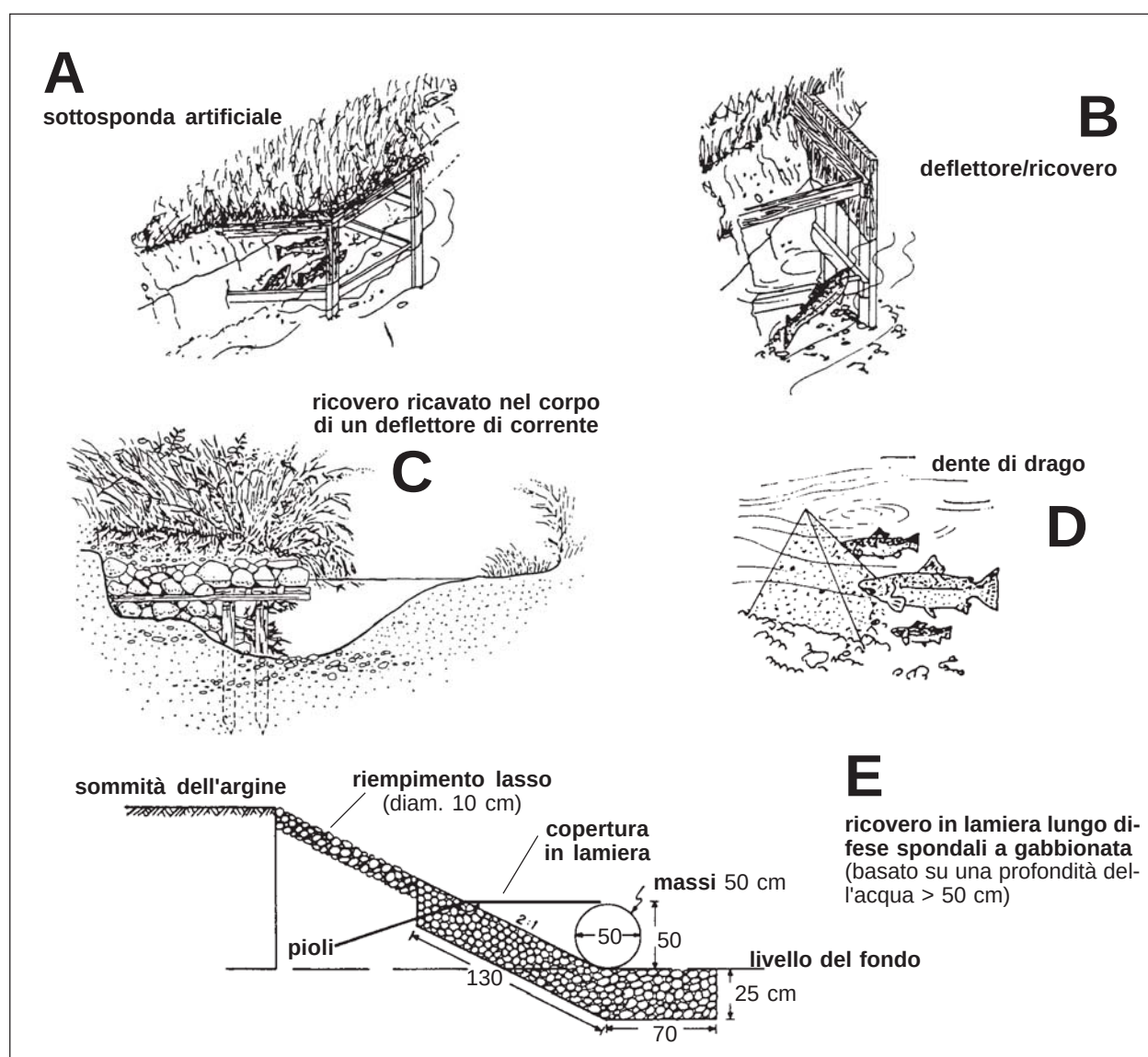


Fig. 30. Ricoveri artificiali per pesci. [A, B e D da ARRIGNON, 1976; C da WHITE, 1968 (in BROOKES, 1988); E da WESCHE, 1985]

delle trote (BOUSSU, 1954).

Ricoveri sottosponda possono essere ottenuti anche con pietrame grossolano (10-80 cm) lungo le sponde, disposto alla rinfusa in modo che

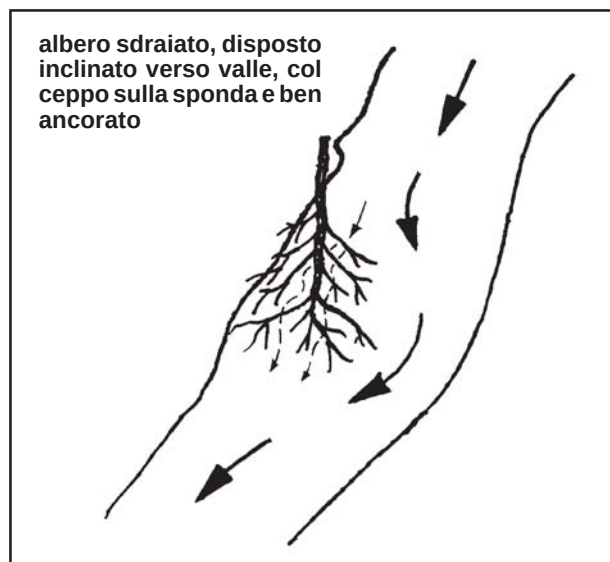


Fig. 31. Miglioramento dell'habitat con alberi sdraiati in alveo. [da SANSONI, 1993, ispirato ad una foto di GORE, 1985]

tra i massi restino cavità; il miglioramento ambientale per l'ittiofauna viene esaltato ponendo in pieno alveo anche qualche masso ciclopico per stimolare la formazione di buche. Usando l'accortezza di lasciare cavità entro i dispositivi posti in alveo (deflettori, pennelli, gabbionate, ecc.) si ottengono ricoveri per pesci senza costi aggiuntivi (BROOKES, 1988).

2.12 Buche e raschi

Le popolazioni di salmonidi sono strettamente correlate alla densità delle sequenze buche/raschi (LUND, 1976); le prime forniscono ricoveri, i secondi aree di alimentazione. Sequenze buche/raschi possono essere ottenute disponendo opportunamente diversi dei dispositivi già visti (deflettori, briglie a basso profilo, massi, ecc.).

I raschi (*riffle*) sono situati in tratti rettilinei dei corsi d'acqua e sono caratterizzati da un

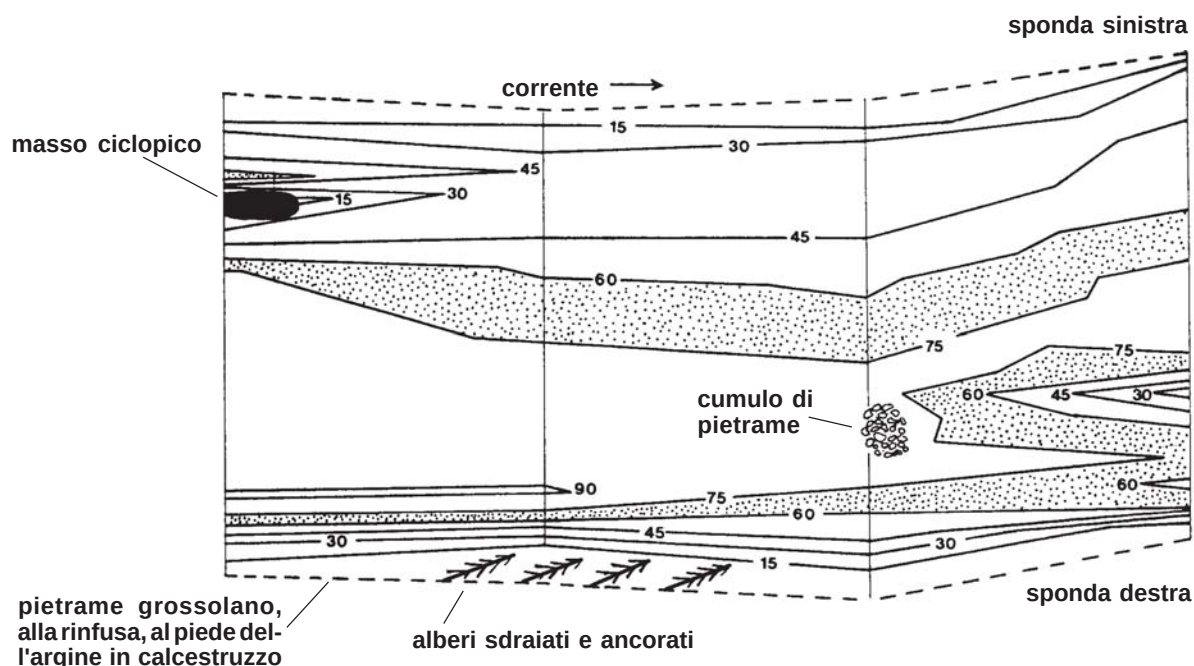


Fig. 32. Miglioramento dell'habitat con alberi sdraiati in alveo, impiegati in combinazione con altri dispositivi. Mappa delle iso-velocità (in cm/s) nel Tongue River (Wyoming), in precedenza rettificato e arginato con scivoli in calcestruzzo. In punteggiato, le aree che hanno riacquisito una velocità ottimale per i macroinvertebrati, a seguito dell'introduzione in alveo dei dispositivi di recupero ambientale. [da GORE, 1985b]

fondo relativamente più elevato e costituito da materiali di granulometria grossolana: l'acqua è costretta a scorrere con profondità ridotta, velocità moderata ed elevata turbolenza. Le buche (*pool*), situate di norma sul lato esterno delle curve o a valle di cascatelle, sono invece caratterizzate da una maggiore profondità e da una minore granulometria. Altri elementi morfologici di rilievo sono i correntini (*run*) con caratteristiche intermedie tra buche e raschi: il fondale è piuttosto grossolano, ma la maggiore profondità rispetto ai raschi fa sì che, nonostante la discreta velocità, non si verifichi turbolenza e la superficie dell'acqua risulti liscia o appena increspata.

Il criterio principale per valutare l'opportunità di questo intervento è la capacità del corso d'acqua di supportare le popolazioni ittiche; buche e raschi non vanno realizzati in corsi d'acqua temporanei, in alvei con pendenza elevata, dove vi è un trasporto solido elevato e dove le sponde sono instabili o il substrato è troppo grossolano per venire rimodellato nelle attuali condizioni idrologiche (NUNNALLY et SHIELDS, 1985).

Negli alvei cementificati, la spaziatura di buche e raschi non è critica, mentre in quelli non cementificati la spaziatura ottimale può essere desunta dai corsi d'acqua vicini aventi caratteristiche simili o da altri tratti del corso d'acqua stesso. In generale, una spaziatura di 5-7 volte la larghezza dell'alveo è sufficiente a simulare le condizioni naturali (STUART, 1959; KELLER, 1975 e 1978); è consigliabile, tuttavia, evitare spaziature regolari.

Le dimensioni delle buche e dei raschi non sono critiche; tuttavia buche troppo larghe, troppo profonde o eccessivamente lunghe, tendono a colmarsi di sedimenti e richiedono manutenzione; l'esperienza mostra che le buche devono avere una profondità minima di 30 cm in condizioni di magra e i raschi non devono sollevarsi dal fondo più di 30-50 cm; singole buche o raschi devono essere lunghi 1-3 volte la larghezza dell'alveo.

Buche e raschi non possono certo automantenersi con le piene normali (1-2 anni) in alvei dimensionati per contenere la portata della piena centenaria; in questo caso è raccomandabile rea-

lizzare un alveo a due stadi, scavando entro l'alveo di piena un alveo pilota mantenibile dalle piene con tempo di ritorno di due anni; questo alveo pilota può mantenere buche e raschi nelle condizioni idrologiche normali; l'alveo di piena va rinverdito (KELLER, 1975).

Un altro metodo per ottenere sequenze buche/raschi sfruttando i processi idrodinamici naturali, consiste nel variare la pendenza delle sponde, alternando tratti con pendenza 2/1 (base/altezza) su entrambe le sponde -progettati per far divergere la corrente- a tratti con pendenza 2/1 su una sponda e 3/1 su quella opposta; già dopo la prima piena si forma una barra sulla sponda meno inclinata, mentre l'asimmetria della sezione fa convergere la corrente verso la sponda opposta, causando la formazione di una buca (KELLER, 1978).

2.13 Ponti e attraversamenti

La deprecabile consuetudine di adottare poco lungimiranti criteri di "risparmio" nella costruzione dei ponti è una delle più diffuse cause di rischio idraulico e di danno economico a medio e a lungo termine. Ponti stretti, senza adeguati franchi o con piloni in alveo sono infatti il tipo più frequente di strozzature idrauliche e la causa primaria che trasforma la vegetazione da fattore di sicurezza in fonte di pericolo idraulico. Ogni nuovo ponte deve quindi essere realizzato a campata unica, opportunamente sovradimensionata in altezza e in larghezza. La graduale sostituzione o adeguamento dei ponti esistenti richiederà un impegno economico gravoso, ma ineludibile.

Tipologie particolari di attraversamento nei tratti collinari e montani sono rappresentate dalle piste di esbosco e dalle strade di servizio agricolo-forestale.

Le *piste di esbosco* sono percorsi a carattere temporaneo, a fondo naturale appena sistemato (con o senza sciacqui trasversali ma senza opere d'arte), percorribili da veicoli cingolati o gommati fuoristrada.

Tenuto conto che la viabilità rappresenta

sempre una via preferenziale di concentramento delle acque piovane con frequente innesco di fenomeni di dissesto, al fine di contenere i rischi connessi è essenziale assicurarsi che, a conclusione delle operazioni di smacchio, le piste di esbosco vengano smantellate procedendo al ripristino dei luoghi.

Gli attraversamenti di impluvi e corsi d'acqua minori devono essere realizzati con guado a raso o, se necessario, con traverse tracimabili in massi. Eccezionalmente (in caso di alveo incassato) è ammessa la posa in opera di tubo di lamiera sagomata di dimensioni idonee a garantire lo smaltimento delle acque; in fase di ripristino devono essere rimossi il tubo e la traversa al fine di ricostituire la sezione originaria.

Le *strade di servizio agricolo-forestale* hanno invece carattere definitivo e sono realizzate con movimenti di terra (anche di rilevante entità), massicciata con copertura naturale o artificiale e opere d'arte. Lungo il loro intero percorso si deve porre la massima attenzione alla regimazione e allo smaltimento delle acque superficiali in impluvi in cui verificare sezione e profilo in funzione di possibili fenomeni di erosione e dissesto.

Gli attraversamenti devono essere realizzati con guado a raso stabilizzato con massi (e eventuale calcestruzzo) e, se necessario, con traverse tracimabili (altezza massima 1 m) provviste a valle di rampe in massi; su alvei incisi, esclusivamente con ponti a campata unica.

Cap. 3

Indicazioni pratiche per gli interventi su fossi e canali

I fossi, nonostante l'origine artificiale di molti di essi, ospitano una ricca comunità animale e vegetale, particolarmente preziosa se si considera che le nostre pianure costiere sono state drammaticamente impoverite dal punto di vista naturalistico a seguito delle grandi opere di bonifica e che buona parte delle specie tipiche delle zone umide è stata costretta a rifugiarsi nei pochi habitat relitti e nei fossi. È dunque necessario adottare metodi costruttivi e manutentivi che ne rispettino o ne ripristinino il valore naturalistico.

Troppo spesso, per la mancata consapevolezza di questo valore, la manutenzione dei fossi mira unicamente a garantire un buon drenaggio: l'impatto ambientale connesso all'alveo uniforme e all'uso di mezzi meccanici viene perpetuato dai lavori di manutenzione; ogni asperità, ogni piccola curva vengono eliminate; i fossi vengono "tenuti al loro posto"; si lavora contro di essi anziché con essi; le sponde, non consolidate dalla vegetazione, diventano facilmente erodibili; la qualità delle acque e la qualità biologica dei fossi diventano scadenti.

In altri paesi europei sono state elaborate direttive e normative specifiche e avviate iniziative per una gestione "rispettosa" dei fossi, ruscelli, canali e, più in generale, dei piccoli corsi d'acqua (NEWBOLD *et al.*, 1989; DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1995; HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND REAKTORSICHERHEIT, 1987). Particolarmente prodighi di accorgimenti tecnici, dai quali si è largamente attinto per la redazione delle presenti indicazioni, sono:

- il *Consiglio per la Conservazione della Natura* e l'*Associazione dei Consorzi di bonifica* inglesi: si tratta di consigli scaturiti dalla stretta collaborazione tra naturalisti e ingegneri

idraulici, esplicitamente concepiti per garantire sia un buon drenaggio delle acque che una buona qualità ecologica;

- il *Ministero dell'Ambiente e dell'Energia danese*: in Danimarca la sperimentazione di metodi rispettosi di manutenzione dei fossi e degli altri corsi d'acqua ha dato risultati così soddisfacenti che, per estenderli all'intero territorio nazionale, è stata promulgata nel 1982 un'apposita legge (Watercourse Act).

In sintesi, i nuovi orientamenti prevedono: l'abbandono dei dragaggi; uno sfalcio della vege-



Fig. 33. Un fosso ben mantenuto non ha un aspetto "curato", ma "trasandato". [da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

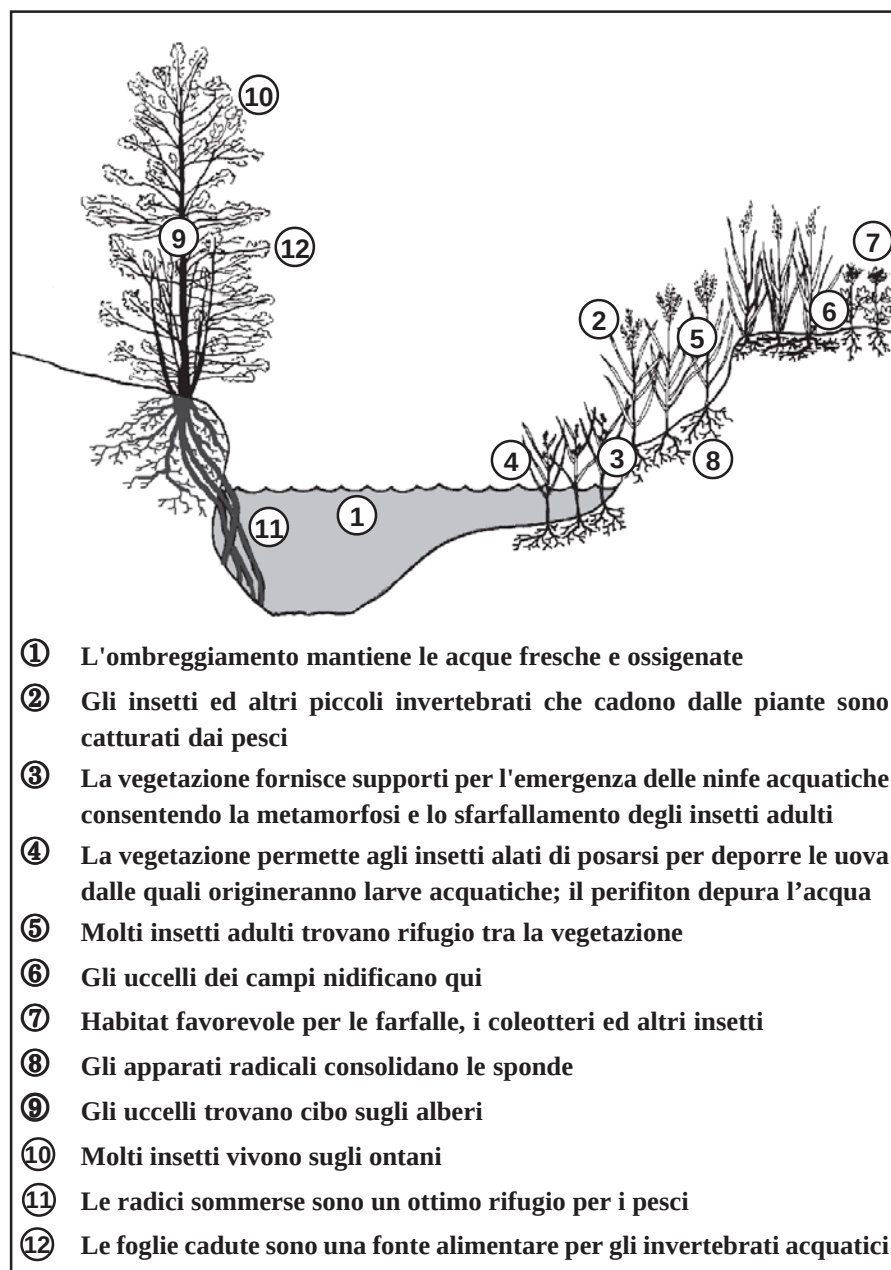


Fig. 34. La vegetazione riparia è di vitale importanza per la qualità ecologica dei corsi d'acqua.
[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

tazione rispettoso, che conservi al contempo il potere autodepurante, i rifugi per pesci, gli habitat per gli insetti; la conservazione delle bordure vegetali sulle rive (in quanto non rappresentano un ostacolo reale al drenaggio e proteggono le sponde dall'erosione); il letto non deve essere uniforme e limoso, ma diversificato (con limo, sabbia, ghiaia, ciottoli); il percorso non deve essere rettilineo, ma sinuoso; la profondità deve essere discreta e variare lungo il percorso; l'aspetto di un fosso ben tenuto non è più quello "liscio e

ben ordinato", ma piuttosto quello "trasandato" dei ruscelli naturali (fig. 33).

Anche nei fossi la vegetazione acquatica e quella riparia rivestono un ruolo di primaria importanza per la funzionalità ecologica (fig. 34): oltre a migliorare in modo determinante la qualità paesaggistica, forniscono habitat ad una moltitudine di invertebrati e vertebrati arricchendo l'ambiente di libellule, farfalle e altri animali che conferiscono ai fossi il loro fascino; gli alberi consolidano le sponde; il loro ombreggiamento è

Tab. 4. L'ombreggiamento da parte della vegetazione erbacea e arbustiva riparia può essere sfruttato per contenere la crescita della vegetazione acquatica (Haverslev, Danimarca). [da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

	20.08.91 Sfalcio della vegetazione riparia		17.08.92 Nessuno sfalcio della vegetazione riparia	
	Peso umido	Peso secco	Peso umido	Peso secco
Macrofite acquatiche	6,97 kg	679,5 g	2,63 kg	224,0 g
Alghe filamentose	0,07 kg	4,7 g	0	0
Totale	7,04 kg	684,2 g	2,63 kg	224,0 g
Erbe/m ²	0,37 kg	36,4 g	0,14 kg	11,9 g

Tab. 5. Biomassa sommersa di *Ranunculus peltatus* e *Sparganium emersum* rispetto alla luminosità disponibile alla superficie del Gjærn, Danimarca. Altre specie occasionali sono state incluse nei totali. [da Dawson, Kern-Hansen, 1979 (in BROOKES, 1988)]

Sito	Luminosità (unità relative)	Biomassa massima (g/m ² peso secco)					
		1977			1978		
		Ranunc.	Sparg.	Totale	Ranunc.	Sparg.	Totale
1. argini scoperti pascolati	1,00	249	12	271	123	20	219
2. argine sud ombreggiato (poco sporgente sull'acqua)	0,55-0,60	66	32	98	3	24	27
3. copertura folta a nord-ovest (<i>Alnus</i>)	0,24-0,40	30	4	34	-	-	-
4. boschetto	0,02-0,03	1	4	5	4	4	4

Nota: la luminosità alla superficie dell'acqua è stata misurata con fotocellule adeguatamente calibrate

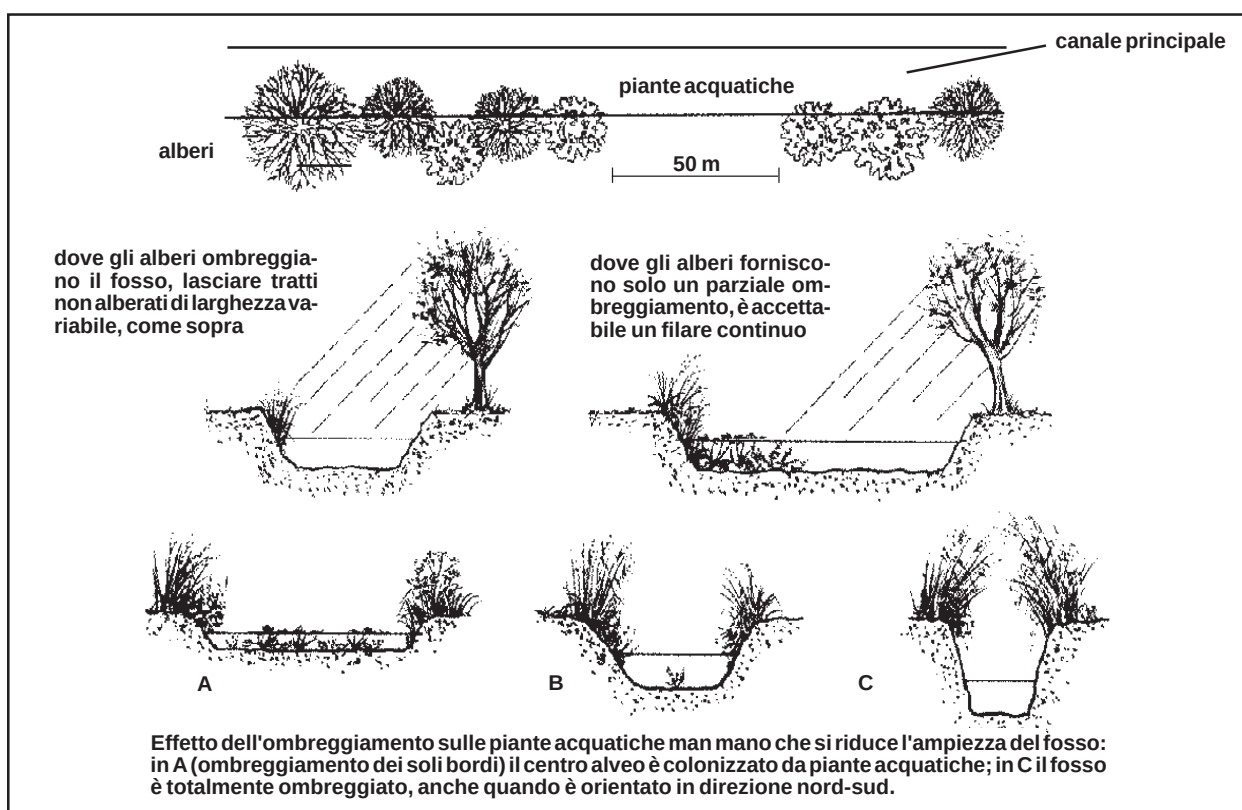


Fig. 35. Controllo delle macrofite acquatiche mediante ombreggiamento

[da NEWBOLD, HONNOR, BUCKLEY, 1989]

un efficace metodo di contenimento della vegetazione acquatica, consente risparmi nella manutenzione, evita il surriscaldamento estivo delle acque permettendo la sopravvivenza dei pesci e degli invertebrati; la vegetazione erbacea protegge le sponde dall'erosione e riduce la fangosità del substrato e il colmamento dell'alveo; la vegetazione acquatica fornisce una enorme superficie al perifiton –un biofilm costituito da batteri, alghe, protozoi e altri organismi microscopici– che cattura e demolisce la sostanza organica depurando l'acqua.

La tab. 4 mostra che l'ombreggiamento fornito dal solo mantenimento della vegetazione erbacea sulle sponde riduce di tre volte lo sviluppo della vegetazione acquatica; effetti molto più marcati si ottengono con un ombreggiamento da vegetazione arbustiva o arborea (tab. 5); la fig. 35

fornisce alcuni consigli sul controllo della vegetazione acquatica mediante ombreggiamento. Il controllo della proliferazione delle piante acquatiche mediante l'ombreggiamento con filari di alberi è talmente efficace che, per non lasciare i fossi totalmente privi di piante acquatiche, riducendone l'interesse naturalistico, si consiglia di lasciare alcuni tratti non alberati sulla sponda posta a sud, in modo da produrre un ombreggiamento lasso o a chiazze e da diversificare l'ambiente acquatico.

Per accrescere la diversità animale e vegetale e il valore paesaggistico è preferibile evitare lunghi filari e monospecifici e piantare, invece, piccole macchie o fasce di essenze arbustive e arboree miste (fig. 36).

Tra le specie da impiegare per il rinverdimento delle sponde, le più indicate sono i salici

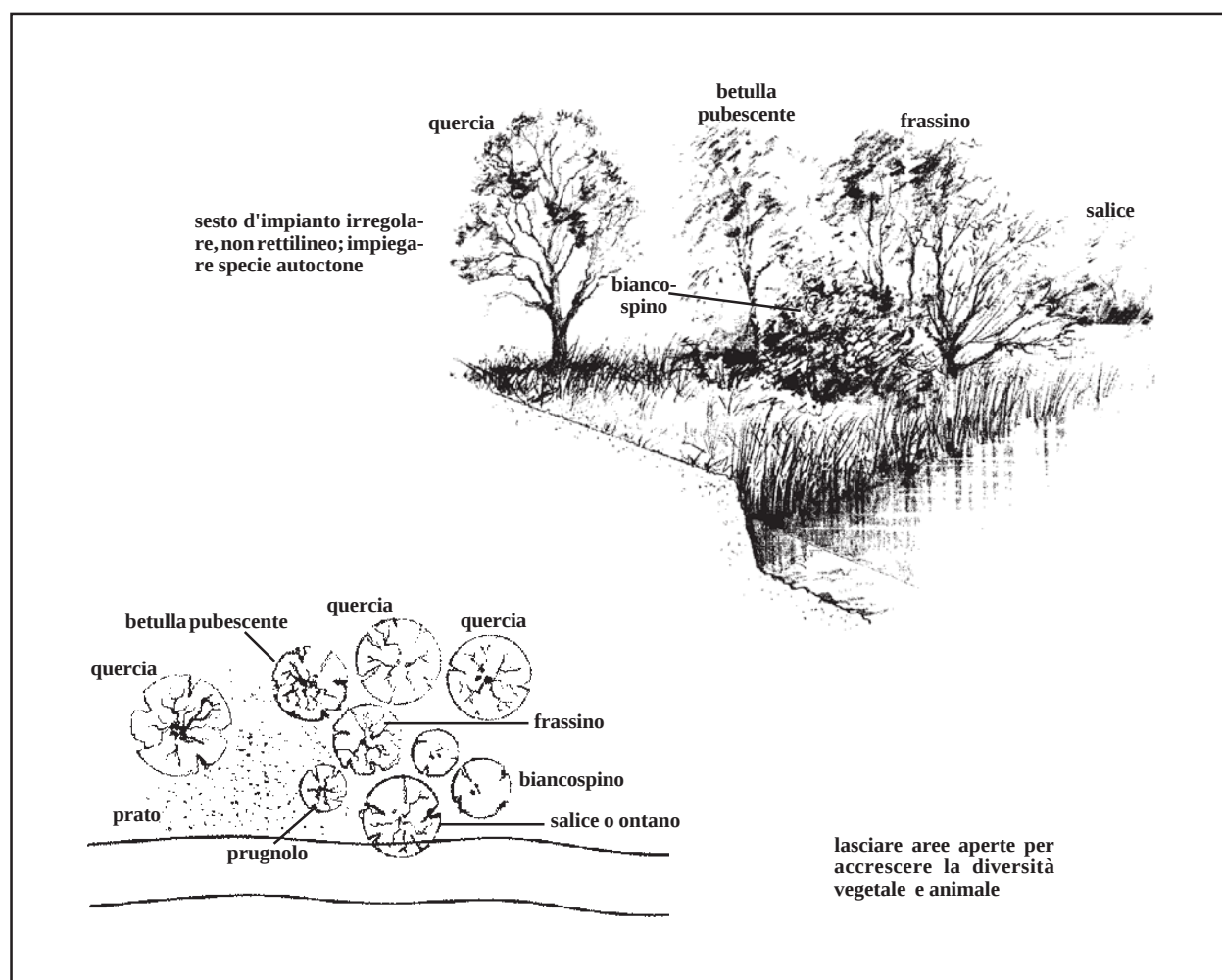


Fig. 36. Diversificazione delle essenze arboree ed arbustive riparie.

[da NEWBOLD, HONNOR, BUCKLEY, 1989]

(soprattutto *Salix alba* e *S. purpurea*), gli ontani e gli arbusti tipici della stazione, oltre alla cannuccia di palude (*Phragmites australis*) e alle tife (*Typha* spp.). Nella scelta del materiale (talee, piantine, rizomi, semi) va posta la massima attenzione ad impiegare ecotipi locali.

Nonostante i servizi resi dalla vegetazione acquatica, vi sono buone ragioni idrauliche ed ecologiche che ne consigliano il contenimento: in un fosso lasciato indisturbato e con un battente

d'acqua modesto la vegetazione acquatica tende ad invadere l'intero alveo rallentando la velocità della corrente, favorendo l'accumulo di fango e producendo un ambiente tutto sommato poco diversificato, inadatto agli organismi di acqua corrente. D'altronde in occasione delle precipita-

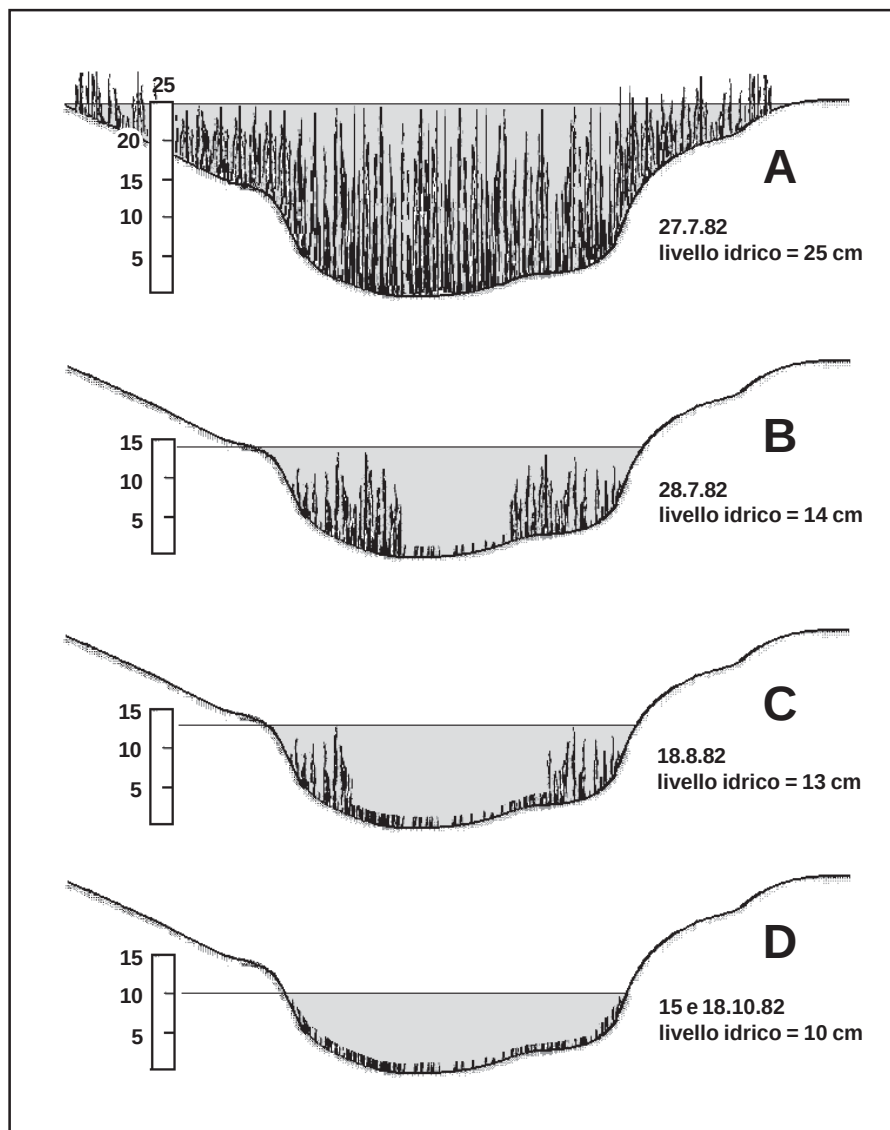


Fig. 37. Sperimentazione di diverse intensità di sfalcio della vegetazione acquatica nel Surbaek brook. Lo sfalcio di un canale di corrente pari a un terzo della larghezza dell'alveo produce un consistente abbassamento del livello idrico; il miglioramento della funzionalità idraulica conseguente ad intensità di sfalcio maggiori è trascurabile.

(Nota: tutti i livelli idrici sono stati rapportati alla stessa portata di riferimento di 400 l/s).

[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

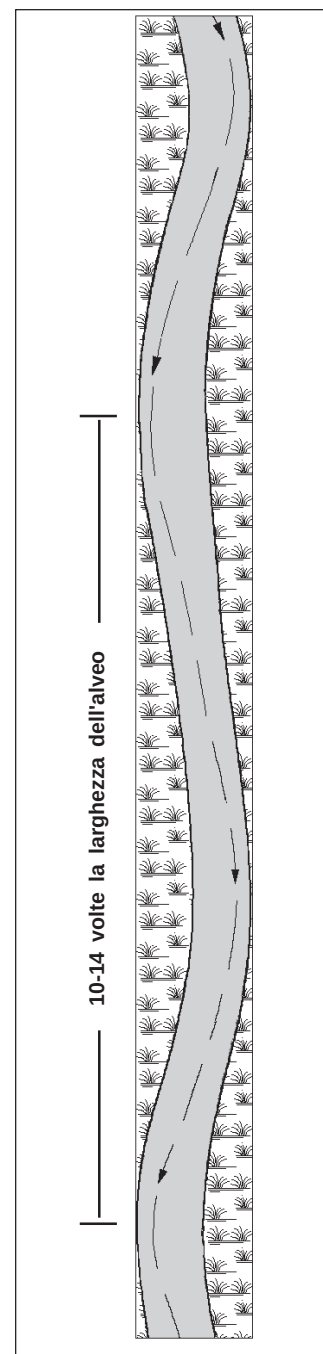


Fig. 38. Esempio di realizzazione di un canale di corrente entro un alveo rettilineo, mediante lo sfalcio mirato della vegetazione acquatica. [da SANSONI, 1995]

zioni la resistenza offerta dalla vegetazione al deflusso determina un innalzamento del livello idrico rendendo più frequenti gli allagamenti. L'esperienza ha mostrato, tuttavia, che per il ripristino della funzionalità idraulica non è necessario uno sfalcio radicale, ma è sufficiente uno sfalcio parziale.

La fig. 37 A e B mostra che, in un fosso largo 4,5 m, è sufficiente sfalciare un *canale di corrente* di larghezza pari ad un terzo dell'alveo per ottenere un netto miglioramento del deflusso, con un abbassamento del livello idrico da 25 a 14 cm. Il raddoppio dell'ampiezza della fascia vegetale sfalciata fornisce un ulteriore abbassamento del livello del tutto insignificante: da 14 a 13 cm (fig. 37C); con lo sfalcio totale (fig. 37D) il livello scende a 10 cm, per risalire in seguito rapidamente a 13 cm.

Se è vero dunque che un alveo totalmente invaso dalla vegetazione acquatica è predisposto all'esondazione, è altrettanto vero che per garantire un efficiente drenaggio non è necessario il diserbo totale, ma è sufficiente limitarlo ad una fascia di circa un terzo della larghezza, con evidenti vantaggi ecologici.

Le regole di manutenzione "gentile" dei fossi richiedono che il canale di corrente creato dallo sfalcio non sia parallelo alle sponde, ma segua un andamento sinuoso. La regola ricavata dallo studio dei meandri dei corsi d'acqua naturali suggerisce di realizzare il canale di corrente sinuoso, con una lunghezza d'onda pari a 10-14 volte la larghezza dell'alveo (misurata alla sua sommità) (fig. 38)

Il metodo più economico per restituire ad un fosso rettilineo condizioni ecologiche accettabili

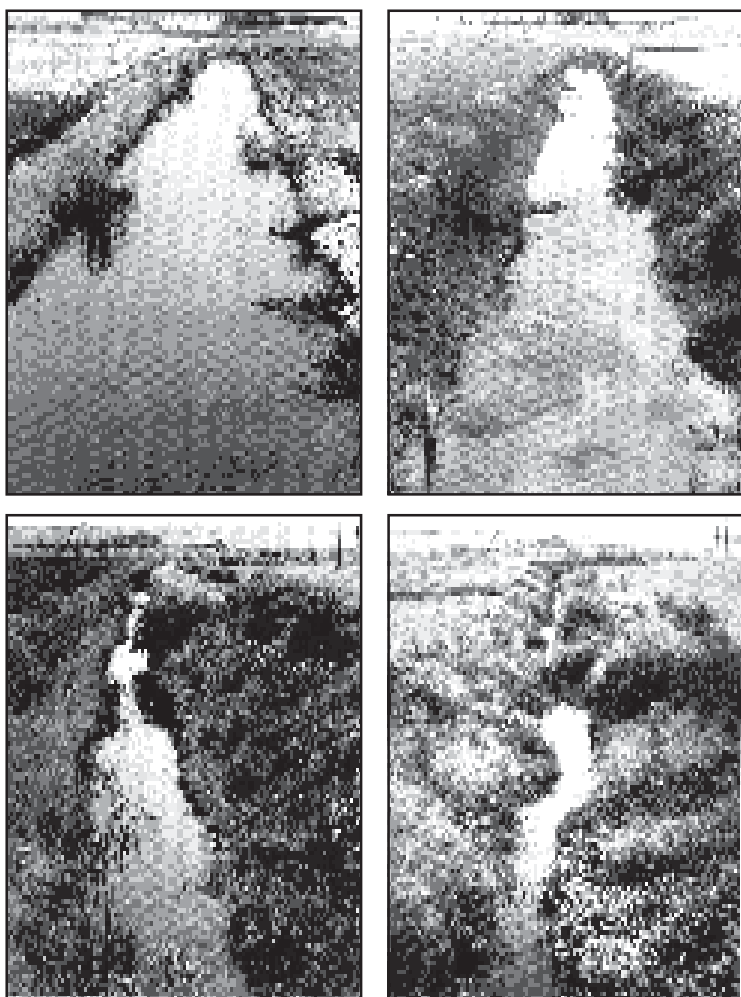


Fig. 39. Al fosso Skiveren (Thisted, Danimarca), tra il 1987 (in alto a sinistra) e il 1990 (in basso a destra), è stata restituita la sinuosità col semplice metodo dello sfalcio di un canale di corrente.

[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

senza comprometterne la funzionalità idraulica è dunque quello di effettuare uno sfalcio mirato, di intensità ineguale ed alternata sulle due sponde, che crei all'interno dell'alveo rettilineo un canale di corrente sinuoso (fig. 39); se il fondo non è piatto, il canale di corrente deve seguire l'alveo naturale, cioè la parte più profonda (fig. 40).

Rispetto ai metodi brutali finora impiegati (sfalci indiscriminati, dragaggi), l'adozione di questo semplice accorgimento rappresenta già un grande progresso; ad eccezione di casi particolari ben motivati e documentati è perciò da considerarsi obbligatorio. L'Autorità di bacino del fiume Magra invita inoltre gli enti gestori a studiare la fattibilità della restituzione della sinuosità ai corsi d'acqua canalizzati nel passato, sull'esempio di altri paesi europei (fig. 41).

Si noti che la manutenzione di un canale di corrente sinuoso presenta notevoli vantaggi ecologici perché, lasciando agire le forze naturali, consente la spontanea ricostituzione della diversità ambientale. La corrente, infatti, tende ad approfondire l'alveo sul lato esterno delle curve rendendone asimmetrica la sezione (cfr. fig. 8B), mentre nei tratti rettilinei compresi tra due curve successive la sezione si mantiene simmetrica (fig. 8C). Sia pure confinati entro l'argine di piena

rettilineo, cominciano così a formarsi nell'alveo di magra alcuni elementi morfologici di grande importanza ecologica: buche, raschi, barre di meandro. Alla sinuosità della corrente sul piano orizzontale si aggiunge la sua sinuosità sul piano verticale: la corrente, cioè, alternativamente sale sui raschi e scende nelle buche (fig. 8D). Il continuo alternarsi di tratti a velocità più elevata e più bassa induce una differenziazione granulometrica del substrato, che diviene ghiaioso nei raschi e limoso nelle buche. Ciò incrementa la diversità ambientale e favorisce quindi l'insediamento di una fauna e una flora più diversificate, migliorando la qualità biologica; la più ricca micro- e macrofauna, la maggior velocità della corrente, la migliore ossigenazione indotta dalla turbolenza nei raschi, migliorano la capacità depurante.

La presenza di buche consente ai pesci di superare periodi sfavorevoli nelle estati particolarmente asciutte, soprattutto se un certo ombreggiamento evita l'eccessivo riscaldamento delle acque.

In corrispondenza delle buche la corrente procede con un andamento a spirale, tendendo a sottoescavarle e creando rifugi particolarmente ricercati dai pesci (fig. 42); quando possibile, è

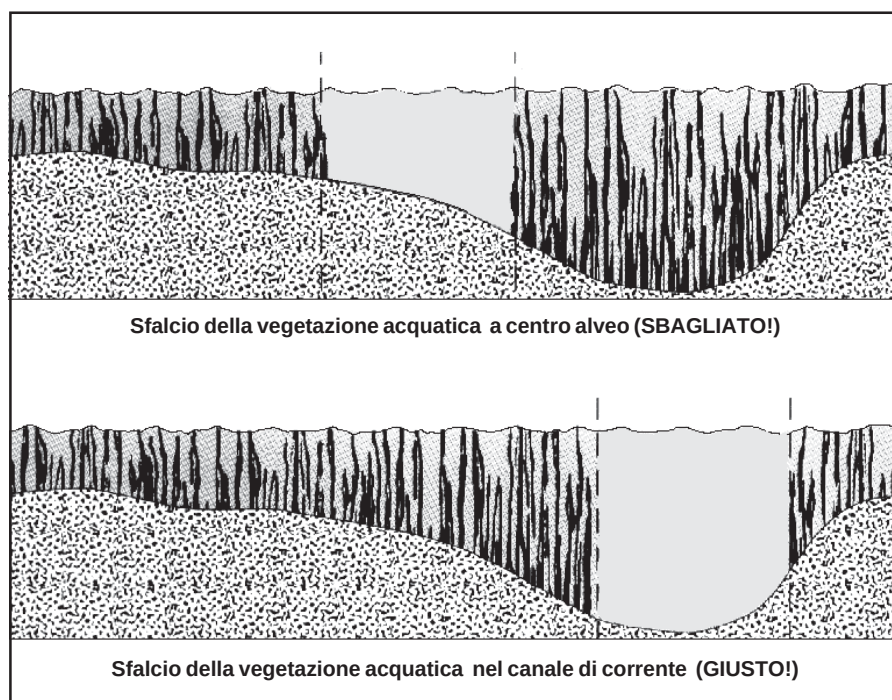


Fig. 40. Il canale di corrente deve seguire la parte più profonda, che non corrisponde necessariamente al centro dell'alveo.

[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

dunque auspicabile la presenza di alberi in corrispondenza delle curve, sia per consolidarle, sia perché le loro radici sommerse migliorano l'idoneità dei rifugi per l'ittiofauna.

I rami che ostacolano il deflusso e gli alberi pericolosamente inclinati sull'acqua possono essere potati in modo da migliorarne la stabilità (fig. 43), avendo cura di effettuare tagli obliqui (per impedire il ristagno dell'acqua e la loro marce-

scenza) e di non lasciare rami con cortecce lacerate.

Per favorire la formazione di raschi si può ricorrere all'introduzione di letti ghiaioso-ciottolosi in alcuni dei tratti rettilinei compresi tra due curve successive, una pratica ben consolidata nei secoli scorsi (fig. 44).

Per ridurre l'eccesso di fango che potrebbe danneggiare o seppellire i fondi ghiaiosi si può

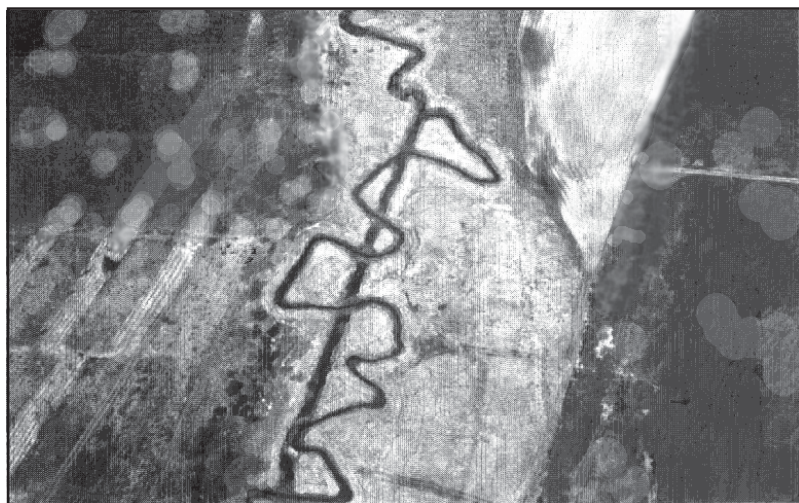


Fig. 41. Restituzione della sinuosità al torrente Idom Å (Ringkjøbing, Danimarca).

[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

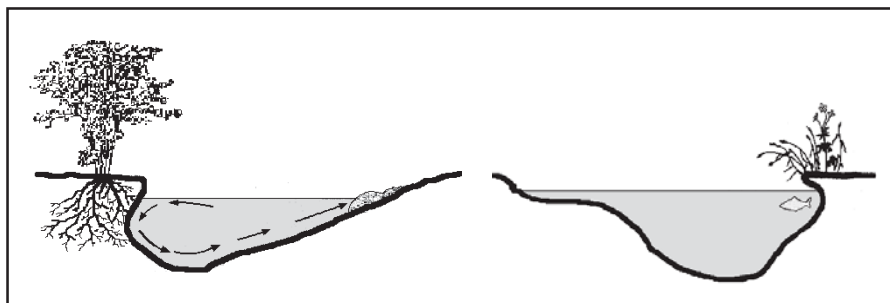


Fig. 42. Sul lato esterno delle curve la corrente, procedendo a spirale, tende a sottoescavare le sponde creando rifugi di grande valore per i pesci.

[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

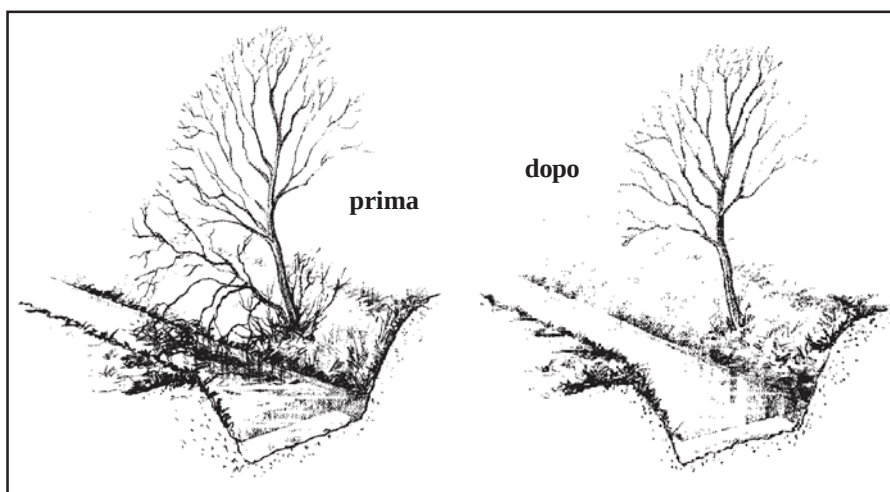


Fig. 43. Potatura selettiva dei rami troppo bassi che toccano l'acqua o sbilanciano il peso degli alberi, minandone la stabilità.

[da NEWBOLD, HONNOR, BUCKLEY, 1989]

ricorrere, soprattutto nel periodo di riconversione ecologica dei fossi, a trappole per fango scavate nell'alveo stesso e svuotate ogniqualvolta necessario (fig. 45); di norma è richiesto all'inizio uno svuotamento più volte all'anno mentre in seguito, man mano che aumenta l'effetto protet-

tivo delle sponde esplicito dalla vegetazione, la necessità di svuotamento si dirada fino a che può essere abbandonata.

La fig. 46 mostra come le sponde denudate vengano scalzate al piede provocando il collasso delle sponde stesse e l'accumulo di fango sul



Fig. 44. L'introduzione di substrati ghiaiosi e ciottolosi per favorire la riproduzione dei pesci era una pratica ben consolidata nei tempi passati.
[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

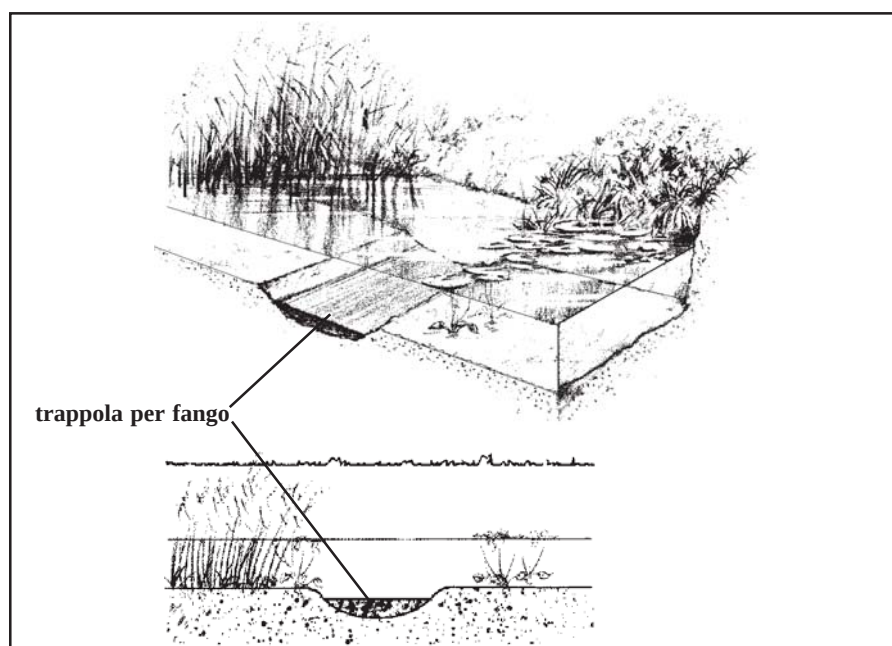


Fig. 45. Le trappole per fango evitano la necessità di periodici dragaggi su lunghi tratti di alveo e i connessi sconvolgimenti ambientali. Possono rivelarsi di importanza determinante laddove vengano costruite nuove strade che intersecano il reticolo idrografico; trappole correttamente progettate intercettano anche idrocarburi ed altri inquinanti.
[da NEWBOLD, HONNOR, BUCKLEY, 1989]

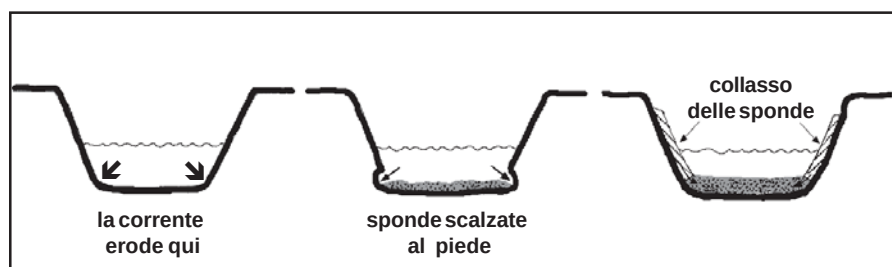


Fig. 46. La corrente può erodere il piede delle sponde provocandone il collasso.
[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

fondo. La fig. 47 mostra come l'adozione dello sfalcio del solo canale di corrente e di 7 trappole per fango abbia drasticamente ridotto (da 88 a 6 tratti) la necessità dei dragaggi ed i costi relativi.

Naturalmente occorre tenere presente che, col tempo, le fasce di vegetazione acquatica tendono ad accumulare sedimenti che si consolidano e si fondono alle sponde; la riduzione della sezione determina una riduzione della portata veicolabile, sia pure in buona parte compensata da un approfondimento del canale di corrente (fig. 48). Di ciò occorre tenere conto nella progettazione e nel dimensionamento; come norma generale è preferibile un canale di corrente piuttosto stretto e profondo, che assicuri una buona

velocità della corrente; l'altezza della banchina vegetata dovrebbe corrispondere al livello del pelo libero dell'acqua in condizioni di magra normale. Le proporzioni relative tra canale di corrente e alveo di piena dipendono ovviamente dall'entità dell'escursione delle portate, il primo dovendo essere dimensionato alle portate di magra e il secondo a quelle di piena.

Qualora le condizioni idrauliche dei fossi fossero talmente critiche da non essere compatibili col mantenimento di fasce di vegetazione acquatica l'ente gestore dovrà predisporre un progetto di ampliamento della sezione, dimensionandola in modo tale da prevedere lo spazio per il canale di corrente e per le fasce di vegetazione

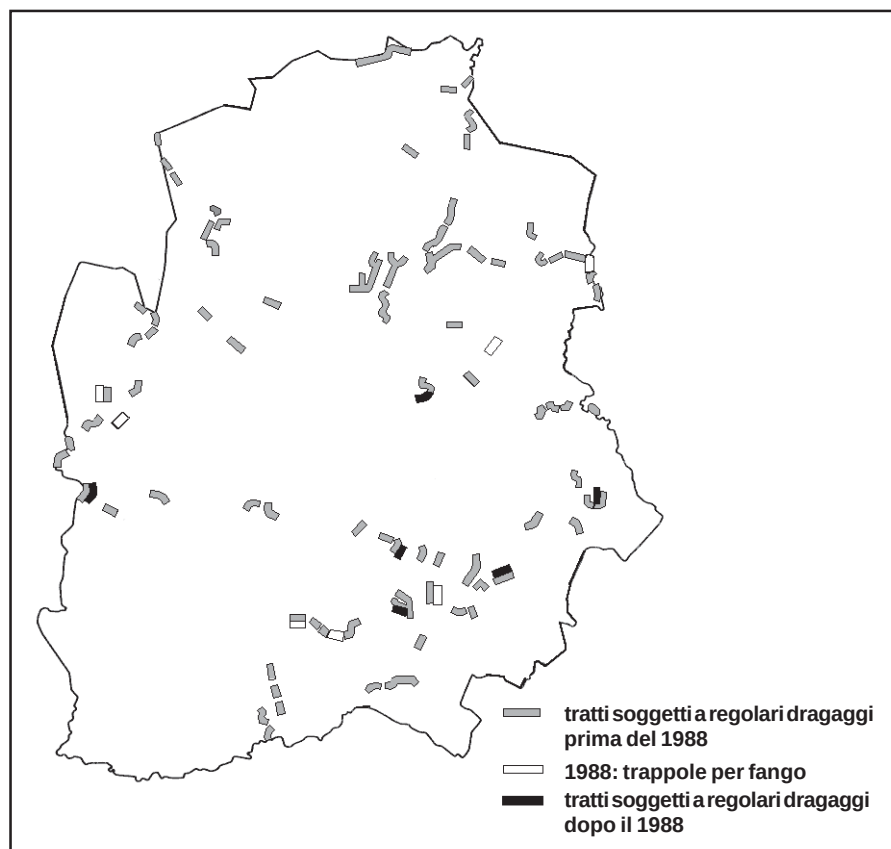


Fig. 47. La necessità di regolari dragaggi dei fossi nel comune di Vejen (Danimarca) è grandemente diminuita con l'adozione dello sfalcio di un canale di corrente e la realizzazione di qualche trappola per fango.

[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

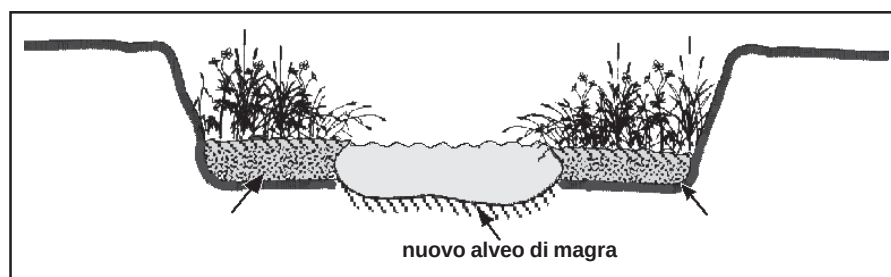


Fig. 48. Le bordure di vegetazione acquatica intrappolano sedimenti e formano col tempo una banchina mentre il canale di corrente si approfondisce.

[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

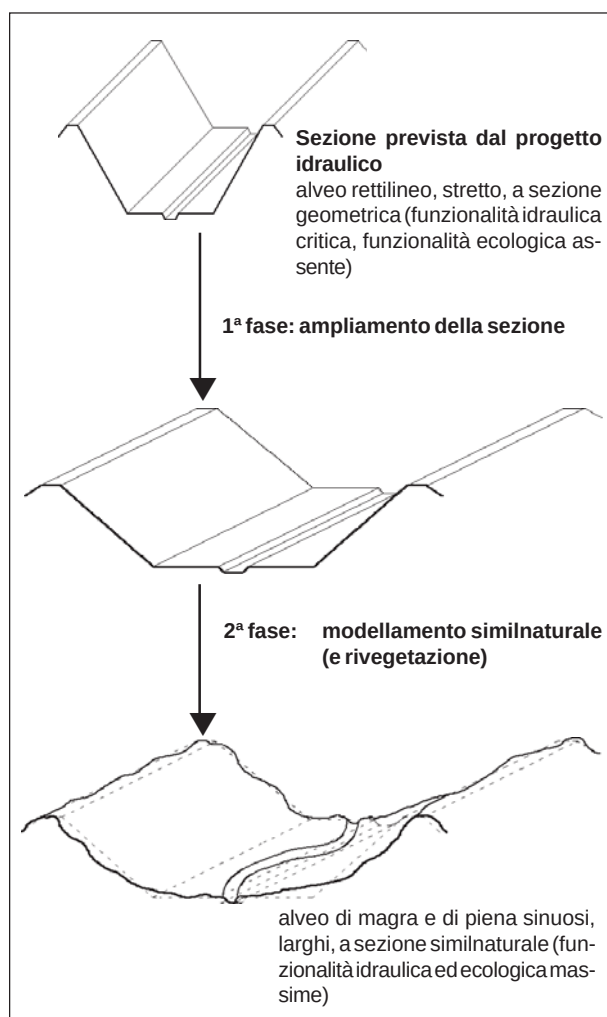


Fig. 49: Approccio concettuale per la transizione da una progettazione esclusivamente idraulica ad una progettazione idraulica ed ecologica.
(SANSONI, 1997)

acquatica e riparia. Lo schema concettuale di progettazione è mostrato nella fig. 49; uno dei possibili schemi di ampliamento, che resta nell'ottica dei canali rettilinei ma mantenuti con criteri accettabili dal punto di vista ecologico, è mostrato nella fig. 50.

I tratti intubati, come facilmente immaginabile, sono quelli col massimo impatto biologico: in essi l'assenza di luce impedisce la fotosintesi e, conseguentemente, l'insediamento dei macroinvertebrati erbivori, mentre i ridotti scambi con l'atmosfera impoveriscono le acque di ossigeno e favoriscono la crescita dei batteri anaerobi nei sedimenti, con produzione di melme nerastre. Spesso, inoltre, rappresentano anche barriere agli spostamenti dei pesci: alcune specie (ad esempio i coregoni) non attraversano i tratti bui.

Anche dal punto di vista idraulico i tratti intubati rappresentano punti critici: per la ridotta sezione o per la loro occlusione in occasione di intense precipitazioni, si comportano spesso da strozzature idrauliche, determinando esondazioni e allagamenti.

Per motivi biologici ed idraulici è quindi da vietare ogni forma di tombatura di corsi d'acqua, ad eccezione dei brevi tratti di attraversamento di strade od altre infrastrutture. Anche in questi

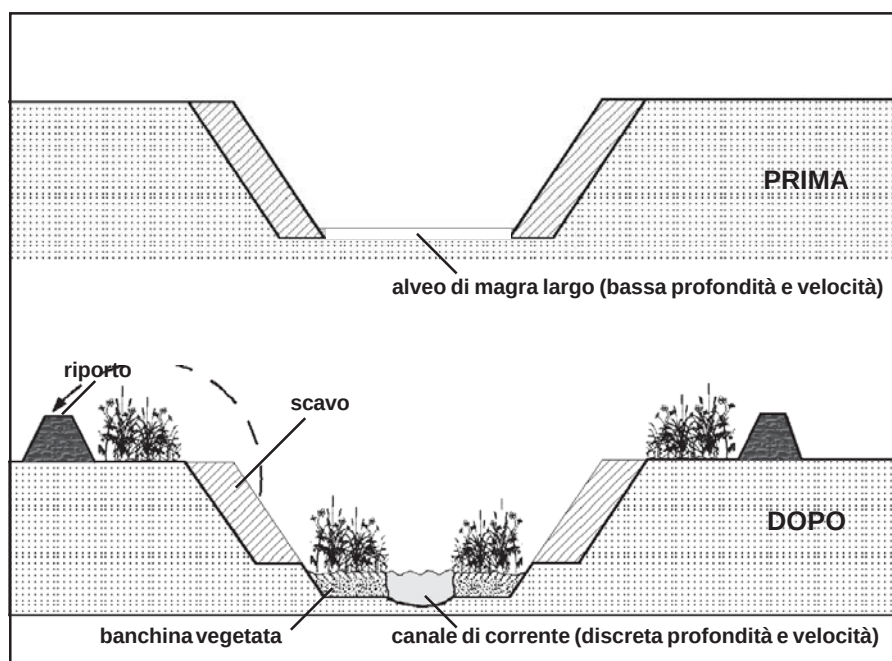


Fig. 50. Esempio di ampliamento di un fosso che prevede la realizzazione di un canale di corrente e lo spazio per una banchina vegetata.

[da SANSONI, 1995]

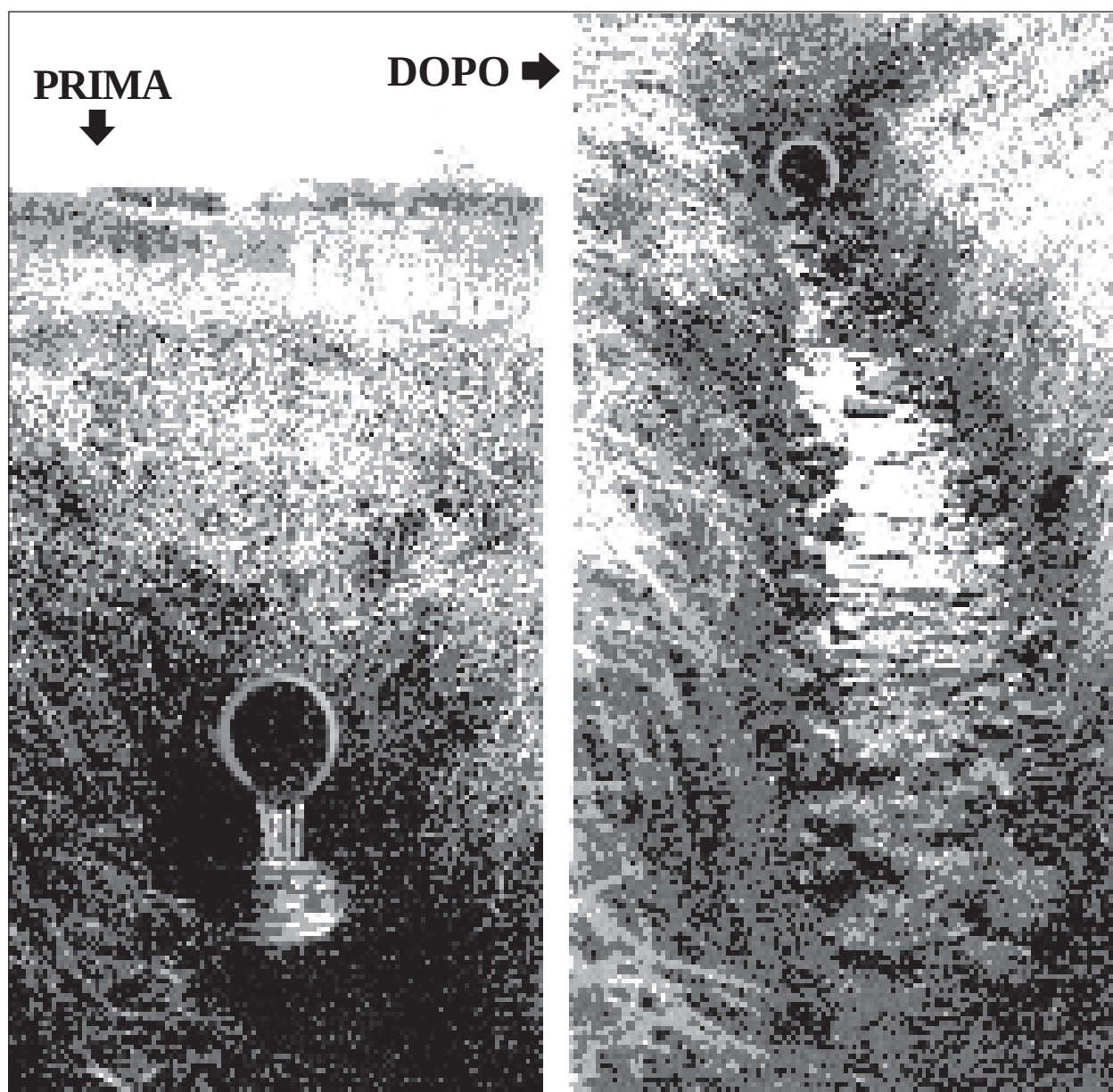
brevi tratti è tuttavia necessario adottare gli accorgimenti volti a minimizzare l'impatto ambientale. In particolare, per consentire il transito dei pesci, l'estremità posta a valle deve essere sempre parzialmente immersa e non deve formare una cascata (fig. 51); nei casi di attraversamenti già esistenti con cascata terminale si deve eliminare il salto realizzando una rampa di ciottoli che consenta la risalita dei pesci (fig. 52).

Il transito dei pesci nei tratti di attraversamento stradale può essere impedito anche da un battente d'acqua troppo basso o da una corrente troppo elevata. Ad entrambi questi inconvenienti



Fig. 51. Esempi di sbocco di un tratto intubato. A sinistra: ecologicamente corretto; a destra: scorretto (ostacola la risalita dei pesci). [da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

Fig. 52. Rampa in pietrame (a destra) per migliorare l'accesso dei pesci allo sbocco di un tratto intubato mal concepito (a sinistra). [da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]



si può rimediare introducendo entro il tubo una serie di setti semilunari (con funzione di frammentatori di corrente e dotati di foro di passaggio basale) che mantengano un livello adeguato e suddividano il tubo in una serie di vasche di riposo (fig. 53).

Nel caso di tratti intubati più lunghi gli accorgimenti sopra descritti non sono sufficienti: è quindi opportuna la predisposizione di progetti di ricostruzione di un alveo a cielo aperto (fig. 54

e 55).

Anche nei fossi, naturalmente, possono essere utilmente impiegati diversi dispositivi di miglioramento dell'habitat già descritti per corsi d'acqua di maggiori dimensioni. A coronamento del risanamento idraulico e naturalistico dei fossi è, infine, altamente raccomandabile l'allestimento di siepi per la valorizzazione naturalistica e di strutture che consentano la fruizione ricreativa di questi ambienti finalmente riqualificati (es. sen-

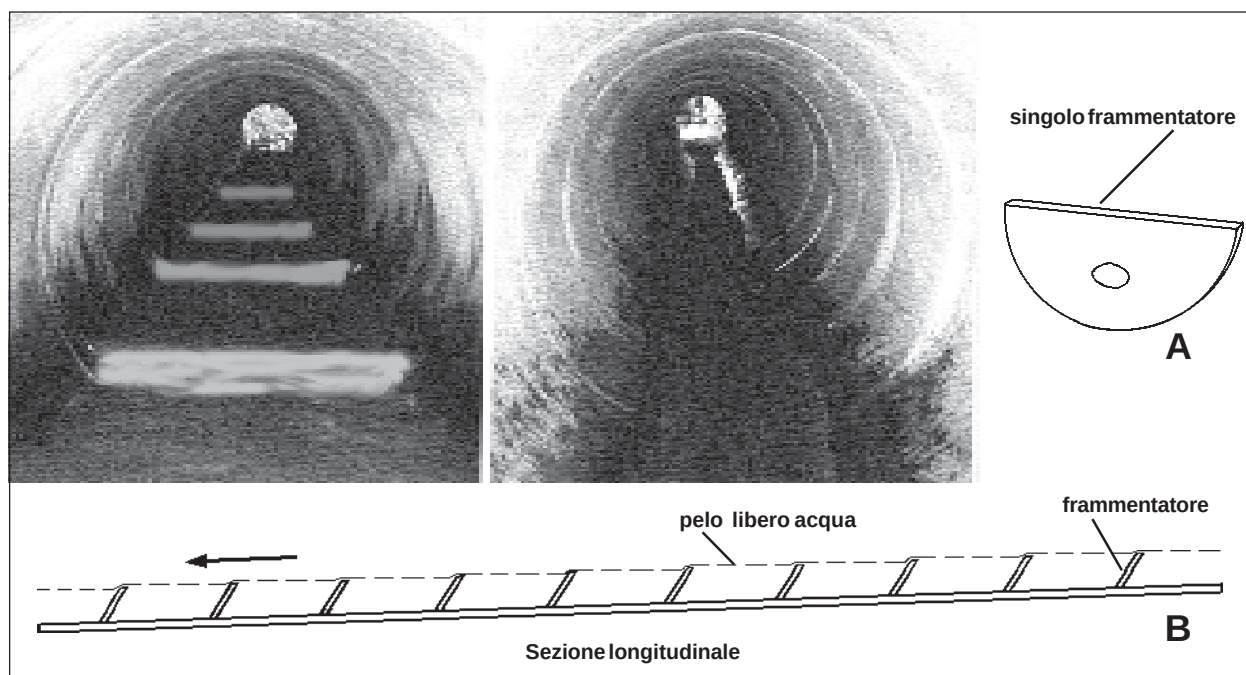


Fig. 53. Vejle County (Danimarca): inserimento di frammentatori di corrente (foto a sinistra) entro un tratto intubato di attraversamento stradale ecologicamente scorretto (foto a destra). I frammentatori di corrente sono setti semilunari in legno, dotati di foro centrale per il passaggio dei pesci (A), fissati su archi metallici inseriti in serie a distanza di circa 2 metri su una base comune ed inclinati controcorrente (B). [foto: da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995; disegni: SANSONI, 1997]



Fig. 54. Il canale Enggård Bæk (Danimarca), in passato intubato, viene riportato a cielo aperto, con un tracciato sinuoso. [da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]

tieri, ponticelli).

In ogni caso è essenziale che la progettazione naturalistica sia pienamente integrata con quella idraulica fin nelle fasi iniziali; la progettazione naturalistica, infatti, richiede un intero retroterra

culturale e l'adozione di tanti e tali accorgimenti tecnici che non è possibile sovrapporla a progettazione idraulica ultimata, quasi si trattasse di un "ritocco" con finalità puramente estetiche.



*Fig. 55. Scavo di un fosso meandriforme lungo il tracciato del canale Isholm Landgrøft (Danimarca), precedentemente tombato.
[da DANISH ENVIR. PROTECTION AGENCY, 1995]*

Bibliografia

- BOON P.J. - 1992. Essential elements in the case for river conservation. In "River conservation and management", P.J. Boon, P. Calow, G.E. Petts (eds.), *J. Wiley & Sons*, pp. 11-33.
- BOUSSU M.F. - 1954. Relationship between trout populations and cover on a small stream. *J. of Wildlife Management*, **18**: 229-239.
- BROOKES A. - 1988. Channelized rivers. Perspectives for environmental management. *J. Wiley & Sons*, pp. 326.
- CAVAZZA S. - 1990. L'approccio concettuale e procedurale della progettazione ambientale delle opere idrauliche. In: supplemento agli Atti del convegno "Giornata di studio sulla regimazione idraulica dei corsi d'acqua e impatto ambientale sul territorio montano", Belluno, 6 aprile 1990. *Ordine Ingegn. Prov. Belluno, LIPU, WWF*. Belluno, pp. 1-15.
- COMMISSIONE TECNICA MINISTERIALE PER IL FIUME MAGRA - 1990. Relazioni conclusive. In: *Biologia Ambientale*, n. 2, 1990 (31 pagg.).
- CLAIRE E.W. - 1980. Stream habitat and riparian restoration techniques; guidelines to consider in their use. In "Proc. of Workshop for Design of Fish Habitat and Watershed Restoration Projects", County Squire, Oregon, March 10-14, 1980.
- COOPER C.O., WESCHE T.A. - 1976. Stream Channel Modification to Enhance Trout Habitat Under Low Flow Conditions. Water Resources Series N. 58. Laramie: *University of Wyoming*.
- CÔTÉ J. - 1970. Etude écologique de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*, Mitchell) d'un ruisseau des Laurentides. *Master thesis, McGill University*, Montreal, Quebec.
- DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - 1995. Danish Watercourses. Ten years with the New Watercourse Act. *Ministry of Environment and Energy*, Denmark.
- FRASER J.C. - 1975. Determining fluvial discharges for fluvial resources. *FAO, Fisheries Technical Paper N. 143*.
- GHETTI P.F. - 1995. Indice Biotico Esteso I.B.E. (Metodi di analisi per ambienti di acque correnti). *Notiz. Metodi Analitici IRSA-CNR*, suppl. al quad. n° 100.
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND REAKTORSICHERHEIT - 1987. In einem Bächlein helle... Naturnahe Gewässer in Hessen, Bachpatenschaften, Renaturierungsmaßnahmen.
- HYNES H.B.N. - 1970. *The ecology of running waters*. Liverpool University Press, Liverpool, U.K.
- KANALY J. - 1971. Stream improvement evaluation in the Rock Creek Fishway, Carbon County (Preliminary). Admin. Report of Project 0571-08-6602. Cheyenne: *Wyoming Game and Fish Dept.*
- KELLER E.A. - 1975. Channelization: a search for a better way. *Geology*, **3**: 246-248.
- KELLER E.A. - 1978. Pools, riffles and channelization. *Environmental Geology*, **2**: 119-127.
- LACHAT B. - 1991. Le cours d'eau. Conservation, entretien et aménagement. *Consiglio d'Europa*, Strasburgo.
- LUND J.A. - 1976. Evaluation of stream channelization and mitigation on the fisheries resources of the St. Regis River, Montana. Report N. FWS/OBS 76-07, *Office of Biological Services, Fish and Wildlife Services, US Dept. of The Interior*, Washington, DC.
- MALCEVSKI S., BISOGNI L.G., GARIBOLDI A. - 1996. Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale. *Il Verde Editoriale*, Milano, pp. 222.
- MILNER N. - 1984. Fish. In "Rivers and Wildlife Handbook: a guide to practices which further the conservation of wildlife in rivers", Lewis G., Williams G. (eds.), *Royal Society for the Protection of Birds*, Bedfordshire, U.K., pp. 51-53.
- MINSHALL G.W., PETERSEN R.C., CUMMINS K.W., BOTT T.L., SEDELL J.R., CUSHING C.E., VANNOTE R.L. - 1983. Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecological Monographs*, **53** (1): 1-25.
- MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., PETERSEN R.C., CUSHING C.E., BRUNS D.A., SEDELL J.R., VANNOTE R.L. - 1985. Developments in stream ecosystem theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**: 1045-1055.
- NAIMAN R.J., LONZARICH D.J., BEECHIE T.J., RALPH S.C. - 1992. General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers. In "River conservation and management", Boon, Calow, Petts (eds.), *J. Wiley & Sons*: p. 93-123.
- NELSON R.W., HORAK G.C., AND OLSON J.E. - 1978. Western reservoir and stream habitat improvements handbook. USDI FWS/OBS- 78/56. *Western Energy and Land Use Team*, Fort Collins, CO.
- NEWBOLD C., HONNOR J., BUCKLEY K. - 1989. Nature conservation and the management of drainage channels. *Nature Conservancy Council, Association of Drainage Authorities*, 108 pp.
- NUNALLY N.R., SHIELDS F. D. JR - 1985. Incorporation of environmental features in flood control channel projects.

Technical Report E-85-3, *Environmental and Water Quality Operational Studies, US Army Engineer Waterways Experiment Station*, Vicksburg, Mississippi.

PAYNTING T. - 1982. Flood scheme reconciles conservation and alleviation. *Surveyor*, 14-16.

PETERSEN R.C. JR., MADSEN B.L., WILZBACH M.A., MAGADZA C.H.D., PAARLBERG A., KULLBERG A., CUMMINS K.W. - 1987. Stream management: emerging global similarities. *Ambio*, **16** (4): 166-178.

PETERSEN R.C. JR. - 1992. The RCE: a Riparian, Channel and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*, **27**: 295-306.

RAVEN P.J. - 1986. Changes of in-channel vegetation following two stage channel construction on a small rural clay river. *J. of Applied Ecology*, **23**: 333-345.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, REGIONE VENETO - 1993. Manuale tecnico di ingegneria naturalistica. *Reg. Em.-Rom. e Veneto*, Bologna, 263 pp.

REGIONE LIGURIA - 1997. Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale. *Reg. Liguria, Assess. Edilizia, Energia e Difesa del Suolo*, Genova, 199 pp.

RUGGIERO M.A., MERCHANT H.C. - 1979. Water quality, substrate, and distribution of macroinvertebrates in the Patuxent River, Maryland. *Hydrobiologia*, **64**: 183-189.

SANSONI G. - 1987. Effetti biologici delle arginature e delle escavazioni fluviali. *Notizie C.I.S.B.A.*, **2**: 11-16.

SANSONI G. - 1990. Valutazione del progetto di sistemazione idraulica di un corso d'acqua (F. Magra). In Atti 1° corso di aggiornam. "La valutazione di impatto ambientale - V.I.A., Pisa, maggio-giugno 1989. Fedraz. Ordini Ingegn. Toscana, Reg. Toscana. Univ. di Pisa, *ETS Ed.*, Pisa, pp. 363-372.

SANSONI G. - 1991. La comunità dei viventi di un fiume quali soggetti dell'autodepurazione. In Ambiente '91, Atti del Conv. naz. "L'acqua. Storia, Cultura, Natura", Terme di Comano (TN), 4-5 ott. 1990. *Ed. Prov. Auton. di Trento*, pp. 191-199.

SANSONI G. - 1993a. La rinaturalizzazione degli ambienti fluviali. *Ist. Agr. S. Michele all'Adige* (TN), 78 pp.

SANSONI G. - 1993b. Il Magra. Analisi, tecniche e proposte per la tutela del fiume e del suo bacino idrografico. *Ed. WWF Italia, Del. Toscana, Sez. Lunigiana*, 96 pp.

SANSONI G. - 1995. Le proposte di Legambiente per la "pulizia" dei fossi. *Opuscolo di Legambiente*, Carrara (MS), 26 pp.

SANSONI G. - 1996. Ingegneria naturalistica fluviale: strumento per la gestione idraulico-naturalistica del territorio

o cosmesi ambientale? In Atti del Seminario di studi "I biologi e l'ambiente ... oltre il duemila", Venezia, 22-23 nov. 1996. *Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale* (in stampa).

SEEHORN M.E. - 1982. Trout stream improvements commonly used on southeastern National Forests. In: "Proc. of Rocky Mt. Stream Habitat Management Workshop". See Bailey 1982.

SHIELDS F.D. - 1982. Environmental features for flood control channels. *Water Resources Bulletin*, **18**: 779-784.

STATZNER B., HIGLER B. - 1985. Questions and comments on the river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**: 1038-1044.

STUART T.A. - 1959. The influence of land drainage works, levees, dykes, dredging etc. on the aquatic environment and stocks. In: "Proceedings of the International Union for the conservation of Nature", Technical Meeting, Athens, vol. 4, pp. 337-345.

UNITED STATES BUREAU OF LAND MANAGEMENT - 1968. Stream preservation and improvement. Section 6760 of *USDI, BLM Manual*.

UNITED STATES FOREST SERVICE - 1969. Wildlife Habitat Improvement Handbook. FSH 2609.11. Washington, D.C.: *U.S. Government Printing Office*.

VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R., CUSHING C.E. - 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**: 130-137.

WEEKS K.G. - 1982. Conservation aspects of two river improvement schemes in the River Thames catchment. *Journal of the Institute of Water Engineers and Scientists*, **36**, 447-458.

WESCHE T.A. - 1985. Stream channel modifications and reclamation structures to enhance fish habitat. In: The restoration of rivers and streams. Theories and experience. Gore J.A. (ed.), *Butterworth Publisher, Ann Arbor Science Book*, Stoneham, MA, pp. 103-163.

WHITE R.J. - 1968. So baut Man Forellenunter stände: Ein Schwerpunkt der Bachpflege (Creating shelters for trout: a stream management). *Verlag Paul Parey*, Hamburg and Berlin.

WOJCIK D.K. - 1981. Flood alleviation, conservation and fisheries: an experimental scheme on the river Roding. *Unpublished MSC Thesis*, Dept. of Civil Engineering, City University, London.

WOODIWISS F.S. - 1978. Comparative study of biological-ecological water quality assessment methods. Second practical demonstration. Summary Report. *Commission of the European Communities*.