

2. CENNI DI ECOLOGIA FLUVIALE

Costringere in una definizione tutti gli aspetti della funzionalità ecologica di un corso d'acqua è un compito arduo. Essa comprende certamente il metabolismo dell'“organismo fiume”, legato ai processi di colonizzazione macrobentonica, ai modelli di approvvigionamento alimentare autoctono ed alloctono, alle capacità di ciclizzazione e ritenzione della sostanza organica, alle relazioni trofiche tra gli organismi viventi. In queste ultime rientrano a pieno titolo non solo i pesci, ma anche quei vertebrati terrestri (erpetofauna, mammalofauna, avifauna) che intessono rapporti trofici diretti o indiretti con gli organismi acquatici.

Rientrano tuttavia nella funzionalità fluviale anche funzioni non metaboliche quali quelle ecotonali, il contributo alla diversità ambientale e alla biodiversità, i ruoli svolti come corridoi ecologici, nonché come regolatori dei deflussi e del trasporto solido, ecc.

La lettura di un fiume non può dunque limitarsi ad una sola delle sue componenti (ad es. l'acqua), ma deve estendersi all'intero sistema fluviale, del quale sono parte integrante anche le fasce riparie e le porzioni di territorio circostante che con esso interagiscono più strettamente.

L'applicazione della scheda I.F.F., come peraltro già evidenziato nell'introduzione, necessita da parte degli operatori di una concreta conoscenza delle dinamiche ecologiche che governano lo stato di funzionalità di un corso d'acqua.

In questo secondo capitolo vengono perciò richiamati i principali concetti dell'ecologia fluviale che devono costituire il fondamento delle competenze ed i prerequisiti dell'utilizzatore, affinché egli possa applicare la scheda con il bagaglio culturale sufficiente a leggere ed interpretare il significato funzionale dei segni ecomorfologici di un ambiente fluviale.

I concetti esposti hanno il carattere di cenni, senza alcuna pretesa di esaustività; questo manuale, infatti, non è un trattato di ecologia, ma propone un ventaglio di temi riguardanti diversi settori dell'idrobiologia.

Il funzionamento ecologico dei sistemi fluviali rispetta di norma alcune importanti leggi fisiche, ma presenta numerose eccezioni per cui è stato descritto come un processo di “caos deterministico”, cioè sufficientemente caotico, in quanto non prevedibile, e, al tempo stesso, sufficientemente deterministico per il rispetto di precise leggi della natura.

Gli argomenti qui trattati abbracciano varie branche delle cono-

scenze idrobiologiche, con particolare riguardo a quelle necessarie ad una corretta compilazione della scheda I.F.F.

2.1 Il continuum fluviale (*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 infatti i parametri morfologici, idrodinamici, fisici e chimici 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.

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

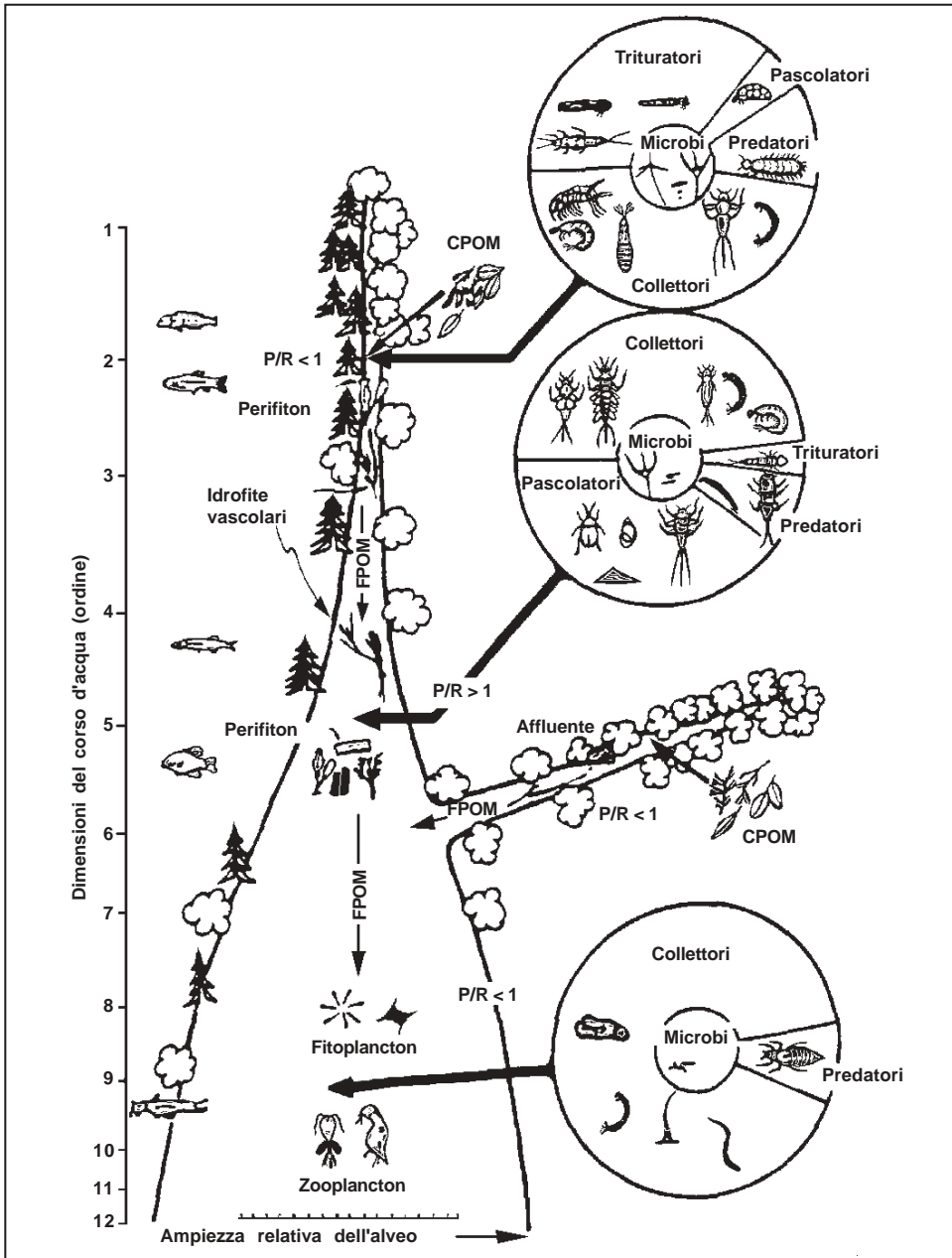


Figura 1: Relazioni proposte dal River Continuum Concept tra le dimensioni del corso d'acqua ed i graduali aggiustamenti nella struttura e nella funzione delle comunità lotiche (Vannote et al. 1980).

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

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

P/R = Rapporto Fotosintesi/Respirazione.

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 primaria acquatica) rendendo le comunità acquatiche energeticamente autosufficienti rispetto agli apporti terrestri che, tuttavia, continuano ad essere una importante risorsa; 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 (caduta delle foglie, fotosintesi), è ottenuta accoppiando ad esse una serie di accorgimenti regolativi: sequenza temporale sincronizzata nell'arco dell'anno 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 portata– il mantenimento della stabilità richiede una elevata diversità biologica, 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.

Naturalmente nei singoli corsi d'acqua numerosi fattori provocano spostamenti locali o generali dallo schema ideale tracciato dal river continuum concept. La transizione delle caratteristiche fisiche dalla sorgente alla foce non è infatti uniforme, ma mostra accelerazioni o rallentamenti in relazione a numerosi fattori, tra i quali: presenza di più livelli di

base (es. in corrispondenza di laghi o cascate); di rami morti e zone umide permanentemente o saltuariamente in collegamento idraulico col fiume (Fig. 2); immissione di affluenti con bacino vegetato o denudato; cambiamenti della tipologia dell'alveo (Fig. 3); anomalie geologiche (es. in regioni carsiche) o climatiche (es. in regioni aride). Il river continuum concept è dunque un utile schema interpretativo che non può prescindere dal tenere nel dovuto conto le particolarità locali.

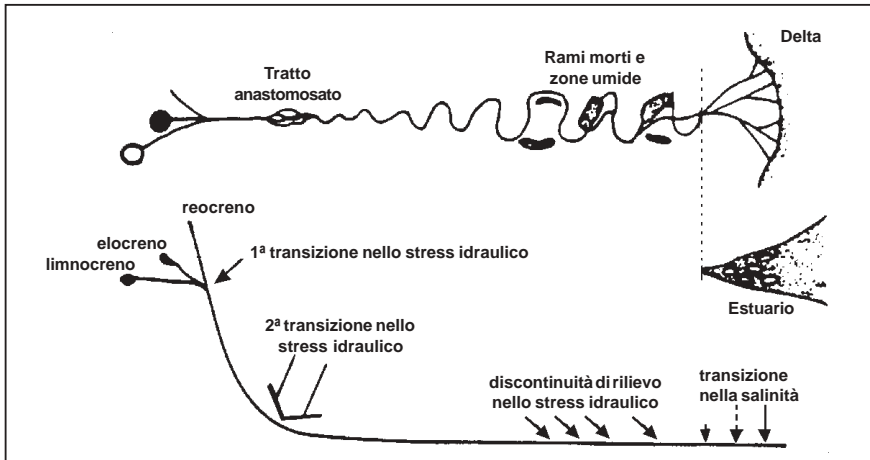


Figura 2: Alcuni cambiamenti tipici nella tendenza centrale delle caratteristiche dell'habitat dalla sorgente alla foce in un ipotetico corso d'acqua naturale. Non tutte le componenti illustrate sono necessariamente presenti. (Statzner et Higler, 1980)

Caratteristiche geomorfologiche			
	Canyon	Anastomosato	Meandriforme
PARAMETRO			
Rapporto superficie/portata	Basso	Alto	Medio
Apporto organico ripario	Basso	Alti	Medi
Ritenzione del detrito	Basso	Alta	Medio-alta
Superficie bagnata	Basso	Ampia	Media

Figura 3: Cambiamenti di alcuni parametri ecosistemici di rilievo in risposta a cambiamenti delle caratteristiche geomorfologiche risultanti da differenti dinamiche idrauliche in diversi tratti di un corso d'acqua. (Minshall et al., 1985)

2.2 L'equilibrio energetico in un sistema aperto

In sistemi biologici considerati chiusi il rapporto P/R tra la produzione fotosintetica e la respirazione, entrambe misurate in $\text{g di O}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, è un indice descrittivo della funzionalità del sistema: la circolazione delle risorse avviene in uno spazio definito nel quale gli equilibri che si instaurano sono legati da reciproci rapporti tra comparti biotici e abiotici.

Nel caso di un sistema aperto l'utilizzo del rapporto P/R come indice diagnostico funzionale risulta piuttosto impreciso e tale imprecisione cresce con l'aumento dell'apertura del sistema.

La teoria del river continuum mostra la transizione del sistema fluviale, secondo il gradiente longitudinale, da condizioni eterotrofiche ad autotrofiche e quindi nuovamente eterotrofiche. Dal punto di vista ecologico sembrerebbe che il sistema non possa mai raggiungere lo stadio di climax (con rapporto P/R uguale a uno) e che oscilli tra stadi immaturi, con rapporto P/R maggiore o minore di uno.

Esiste tuttavia la possibilità che ci siano sistemi in equilibrio con P/R diverso da uno nei quali il mantenimento dell'equilibrio è ottenuto regolando l'energia in ingresso (*import*) o in uscita (*export*) dal sistema.

In un diagramma bidimensionale la relazione di equilibrio tra P e R può essere descritta da una semiretta che ha origine dall'intersezione degli assi e divide il piano in uno spazio eterotrofico ed in uno autotrofico (Fig. 4), mentre la semiretta rappresenta la situazione di equilibrio e perciò di maturità del metabolismo del sistema.

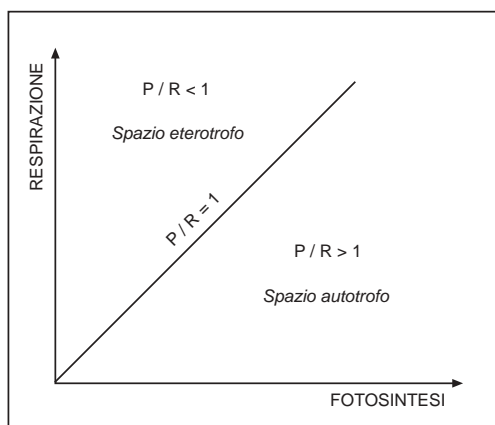


Figura 4: Relazione, in diagramma bidimensionale, fra produzione primaria (P) e respirazione (R) in un ecosistema, con individuazione degli spazi eterotrofi, autotrofi e i punti di equilibrio al climax.

Per meglio definire gli scambi energetici che avvengono in un tratto di fiume discreto, alle variabili P e R occorre aggiungere le variabili I (Import), E (Export) e D (Detrito). L'import e l'export sono rappresentati dal materiale organico grossolano (CPOM), fine (FPOM) e disciolto (DOM) veicolato in ingresso e in uscita, mentre il detrito rappresenta la quota parte di energia di riserva presente nel sistema come particellato fine immagazzinato e disponibile.

La rappresentazione sintetica del modello è riconducibile alla semplice equazione:

$$I + P = R + E + D$$

È evidente che la variazione di un parametro comporta automaticamente la ricerca di un nuovo equilibrio con variazione in uno o più parametri del sistema. Un aumento dell'import, considerando la produzione costante, può determinare un aumento della respirazione (cioè un incremento della frazione di individui aerobi e perciò della biomassa bentonica) o un aumento dell'export al tratto di fiume successivo, oppure l'aumento della frazione di riserva.

La figura 5 illustra in maniera efficace le relazioni esistenti tra i diversi parametri e definisce un nuovo assetto dell'equilibrio.

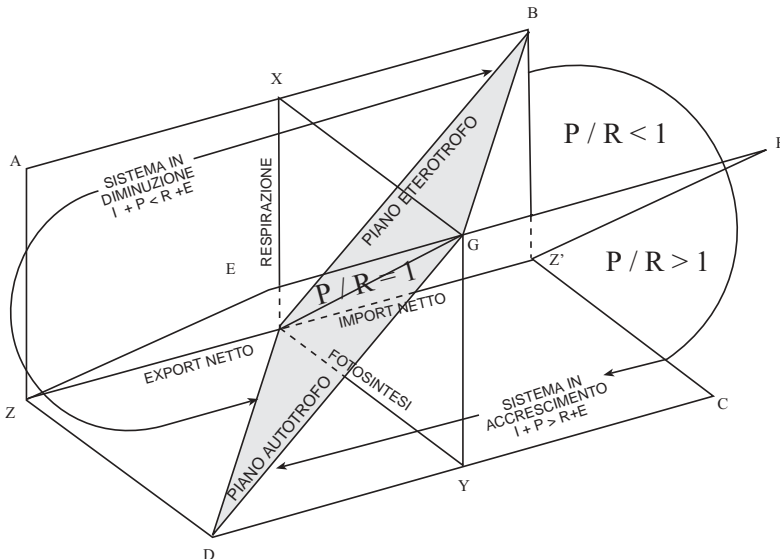


Figura 5: Schematizzazione in diagramma tridimensionale del flusso di energia di un ecosistema aperto. P= import netto; E = export; N.I. = import (I-E); N.E. = export netto (E-I).

Se in una rappresentazione bidimensionale l'equilibrio tra produzione e respirazione è costituito dalla semiretta bisettrice (O-G), nella rappresentazione tridimensionale tali condizioni di equilibrio giacciono in un piano obliquo (OBD). Lo spazio nel grafico tridimensionale viene così diviso in due parti dal piano della relazione $P/R=1$:

- la prima parte (a destra del piano, nella figura 5) esprime lo spazio del sistema in accrescimento (accumulatore), descritto dalla relazione $I+P>R+E$
- la seconda parte (a sinistra del piano), invece, illustra lo spazio dove prevalgono gli elementi in uscita, configurando un sistema in decremento (esportativo) descritto dalla relazione $I+P<R+E$.

La capacità di un sistema di accrescersi o decrescere dipende perciò dagli equilibri che si instaurano all'interno del corpo d'acqua con variazioni della riserva (D), determinando una situazione di equilibrio mobile del sistema stesso, condizionata soprattutto dalle influenze del bacino imbrifero.

I nuovi livelli di equilibrio inducono modifiche anche nella composizione delle biocenosi che si adeguano alle disponibilità di energia metabolica del sistema, con variazioni qualitative e quantitative della comunità di macroinvertebrati. È evidente che un'immissione di materiale organico estraneo al sistema (es. refluo fognario) determina uno spostamento dell'equilibrio verso un aumento del detrito e della respirazione con conseguente ridefinizione dello spettro bentonico. Tale situazione è condizionata dalla resilienza del sistema e quindi dalla capacità di assorbire le variazioni attestandosi su nuovi stadi di equilibrio metastabile attraverso l'attivazione di dinamiche metaboliche o cambiamenti della composizione strutturale del comparto biologico.

2.3 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.

In uno stagno, ad esempio, un atomo di carbonio inorganico –sotto forma di anidride carbonica– viene *organicato* nel processo della *fotosintesi* ad opera dei vegetali acquatici e, successivamente, viene nuova-

mente *mineralizzato* a CO_2 attraverso la *respirazione* dei consumatori (erbivori o carnivori) o dei decompositori (Fig. 6A). L'insieme di questi processi può essere schematizzato da un ciclo di diametro tanto più piccolo quanto più rapida è l'attività biologica che conduce alla "chiusura del cerchio" (Fig. 6B).

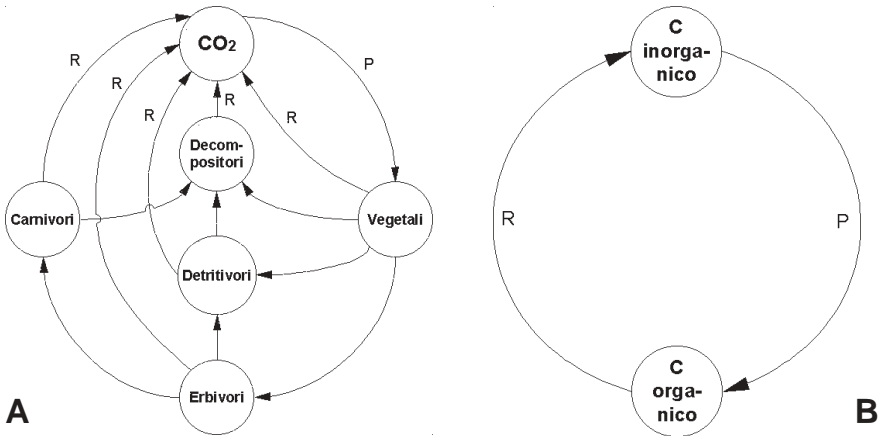


Figura 6. A: Schema del ciclo della materia per il carbonio. B: lo stesso schema semplificato.

P = Fotosintesi;
R = Respirazione

In un fiume, invece, il trasporto della materia fa sì che gli stessi processi non si chiudano *in situ*, ma dopo un percorso più o meno lungo: è come se la serie di cicli che si succedono nel tempo venisse "stirata" nello spazio a formare una spirale. L'accoppiamento tra ciclizzazione e trasporto –la *spiralizzazione dei nutrienti*– viene perciò rappresentato 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. 7).

	MECCANISMI RITENZIONE ATTIVITÀ		CICLIZZAZIONE TASSO DI Distanza fra LE SPIRE		RISPOSTA DELL'ECOSIST. ALL'AGGIUNTA NUTRIENTI	STABILITÀ ECOSISTEMA
	A)	ALTA	ALTA	VELOCE	CORTA	CONSERVATIVO (I>E)
B)	ALTA	BASSA	LENTO	CORTA	ACCUMULATORE (I>E)	ALTA
C)	BASSA	ALTA	VELOCE	LUNGA	CONSERVATIVO INTERMEDIO <A >D	BASSA
D)	BASSA	BASSA	LENTO	LUNGA	ESPORTATORE (I=E)	BASSA

Figura 7: *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. I = Import; E = Export (Minshall, 1983)*

Il processo di ritenzione della materia organica è molto importante nell'economia di un corso d'acqua poiché fornisce agli organismi acquatici –macroscopici e microscopici– più occasioni e un tempo più lungo per la sua assunzione e assimilazione. L'entità del trasporto non dipende solo dalla velocità della corrente, ma anche dalla presenza ed efficienza di dispositivi di ritenzione.

Nei corsi d'acqua lentici il trasporto della materia organica è ostacolato –oltreché dalla stessa bassa velocità della corrente– dai dispositivi di ritenzione, costituiti essenzialmente dalla vegetazione acquatica, sia sommersa sia emergente.

Nei corsi d'acqua lotici le foglie e gli altri frammenti vegetali che cadono in acqua possono essere trasportati anche molto lontano, ma spesso vengono sequestrati in fondo all'alveo, intrappolati tra i massi, sotto i ciottoli, sulla riva tra le radici emergenti della vegetazione riparia, costituendo in tal modo una riserva alimentare. La ritenzione avviene anche nei siti nei quali si verifica una riduzione locale della velocità della corrente, quali le pozze profonde, le situazioni di ristagno e rigurgito d'acqua al lato di un salto (anche piccolo) e i tratti con pendenza ridotta.

La spiralizzazione delle sostanze nutritive (carbonio, azoto e fosforo) può essere suddivisa in due fasi: l'assunzione (*uptake*) dei nutrienti

dal comparto acqua da parte dei componenti del biota acquatico (batteri, funghi, protozoi, macroinvertebrati ecc.) e la successiva metabolizzazione e trasporto attraverso la catena alimentare.

Perciò la lunghezza della spirale S può essere considerata come somma tra la lunghezza S_w –intesa come distanza percorsa da un atomo di nutriente con la corrente fino a quando non viene assunto dal biota– e S_b , corrispondente alla distanza compiuta nel biota dall’atomo considerato prima di essere rilasciato nel comparto acqua in forma inorganica.

Per meglio comprendere il processo di spiralizzazione si prenda in esame un tratto discreto di corso d’acqua ridotto ad un modello molto semplice, considerandolo formato dal comparto acqua (W), dove il nutriente è presente in forma disciolta, e dal comparto biota (B), dove invece è presente nelle molecole dei tessuti biologici. Tra i due comparti esistono delle relazioni biunivoche: di prelievo ed assimilazione da parte del biota, definita U (*Uptake*) ed espressa come massa su superficie per unità di tempo ($g \cdot m^2 \cdot s^{-1}$) e di rilascio (R) da parte del biota nell’acqua, anch’esso espresso in $g \cdot m^2 \cdot s^{-1}$. Nel modello di dislocazione del nutriente, il trasporto viene rappresentato da due flussi verso valle, F_w e F_b . Il primo indica la capacità della corrente di veicolare un atomo nell’acqua, mentre il secondo indica il flusso di trasporto nel biota; entrambi vengono espressi in massa per lunghezza del fiume per unità di tempo ($g \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$) (Fig. 8).

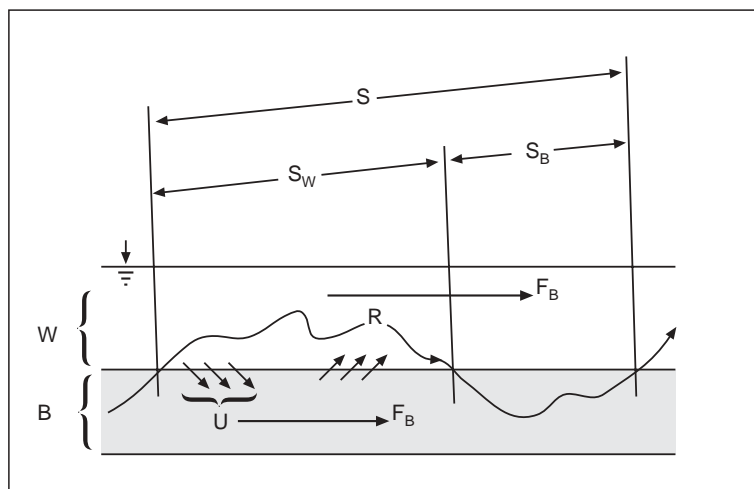


Figura 8: Sintesi grafica del concetto di spiralizzazione: sovrapposizione tra il modello del corso d’acqua, con la suddivisione dei comparti “acqua” (W) e “bioma” (B) e relativi rapporti, e modello di dislocazione del nutriente, con i flussi (F_w , F_b) di trasporto verso valle. (Newbold, 1994)

Supponendo che l'assunzione unitaria H_w dall'acqua verso il biota sia regolata dal rapporto U/F_w , cioè $H_w \text{ (m}^{-1}\text{)} = U/F_w$ e che, analogamente, il tasso di rilascio H_b dal biota verso il comparto acqua sia dato dal rapporto R/F_b , cioè $H_b \text{ (m}^{-1}\text{)} = R/F_b$, allora le distanze di trasporto S_w e S_b risultano essere il reciproco di H_w e H_b , cosicché è possibile determinare la lunghezza totale in metri della spirale S , ovvero:

$$S = S_w + S_b = F_w/U + F_b/R$$

Nel caso ideale in cui in un fiume si verificano situazioni uniformi e stabili, l'assunzione sarà uguale al rilascio ($U=R$) e di conseguenza

$$S = F_t/U$$

dove F_t esprime il flusso totale dato da $F_w + F_b$. Questa equazione riesce a descrivere che maggiore è l'assimilazione tanto più corta sarà la ciclizzazione a spirale del nutriente confermando l'intuizione originaria della spiralizzazione.

Questa semplice modellizzazione ha lo scopo di illustrare in modo facilmente comprensibile il processo di utilizzazione e trasporto di un atomo di nutriente in un fiume ed inoltre di caratterizzare un corso d'acqua in funzione dei dispositivi di ritenzione e della capacità di ciclizzazione dei nutrienti (si riveda la Fig. 7).

2.4. L'importanza della diversità ambientale

Lo studio ecologico dei fiumi –sistemi interattivi per eccellenza– incorpora differenti livelli di risoluzione spaziale: 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 (Fig. 9).

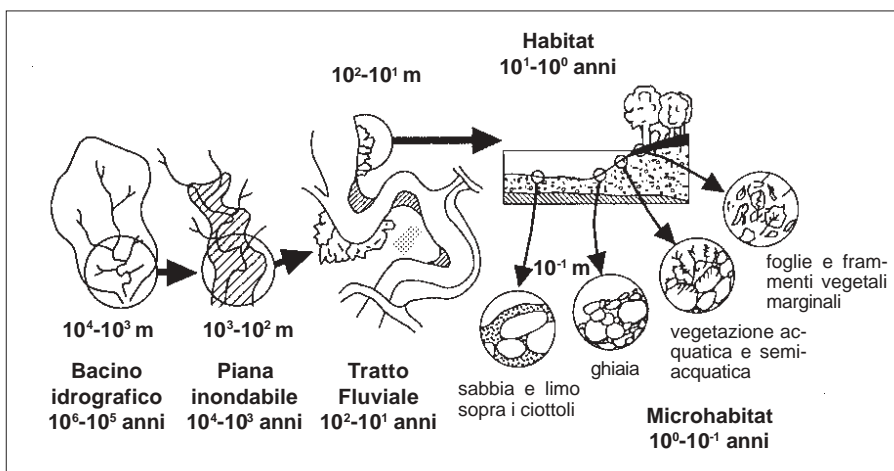


Figura 9: Scala spaziale e temporale dell'organizzazione gerarchica di un sistema fluviale e dei suoi sub-sistemi di habitat. (La scala spaziale lineare indicata è relativa ad un corso d'acqua montano di 2°-3° ordine). (Palmer, 1976)

Particolare importanza rivestono alcune componenti ambientali (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 alle 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 è il numero di specie che possono convivere nell'ambiente.

L'elevata diversità biologica, a sua volta, contribuisce ad una più pronta ed efficace risposta alle variazioni temporali del carico organico, ad una migliore efficienza depurante e ad una maggiore stabilità del sistema.

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. 10).

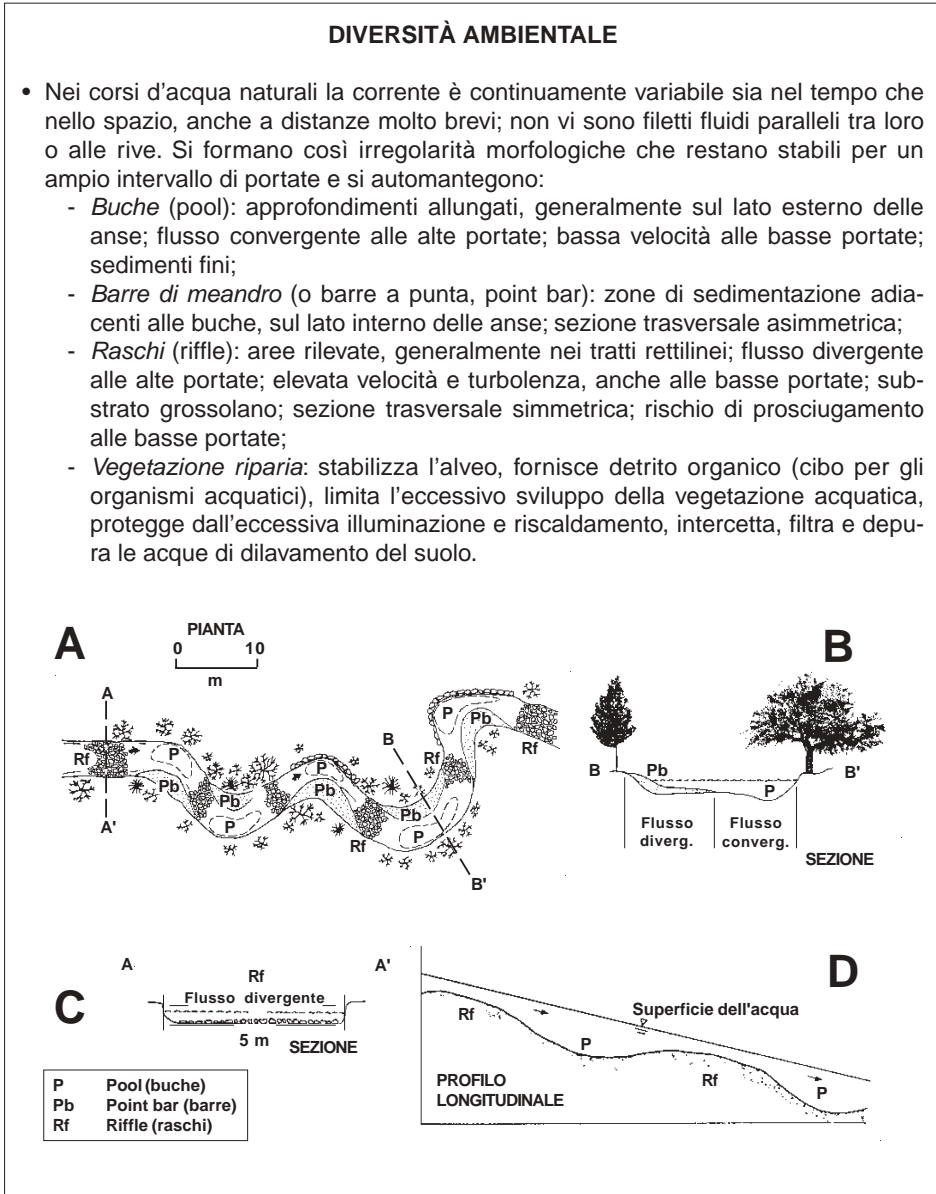


Figura 10: Elementi morfologici in un alveo naturale. (A da Keller et Brookes, 1984 (mod.); B e C da Brookes, 1988; D da Chang, 1988)

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 ed 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.

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 un'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, quando i raschi restano quasi asciutti. 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.

2.5. Le componenti biotiche dell'ecosistema acquatico

2.5.1. I Macroinvertebrati bentonici

I macroinvertebrati di acqua corrente sono organismi con taglia raramente inferiore al millimetro che vivono sui substrati disponibili dei corsi d'acqua, usando meccanismi di adattamento che li rendono capaci di resistere alla corrente. Ad essi appartengono principalmente i seguenti gruppi: Insetti, Crostacei, Molluschi, Irudinei, Tricladi, Oligocheti.

I macroinvertebrati bentonici occupano tutti i livelli dei consumatori nella struttura trofica degli ambienti di acque correnti, ove sono contemporaneamente presenti organismi erbivori, carnivori e detritivori, che adottano una vasta gamma di meccanismi di nutrizione in modo da sfruttare al massimo le risorse alimentari disponibili.

Nel processo di trasferimento e di elaborazione della materia organica presente in un corso d'acqua, gli invertebrati bentonici hanno il duplice ruolo di un consumo diretto (alimentazione e respirazione) e di una frantumazione del particellato in sostanze più facilmente assimilabili dalla componente batterica. A loro volta i macroinvertebrati costituiscono l'alimento preferenziale per numerose specie di pesci.

Il complesso di attività trofiche che si svolge in un corso d'acqua ha la funzione di riportare l'ambiente allo stato di efficienza metabolica caratteristico per quella tipologia fluviale e può essere sintetizzato col termine "potere depurante". Una comunità macrobentonica diversificata, essendo capace di sfruttare più efficacemente l'intera gamma di apporti alimentari e di adattarsi meglio alle loro variazioni temporali, è garanzia di una buona efficienza depurativa.

La composizione "attesa" o ottimale della comunità dei macroinvertebrati corrisponde a quella che, in condizioni di buona efficienza dell'ecosistema, dovrebbe colonizzare quella determinata tipologia fluviale. Infatti in un corso d'acqua dalla sorgente alla foce variano diversi fattori, quali velocità di corrente, caratteristiche del substrato, portata, temperatura, ossigenazione, nutrienti, durezza e, contestualmente, varia-

no anche struttura e funzione delle biocenosi; le differenti tipologie che si succedono in un fiume costituiscono un utile esempio per dimostrare come la diversa organizzazione delle comunità risponda ad una precisa funzione trofica.

Ai fini del presente indice, le principali biotipologie si possono ricondurre ad un numero limitato di modelli generali per i quali vengono fornite indicazioni di larga massima relative alle strutture di comunità "attese" di macroinvertebrati bentonici.

In particolare, nelle indicazioni fornite per rispondere alle domande, viene richiesto di verificare la presenza di alcuni gruppi di organismi che, in condizioni ottimali, dovrebbero colonizzare le tipologie fluviali descritte e che, essendo sensibili ai diversi fattori di turbativa, sono particolarmente adatti ad essere utilizzati come indicatori.

Vale la pena di ricordare che, oltre all'inquinamento idrico, anche le alterazioni della componente abiotica di un ecosistema fluviale inducono una banalizzazione ed un'alterazione delle comunità macrobentoniche, poiché i diversi organismi sono adattati, sia dal punto di vista comportamentale che morfologico, a microhabitat diversi. Natura del substrato e velocità di corrente sono, ad esempio, tra i principali fattori fisici determinanti la distribuzione dei macroinvertebrati nelle acque correnti. Ad esempio, tra gli Efemerotteri le larve litofile sono tipiche dei tratti superiori dei corsi d'acqua, caratterizzati da substrati a massi e ciottoli, sui quali si spostano, e velocità di corrente medio-alta. Le forme scavatrici vivono invece nelle zone planiziali con velocità di corrente non elevata, dove si spostano nuotando e possono scavare gallerie nei substrati argillosi, sabbiosi o ghiaiosi. Tutti gli Efemerotteri, inoltre, hanno bisogno di tratti con acqua poco profonda, affinché le larve possano sfarfallare e gli adulti possano deporre le uova sui substrati sommersi.

È pertanto evidente che non solo l'inquinamento delle acque, ma anche le alterazioni e le banalizzazioni della morfologia degli ecosistemi fluviali, sia in senso longitudinale che trasversale, condizionano la distribuzione dei macroinvertebrati bentonici e la possibilità di compiere il loro ciclo vitale.

2.5.2 La componente vegetale

Gli ecosistemi fluviali sono sistemi *non equilibrium* in cui la componente vegetale è soggetta a drastici fattori limitanti determinati dallo stesso dinamismo fluviale. Frequenza e durata dei periodi di sommersione, livello della falda freatica, forza della corrente, litologia e granulometria del substrato, trasparenza dell'acqua sono solo alcuni dei fattori che determinano la distribuzione lungo il corso d'acqua, sia in senso longitudinale (dalla sorgente alla foce) sia in senso trasversale (dal centro dell'alveo bagnato sino al limite dell'alveo di piena), di aggruppamenti vegetali diversificati in funzione dell'adattamento a tali fattori ecologici.

I popolamenti legati agli ecosistemi fluviali sono accomunati dall'essere costituiti da specie igrofile (seppur con livelli diversi di idrofilia) e dal formare, in linea di massima, aggruppamenti o fitocenosi di tipo *corridoio*, disposti spesso uno accanto all'altro parallelamente al corso d'acqua.

I fattori che influenzano le caratteristiche della componente vegetale negli ecosistemi fluviali, oltre ad agire nei confronti della vegetazione, sono spesso tra loro correlati. Tali fattori, che agiscono direttamente sui popolamenti acquatici, agiscono anche sulla vegetazione riparia, sia direttamente, durante gli eventi di piena, sia indirettamente, influenzando il livello della falda.

Con il termine *water force* si intende riferirsi al complesso di azioni ed effetti fisici causati nel tempo dall'acqua sui corpi immersi. Per quanto riguarda i vegetali in alveo è ovvio che lo scorrere dell'acqua, le variazioni di portata, le variazioni della velocità della corrente nonché la frequenza con cui tali variazioni si succedono, possono condizionare fortemente la distribuzione, l'estensione e la composizione dei popolamenti. Conseguenza della turbolenza può essere, talvolta, una maggiore torbidità dell'acqua e, in genere, in corrispondenza di rapide o cascate, una maggiore ossigenazione. La trasparenza dell'acqua determina (assieme alla profondità) la quantità di luce che raggiunge i vegetali e, conseguentemente, l'energia disponibile per la fotosintesi. La "water force" è a sua volta controllata da un complesso di altri fattori quali le dimensioni del corso d'acqua, le caratteristiche del profilo trasversale e longitudinale, la morfologia del bacino, l'entità, la frequenza e la distribuzione (spaziale e temporale) delle precipitazioni, l'uso del suolo e, soprattutto, la litologia del substrato su cui si imposta il bacino ed il corso d'acqua.

Il clima del bacino ha una forte influenza sul popolamento vegetale, contribuendo a determinare l'entità dell'azione meccanica esercitata dall'acqua; inoltre, le condizioni climatiche influenzano anche, per altri aspetti, la vegetazione determinando anche la temperatura dell'aria e dell'acqua e la quantità di luce che raggiunge le piante direttamente o attraverso la superficie dell'acqua. Le fluttuazioni giornaliere e stagionali della temperatura dell'acqua sono modulate dal suo alto calore specifico: ciò fa sì che le piante acquatiche siano meno soggette di quelle terrestri a brusche variazioni della temperatura.

La litologia del substrato su cui si imposta il bacino è un altro fondamentale fattore nel determinare le caratteristiche del popolamento vegetale. La litologia influenza sia la morfologia del bacino, sia le caratteristiche del fondo dell'alveo e dei suoli circostanti. Infatti, la presenza di rocce compatte difficilmente erodibili determina la formazione di substrati grossolani. La litologia influenza poi la stabilità del rilascio idrico (condizionata dalla permeabilità) e influenza il chimismo dell'acqua e, quindi, il ciclo dei nutrienti. Inoltre, altri fattori correlati con la litologia sono l'anossia e la stessa stabilità dei suoli. Determinando la morfologia del bacino, la litologia ha infine un'influenza indiretta nel determinare l'uso del suolo.

Il regime idrologico e i conseguenti fenomeni ciclici temporali e spaziali di erosione e deposito influenzano significativamente i popolamenti vegetali: in particolare l'asportazione del suolo e la deposizione di sedimenti determinano sia variazioni nell'estensione delle aree disponibili per l'insediamento delle formazioni riparie, sia l'instaurarsi di cicli di rinnovamento nelle serie dinamiche di vegetazione contribuendo, quindi, alla determinazione dell'ampiezza delle fasce di vegetazione riparia.

La dimensione del corso d'acqua è un altro fattore che influisce sul popolamento vegetale: in particolare, per la vegetazione in alveo la profondità è il fattore di controllo più importante.

Tra i principali fattori che contribuiscono a determinare la struttura e la fisionomia della copertura vegetale occorre considerare anche le interazioni trofiche con le altre componenti del biota, ed in particolare con i consumatori primari, rispetto ai quali si tende ad una situazione di equilibrio dinamico. Anche le attività antropiche, determinando l'uso del suolo nel bacino e alterando lo stato trofico, i cicli dei nutrienti e le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua, influenzano fortemente le caratteristiche dei popolamenti vegetali. La concentrazione di nutrienti

ed inquinanti agisce sui popolamenti vegetali di acque correnti per quanto riguarda sia la composizione specifica (favorendo le specie meno sensibili e più tolleranti) sia la struttura dei popolamenti (determinando i livelli di copertura delle singole specie nonché lo sviluppo complessivo della vegetazione acquatica e di greto). Inoltre, l'antropizzazione del territorio spinta fino al margine del corso d'acqua determina la totale scomparsa delle formazioni riparie.

Il climax delle formazioni vegetali dei corsi d'acqua è di tipo azonale, ovvero non segue una precisa zonazione climatica, dipendendo piuttosto da fattori edafici. Infatti, la presenza di condizioni edafiche estreme condiziona fortemente i popolamenti, determinando l'instaurarsi di paraclimax, (climax edafico piuttosto che climatico), causato dall'impossibilità di raggiungere gli stadi più evoluti nelle serie dinamiche di vegetazione.

Il flusso idrico, comportandosi come una sorta di nastro trasportatore, contribuisce alla diffusione delle specie vegetali insediate lungo le sue sponde determinando il mantenimento di una relativa uniformità dei popolamenti vegetali lungo il corso d'acqua. Frequentemente, quindi, le comunità vegetali insediate lungo i corsi d'acqua presentano una significativa costanza sia lungo il profilo longitudinale, sia nell'ambito delle regioni biogeografiche.

Una prima schematica suddivisione raggruppa i popolamenti vegetali di ecosistemi fluviali in: phytoplankton, periphyton, macrofite acquatiche, canneti (più correttamente fragmiteti, tifeti, scirpeti, cariceti), formazioni erbacee pioniere di greto, nonché formazioni riparie arbustive ed arboree. Si tratta comunque di popolamenti e cenosi strettamente influenzati dalla presenza dell'acqua, costituiti da specie adattate, spesso in maniera esclusiva, agli ambienti fluviali.

Quelli citati sono solo aggruppamenti funzionali in cui è possibile suddividere in maniera schematica i popolamenti vegetali e forzatamente descrivono in maniera semplificata la realtà ambientale; non è possibile individuare nette suddivisioni tra un aggruppamento funzionale e l'altro: molte specie possono essere comprese in più di uno di essi.

2.5.2.1. Ambiente acquatico

Secondo alcuni autori i vegetali acquatici sono solo quelli che si sviluppano interamente in acqua, in modo che gli individui siano completamente sommersi oppure appena galleggianti: anche la germinazione delle spore e dei semi, la formazione delle nuove plantule e, di regola, i processi riproduttivi avvengono in ambiente acquoso. Secondo tale definizione le specie radicate in acqua, ma emergenti con fusto e parte delle foglie, non rientrano tra le piante acquatiche.

Nell'ambito dell'ecosistema fluviale, può essere più utile considerare complessivamente i popolamenti vegetali insediati nell'ambito dell'alveo bagnato e non solo quelli completamente sommersi.

È possibile delineare uno schema di distribuzione di tale popolazione in corrispondenza di una sezione tipo teorica, in funzione delle forme biologiche delle specie vegetali che vi si insediano (Fig. 11).

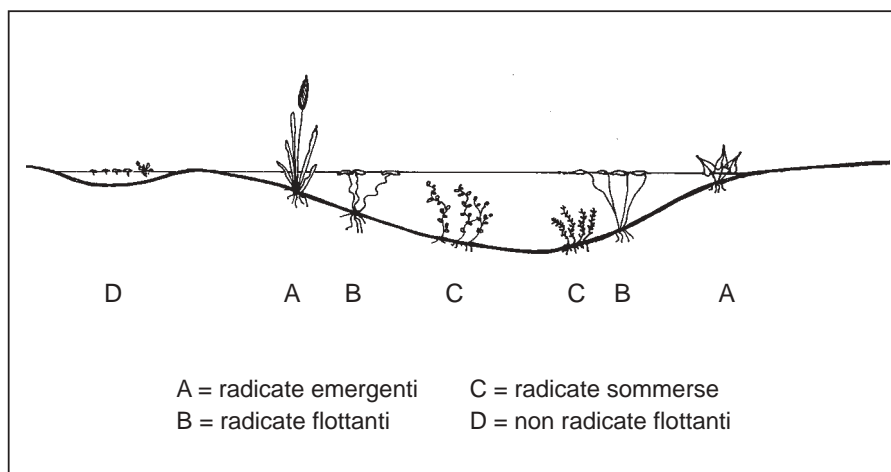


Figura 11: Disposizione delle tipologie di piante acquatiche lungo una sezione trasversale.

Partendo dalla porzione centrale del corso d'acqua, possono insediarsi specie *radicate sommerse*: queste sono caratterizzate dall'essere completamente sommerse e ancorate al substrato per mezzo di radici o rizoidi che, in linea di massima, non hanno alcuna funzione nutritiva (es. *Ceratophyllum* sp., *Chara* sp.).

Laddove si ha una minore profondità si rinvengono le specie *radicate flottanti*: gli individui di queste specie sono ancorati al substrato per

mezzo di radici o rizoidi, ma sono comunque presenti foglie e organi riproduttivi che galleggiano sulla superficie; spesso tali specie presentano eterofillia, nel senso che è presente un dimorfismo fogliare molto spinto tra le foglie sommerse, fortemente laciniate, e quelle flottanti laminari (es. *Potamogeton* sp., *Nuphar* sp., *Ranunculus* sp.).

Nelle porzioni a velocità bassa o nulla è possibile rinvenire in superficie specie *non radicate flottanti*: gli individui di queste specie galleggiano sull'acqua e non sono in alcun modo ancorati al fondo; le radici, se presenti, sono libere e non hanno, ovviamente, funzione di ancoraggio (ad esempio *Lemna* sp., *Trapa* sp.).

Nei pressi delle rive si collocano le specie *radicate emergenti*: si tratta di piante radicate che emergono con un'ampia porzione del loro corpo vegetativo e che presentano caratteristiche di idrofilia minore rispetto a quelle sinora descritte, potendo tollerare anche periodi di emersione. Le specie radicate emergenti si insediano in quella porzione dell'alveo di morbida soggetta alle maggiori variazioni di livello dell'acqua e possono appartenere sia ai canneti (fragmiteti, tifeti, scirpeti, cariceti) sia alle formazioni pioniere di greto: queste ultime formazioni si insediano a partire dal limite dell'acqua, nell'alveo di morbida, e sono costituite da specie erbacee pioniere, spesso annue. La buona resistenza all'inondazione, la capacità di crescere su substrati con pedogenesi scarsa o nulla e la veloce propagazione, fanno sì che queste specie possano colonizzare tali ambienti; l'alveo di morbida risulta, infatti, frequentemente inondato e ciò impedisce il consolidarsi di una vera fitocenosi.

Tutti i popolamenti acquatici descritti sono, in genere, caratterizzati da una scarsa o nulla coordinazione tra le specie che li compongono, tanto che, secondo alcuni autori, non sarebbe possibile definirli come cenosi. Nella maggior parte dei casi, infatti, gli aspetti autoecologici prevalgono su quelli sinecologici e sono preponderanti le specie a vasto areale mentre sono rare quelle endemiche e localizzate.

Nell'ambito degli ecosistemi fluviali i vegetali acquatici rivestono non solo il ruolo di produttori primari, in particolare con la componente autotrofa del periphyton, ma anche quello di costituenti di habitat. In funzione della collocazione dei diversi raggruppamenti vegetali lungo la sezione trasversale del corso d'acqua, si differenziano diversi microhabitat che possono ospitare faune diversificate a seconda delle caratteristiche delle specie vegetali che li costituiscono. Inoltre, attraverso i processi di organicazione dei nutrienti, contribuiscono significativamente ai pro-

cessi di autodepurazione delle acque.

Attraverso l'esame della struttura e della composizione dei popolamenti acquatici possono essere raccolte indicazioni abbastanza precise sul livello di alterazione della qualità chimica, fisica e biologica dell'acqua, in quanto tali popolamenti sono costituiti da specie dipendenti totalmente o in misura decisamente elevata dall'acqua come mezzo da cui trarre elementi nutritivi (anche le specie radicate emergenti che si trovano nell'alveo di morbida si insediano su substrati frequentemente inondati). Sull'uso dei vegetali acquatici come bioindicatori si fondano numerose metodologie di biomonitoraggio per le acque correnti. In particolare, molti indici si basano sulla correlazione esistente tra inquinamento organico e caratteristiche del popolamento vegetale: secondo diversi autori gli organismi vegetali sarebbero, infatti, più sensibili del macrozoobenthos all'inquinamento di natura organica e ne registrerebbero la comparsa e l'entità con maggior precisione.

Nell'ambito della vegetazione di ambiente acquatico, per la sua peculiarità dal punto di vista strutturale e funzionale, il periphyton riveste un ruolo a se stante. È possibile descrivere due diversi approcci allo studio del periphyton che si sono contrapposti nel corso degli ultimi decenni: da un lato il periphyton è considerato una sorta di biofilm scarsamente strutturato che ricopre tutti i tipi di substrati immersi, per l'altro si tratta di una complessa comunità multistrato. Il termine periphyton è ormai entrato nell'uso comune per indicare una comunità complessa di microrganismi che vivono aderenti ai substrati immersi di diversa natura (inorganici ed organici, viventi o morti), che comprende alghe, batteri, funghi, protozoi nonché detrito organico ed inorganico; inoltre, si considerano facenti parte del periphyton sia gli organismi aderenti al substrato sia quelli che lo penetrano o che si muovono all'interno del reticolo tridimensionale costituito dalle forme sessili. Normalmente, quindi, il periphyton è una comunità strutturata costituita da organismi che hanno dimensioni anche molto variabili: da pochi micron a diversi centimetri comprendendo sia microalghe quali le diatomee (tra gli organismi più rappresentativi della componente autotrofa del periphyton) sia alghe macrofittiche bentoniche, appartenenti a diversi gruppi tassonomici.

La componente autotrofa costituisce la porzione preponderante del periphyton in termini di biomassa e, dal punto di vista funzionale, ne caratterizza il ruolo ecologico. Infatti, il ruolo svolto dal periphyton nell'ambito dell'ecosistema fluviale, è prevalentemente quello di produzio-

ne primaria *in situ*, data la ridottissima funzione svolta dal fitoplancton in acque correnti (a differenza di quanto accade in ambienti lentic). Accanto a ciò, non è secondaria anche la funzione che il periphyton svolge nei confronti della fauna invertebrata bentonica, che lo utilizza non solo a scopo alimentare, ma anche per i particolari microhabitat che si costituiscono alla superficie dei substrati immersi.

I fattori ambientali che determinano la composizione e la struttura dei popolamenti vegetali in genere, lungo il corso d'acqua, condizionano fortemente anche le comunità perifittiche, facendo variare la composizione specifica delle comunità, le dimensioni e la forma delle colonie, nonché il tasso riproduttivo del periphyton. Tra questi si ritiene assumano particolare importanza la presenza di nutrienti, la velocità della corrente, la capacità abrasiva del corso d'acqua, la torbidità dell'acqua (che influenza sia la "capacità abrasiva" dell'acqua, sia la quantità di luce che gli organismi possono utilizzare), l'ombreggiamento, il tipo di substrato, il pascolo degli erbivori bentonici.

La risposta delle comunità perifittiche agli stress ambientali consiste in un'alterazione più o meno intensa della struttura del popolamento, a partire da un cambiamento nella composizione specifica, con la scomparsa delle specie sensibili. Sono anche note situazioni particolari causate da eccessivo carico organico, nelle quali il periphyton si sviluppa enormemente in numero di individui e biomassa totale, formando tappeti continui, anche in cordoni, definiti "blanket weeds", costituiti in massima parte da alghe macrofittiche bentoniche. Sulla sensibilità del periphyton alle variazioni ambientali si fondano varie tecniche di biomonitoraggio; la componente perifittica viene utilizzata principalmente per la valutazione del carico organico: in particolare, numerose metodologie utilizzano le diatomee (indici diatomici) o le alghe macrofittiche bentoniche (indici macrofittici) come indicatrici.

2.5.2.2. Ambiente ripario

L'ambiente ripario è una zona d'interfaccia o ecotono tra l'ambiente acquatico in senso stretto e il territorio circostante, contigua al corso d'acqua ed ancora interessata dalle piene o dalla falda freatica fluviale. La definizione di ambiente ripario è strettamente connessa a quella di vegetazione riparia: è proprio la presenza delle formazioni vegetali riparie che delimita ed evidenzia l'esistenza di una zona riparia, rendendo possibile la distinzione tra aree prossime all'alveo, in cui la vegetazione è ancora influenzata dal corso d'acqua, e aree circostanti in cui sono insediate le formazioni zonali.

Rispetto ai fattori ecologici, le specie riparie sono caratterizzate da adattamenti morfologici e fisiologici quali la flessibilità di fusti e radici, la presenza di aerenchimi o la presenza di radici avventizie, tipica di generi arborei quali *Populus*, *Salix* e *Alnus*. Oltre a questi adattamenti ne sono presenti anche altri di tipo riproduttivo, quali la riproduzione vegetativa anche per radicamento di porzioni vegetative (rami, fusti, radici), la dispersione di semi e frammenti vegetativi per trasporto acqueo (idrocoria), la produzione dei semi durante il ritiro delle acque di piena al fine di permetterne la germinazione su substrati umidi ma non dilavati.

Dal punto di vista strutturale, la copertura vegetale degli ambienti ripari è costituita da diverse formazioni che s'insediano, una di fianco all'altra, con sviluppo parallelo rispetto al corso d'acqua, a partire dal limite esterno dell'alveo di morbida, strutturandosi in fasce di vegetazione. Il popolamento della fascia a erbacee pioniere di greto che si sviluppa nell'alveo di morbida non viene considerato ripario, ma piuttosto appartenente all'insieme dei popolamenti acquatici in senso lato. Esternamente ad esso, nella porzione di letto definibile come alveo di piena, si rinvengono le formazioni arbustive riparie, generalmente a prevalenza di salici (saliceti arbustivi). Le formazioni arboree riparie, spesso a prevalenza di ontani (ontaneti) e/o di salici arborei (saliceti) e pioppi, si insediano esternamente agli arbusteti (Fig. 12).

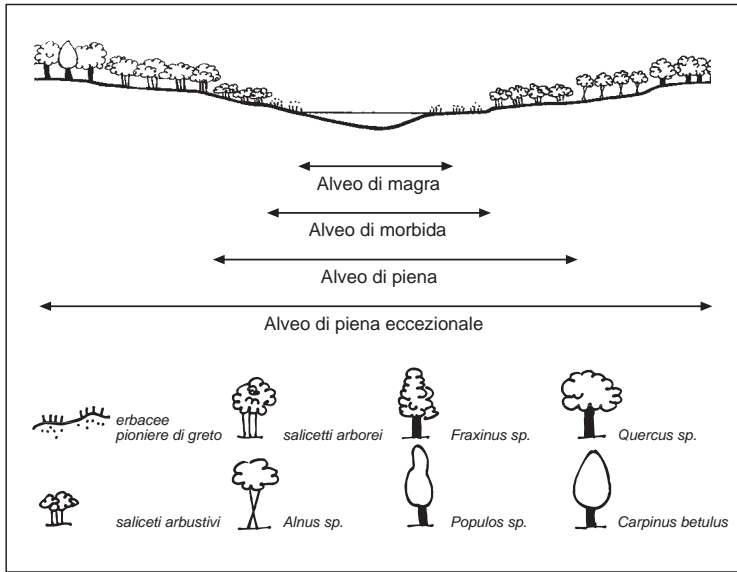


Figura 12: Distribuzione delle tipologie di vegetazione riparia lungo una sezione trasversale.

In ambito peninsulare a clima mediterraneo, la composizione delle comunità riparie è frequentemente integrata da specie arbustive e arboree più termofile, quali *Tamarix gallica*, *Nerium oleander*, *Fraxinus oxycarpa*, *Platanus orientalis*.

Tutte le specie che costituiscono le formazioni arbustive e arboree riparie sono igrofite e la loro crescita è influenzata dall'immediata vicinanza delle loro radici all'acqua.

Rispetto a quanto descritto, si rinvencono sul territorio varie situazioni corrispondenti ad altrettante varianti dello schema proposto. La presenza/assenza e la dominanza di una o più formazioni riparie è determinata sia da fattori morfologici, sia dall'uso del territorio. In assenza di azioni di disturbo di origine antropica e ove la morfologia del territorio lo consenta, è possibile rinvenire tutte le formazioni riparie descritte.

Nei tratti in cui il corso d'acqua scorre tra rive particolarmente ripide, le formazioni arboree zonali delle pendici si sviluppano quasi fino al livello dell'acqua, talvolta solo con l'interposizione di una sottile fascia di saliceto arbustivo.

Il pesante impatto antropico degli ultimi decenni sulle zone riparie, con interventi quali canalizzazioni e prelievi, ha portato alla distruzione spesso totale della vegetazione igrofila primaria, trasformando notevolmente sia la componente biotica, sia quella abiotica dell'ecosistema.

Talvolta le formazioni riparie sono totalmente scomparse e l'unico popolamento con caratteristiche igrofile, non schiettamente acquatico, è quello delle erbacee pioniere di greto; oppure, più frequentemente, si rinvencono anche formazioni arbustive poste a diretto contatto con le formazioni zonali confinanti o con aree agricole o urbane. Le formazioni arbustive ed erbacee pioniere hanno, quindi, solitamente un'espansione maggiore poiché s'insediano in zone frequentemente allagate (alveo di morbida o di piena), e quindi meno interessate dallo sfruttamento antropico. Tranne in rari casi, la vegetazione riparia risulta profondamente alterata o ridotta ad una fascia molto sottile, spesso sostituita da specie esotiche che, essendo in gran parte invasive, diminuiscono la naturalità e la biodiversità degli ecosistemi fluviali.

Le formazioni vegetali riparie hanno un ruolo fondamentale nella costituzione e caratterizzazione degli ecosistemi fluviali e contribuiscono in maniera sostanziale a determinarne la funzionalità ecologica. La presenza di formazioni riparie sviluppate riduce in modo cospicuo l'erosione delle rive (secondo alcuni autori sino a 30 volte) e, nel contempo, modifica il trasporto dei sedimenti sia attraverso l'intrappolamento fisico dei materiali, sia alterando il regime idraulico dell'alveo. Infatti, la presenza di formazioni arbustive ed arboree riduce la velocità della corrente e trattiene il sedimento in posto. Durante le piene, la presenza delle formazioni riparie fornisce ai pesci ripari protetti dalla corrente e favorisce grandemente il deposito di sedimento e di materia organica. La presenza delle sole formazioni erbacee non garantisce lo svolgimento di tale funzione: da questo punto di vista, le prestazioni della sola copertura erbacea sembrano essere decisamente insufficienti, soprattutto in corrispondenza di numerosi eventi di piena susseguentisi in un periodo breve.

Le formazioni riparie apportano anche cospicui quantitativi di materia organica che divengono disponibili all'interno dell'ecosistema fluviale; nelle zone temperate i valori variano da 900 a 50 g di peso secco di lettiera al m².

La presenza di fasce di vegetazione riparia sviluppate impedisce il rapido deflusso delle acque dopo le piene favorendo quindi, oltre alla deposizione di materiali fini, anche il mantenimento, per lungo tempo, di umidità in ampie porzioni del suolo delle aree riparie.

Le formazioni riparie contribuiscono sostanzialmente a determinare il microclima in ambito fluviale: in particolare, la temperatura dell'acqua è correlata a quella del suolo nelle fasce riparie circostanti.

La vegetazione riparia inoltre, intercettando il flusso idrico subsuperficiale (tramite gli apparati radicali) e compiendo la traspirazione (nella chioma), sottraggono al primo il calore latente d'evaporazione dell'acqua, raffreddando così gli apporti idrici laterali. Con questo meccanismo, ancor più dell'ombreggiamento, contribuisce a mantenere fresche le acque fluviali.

Nell'ambito delle aree riparie si svolgono anche importanti processi di accumulo e rimozione di nutrienti: la copertura vegetale ha un ruolo fondamentale in tali processi e assume funzioni tampone tanto più efficaci quanto più è strutturata e sviluppata. Le formazioni arboree riparie, infatti, garantiscono accumulo di nutrienti a corto termine in biomassa non legnosa e accumulo a lungo termine in biomassa legnosa.

Nelle aree riparie può essere trattenuta una porzione decisamente rilevante dei nutrienti derivanti dalle aree circostanti: risulta evidente come l'efficacia della funzione tampone delle aree riparie nei confronti di eventuali picchi di carico organico provenienti da attività agricole e/o da aree urbane sia fondamentale per la protezione della funzionalità ecologica del corso d'acqua nel suo complesso. La mancanza di formazioni riparie sufficientemente sviluppate e strutturate compromette questo ruolo di filtro; la vegetazione riparia svolge perciò un ruolo anche nel processo di autodepurazione delle acque. La funzione tampone nei confronti dei nutrienti, intesi come azoto e fosforo, provenienti dalle aree circostanti il corso d'acqua non è importante solo in termini protettivi, ma anche come fonte di accantonamento: in bacini in cui possano essere relativamente scarsi gli apporti di nutrienti le formazioni riparie possono costituire una sorta di serbatoio.

Da ultimo va sottolineato come, specie in aree ampiamente antropizzate, le formazioni riparie si configurino come unico elemento di naturalità anche per ampi ambiti territoriali. Gli ambienti ripari costituiscono un importante elemento di diversità ambientale rispetto alle aree circostanti, anche in relazione al fatto che si caratterizzano di per sé come ambienti ad elevata biodiversità, sia a livello di habitat sia a livello di specie.

Le formazioni riparie funzionano inoltre da corridoio di dispersione per gli animali terrestri, e, soprattutto, per gli uccelli migratori e per le specie vegetali in genere.

2.6 Il potere autodepurante

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 (microalghe, idrofite). 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 (*perphyton*) che riveste i ciottoli fluviali, rappresentano il primo sistema depurante dei corsi d'acqua.

Questo depuratore naturale supporta fisicamente e biologicamente un secondo sistema depurante, costituito dai macroinvertebrati, che funge da acceleratore e regolatore del processo. La loro ricchezza di specializzazioni massimizza l'utilizzo di tutte le forme di risorse alimentari disponibili (scarichi umani compresi) e rende la comunità in grado di rispondere in maniera flessibile alle variazioni stagionali o antropiche del carico organico.

I macroinvertebrati che si nutrono di batteri ne "ringiovaniscono" le popolazioni mantenendole così in uno stato di elevata attività, mentre i trituratori, 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 e, 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. Molto efficace è inoltre il ruolo della vegetazione acquatica nell'azione di ciclizzazione dei nutrienti. Questi organismi, sia vegetali che animali, nel loro insieme possono essere considerati il terzo sistema depurante dell'ambiente fluviale.

L'efficienza dei tre sistemi depuranti è, a sua volta, condizionata dall'integrità dell'ambiente terrestre circostante, in particolare delle fasce di vegetazione riparia. Questo quarto sistema, oltre a fornire cibo ed habitat agli organismi microscopici, ai macroinvertebrati e ai vertebra-

ti, svolge una duplice funzione depurante, 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 gli altri 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).

La denitrificazione è un processo di particolare interesse in quanto riduce i composti azotati ad azoto gassoso (N_2), che viene restituito all'atmosfera (Fig. 13). Il processo è operato da batteri anaerobi facoltativi in grado di utilizzare i nitrati (NO_3^-) nei loro processi respiratori quando vengono a trovarsi in carenza o assenza di ossigeno. Questi periodi di anossia si verificano quando il suolo viene saturato dall'innalzamento del livello della falda. (Pinay, 1990)

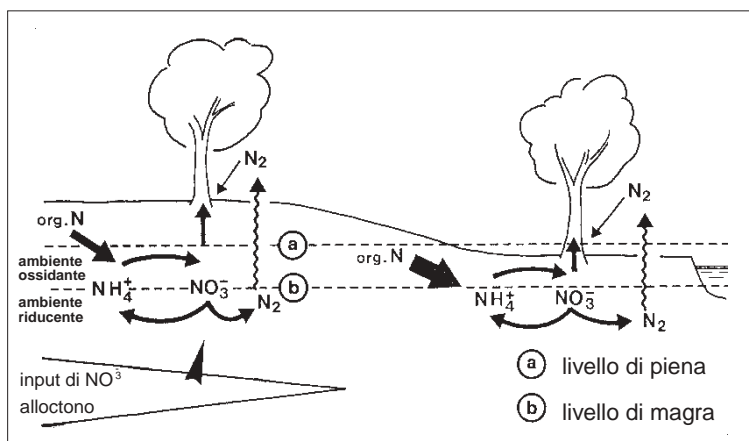


Figura 13: Rappresentazione spaziale del ciclo dell'azoto attraverso un transetto perpendicolare al fiume entro il bosco ripario. (Pinay, 1990)

La denitrificazione è dunque largamente dipendente dalla frequenza e dalla durata dei periodi di inondazione delle fasce riparie. Le alterazioni del ciclo naturale di questi eventi possono indurre consistenti riduzioni della quantità di azoto restituito all'atmosfera.

Il processo richiede la disponibilità di carbonio organico come fonte di energia (che, in una fascia riparia, viene fornito dalle foglie e dalle radici decomposte e dagli acidi umici); è inoltre influenzato dalla temperatura, dall'umidità del suolo, dalla struttura dei sedimenti (un'alta percentuale di limo aumenta l'efficienza del processo) ed infine dal pH.

Il risultato complessivo dei processi autodepuranti è schematizzato nella figura 14.

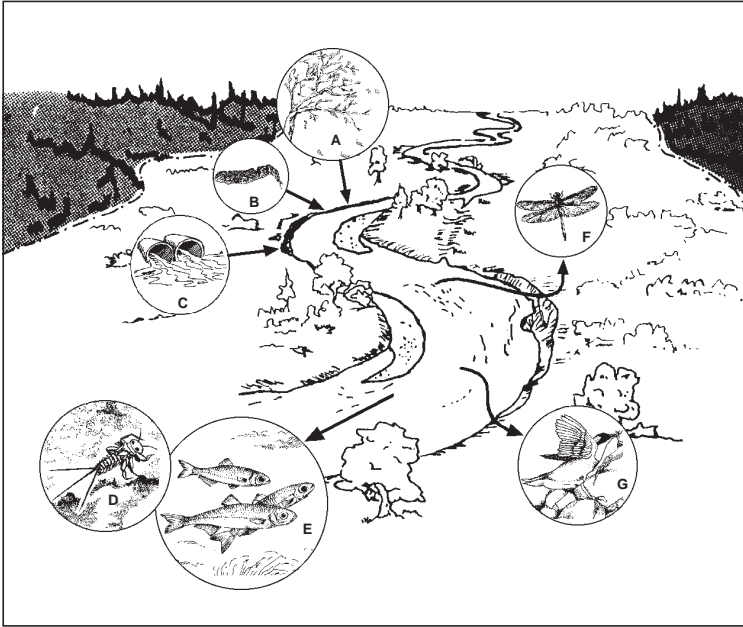


Figura 14: L'essenza del processo autodepurante. I rifiuti organici provenienti dal territorio (A: foglie e frammenti vegetali; B: escrementi e spoglie animali; C: scarichi antropici) raggiunto il fiume vengono assunti dagli organismi acquatici (D: macroinvertebrati; E: pesci, ecc.) e trasformati così in biomassa vivente che, in parte, viene restituita al territorio sotto forma di insetti alati (F), uccelli (G) e altri.

2.7 Gli ecotoni ripari

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 igrofilo. Questa vera e propria interfaccia attiva tra l'ambiente dell'acqua corrente e il confinante ambiente terrestre svolge importantissime funzioni ecologiche: fasce tampone per i nutrienti; aree di riproduzione e svezzamento 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 genetico 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.

La larghezza delle fasce riparie dipende da diversi fattori tra i quali il regime idraulico, la struttura geologica, la forma della valle fluviale e l'uso antropico del territorio circostante. Si possono avere quindi fasce riparie larghe pochi metri o intere foreste umide, come nel tratto terminale del Po o lungo grandi fiumi potamali non regimati. La composizione del suolo di queste zone è diversa da quella dell'ambiente circostante a causa di successive deposizioni ed erosioni, provocate dalle variazioni di portata del corso d'acqua. Notevole importanza rivestono il grado di umidità relativa, più elevato rispetto all'ambiente schiettamente terrestre, e le variazioni stagionali del livello di saturazione idrica dei suoli indotto dalle fluttuazioni della falda.

Gli scambi di sostanza organica a diverso grado di elaborazione tra il fiume e gli ecotoni ripari sono particolarmente intensi in occasione delle precipitazioni e delle piene. Seppure discontinui, questi scambi fanno dell'ambiente acquatico e di quello terrestre un unico e inscindibile complesso funzionale (Fig. 15).

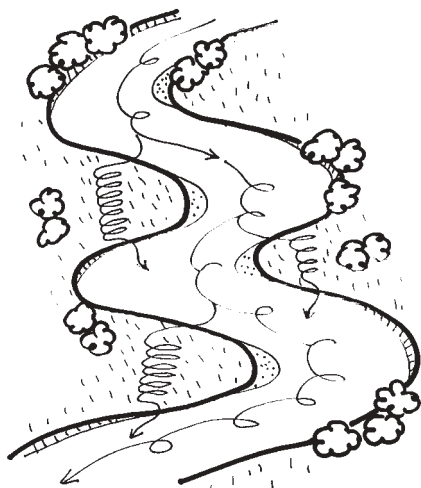


Figura 15: Spiralizzazione dei nutrienti in un sistema fluviale. Procedendo verso valle, un singolo atomo passa ripetutamente tra stati organici ed inorganici (l'ordine di grandezza del ciclo è del centinaio di metri). A questo processo partecipano attivamente anche le zone riparie periodicamente inondate, parte integrante dell'ecosistema fluviale.

Va infine ricordata la disseminazione lungo l'asse fluviale di semi, spore ed organismi; ciò determina l'instaurarsi di una flora e di una fauna peculiari e diverse rispetto a quelle degli ecosistemi confinanti.

Merita ricordare di seguito le principali funzioni ecologiche svolte dagli ecotoni ripari.

- *Ombreggiamento del corso d'acqua:* la presenza di vegetazione arborea riparia protegge l'acqua da un eccessivo irraggiamento solare e quindi da aumenti di temperatura che determinerebbero una riduzione dell'ossigeno disciolto, causando seri problemi di respirazione all'intera comunità acquatica. Zone d'ombra sono indispensabili alla vita di molti pesci che, essendo privi di palpebre, mal sopportano condizioni di luminosità elevate. L'ombreggiamento, inoltre, limita l'eccessivo sviluppo delle idrofite.
- *Protezione delle rive:* le specie arboree ed arbustive adattate a questo particolare ambiente (es. ontani, salici) sono dotate di apparati radicali estesi e profondi che, conferendo una buona resistenza all'impeto della corrente, svolgono un efficace consolidamento delle sponde.
- *Aumento della diversità ambientale:* la presenza sulle rive di radici, rami, incavature, ecc. crea molti microambienti, favorendo l'incremento della diversità biologica, con effetto equilibratore sull'intera comunità biologica.
- *Apporto di energia:* come già visto, i fiumi sono ecosistemi aperti nei quali l'apporto energetico proviene soprattutto dal territorio circostan-

te sotto forma di foglie. La mancanza di vegetazione riparia si ripercuote perciò in una diminuzione degli organismi sminuzzatori/tagliuzzatori, conducendo ad uno squilibrio della comunità biologica nel suo complesso.

- *Habitat per molta fauna vertebrata ed invertebrata*: l'ambiente ripario è una importante fonte di cibo e di rifugio. Per i mammiferi rappresenta un corridoio ecologico che facilita i loro spostamenti, per gli uccelli è una zona di sosta durante le migrazioni e un'area di nidificazione, per alcuni rettili è un habitat preferenziale, per molti anfibi è una zona di riproduzione e sviluppo; le radici e i rami aggettanti, infine, offrono habitat idonei a molte specie ittiche durante il loro ciclo biologico.
- *Corridoio ecologico*: le fasce riparie seguono lo sviluppo longitudinale dei fiumi, attraversando ed unendo il territorio. In ambienti fortemente antropizzati possono rappresentare l'unico sistema di spostamento sicuro per la fauna.
- *Incremento della biodiversità*: la natura ecotonale delle aree perifluviali, soggette a frequenti modificazioni, favorisce la presenza di comunità animali e vegetali in continua evoluzione e scambio con gli ambienti limitrofi. Questa condizione porta all'instaurarsi di comunità quantitativamente e qualitativamente molto ricche rispetto agli habitat più schiettamente terrestri. Ciò è importante di per sé e in quanto fonte d'irraggiamento verso il territorio circostante.
- *Filtro biologico*: in zone agricole l'apporto al fiume di azoto e fosforo attraverso le acque di dilavamento è molto elevato e contribuisce in maniera determinante all'eutrofizzazione del corso d'acqua e del suo recettore (lago o mare). Una buona fascia riparia è in grado di trattenere ed utilizzare una gran quantità di questi sali, assimilandoli nei tessuti vegetali, e di favorire la denitrificazione.

L'estensione lineare di questi ambienti di confine tra acqua e terra è perciò di grande interesse ecologico; laddove le fasce riparie non siano alterate dall'uomo, attraversano e connettono il territorio con un corridoio ecologico di importanza vitale per la fauna vertebrata e invertebrata. Purtroppo questa rete di comunicazione, che univa il territorio, è stata largamente ridotta e parcellizzata per motivi legati al controllo delle piene e al recupero di nuovi o migliori terreni agricoli.

2.8 Il collegamento funzionale tra il fiume e il suo territorio

La funzionalità e le dinamiche fluviali sono condizionate in larga misura dalle caratteristiche del territorio circostante, sia dalle adiacenti fasce di vegetazione riparia sia dall'intero bacino e, in particolare, dal suo grado di copertura forestale. Quest'ultima favorisce un regime idraulico con magre e piene meno accentuate e una migliore qualità delle acque (Fig. 16).

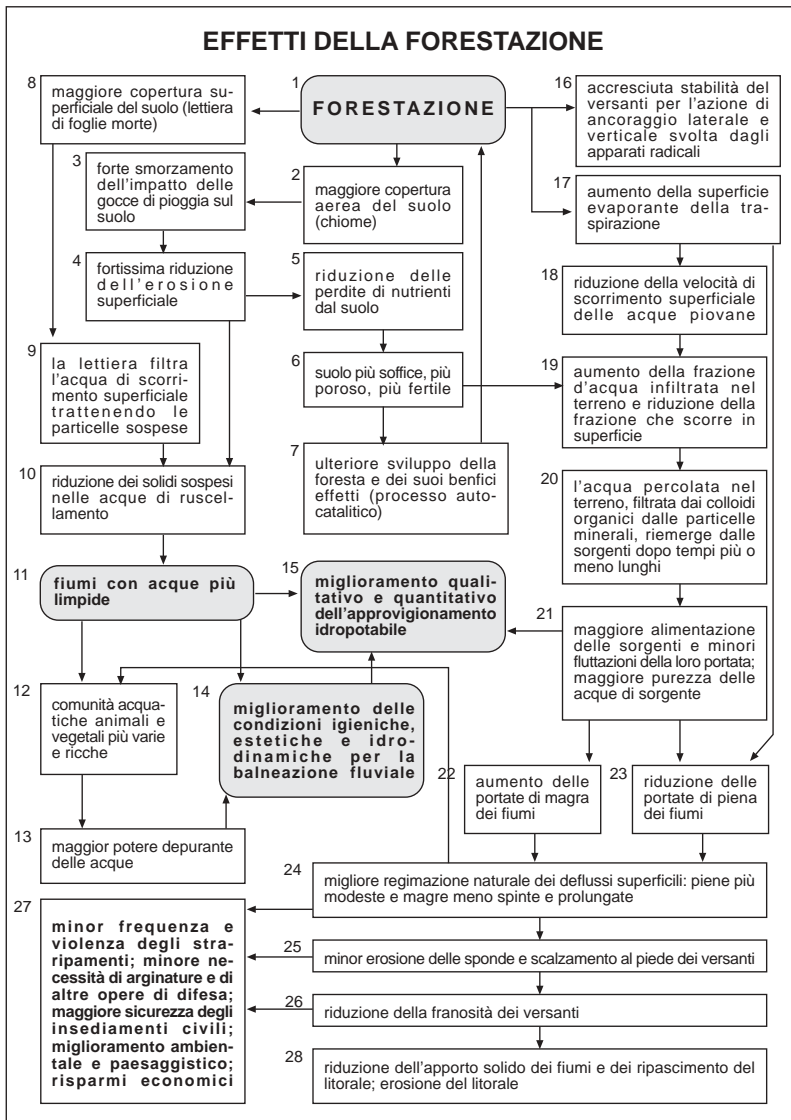


Figura 16: Il complesso dei benefici effetti della forestazione.

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 laterale; in essi le fasce di vegetazione riparia esplicano un ruolo talmente importante da divenire inscindibili dal fiume in senso stretto.

Questo approccio culturale pluridimensionale (Fig. 17) rende più intuitiva la comprensione della connettività che caratterizza i sistemi fluviali: questi rispondono a livello sistemico (sia a monte che a valle) alle perturbazioni locali. Dà ragione, inoltre, 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).

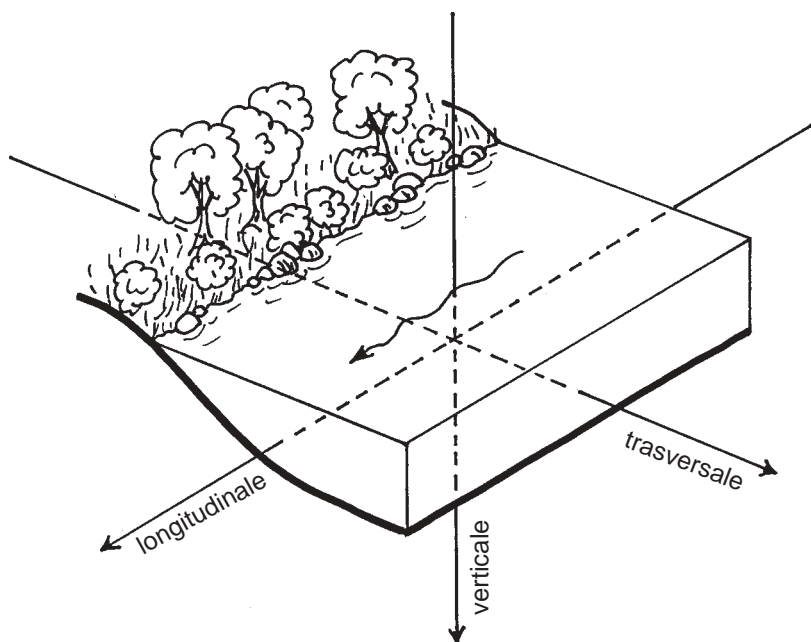


Figura 17: Approccio pluridimensionale all'ambiente fluviale.

A queste dimensioni si aggiunge quella temporale: considerato che la morfologia dell'alveo può variare su lunghi periodi di tempo 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. A titolo di esempio, se gli apporti organici al fiume posso-

no 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).

