

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

## LINEAMENTI DI ECOLOGIA FLUVIALE

### **This is the author's manuscript**

*Original Citation:*

*Availability:*

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/1731496> since 2020-02-26T18:18:51Z

*Publisher:*

CittàStudi / DEAGOSTINI Scuola

*Terms of use:*

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

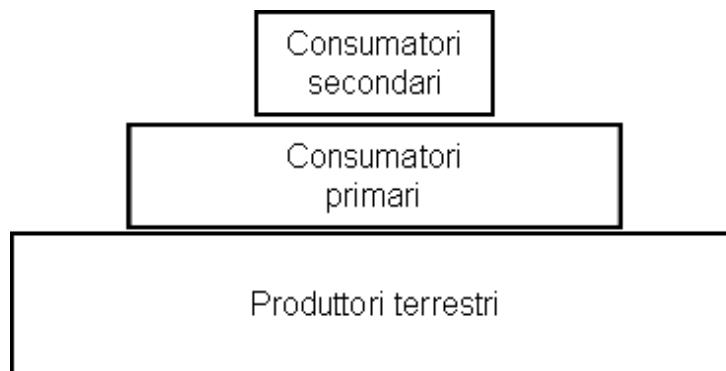
## 3 Organizzazione funzionale dei sistemi lotici

### 3.1 *Come funziona un fiume?*

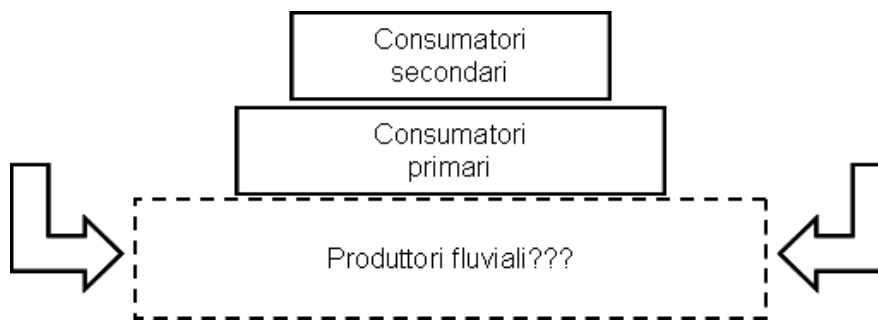
Sin dall'infanzia siamo abituati a pensare ai sistemi ecologici come a strutture piramidali: un'ampia base costituita dagli organismi produttori sostiene un gradino superiore formato dai consumatori primari (o erbivori) e termina con un ristretto scalino di consumatori secondari (o predatori). Così, semplificando, scopriamo che una volpe sopravvive grazie alla presenza di numerose lepri, sostenute a loro volta da migliaia e migliaia di steli d'erba distribuiti in alcuni ettari di pascolo (Fig. 3.1).

Questo semplice schema, valido per gran parte degli ecosistemi marini, lacustri e terrestri, non può tuttavia essere applicato agli ambienti fluviali. Osservando la struttura trofica di un tratto di torrente appenninico o alpino possiamo trovare molti vertebrati carnivori (ad esempio trote, anche di ragguardevoli dimensioni), numerosissimi invertebrati carnivori, onnivori e detritivori, ma pochi produttori, limitati a qualche sporadico ciuffo di muschi e alla sottilissima patina perfitica di alghe unicellulari.

La piramide trofica è quindi profondamente sbilanciata e il sistema lotico si presenta generalmente povero di organismi autotrofi, cioè produttori (Fig. 3.2).



**Fig. 3.1** Piramide ecologica degli ambienti terrestri.



**Fig. 3.2** Piramide ecologica degli ambienti fluviali.

Una delle più macroscopiche differenze tra ambienti terrestri e ambienti di acqua corrente risiede proprio nel fatto che nei primi la piante superiori coprono generalmente il 99% dello spazio disponibile, mentre nei secondi la loro presenza è ridottissima o nulla (Hynes, 1970). I sistemi lotici sono infatti ambienti poco adatti alla presenza massiccia di produttori primari: la velocità della corrente ostacola lo sviluppo del phytoplankton, e assieme all'elevata instabilità dell'alveo, alla torbidità e al trasporto solido limita drasticamente la presenza di alghe bentoniche, briofite e angiosperme.

Cosa «consumano» quindi gli organismi eterotrofi del fiume? Su quali produttori si basa questa struttura trofica? La risposta si può ottenere passeggiando in una giornata d'autunno nei pressi di un torrente e osservando la quantità impressionante di foglie che si ammassano negli impluvi (Fig. 3.3).



**Fig. 3.3** L'accumulo delle foglie in autunno, il maggior input energetico alloctono dei sistemi fluviali.

Foglie, rami e detrito vegetale prodotti in ecosistemi terrestri vengono trasportati dalla gravità e dalle acque meteoriche nei sistemi fluviali, e in questo nuovo ambiente vengono processati e metabolizzati. Per questo motivo, torrenti e fiumi costituiscono ambienti ecologici particolari, a cui mal si addice la definizione classica di «ecosistema».

Dal punto di vista ecologico si può quindi affermare che, mentre gran parte dei sistemi terrestri sono largamente basati sulla catena del pascolo, cioè sul consumo diretto di produttori viventi, i fiumi sono strutturati fondamentalmente sulla catena del detrito, cioè sul consumo di organismi produttori morti o frammenti di essi.

Gli ambienti lotici sono fortemente influenzati dal flusso di materia ed energia che arriva dal tratto a monte e dal bacino drenato, costituendo quindi un tipico sistema ecologico aperto (Ghetti, 1985). In un tratto di fiume, il metabolismo generale e quindi le dinamiche energetiche possono essere illustrate e sintetizzate dalla seguente formula:

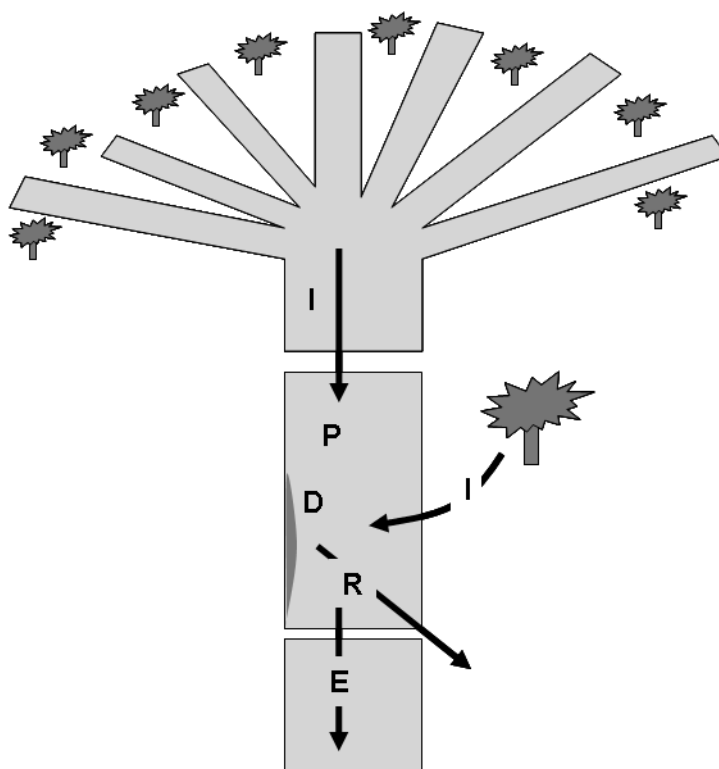
$$I + P = R + E + D$$

dove:

- I = input energetico alloctono, cioè energia prodotta nel bacino o nel tratto a monte e convogliata nel segmento esaminato;
- P = produzione primaria interna o input energetico autoctono, ad opera dei produttori fluviali;

- R = respirazione, cioè consumo energetico della biocenosi presente nel tratto fluviale;
- E = esportazione di energia ad opera della corrente, verso i tratti a valle;
- D = detrito organico, che costituisce una riserva di energia per l'ecosistema (Fig. 3.4).

Possiamo quindi considerare un corso d'acqua come un sistema essenzialmente eterotrofo (Cummins, 1979), costituito da un insieme di situazioni biotiche e abiotiche differenti: dalla sorgente alla foce variano continuamente le caratteristiche idrologiche, come la velocità della corrente, le caratteristiche morfologiche, quali la pendenza, l'ampiezza e la granulometria dell'alveo, le caratteristiche chimico-fisiche, come la temperatura, l'ossigenazione, la durezza e le caratteristiche biologiche, come la struttura e la composizione delle biocenosi.



**Fig. 3.4** Flusso di materia ed energia nei sistemi fluviali (I = input alloctono; P = produttività interna; R = respirazione; E = esportazione o output; D = accumulo interno attraverso il detrito organico).

### 3.2 Energia e sostanza organica nei sistemi fluviali

Nei sistemi fluviali sono distinguibili quattro diverse categorie di sostanza organica, che costituiscono altrettante fonti di energia per le comunità biologiche (Giller, Malmqvist, 1988):

- 1) materiale organico autoctono: generato dai produttori primari fluviali (principalmente presenti nella patina perifitica) utilizzando le radiazioni solari;
- 2) CPOM (Coarse Particulate Organic Matter): particellato organico grossolano, avente dimensioni  $> 1$  mm. È costituito in gran parte da foglie e frammenti vegetali alloctoni, derivanti dalla vegetazione terrestre;
- 3) FPOM (Fine Particulate Organic Matter): particellato organico fine, con dimensioni tra  $0,45 \mu\text{m}$  e  $1$  mm. È costituito principalmente da prodotti dello sminuzzamento del CPOM, feci di invertebrati, particelle organiche trasportate dal vento e dalle acque di dilavamento;
- 4) DOM (Dissolved Organic Matter): particelle organiche minuscole, con diametro  $< 0,45 \mu\text{m}$ . Il DOM può entrare nel sistema lotico attraverso le acque sotterranee o le acque di dilavamento del suolo, originandosi per lisciviazione dalle foglie oppure come essudato dei produttori primari autoctoni. Il DOM è principalmente costituito da acidi fulvici, umici e idrofilici, carboidrati, zuccheri, amminoacidi oltre a piccoli batteri, virus e sostanze colloidali (Volk et al., 1997).

Il materiale organico prodotto internamente alimenta la catena trofica del pascolo, mentre il materiale alloctono e quello autoctono non vivente alimentano la catena trofica principale del fiume: la catena del detrito. I fiumi sono quindi sistemi energetici aperti, strettamente interconnessi con i tratti a monte e a valle e con un duplice ingresso energetico: autoctono, legato cioè alla produzione primaria interna, e alloctono, legato alla produzione primaria terrestre.

### 3.3 Input energetici autoctoni

Gli input energetici autoctoni derivano dalla produttività primaria interna e sono quindi legati alla presenza di produttori all'interno del sistema fluviale, come riportato nel precedente paragrafo e nel Capitolo 2. Essi sono particolarmente importanti nei tratti medi dei fiumi, ove pendenza dell'alveo, velocità della corrente e profondità delle acque sono più favorevoli all'insediamento del periphyton e delle macrofite.

In un lavoro del 1985, Dell'Uomo fornisce indicazioni sulla presenza e distribuzione dei produttori primari in un fiume dell'Appennino centrale. Nel tratto alto, caratterizzato da acque fredde e turbolente, gli organismi autotrofi più diffusi sono le alghe bentoniche, come Diatomee, *Phormidium*, *Bangia*, *Batracospermum* e le briofite, come *Cratoneurum*, *Eurynchium* e *Fontinalis*. Scendendo verso valle, la pendenza dell'alveo si addolcisce mentre le temperature e l'irraggiamento solare aumentano: questo tratto è dominato da una ricca flora di alghe bentoniche, come *Cladophora*, *Ulothrix*, *Vaucheria* e numerose Diatomee. Dove il fiume incontra la pianura, le caratteristiche ambientali favoriscono la crescita di numerose macrofite, come *Myriophyllum* e *Nuphar*. Infine, nel tratto potamale, portata e torbidità fanno sì che le macrofite siano poche e limitate ai bordi del fiume, le alghe diminuiscano nettamente (sono presenti diatomee estremamente mobili, come *Navicula* e *Nitzschia*) e le briofite scompaiano. Per quanto concerne il phytoplankton, esso generalmente aumenta da monte verso valle, con cospicue variazioni stagionali, pur non raggiungendo mai l'importanza che riveste negli ambienti lenticici (Morabito et al., 2007; Naselli-Flores, Barone, 2007).

Oltre ad essere quindi poco abbondanti, in comparazione con gli ambienti terrestri, i produttori degli ambienti fluviali hanno evoluto particolari adattamenti per evitare il consumo diretto da parte degli eterotrofi. Infatti, mentre periphyton e phytoplankton possono essere utilizzati direttamente dai consumatori primari, le macrofite acquatiche hanno spesso meccanismi di protezione dal pascolo ed entrano quindi nelle dinamiche energetiche del fiume principalmente come detrito (Newman, 1991).

### 3.4 Input energetici alloctoni

Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, una buona parte degli input energetici degli ambienti lotici deriva da materia organica non vivente, prodotta all'esterno del sistema fluviale (Cummins, 1979; Vannote et al., 1980).

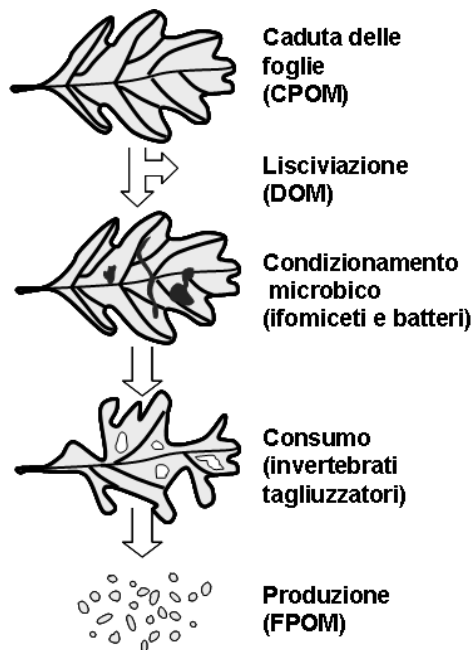
La catena del detrito rappresenta quindi la componente fondamentale nelle dinamiche energetiche dei sistemi fluviali (Cummins et al., 1989; Gessner et al., 1999). In questo contesto, la caduta autunnale delle foglie è uno dei più importanti input energetici dei torrenti delle aree temperate; le foglie che arrivano nel reticolo idrografico spinte dalla gravità e dalle acque di precipitazione vengono intrappolate dalle asperità del substrato e si depositano formando degli ammassi fogliari che sono successivamente degradati da una combinazione di processi fisici e biologici (Fig. 3.5).

In questo processo di decomposizione si possono distinguere diverse fasi (Fig. 3.6). Inizialmente, una prima frazione della massa secca di una foglia viene persa o lisciviata nelle prime ore come sostanza organica disciolta (sino al 20-25%).



**Fig. 3.5** La ritenzione del detrito alloctono fogliare in un torrente appenninico.

Dopo pochi giorni, funghi ifomiceti e batteri colonizzano le foglie, iniziando il processo di degradazione attraverso la produzione di enzimi cellulolitici.



**Fig. 3.6** La degradazione delle foglie in ambiente acquatico, il principale input alloctono dei sistemi lotici.



In uno studio realizzato nel Fosso del Diavolo, un fiume tributario del lago di Bracciano, Rossi et al. (1983a) identificarono trentanove specie fungine coinvolte nella decomposizione del detrito fogliare, sottolineando l'esistenza di specie più generaliste o più selettive nella metabolizzazione delle risorse alloctone. Dopo questa fase dominata dall'azione dei miceti, denominata *conditioning*, la struttura e la composizione chimica della foglia cambiano e questa può essere consumata da invertebrati tagliuzzatori o shredders (Del Frate, Caretta, 1983; Rossi, 1985; Hieber, Gessner, 2002). L'attività dei tagliuzzatori rende disponibile la risorsa alloctona per moltissimi altri organismi, con la trasformazione di detrito grossolano in pellets (o particelle fecali) e orts (frammenti di foglia), componenti fondamentali del particolato organico fine (FPOM), che vengono trasportati verso valle e ingeriti da altri consumatori (Pretty et al., 2005). La produzione di FPOM da parte degli shredders è particolarmente elevata, poiché questi organismi consumano giornalmente una quantità di detrito pari o superiore al loro peso, e trasformano approssimativamente il 60% del cibo che ingeriscono in feci (Cummins, 1973).

Per modellizzare la metabolizzazione del detrito alloctono, Webster e Benfield (1986) crearono un modello esponenziale relativo alla decomposizione degli ammassi fogliari, regolato dall'equazione:

$$W_t = W_i e^{-kt}$$

dove:

- $W_t$  = peso dell'ammasso fogliare al tempo  $t$ ;
- $W_i$  = peso iniziale dell'ammasso fogliare;
- $t$  = tempo trascorso;
- $k$  = tasso di decomposizione.

$K$  dipende da alcuni fattori (Fano, 1991; Bottarin et al., 1995), quali:

- caratteristiche biochimiche della specie vegetale in esame;
- parametri abiotici ambientali (come la temperatura);
- tipologia ed entità della colonizzazione del detrito da parte dei microrganismi saprobici, quali funghi e batteri;
- morfologia e caratteristiche delle specie di organismi consumatori coinvolti nel processo.

Inoltre, il tasso di decomposizione delle foglie può variare a seconda della stagione, del regime idrologico, della comunità macrobentonica presente e della qualità dell'ambiente fluviale (Bottarin, Fano, 1997; Fenoglio et al., 2006a; Pattee et al., 1986, 2000; Pinna, Basset, 2004).

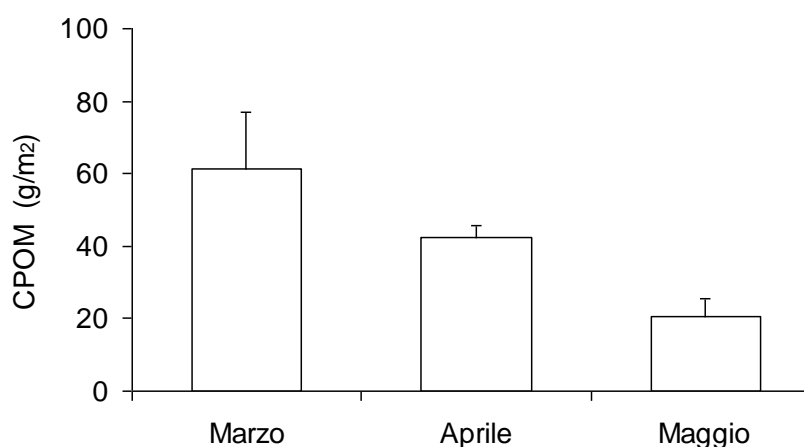
In ambienti fluviali appenninici, la quantità di sostanza organica grossolana è massima nel periodo tardo autunnale e invernale, in seguito alla caduta delle foglie, e diminuisce poi progressivamente nel tempo, a causa della decomposizione e del consumo (Fenoglio et al., 2005c – Fig. 3.7).

Questa variazione temporale del CPOM è alla base di considerevoli cambiamenti nella distribuzione ed abbondanza degli organismi bentonici.

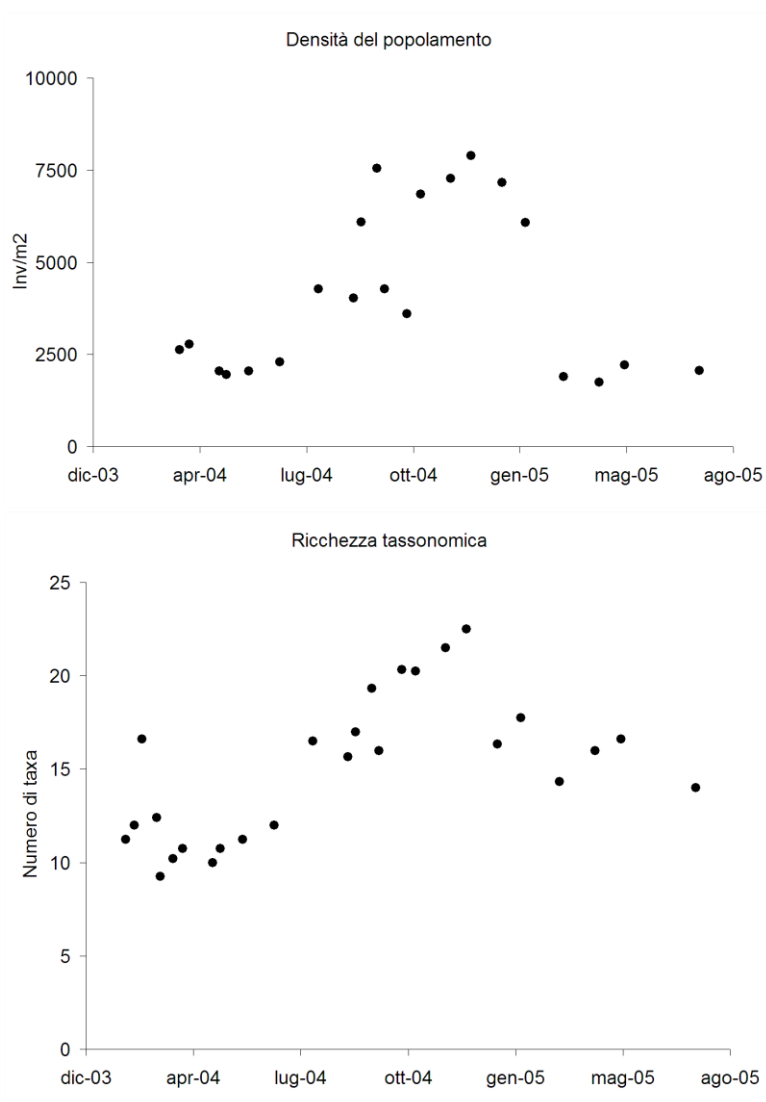
Infatti, mentre per quanto riguarda gli invertebrati terrestri è l'estate il periodo della maggiore abbondanza e diversità, per quanto riguarda le comunità fluviali, la massima espressione della ricchezza biologica avviene solitamente nei mesi autunnali e invernali (Fig. 3.8). In numerosi torrenti appenninici e prealpini, la comunità macrobentonica viene favorita proprio nella stagione fredda dalla presenza di due importanti fattori: il consistente apporto organico (legato, come si è visto, principalmente alla caduta delle foglie) e le basse temperature, che favoriscono la buona ossigenazione delle acque.

### 3.5 Raggruppamenti trofico-funzionali

I macroinvertebrati bentonici svolgono un ruolo fondamentale nelle dinamiche ecologiche degli ambienti lotici: infatti, sono proprio gli aspetti funzionali delle loro comunità a condizionare profondamente gli altri comparti dell'ecosistema fluviale (Vannote et al., 1980). Nella descrizione e nell'analisi dei processi ecologici fluviali si è rivelata di grande utilità la classificazione dei macroinvertebrati in gruppi trofici funzionali o *Functional Feeding Groups* (FFG).



**Fig. 3.7** Diminuzione temporale della sostanza organica grossolana nel letto di un torrente dell'Appennino settentrionale.



**Fig. 3.8** Andamento stagionale della densità e della ricchezza tassonomica nella comunità di macroinvertebrati del fiume Po in un tratto del Parco del Po cuneese (Sanfront).

Questi raggruppamenti funzionali, anche estremamente eterogenei dal punto di vista tassonomico, sono accomunati non tanto dalla condivisione di una risorsa quanto dalla modalità di reperimento e assunzione della stessa e quindi dalla condivisione dei meccanismi morfologici e comportamentali di acquisizione del cibo (Merritt, Cummins, 1996 – Tab. 3.1).

FFG	Sigla	Alimento prevalente	Ruolo trofico
Tagliuzzatori <i>Shredders</i>	Sh	Tessuti vascolari e legno	Detritivori Erbivori
Raschiatori <i>Scrapers</i>	Sc	Periphyton e materiale associato	Erbivori Detritivori
Raccoglitori <i>Collectors</i> <i>Gatherers</i>	Cg	Sedimento di natura organica	Detritivori
Filtratori <i>Filterers</i>	F	Particellato sospensione	Detritivori
Predatori <i>Predators</i>	P	Tessuti animali	Carnivori

**Tab. 3.1** I cinque raggruppamenti trofico funzionali (*Functional Feeding Groups*).

*Tagliuzzatori (Shredders)* – Questi organismi si nutrono di particellato organico grossolano (CPOM), presente nel fiume sotto forma di tessuti vascolari e legno. Poiché le macrofite acquatiche sono poco diffuse e presentano un elevato contenuto di cellulosa, lignina e sostanze protettive (Cummins, Klug, 1979), sono pochi i tagliuzzatori che se ne nutrono direttamente. La maggior parte degli shredders consuma infatti materia organica grossolana in decomposizione, come foglie, legno e tessuti di origine vegetale a prevalente provenienza alloctona. In questo contesto, i tagliuzzatori hanno un ruolo fondamentale nelle dinamiche energetiche dei sistemi lotici, in quanto sostengono la catena del detrito di origine alloctona, costituendo un formidabile legame tra sistema fluviale e bacino imbrifero e permettendo di fatto la vita nei fiumi così come la conosciamo. Diversi studi hanno dimostrato come gli shredders prediligano CPOM già colonizzato e condizionato da batteri e funghi, poiché questo condizionamento microbico apporta sostanze nutritive e rende più digeribile il detrito vegetale. Tra i macroinvertebrati appartenenti a questo gruppo funzionale ricordiamo Crostacei (come Decapodi, Isopodi Asellidae e Anfipodi Gammaridae) e Insetti (come i Plecotteri Leuctridae, i Ditteri Tipulidae e i Tricotteri Limnephilidae). I tagliuzzatori sono particolarmente abbondanti nei torrenti di basso ordine, là dove l'apporto di detrito di origine terrestre è maggiore.

*Raschiatori (Scrapers)* – L'alimento prevalente dei raschiatori è costituito dal periphyton e dal materiale ad esso associato. Questi organismi asportano il biofilm dal substrato grazie ad apparati boccali robusti e specializzati. Poiché la patina perifitica è maggiormente presente su sedimenti stabili e grossolani in assenza di deposito, questi organismi si sono adattati alla vita nelle zone in cui la corrente è più rapida e presentano quindi particolari adeguamenti anatomici per la vita nelle acque veloci (Cummins, Klug, 1979). Ad esempio gli Efemerotteri Heptageniidae (Fig. 3.9) e i Molluschi Ancyliidae presentano un evidente appiattimento dorso-ventrale che li rende particolarmente idrodinamici, mentre i Ditteri Blephariceridae hanno sei potenti ventose ventrali, che permettono loro di vivere attaccati al substrato roccioso di rapide e cascate. Rimanendo quindi in stretto contatto con il substrato roccioso, i raschiatori si spostano lentamente, brucando le alghe incrostanti. L'impiego di tecniche quali la video-macroscopia applicata ad ambienti artificiali di allevamento ha permesso una accurata descrizione del processo di rimozione della patina perifitica: *Rhithrogena pellucida*, un Efemerottero Heptageniidae neartico, ha un ciclo trofico distinto in due fasi, nelle quali assumono diversa importanza prima i palpi labiali poi i palpi mascellari (Mc Shaffrey, 1988). I raschiatori sono uno dei gruppi dominanti nei tratti alti e medi del fiume, là dove le caratteristiche ambientali permettono lo sviluppo di una notevole quantità di alghe bentoniche.



**Fig. 3.9** Un tipico raschiatore (Efemerottero Heptageniidae appartenente al genere *Ecdyonurus*).

*Raccoglitori (Collectors gatherers)* – I raccoglitori sono un gruppo funzionale generalista e opportunista, particolarmente abbondante e diffuso nei diversi tratti del sistema fluviale. Questi organismi si nutrono di sedimenti fini di natura organica (FPOM) e di batteri ad essi associati, raccogliendoli direttamente dal substrato.

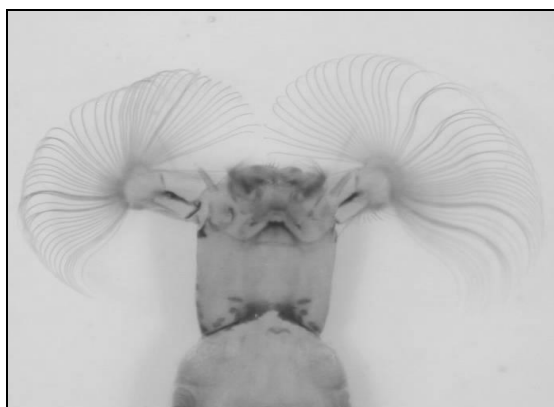
I raccoglitori sono un gruppo vasto e diversificato, con rappresentanti nei principali ordini di invertebrati acquatici: dai Ditteri Chironomini agli Ephemeropteridi Baetidae, Caenidae e Ephemeridae (Fig. 3.10), dai Tricotteri Psychomyidae a tutti gli Oligocheti. Questi animali prediligono le aree a corrente moderata o bassa, là dove si accumula il sedimento fine. Estremamente abbondanti lungo l'intera asta fluviale, essi rappresentano il gruppo dominante nei tratti potamali.

*Filtratori (Filterers)* – Questi organismi filtrano il particolato organico in sospensione attraverso particolari adattamenti morfologici e comportamentali. Alcuni organismi filtrano direttamente l'acqua trattenendo le particelle alimentari attraverso particolari strutture specializzate, come i ventagli mandibolari dei Ditteri Simuliidae, mentre altri costruiscono delle vere e proprie reti a maglie molto fini, formate da materiali setosi secreti da loro stessi, come i Tricotteri Hydropsychidae e Philopotamidae.

Alcuni filtratori prediligono acque veloci, nelle quali catturano il FPOM trasportato dalla corrente (come i Simuliidae – Fig. 3.11) mentre altri possiedono sistemi di filtraggio attivo e popolano ambienti deposizionali e a debole corrente (come i Molluschi Bivalvi).

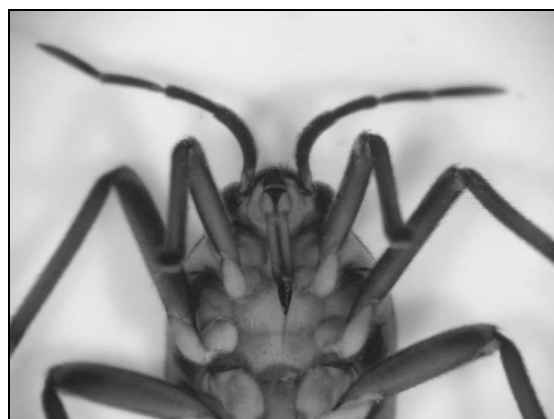


**Fig. 3.10** *Ephemera danica*, un organismo raccoglitore di sedimento organico fine (Ephemeroptera: Ephemeridae).

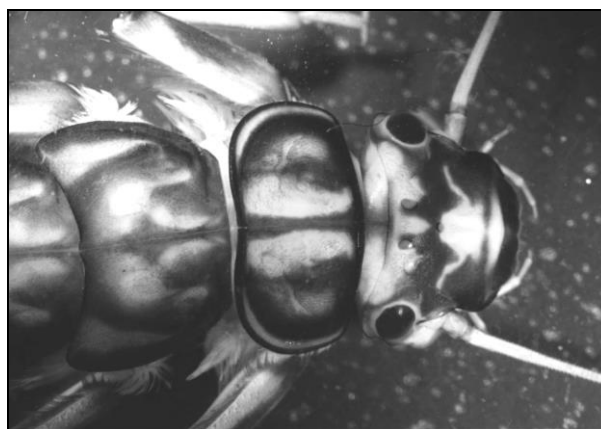


**Fig. 3.11** Apparato filtrante di Dittero Simuliidae.

*Predatori (Predators)* – I predatori o consumatori secondari si nutrono di altri organismi e sono all'apice della catena alimentare delle comunità macrobentoniche. Tra i predatori possiamo distinguere organismi con apparato boccale di tipo pungente-succhiante (*piercers* – Fig. 3.12), che suggono direttamente i liquidi e i tessuti interni delle vittime, e organismi con apparato boccale masticatore (*engulfers*- Fig. 3.13), i quali attaccano e smembrano le prede. Tra i primi possiamo ricordare gli Eterotteri Nepidae, le larve di Coleotteri Dytiscidae e i Ditteri Tabanidae mentre tra i secondi sono abbondanti le ninfe di Odonati, i Coleotteri Idroadeffagi adulti e i Plecotteri Perlidae (Cammarata et al., 2007). Generalizzando, le strategie utilizzate dai predatori invertebrati fluviali sono essenzialmente due: si distinguono infatti *ambush predators*, che sostano tra la vegetazione o il substrato in attesa delle prede e *stalking predators*, che inseguono attivamente la preda.



**Fig. 3.12** Apparato boccale pungente succhiante di Eterottero Veliidae.



**Fig. 3.13** Capo di Plecottero Perlidae.

Odonati Zygoptera e Anisoptera appartengono alla prima categoria, mentre Coleotteri Dytiscidae e numerosi Plecotteri Systellognatha alla seconda.

All'interno del gruppo dei predatori possiamo inoltre annoverare i parassitoidi, come l'Imenottero *Agriotypus armatus*, i cui stadi larvali uccidono la preda dopo averla parassitata a lungo.

### 3.6 Il River Continuum Concept

I primi studi inerenti l'ecologia fluviale erano usualmente analisi rivolte a singoli tratti fluviali o particolari tematiche (Odum, 1957), tralasciando elementi peculiari dei torrenti e dei fiumi, quali il continuo movimento dell'acqua verso valle e la stretta connessione dell'intera asta fluviale.

Infatti, i fiumi dalle sorgenti alla foce sono una «successione di ecosistemi», collegati longitudinalmente dal flusso d'acqua e con stretti legami con il territorio drenato. Margalef (1960) propose una prima, integrata visione degli ambienti fluviali, alla quale seguì, grazie all'apporto di diverse discipline, la formulazione della teoria nota come River Continuum Concept (Vannote et al., 1980). Il River Continuum Concept o RCC è basato sull'idea che i sistemi fluviali siano in una condizione di «equilibrio dinamico» e che la modificazione longitudinale delle caratteristiche abiotiche lungo l'asta fluviale abbia profonde ripercussioni sulle dinamiche funzionali e sulla composizione delle comunità biologiche. Il River Continuum Concept permette di descrivere un corso d'acqua come un sistema continuo nel quale le differenze longitudinali delle comunità insediate hanno caratteristiche clinali piuttosto che zonali (Cushing et al., 1983; Salmoiraghi, Gumiero, 1990). Il RCC, inoltre, mette in relazione le comunità biologiche con la disponibilità di materiale organico nei vari punti del corso d'acqua: ad una continua e in-

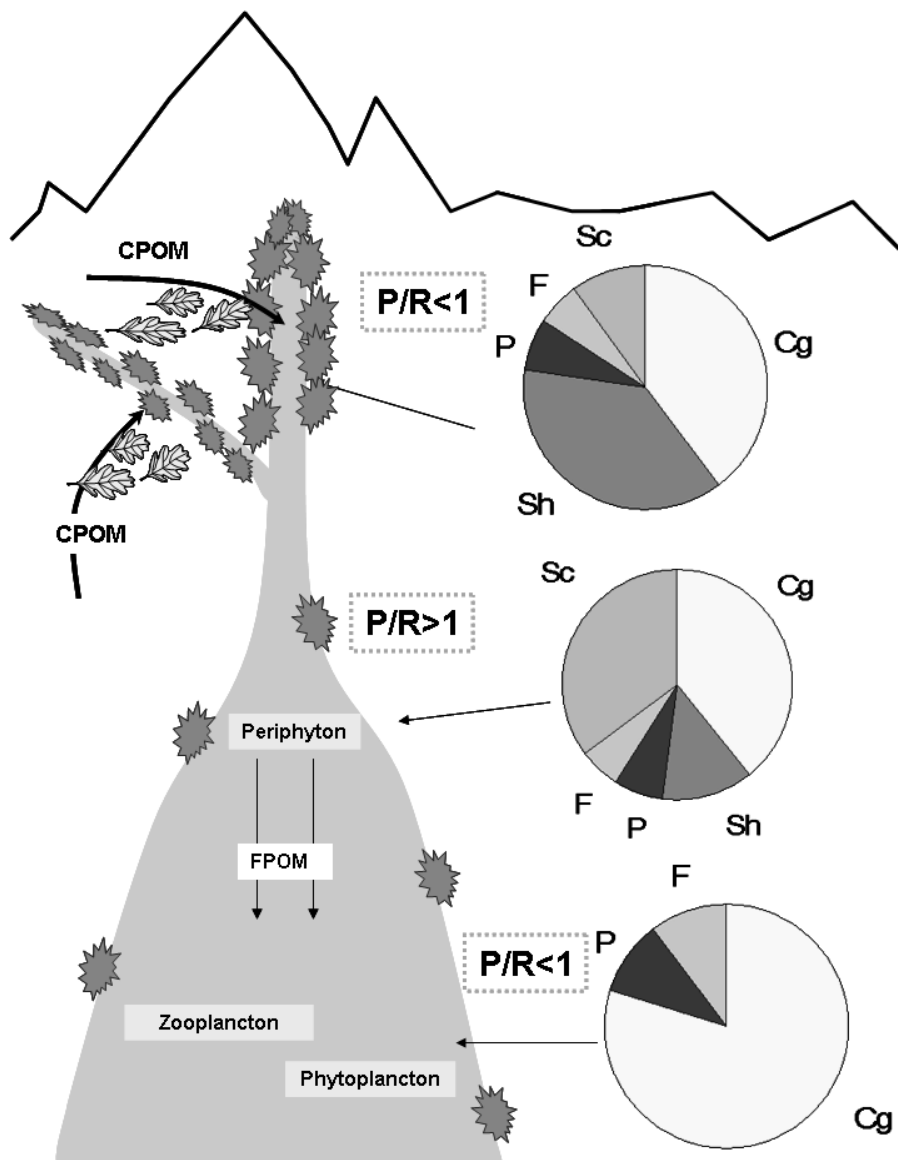


tegrata serie di gradienti fisici e chimici è associata una continua trasformazione delle componenti biotiche (Salmoiraghi, 1992); inoltre, anche la comunità macrobentonica varia nella sua composizione strutturale e funzionale lungo il corso del fiume, da monte verso valle (Battezzato et al., 1992; Mascolo et al., 1999; Fenoglio, 2000).

Questo approccio analitico, inoltre, connette strettamente l'ambiente terrestre, ripariale e non, a quello acquatico, considerando gli ecotoni quali la vegetazione come componenti essenziali del complesso lotico. Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, oltre alla produzione primaria interna, realizzata dagli organismi autotrofi (Minshall, 1978; Hill et al., 1995) è infatti riconoscibile nei corsi d'acqua un importante input alloctono, costituito dalla sostanza organica prodotta in altri sistemi e convogliata da questi nel sistema lotico stesso (Cummins, 1974; Cummins et al., 1981; 1989).

Il bilancio tra autotrofia ed eterotrofia e quindi l'importanza relativa dell'apporto interno (basato essenzialmente su periphyton, macrofite e phytoplankton) ed esterno (legato a foglie, legno e detrito di prevalente origine vegetale terrestre) variano lungo il corso del fiume e dipendono da fattori quali ampiezza e morfologia dell'alveo, velocità della corrente e caratteristiche idrologiche, temperatura e chimismo, substrato, copertura vegetazionale riparia, irraggiamento solare e altri ancora (Fig. 3.14).

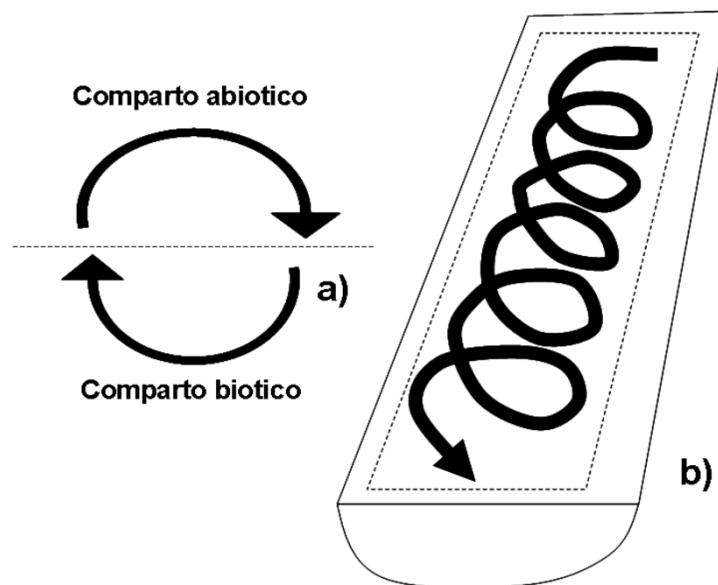
Analizzando lo sviluppo longitudinale di un fiume, possiamo rilevare come le aste di basso ordine abbiano generalmente una bassa produttività interna, per l'elevata ombreggiatura, la corrente impetuosa e l'instabilità del substrato. In questi tratti, la produttività interna (P) è minore del consumo metabolico della comunità o respirazione (R). Avendo un rapporto  $P/R < 1$ , questi tratti fluviali sono energeticamente eterotrofi, e dipendono in larga misura dagli input alloctoni. In questi ambienti, la comunità macrobentonica è costituita in gran parte da shredders o trituratori di particellato organico grossolano di origine alloctona (CPOM) e raccoglitori. Scendendo verso valle, l'alveo fluviale diventa più ampio, l'irraggiamento solare diretto aumenta e la pendenza diminuisce: macrofite e specialmente periphyton (epilitico e epifitico) assumono una maggiore importanza, per cui aumenta notevolmente l'input energetico autoctono. In questi tratti il fiume è autotrofo, con  $P/R > 1$ . Nella comunità macrobentonica diminuiscono i tagliuzzatori e aumentano notevolmente gli scrapers o raschiatori di patina perifitica. Scendendo ancora verso valle, il tratto potamale è caratterizzato da elevata torbidità e acque profonde, con una notevole riduzione della luminosità. I produttori interni diminuiscono, e il materiale alloctono raccolto nel reticolo idrografico è ormai largamente sminuzzato. Il sistema ritorna eterotrofo ( $P/R < 1$ ) e si basa essenzialmente sul detrito organico fine (FPOM) trasportato dalla corrente. Il gruppo trofico funzionale dominante nella comunità macrobentonica di questo tratto è quello dei collectors o raccoglitori.



**Fig. 3.14** Autotrofia ed eterotrofia nel sistema fluviale secondo il River Continuum Concept (da Vannote et al., 1980) (P = predatori; F = filtratori; Sc = raschiatori; Sh = tagliuzzatori; Cg = raccoglitori; P/R = rapporto tra produzione interna e respirazione del sistema).

### 3.7 Lo spiraling dei nutrienti

Numerosi studi hanno ampliato la base teorica del RCC, evidenziando sempre lo stretto legame esistente tra un tratto fluviale e il resto del sistema lotico. Ad esempio, Minshall e collaboratori (1985) sottolinearono come i fiumi siano sistemi longitudinalmente connessi, nei quali le comunità dei tratti a valle sono strutturate per utilizzare le inefficienze metaboliche dei tratti superiori. In pratica, i processi che avvengono a livello di ecosistema nei tratti inferiori sono determinati da quanto avviene nel tratto a monte. In questo contesto, particolarmente interessante appare il concetto di *spiraling* (Webster, Patten, 1979; Elwood et al., 1983). Lo spiraling è un modello teorico che descrive il trasporto accoppiato di materia ed energia nei sistemi fluviali (Webster, 2007). Nei sistemi terrestri e lentici, il modello del ciclo dei nutrienti descrive il passaggio di un atomo dallo stato libero, disponibile nell'ambiente, all'ingresso nella catena alimentare della comunità biologica tramite l'assimilazione, l'ingestione e diversi passaggi trofici; alla fine del ciclo, l'atomo o l'elemento ritornano nell'ambiente, attraverso l'escrezione o la decomposizione, formando un ciclo completo. Nei sistemi fluviali, il flusso di acqua deforma metaforicamente questa struttura circolare trasformandola in una eliocoidale, allungata longitudinalmente (Fig. 3.15).



**Fig. 3.15** Il ciclo della materia nei sistemi terrestri e lentici (a) e la spirale della materia nei sistemi lotici (b).

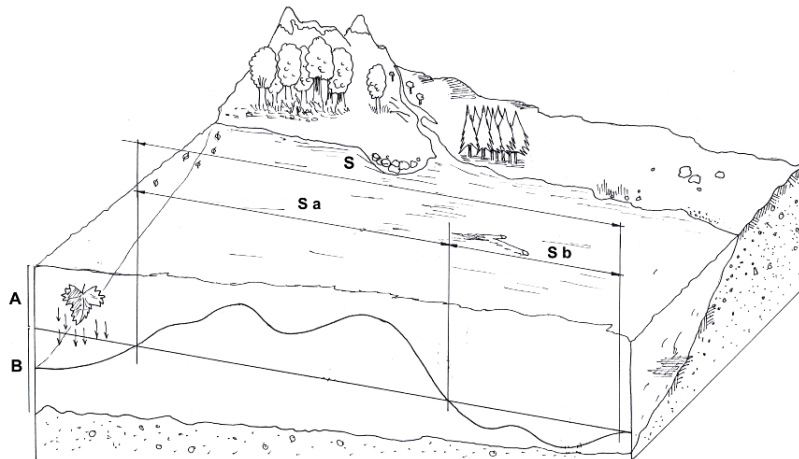
Nello spiraling, semplificando, sono distinguibili alcuni elementi (Fig. 3.16). La lunghezza di ciascuna spira (S) è data dalla somma dei trasporti che avvengono in due compartimenti:

$$S = S_a + S_b$$

dove:

- $S_a$  = parte abiotica della spirale, è la misura della distanza percorsa da un atomo come soluto nella colonna d'acqua;
- $S_b$  = parte biotica della spirale, è la misura della distanza percorsa da un atomo all'interno del biota, prima di essere nuovamente rilasciato.

In pratica, nella parte della spirale abiotica, gli elementi sono presenti come composti inorganici disciolti nella colonna d'acqua (A) e vengono trascinati verso valle dalla corrente. Nella parte della spirale biotica gli elementi sono inglobati nel biota (B), subiscono passaggi e spostamenti di livello, sino ad essere nuovamente rilasciati nell'ambiente. Il compartimento biotico dello spiraling è legato al substrato e agli organismi bentonici. Dove ritenzione del detrito e riutilizzo della materia e dell'energia da parte delle cenosi bentoniche sono maggiori, allora  $S_b$  sarà più importante e le ellissi della spirale saranno più vicine, mentre dove è predominante il trasporto verso valle sarà maggiore l'elemento  $S_a$  e le spire saranno più dilatate (Webster, Patten, 1979). Per questo motivo, ambienti fluviali che ospitano comunità biologiche ben strutturate e con elevata funzionalità trattengono e metabolizzano la sostanza organica immessa nel fiume, mentre tratti fluviali depauperati e impoveriti si limitano a trasportarla verso valle, senza processarla e utilizzarla.



**Fig. 3.16** La spirale della materia nei sistemi fluviali ( $S_a$  = componente abiotica;  $S_b$  = componente biotica; A = trasporto in acqua; B = ritenzione nel comparto bentonico).

### 3.8 Il Flood Pulse Concept

Se il River Continuum Concept ha portato a una visione maggiormente olistica e integrata dell'ecologia dei sistemi lotici, rimane tuttavia in parte limitato dal fatto che è stato ideato e testato in ambienti di basso e medio ordine dell'emisfero settentrionale, che sono relativamente esenti da un tipico fenomeno dei grandi fiumi: l'esondazione. Minshall e collaboratori (1985) iniziarono a integrare la visione del RCC, sottolineando sempre più la stretta interconnessione tra sistema idrico e ambienti marginali, e quindi tra l'alveo fluviale e la pianura alluvionale. Durante il primo Large River Symposium, svoltosi in Canada nel 1986, cercando di integrare le caratteristiche peculiari dei ambienti potamali all'interno della struttura teorica del RCC, si giunse a porre le basi di quello che sarebbe divenuto il Flood Pulse Concept (FPC – Junk et al., 1989; Junk, 1999).

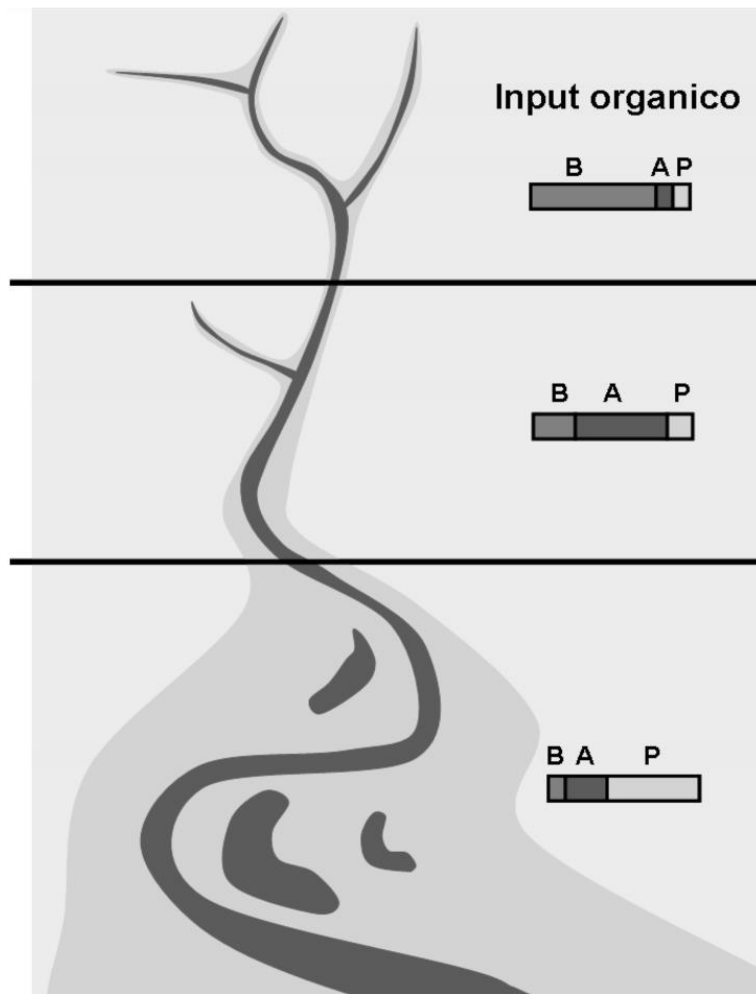
Il FPC mette in risalto la stretta interdipendenza esistente tra i grandi fiumi e la loro area di esondazione: tra corpo idrico e pianura alluvionata esiste infatti un enorme scambio di nutrienti, acqua e organismi, che modella profondamente la struttura delle cenosi acquatiche e il funzionamento dell'intero sistema. Le inondazioni e le secche (il «pulse» del fiume) rappresentano il motore di questo sistema accoppiato. L'aumento del volume d'acqua nel fiume porta all'incremento della superficie bagnata dell'alveo e anche all'esondazione nelle aree perifluviali: il sistema potamale si configura quindi come una struttura dinamica in cui i livelli dell'acqua giocano un ruolo fondamentale per attivare la connessione tra canale fluviale e pianura attraverso una zona di transizione acquatica/terrestre, la fascia ripariale. In quest'ottica, le aree laterali dei grandi fiumi sono considerate una parte integrante del sistema lotico, in quanto gran parte della produzione primaria e secondaria avviene in questi ambienti, mentre l'asta fluviale opera prevalentemente come agente di dispersione di nutrienti e di migrazione e distribuzione di organismi.

All'interno della struttura teorica del River Continuum assumono quindi una maggiore importanza le aree alluvionate delle regioni potamali. Nelle zone di basso ordine, localizzate nella testata dei bacini, l'estensione delle aree esondate è estremamente ridotta, e l'input energetico principale è dato dalla sostanza organica prodotta nel bacino stesso. Scendendo verso valle aumenta l'importanza della produzione interna, con la crescita abbondante di alghe e macrofite. Infine, nei tratti francamente potamali la sostanza organica del sistema è prevalentemente originata nelle aree esondate e da queste immessa, trasportata e metabolizzata nell'asta fluviale (Fig. 3.17).

Altri studi hanno contribuito ad ampliare questo concetto: la variazione delle portate, oltre a modificare la superficie bagnata complessiva, influenza gli scambi tra acque superficiali e sotterranee, permettendo in alcuni periodi il fenomeno del downwelling, cioè l'intrusione di acque superficiali nel si-

stema sotterraneo e in altre favorendo l'upwelling, cioè la risalita delle acque di falda nel sistema fluviale (Ward, 1989).

Importanti fenomeni di downwelling e upwelling sono riscontrabili anche in ambienti italiani, con la mobilizzazione di acqua, nutrienti e organismi tra i sistemi superficiale e profondo. Ad esempio, la comparsa di Crostacei Niphargidae, tipicamente depigmentati, ciechi e freaticoli nelle acque fluviali è chiaramente collegata alla presenza di fenomeni locali di upwelling.

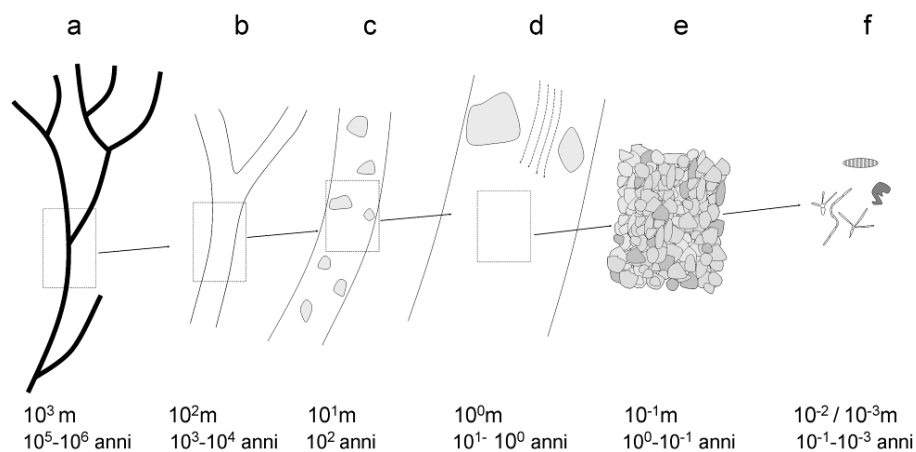


**Fig. 3.17** Schematizzazione del Flood Pulse Concept. Le barre laterali mostrano l'importanza della materia organica prodotta nel bacino (B), nell'asta fluviale (A) e nella pianura alluvionale (P) nelle diverse parti del reticolo idrografico.

Ideato inizialmente sulla base di dati ed esperienze provenienti da studi realizzati nel Rio delle Amazzoni e nel fiume Mississippi, il FPC è stato successivamente adottato per analizzare l'ecologia di molti grandi ambienti potamali. Recenti studi realizzati nel nostro paese sul fiume Tagliamento, caratterizzato da un alveo particolarmente anastomizzato, hanno evidenziato come l'estensione dei bordi, cioè delle linee di contatto tra ambiente terrestre e sistema fluviale, mostri una dinamica complessa e regolata dalla variazione delle portate durante l'anno (Tockner et al., 2003). Anche se una completa inondazione della pianura alluvionale si verifica solamente una o due volte in un anno, si assiste in questo ambiente ad una continua variazione dell'estensione dell'alveo bagnato, con cospicue oscillazioni che rendono l'ambiente particolarmente dinamico dal punto di vista ecologico (van der Nat et al., 2002).

### 3.9 Organizzazione gerarchica dei sistemi fluviali

L'ecologia fluviale abbraccia fenomeni e strutture che si estendono su 16 ordini di grandezza (Minshall, 1988), dalla materia organica disciolta (DOM, < 0,45  $\mu\text{m}$ ) ai grandi reticoli idrografici (migliaia di chilometri), dalle interazioni trofiche della meiofauna (secondi) al modellamento delle piattaforme continentali (milioni di anni). In questo contesto, è riconoscibile un'organizzazione gerarchica con sei livelli ben distinti, dal sistema fluviale alle particelle microscopiche (Frissel et al., 1986), riportati nella Fig. 3.18.



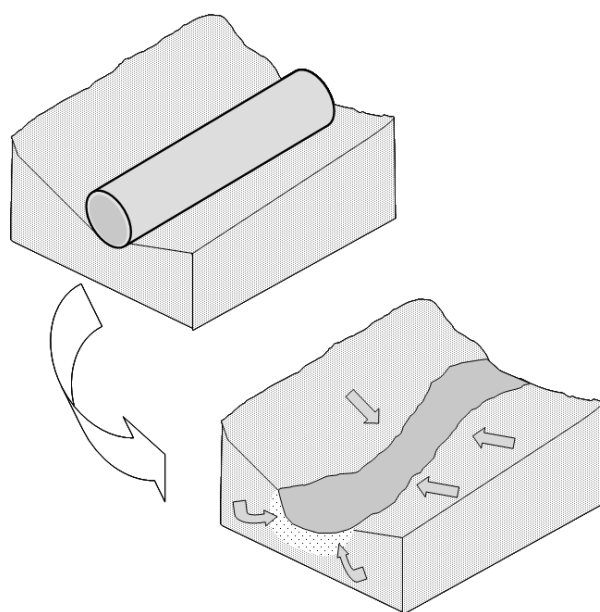
**Fig. 3.18** Modello gerarchico di organizzazione dei sistemi fluviali. In basso, range delle dimensioni spaziali e temporali (Frissel et al., 1986).

Questi sei livelli sono:

- a) *sistema fluviale*: il livello gerarchico superiore, in cui i processi e le strutture si misurano in chilometri e avvengono nell'arco di centinaia di migliaia di anni. Si pensi all'evoluzione dei reticoli idrografici, con i fenomeni di cattura fluviale, di modellamento delle terrazze e di deposito nelle pianure alluvionali. Alcuni dei maggiori fiumi del mondo hanno una storia di milioni di anni;
- b) *segmento fluviale*: fenomeni avvengono qui su distanze massime di 100 metri, e con tempi inferiori, stimabili in alcune migliaia di anni. Lo stesso segmento fluviale di pianura può essersi spostato nel tempo, con l'evoluzione dell'alveo e la meandrazione;
- c) *tratto fluviale*: livello di organizzazione successivo, esteso su poche decine di metri, con trasformazioni che avvengono in decine o centinaia d'anni;
- d) *pool-riffle habitat*: l'alternanza di ambienti erosivi e deposizionali viene qui osservata sulla scala di metri o decine di metri, con fenomeni evolutivi rapidi (es: erosione) che avvengono su scala annuale. In questo livello si considera anche la fascia interstiziale e iporreica, con i suoi fenomeni di scambio di acqua, soluti e organismi;
- e) *microhabitat*: alla scala dei decimetri si evidenziano livelli di organizzazione fini, con la presenza di microhabitat estremamente differenziati dal punto di vista morfo-idrologico. Tipico è l'alternarsi di piccoli tratti a differente granulometria e velocità della corrente negli ambienti appenninici e alpini. Le trasformazioni avvengono spesso stagionalmente. Qui si svolge la vita degli organismi macrobentonici;
- f) *particelle*: materiale particellato organico e inorganico, conidi e piccoli organismi caratterizzano l'ultimo livello gerarchico, misurabile in millimetri o frazioni di millimetri e soggetto a modificazioni che avvengono nell'arco di giorni o settimane.

Tutte queste ricerche hanno contribuito a modificare il modo in cui vengono considerati i sistemi fluviali. Nell'ambito degli studi di ecologia fluviale possiamo individuare due fasi principali (Bencala, 1993). In un primo momento l'ecologia fluviale era rivolta essenzialmente allo studio dei processi che avvenivano in alveo: il fiume era percepito come un ambiente quasi indipendente dal territorio circostante, un vaso pressoché chiuso che trasportava l'acqua meteorica lungo le linee di maggiore pendenza, con un biota e leggi proprie (Fig. 3.19). Negli ultimi decenni questa visione si è ampliata ed è andata aumentando l'attenzione verso gli ambienti perfluviali e iporreici, che svolgono un ruolo fondamentale nel funzionamento dei sistemi lotici (Naiman, Décamps, 1990; Stanford, Ward, 1993).





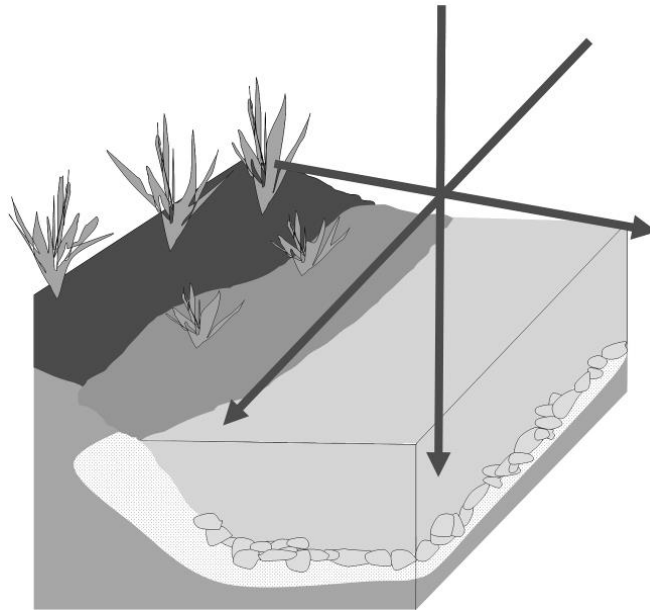
**Fig. 3.19** L'evoluzione della visione ecologica dei sistemi fluviali: da sistema isolato ad elemento territoriale integrato di fondamentale importanza.

I corsi d'acqua sono ambienti caratterizzati da una spiccata multidimensionalità (Ward, 1989): sono riconoscibili una dimensione trasversale (da sponda a sponda), una dimensione verticale (dalla superficie dell'acqua sino alla falda più profonda) e una dimensione longitudinale (dalla sorgente alla foce, Fig. 3.20). Esiste poi una quarta dimensione, quella temporale, legata al trascorrere delle stagioni e più in generale del tempo.

Analizzando la storia dell'ecologia fluviale, ci si accorge quindi che con l'aumentare delle conoscenze si sono dilatati i confini degli ambienti fluviali veri e propri, passando dall'alveo a componenti del territorio, strettamente connesse con il sistema lotico. Nei prossimi paragrafi verranno quindi trattati gli ambienti acquatici marginali, la fascia ripariale e la zona interstiziale e iporreica.

### **3.10** *Gli ambienti acquatici marginali*

Amoros e Roux (1988) introdussero in ecologia fluviale il termine «connettività» per indicare principalmente il livello di connessione tra l'asta fluviale principale e i sistemi lentici perifluviali, quali lanche abbandonate, stagni, paludi e laghi di cava.



**Fig. 3.20** La multidimensionalità degli ecosistemi fluviali.

Il livello di connettività può variare dalla connessione permanente, quando esistono collegamenti diretti tra sistemi lentici e fiume, alla connessione episodica e limitata ai momenti di massima portata e quindi di esondazione del fiume. Gli ambienti acquatici cosiddetti marginali sono elementi di estrema importanza, in quanto costituiscono uno degli elementi di maggior dinamicità biochimica ed ecologica delle aree perfluviali, giungendo a influenzare le caratteristiche del sistema lotico tramite scambi di acque sotterranee e superficiali secondo quanto previsto dal Flood Pulse Concept.

Le aree umide perfluviali (Fig. 3.21) sono quindi sistemi complessi ed estremamente importanti, che negli ultimi anni hanno attirato una crescente attenzione principalmente per due ragioni:

1) *elevata dinamicità biochimica all'interno del sistema alluvionale.* Stagni, lanche e meandri abbandonati sono aree che presentano un'elevata capacità di ritenzione e metabolizzazione dei nutrienti. Numerosi studi evidenziano come ambienti marginali e zone ripariali a basso idrodinamismo costituiscano reattori naturali in grado di rimuovere notevoli quantità di azoto dalle acque, grazie a cospicui processi di denitrificazione legati all'attività della vegetazione bentonica e della comunità microbica. Oltre che intervenire nel ciclo dell'azoto questi ambienti, caratterizzati da acque generalmente basse, con ampie variazioni termiche e numerosi produttori, costituiscono degli ambienti particolarmente dinamici negli scambi di ossigeno, anidride carbonica e metano (Bolpagni et al., 2007). Infine, questi bacini svolgono un ruolo

di fondamentale importanza come aree tampone in grado di attenuare e regolare gli scambi chimici tra bacino e asta fluviale;

2) *elevata diversità biologica*. Gli ambienti acquatici perifluviali, avendo caratteristiche uniche nel contesto territoriale delle pianure alluvionali, rappresentano importanti sistemi ecologici, ricchi di specie peculiari, tra cui si annoverano Odonati, Coleotteri Idrodefagi, Eterotteri e addirittura numerosi Anfibi e Rettili (come la rara e minacciata testuggine palustre europea, *Emys orbicularis*). Inoltre, particolarmente abbondante in questi sistemi lentic è lo zooplancton: in uno studio realizzato nei pressi di Casalmaggiore (CR), in una piccola zona umida che viene periodicamente alimentata dalle piene fluviali, Rossetti e collaboratori (2003a) hanno censito ben 88 taxa, con il raggiungimento di cospicui picchi di densità del popolamento (sino a 7000 organismi in un litro d'acqua). Questi ambienti costituiscono quindi un fondamentale elemento nel tessuto ecologico dei sistemi planiziali, dove costituiscono un importante *hot-spot* di ricchezza biologica e un'area *source*, cioè un serbatoio, per la ricolonizzazione del reticolo idrografico (Viaroli et al., 1996; 2002; Rossetti et al., 2006).

Purtroppo la gestione e la trasformazione del territorio ad opera dell'uomo sono state particolarmente inclementi verso questi ambienti: la storia plurimillennaria del nostro paese è stata improntata alla necessità di «bonificare» (dal latino *bonum* e *facere*, cioè rendere migliore) queste aree, in pratica riducendole o addirittura eliminandole.



**Fig. 3.21** Un ambiente acquatico marginale, nei pressi del Po emiliano; si noti la copertura estiva di *Trapa natans*.

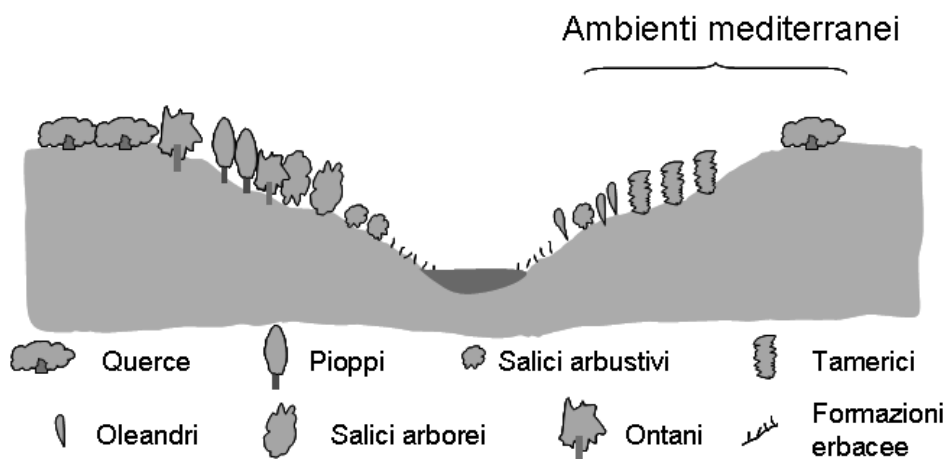
Tuttavia, mentre i biotopi umidi perifluviali sono stati progressivamente ridotti ed eliminati, negli ultimi decenni è andato crescendo il numero degli ambienti acquatici artificiali, legati per esempio all'attività estrattiva di inerti da costruzione nelle pianure alluvionali.

L'ormai riconosciuta importanza degli ambienti acquatici marginali, per il loro ruolo nel mantenimento di una elevata eterogeneità morfologica e biologica del territorio, nella laminazione delle piene, nell'abbattimento dei carichi di inquinanti e nella ricarica degli acquiferi, sommata al loro potenziale ricreativo ed economico-turistico, ha fatto crescere negli ultimi anni la necessità di adeguate strategie di conservazione, recupero e valorizzazione di questi ambienti unici (Bodini et al., 2000).

### 3.11 Gli ambienti ripariali

Nell'ambito delle dinamiche ecologiche dei fiumi, veri e propri «sistemi aperti», gli ambienti ripariali rivestono un'enorme importanza. Le sponde vegetate dei fiumi sono zone di ecotono, cioè di transizione tra due sistemi ecologici. Esse ospitano, in condizioni naturali, particolari associazioni vegetali, con specie caratterizzate da elevata idrofilia, robusti apparati radicali e spiccata flessibilità del fusto (Fig. 3.22).

Queste caratteristiche permettono alla vegetazione ripariale di colonizzare un ambiente molto favorevole (per via della presenza di acqua e di nutrienti trasportati e sedimentati dal fiume) ma anche molto stressante dal punto di vista fisico (per le oscillazioni delle portate e per l'elevata attività erosiva).



**Fig. 3.22** Distribuzione delle principali specie arboree ed arbustive ripariali.

Procedendo dal centro dell'alveo fluviale verso l'esterno, si succedono tipicamente alcune formazioni vegetali: dal popolamento erbaceo semiacquatico si passa alle formazioni arbustive e infine alla fascia arborea ripariale, caratterizzata dalla presenza di specie quali Salici (*Salix* spp), Ontani (*Alnus* spp.) e Pioppi (*Populus* spp.). Nelle regioni mediterranee è inoltre da segnalare la presenza di numerose specie termofile, quali l'Oleandro (*Nerium oleander*) e la Tamerice (*Tamarix* sp.). L'ampiezza della fascia ripariale dipende da alcuni fattori, quali geomorfologia, clima e attività antropiche.

Dal punto di vista funzionale, la fascia ripariale è un elemento di fondamentale importanza, che esercita una profonda influenza sui processi ecologici del fiume (Fig. 3.23).

La presenza di una fascia vegetata ripariale ben strutturata garantisce infatti:

- *ombreggiatura dell'alveo*, con la conseguente diminuzione delle temperature massime e il mantenimento di elevati livelli di ossigeno disciolto. Questo permette la vita di numerose forme stenoterme fredde e sciafile, caratteristiche ad esempio dei corsi d'acqua di basso ordine;
- *elevato input organico alloctono*. La fascia ripariale è tra le principali fonti di materiale organico alloctono, principalmente foglie e frammenti legnosi. Come abbiamo visto precedentemente, questo input energetico è di fondamentale importanza per la sopravvivenza della vita nei fiumi, sistemi parzialmente eterotrofi. Inoltre, la fascia ripariale fornisce al fiume pezzi di tronco e legni di diversa dimensione che, cadendo in acqua, aumentano la diversità morfologica dell'alveo e la ritenzione del detrito organico, con un conseguente aumento della diversità biologica;
- *stabilità dell'alveo e delle sponde*. La vegetazione ripariale, dotata di profondi e complessi sistemi radicali, aumenta la stabilità delle sponde, diminuendo l'attività erosiva durante le piene. Radici avventizie e fusti flessibili fanno sì che durante gli eventi alluvionali la vegetazione si pieghi ma rimanga saldamente ancorata al suolo, garantendo così la coesione delle sponde;
- *riduzione della velocità della corrente*. Con l'aumento delle portate, l'alveo fluviale si allarga invadendo la fascia ripariale, dove la presenza di arbusti e alberi fa diminuire sensibilmente la velocità della corrente, riducendo l'erosione e aumentando la ritenzione del sedimento fine;
- *azione tampone*. Numerose aree agricole sono caratterizzate dal massiccio impiego di fertilizzanti a base di fosforo e azoto. Questi, diffusi sul territorio, vengono poi convogliati dalle acque superficiali e dall'azione della gravità nei sistemi fluviali, ove spesso provocano fenomeni di eutrofizzazione anche molto importanti. La vegetazione ri-

ripariale può intercettare una grande quantità di questi fertilizzanti, utilizzandoli per la propria crescita e impedendone il rilascio diretto nei fiumi, nei laghi e nel mare (Haycock, Burt, 1993): una fascia di vegetazione larga 50 metri può rimuovere l'89% dell'azoto e l'80% del fosforo presenti nelle acque che lo attraversano. Le zone tampone ripariali migliorano la qualità delle acque fluviali in modi differenti. Le acque sotterranee che passano attraverso la zona ripariale vengono ripulite dai nitrati e dall'acidità grazie all'azione combinata di denitrificazione, bioaccumulo e cambiamento nella composizione del suolo. Inoltre, anche contaminanti e tossine possono essere trattenuti dalle zone ripariali. Queste zone sono particolarmente importanti durante i violenti acquazzoni e il conseguente ruscellamento superficiale delle acque di dilavamento meteorico. La vegetazione ripariale svolge quindi direttamente un importante ruolo nel processo di depurazione e mantenimento di una buona qualità delle acque superficiali.

La vegetazione ripariale è attualmente ancora abbastanza presente nelle zone montane del nostro paese, e generalmente nelle aste di basso ordine, mentre è solitamente rarefatta o compromessa nelle aree più antropizzate (Billi, Rinaldi, 1997). In un recente studio condotto in Toscana, Hupp e Rinaldi (2007) hanno rilevato come la vegetazione ripariale di moltissimi fiumi sia attualmente un ambiente eterogeneo, caratterizzato da elevata seminaturalità e incastonato in un mosaico ambientale dominato da campi arati, frutteti e pascoli. In Italia l'importanza della fascia ripariale è stata recentemente evidenziata dall'impiego dell'Indice di Funzionalità Fluviale (Siligardi et al., 2000a; 2007) e da numerose pubblicazioni del Centro Italiano per la Riquilificazione Fluviale (C.I.R.F., 2006).

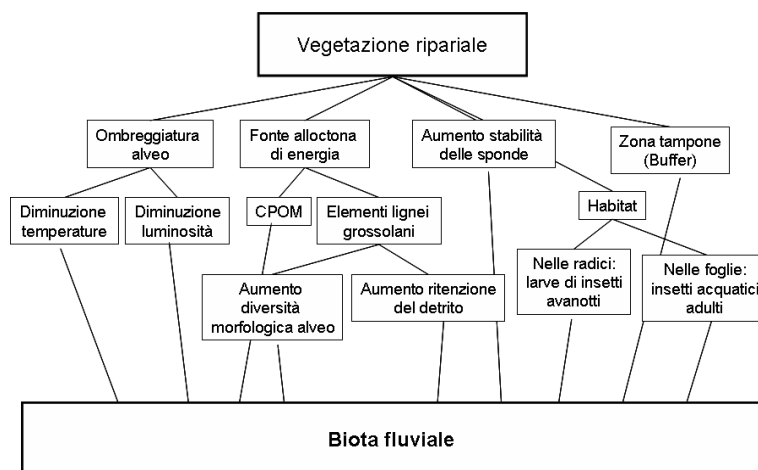


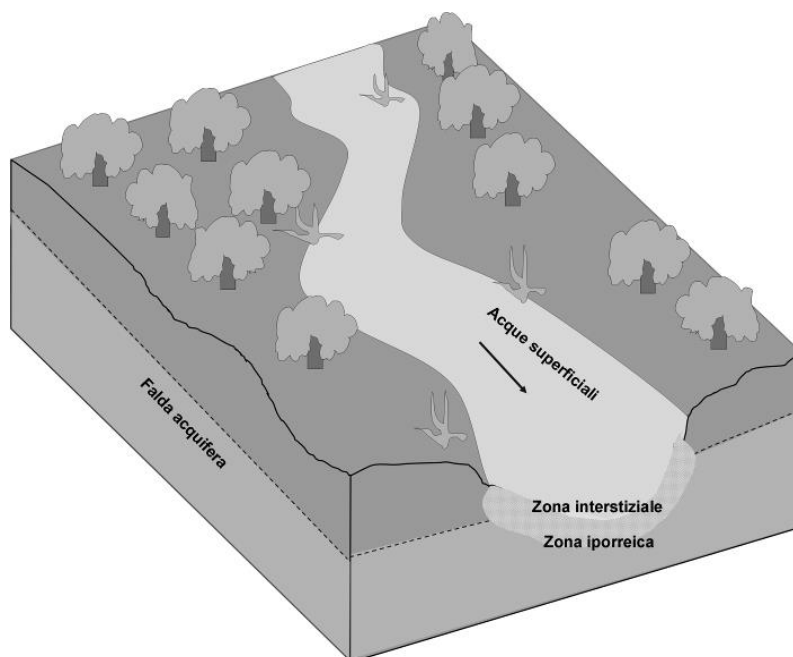
Fig. 3.23 L'importanza della vegetazione ripariale.

### 3.12 Gli ambienti interstiziali e iporreici

Tradizionalmente fiumi e acque sotterranee sono stati considerati come entità distinte, e solo negli ultimi anni diversi studi sono stati rivolti alla «dimensione verticale» dei fiumi (Bretschko, 1992; Gibert et al., 1995; Boulton et al., 1998; Gibert, 2005), evidenziando l'importante connessione esistente tra il fiume e l'ambiente interstiziale e iporreico (Fig. 3.24).

L'ambiente interstiziale è l'area permeabile del substrato, secondo la definizione di Dole-Olivier e Marmonier (1992). L'ambiente iporreico è invece la fascia più profonda, ove si incontrano e si miscelano le acque superficiali e le acque di falda; secondo la classica definizione di Orghidan (1959) l'ambiente iporreico è «la regione di subalveo in grado di scambiare acqua con la superficie».

Questi due ambienti assumono un ruolo di primaria importanza nelle dinamiche ecologiche dell'intero sistema lotico, tanto che a partire dagli anni Ottanta numerosi ecologi iniziarono a studiare la complessa rete di interazioni esistenti tra la porzione superficiale del sistema lotico e l'ambiente delle acque sotterranee (Bretschko, 1979; Vallet et al., 1993; Brunke, Gonser, 1997). Questo complesso sistema è caratterizzato non solo dallo scambio di acqua, ma anche dal passaggio di detrito, nutrienti e organismi.



**Fig. 3.24** Acque superficiali, interstiziali e sotterranee.

Inoltre, in questo particolare ecotono avvengono un'ampia serie di importanti processi biogeochimici: ad esempio tra gli interstizi del fondo la materia organica e i nutrienti possono essere trattenuti, trasformati e immagazzinati come riserva di energia. Recenti studi condotti nel nostro paese hanno inoltre evidenziato come la capacità di scambio della fascia iporreica possa avere una profonda influenza sulla qualità ambientale: infatti, i soluti trasportati dalle acque fluviali, compresi numerosi contaminanti, possono penetrare ed essere ritenuti a lungo nei sedimenti, rimanendo quindi presenti nel sistema anche per lunghi periodi (Boano et al., 2007). La fascia iporreica (profonda da pochi cm a diversi metri) è sede di complesse interazioni ecologiche e può fungere da habitat per numerosi organismi, offrendo il giusto compromesso tra velocità di corrente, disponibilità di cibo, ossigenazione e stabilità del substrato.

Molti gruppi di organismi si sono infatti adattati alla vita in questo particolare ambiente, come i Crostacei Copepodi, dominatori delle acque sotterranee (Galassi et al., 2009a) e i Sincaridi, che presentano un'interessante distribuzione biogeografica (Bottarin, 2001). Questa fascia può inoltre funzionare come area rifugio per le comunità macrobentoniche durante periodi sfavorevoli, aumentandone al contempo resilienza e resistenza agli stress (Dole-Olivier et al., 1997; Bo et al., 2006; Fenoglio et al., 2006b). Particolarmente importante per le comunità biologiche residenti nella porzione superficiale del fiume è la tessitura e quindi la composizione granulometrica del substrato, la quale può influire sulle possibilità di movimento all'interno degli strati più profondi (Helesic et al., 2006). Se gli interstizi sono occlusi da sedimento fine si verifica il clogging, con la compromissione dei processi di scambio biochimico e con pesanti ripercussioni a livello strutturale e funzionale (Bo et al., 2007).

Particolarmente interessante pare infine il collegamento esistente tra faune superficiali e faune degli acquiferi profondi, un settore di studio che recentemente ha attirato un notevole interesse. In questo contesto, si può citare un recente lavoro realizzato nelle Prealpi Venete che ha indagato la natura dei fattori ambientali e storici che modellano distribuzione e composizione delle comunità di organismi delle acque sotterranee (Galassi et al., 2009b).