

Caratteristiche idromorfologiche di un fiume

Le acque continentali di superficie possono essere distinte in due grosse categorie: acque lentiche e lotiche. Le prime rappresentano acque che risultano praticamente immobili (Fig.41) come laghi, stagni, pozze temporanee ecc.; mentre le seconde si riferiscono alle acque caratterizzate da un movimento continuo ed unidirezionale e per questo definite correnti (Fig.42), ossia fiumi, ruscelli, rii ecc.

Molto schematicamente un sistema lotico comprende una zona di origine che può derivare direttamente da una falda freatica o dallo scioglimento di nevi e ghiacciai, un

corso o asta fluviale ed un tratto terminale. Quest'ultimo tratto può essere rappresentato dalla confluenza del corso d'acqua in un altro di maggiori dimensioni (Fig.43) o dalla terminazione direttamente in mare con uno sbocco detto foce (Fig.44).

Le acque lotiche, tramite azioni di erosione ed accumulo, sono in grado di creare sinuosità tipiche dette meandri (Fig.45–46) che tenderanno ad ampliarsi: infatti, dove il fiume forma una curva, si avrà erosione nella sponda esterna a causa della forza centrifuga e deposito di materiale alluvionale in quella interna protetta. Nelle zone di erosione si formano le pozze



Caratteristiche idromorfologiche di un fiume



Fig.45



Fig.47



Fig.46



Fig.48

o “pools” (Fig.47) aventi profondità maggiori, velocità di corrente moderata e substrato sabbioso. Nella zona rettilinea tra una pozza e l'altra si trovano, invece, piccole rapide superficiali dette “riffle” (Fig.48) (Hynes, 1972). L'alternanza di “riffle” e “pools” determina una notevole varietà di habitat e un conseguente aumento di diversità delle comunità animali e vegetali.

Gli elementi che definiscono le caratteristiche idrologiche di un fiume sono: il bacino idrografico, la lunghezza, la pendenza, la velocità, la portata e il regime. Il bacino idrografico rappresenta l'area in cui le acque sorgentizie o meteoriche di ruscellamento superficiale sciolano verso

un unico solco di scarico detto solco d'impiuvio ed è delimitato da una linea spartiacque perimetrale che generalmente corrisponde alle sommità dei rilievi. All'interno del bacino si trova la rete idrografica che è formata dal corso principale, dai suoi affluenti e da eventuali bacini lacustri. La lunghezza di un fiume è data dalla distanza che esiste tra la sorgente e la foce, mentre la pendenza è il rapporto tra il dislivello che separa due punti lungo il profilo del corso e la loro distanza orizzontale. Questi due elementi sono strettamente legati alla morfologia della regione e all'altitudine della sorgente rispetto al livello del mare. La velocità della corrente, cioè la distanza percorsa da una massa

Caratteristiche idromorfologiche di un fiume

d'acqua nell'unità di tempo, dipende dalla pendenza ma anche dalla profondità, dalla forma della sezione e dalla tipologia dell'alveo: questa appare massima nella parte centrale, un po' al di sotto del pelo dell'acqua, in quanto sia l'attrito con il letto, ma anche con l'aria, tende a frenare lo scorrimento delle acque. La portata è il volume di acqua che passa attraverso una sezione trasversale del fiume nell'unità di tempo e, essendo legata al regime delle piogge, che a sua volta è in funzione del clima della regione, della posizione geografica e della natura e copertura vegetazionale del terreno, può presentare variazioni con diversa periodicità (giornaliere, stagionali, annuali). Il regime rappresenta la variazione della portata nel corso dell'anno: se la portata è maggiore della media annuale si ha il regime di piena, se invece è minore della media annuale si ha il regime cosiddetto di magra. In Italia due sono i tipi di regime ben rappresentati: quello appenninico e quello alpino, caratterizzati, il primo da piene estive e piene invernali, il secondo, da piene estive e piene invernali. Tendono infatti ad avere piene primaverili i torrenti montani alimentati dalle nevi disciolte, mentre piene estive quelli alimentati dalle acque di ghiacciaio; nelle regioni calde i periodi di piena corrispondono invece alla stagione delle piogge.

IL FIUME COME SUCCESSIONE DI ECOSISTEMI

Un corso d'acqua va visto come una successione di ecosistemi che sfumano l'uno nell'altro come conseguenza delle diverse caratteristiche ambientali che si incontrano da monte a valle in direzione della corrente ognuno popolato da una tipica comunità animale e vegetale (Ghetti, 1988).

Il River Continuum Concept (Vannote *et al.*, 1980) (Fig.49), propone una visione unificante dell'ecologia fluviale e richiama l'attenzione sulla stretta dipendenza della struttura trofica e delle funzioni delle comunità biologiche dalle condizioni morfologiche ed idrauliche del corso d'acqua. I sedimenti, la turbolenza, il regime termico, la qualità dell'acqua, costituiscono condizioni essenziali per l'insediamento di specifiche associazioni animali e allo stesso tempo ogni organismo svolge un ruolo insostituibile nel processo di ciclizzazione della materia.

Secondo un'impostazione naturalistica (Illies e Botosaneanu, 1963), i corsi d'acqua naturali vengono considerati macroecosistemi, che si possono dividere (schema valido per l'Europa Centrale), in base alla struttura del substrato, all'escursione annua della temperatura e alle specie di pesci caratteristiche, in diverse zone o mesoeosistemi: Eucronon (sorgenti), Hypocronon (ruscelli provenienti da sorgenti), Epirhitron (corso superiore dei torrenti, zona superiore delle trote), Metarhitron (corso medio dei torrenti, zona inferiore delle trote), Hyporhitron (corso inferiore dei torrenti, zona dei temoli), Epipotamon (corso superiore dei fiumi di pianura, zona dei barbi), Metapotamon (corso medio dei fiumi di pianura, zona delle scardole), ed Hypopotamon (corso inferiore dei fiumi, zona dei pesci persici e delle passere).

Nei corsi d'acqua sorgivi la vegetazione riparia riduce la produzione vegetale all'interno del corso d'acqua con l'ombreggiamento, ma fornisce grandi quantità di detrito organico; il rapporto produzione/respirazione (P/R) è quindi < 1 : il corso d'acqua è eterotrofico. Nei fiumi di media

Ecologia fluviale

Caratteristiche idromorfologiche di un fiume

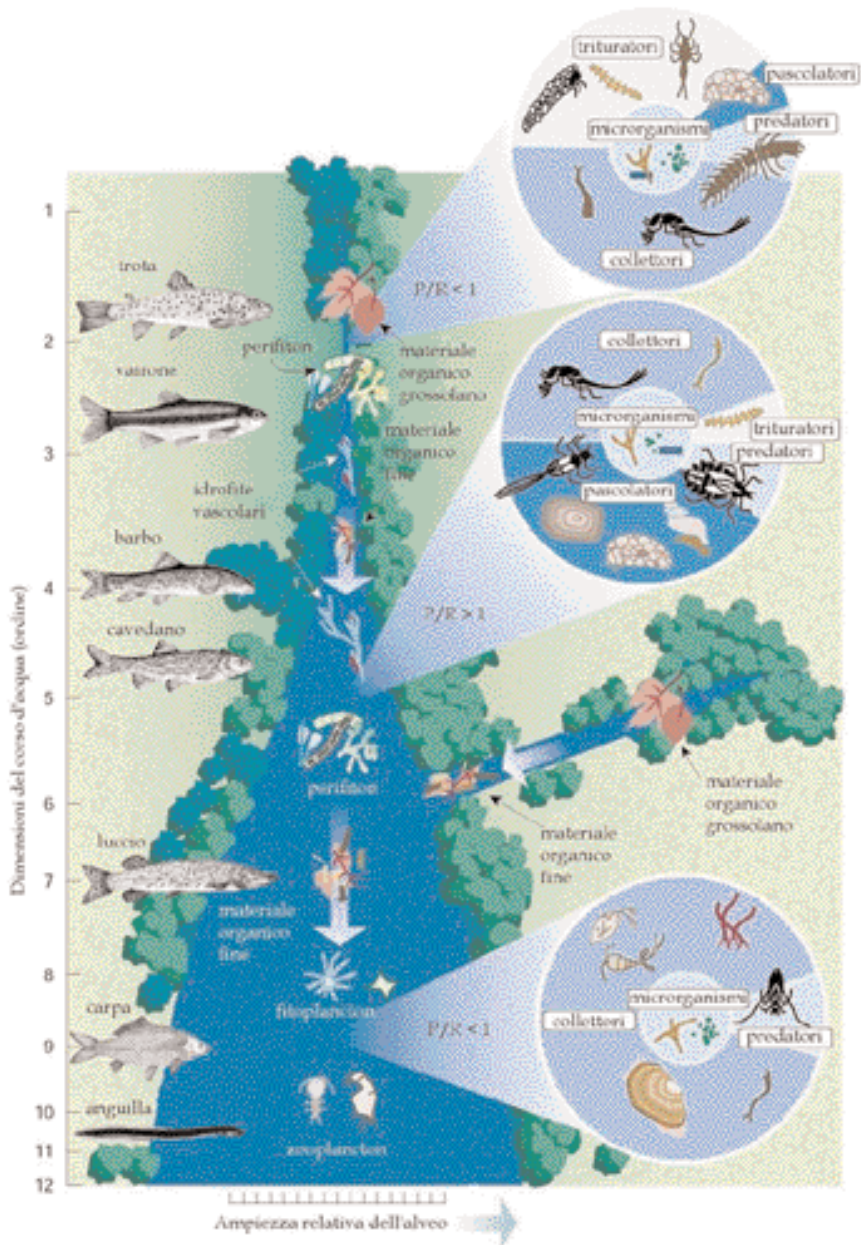


Fig. 49 -River Continuum Concept (modificato da Gelosi & Colombari, 2004)

Caratteristiche idromorfologiche di un fiume

grandezza l'entità dell'ombreggiamento e le consistenze degli apporti terrestri (es. foglie) si riducono e sono accompagnate da un aumento della produzione autoctona. Il rapporto P/R diviene > 1 e il fiume prevalentemente autotrofico. Nei grandi fiumi l'ombreggiamento della vegetazione è insignificante, ma la produzione primaria è spesso limitata dalla profondità e dalla torbidità delle acque: le condizioni ritornano eterotrofiche, il rapporto P/R diviene < 1 e la fonte di energia è rappresentata da grandi quantità di materia particolata fine, proveniente dalla demolizione del materiale vegetale operata nei tratti superiori. Il sistema fluviale, dalla sorgente alla foce, può essere quindi considerato come un gradiente di condizioni: da un regime sorgivo spiccatamente eterotrofico si passa ad uno autotrofico, con un graduale ritorno all'eterotrofia nei tratti terminali (Vannote *et al.*, 1980).

GLI ADATTAMENTI DEI MACROINVERTEBRATI BENTONICI

Le comunità che vivono nelle acque correnti sono influenzate da una serie di fattori che determinano negli organismi bentonici tutta una varietà di adattamenti fisiologici, morfologici e comportamentali. Alcuni di questi fattori sono: la velocità di corrente, il substrato, la temperatura, l'ossigeno, la salinità, il pH, il potenziale redox.

In relazione alla velocità di corrente c 'è da dire che i macroinvertebrati hanno sviluppato numerosi adattamenti per evitare di essere trascinati a valle. Alcuni Efemerotteri (Fig.50) ad esempio, mostrano un corpo molto appiattito, con zampe proiettate lateralmente proprio allo scopo di aumentare il contatto col substrato ed evi-



Fig. 50 - Efemerottero del genere *Ecdyonurus* (foto R. Messori)

tare il più possibile la forza della corrente, rimanendo in un microhabitat particolare detto strato limite o boundary layer (Hynes, 1972): questo è uno strato d'acqua spesso 1-4 mm che si trova sopra la superficie dei substrati dove, per ragioni di attrito, la velocità della corrente è fortemente ridotta. Questo tipo di adattamento tuttavia non può essere interpretato come una regola generale in quanto ci sono alcuni animali molto piccoli che riescono a rimanere nello strato limite anche senza avere un corpo appiattito come avviene ad esempio per alcuni Coleotteri (Fig.51); al contrario ce ne sono altri che pur presentando un corpo appiattito non vivono esposti all'azione diretta della corrente come succede ad esempio negli Irudinei (Fig.52) e Planarie (Fig.53). In questo caso, infatti, la forma appiattita serve per nascondersi sotto le rocce ed evitare completamente la corrente, piuttosto che resistergli. Una forma genericamente idrodinamica è ideale per offrire un minimo di resistenza ed è comune a moltissimi gruppi di macroinvertebrati. Una forma fusiforme è invece idonea per i macroinvertebrati bentonici in grado di spostarsi nuotando attivamente. Un dorso molto

Gli adattamenti dei macrovertebrati bentonici

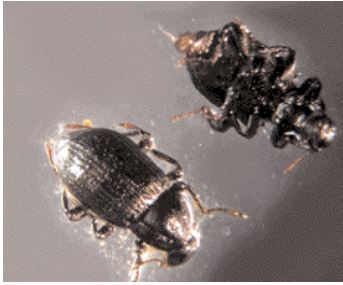


Fig.51 - Coleotteri

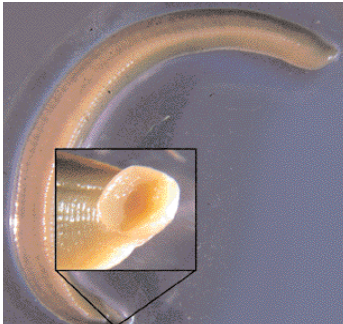


Fig.52 - Iridineo

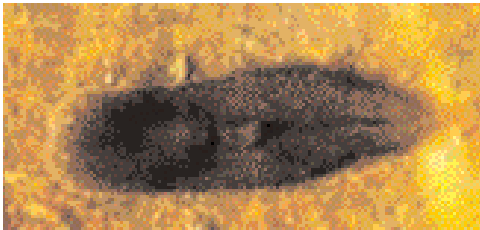


Fig.53 - Planaria



Fig.54 - Mollusco Gasteropode

levigato può inoltre contribuire a modificare il flusso d'acqua da turbolento a laminare. Un ulteriore ed efficace adattamento per resistere alla corrente è la presenza di ventose con le quali gli organismi aderiscono a substrati molto levigati. Anche gli Irudinei sono provvisti di ventose anche se di rado si espongono direttamente alla corrente, per cui si può parlare di un adattamento secondario. Per i Molluschi Gasteropodi (Fig.54) è il piede che crea la pressione negativa che permette l'adesione. Altri macroinvertebrati usano la tattica di aumentare il contatto tra la parte ventrale del loro corpo e il substrato in modo da incrementare la resistenza per frizione; ciò può essere ottenuto mediante strutture apposite, come gli sterniti addominali circondati o ricoperti di densa pelosità o modificazioni di strutture preesistenti, come il primo paio di branchie allargate di alcune specie di Efemerotteri (Fig.55).

Molti artropodi hanno poi zampe dotate di robuste unghie con le quali si ancorano al substrato o, come accade nei Tricotteri (Fig.56), appendici addominali terminali portanti all'estremità un'unghia robusta, dette pigopodi (Fig.56a). Un'ultima strategia per contrastare la forza della corrente è quella adottata dai Tricotteri, che consiste nel costruirsi un astuccio protettivo il più delle volte avente un certo peso e che funge quindi da zavorra oltre che da protezione per l'addome (Fig.57). Oltre agli adattamenti morfologici per resistere alla corrente sono presenti anche adattamenti comportamentali: nella maggior parte dei casi non si muovono mediante nuoto attivo, ma strisciando sul substrato o lasciandosi trasportare. Comunque tendono ad evitare la corrente troppo forte rimanendo nello strato limite, rifugiandosi sotto le

Gli adattamenti dei macrovertebrati bentonici

rocce, nelle fenditure sotto la ghiaia o rimanendo nelle zone a corrente debole. Questo tipo di comportamento può essere facilmente osservato negli Anfipodi (Fig.58), che sono cattivi nuotatori e sono sprovvisti di meccanismi di adesione. Nei fiumi di grandi dimensioni, nei quali la corrente è sensibilmente forte al centro, questi animali hanno popolazioni più abbondanti lungo le rive dove la corrente è più debole. Nonostante il nuoto attivo sia poco diffuso tra i macroinvertebrati molti affrontano comunque la corrente muovendosi contro di essa in modo da contrastare il fenomeno del drift, che prevede il trascinarsi degli organismi verso valle. Il drift rappresenta un evento importante per la biologia sia di un corso d'acqua sia degli animali: mediante il drift si possono, infatti, colonizzare nuove aree ed in questo modo le popolazioni che hanno una crescita eccessiva possono trovare nuove nicchie da occupare. Parametro limitante per la vita dei macroinvertebrati è sicuramente l'ossigeno. Quest'ultimo, correlato alla turbolenza dell'acqua, aumenta anche all'aumentare del rapporto superficie-volume di un dato tratto di fiume e al diminuire della temperatura.

Questo è vero per quel che riguarda l'ossigeno scambiato con l'atmosfera, ma bisogna sottolineare che esiste un'intensa attività fotosintetica delle macrofite acquatiche che può portare a condizioni di sovrassaturazione. In genere si osserva una diminuzione della concentrazione di ossigeno procedendo dalla sorgente alla foce. I macroinvertebrati acquatici respirano, in



Fig. 55 - Efemerottero del genere *Epeorus*
(foto R. Messori)

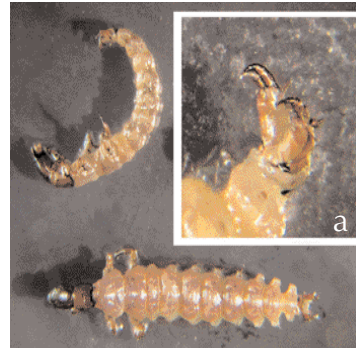


Fig. 56 - Tricotteri della Famiglia *Rhyacophilidae*

alcuni stati larvali, attraverso la diffusione cuticolare ma più comunemente attraverso strutture di vario tipo. Possono essere presenti estroflessioni cuticolari fogliacee o filiformi contenenti trachee dette tracheobranchie (Fig.59) che in caso di bassa concentrazione di ossigeno possono essere agitate per aumentarne lo scambio gassoso come accade per Plecotteri, Efemerotteri e Odonati. I Tricotteri provvisti di astucci protettivi presentano, a questo scopo, una serie di peli posti ai lati del corpo che, con le oscillazioni, provocano una corrente di acqua all'interno del tubo. In altri casi ci può essere assunzione diretta di ossigeno atmosferico mediante lunghi sifoni respi-

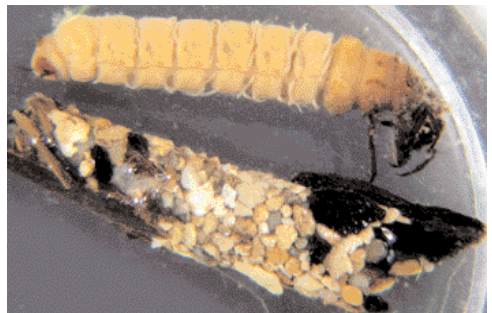


Fig. 57 - Tricottero della Famiglia *Limnephilidae*

Gli adattamenti dei macrovertebrati bentonici

ratori come in alcune larve di Ditteri. Gli adulti di alcuni Coleotteri acquatici, tra cui i Dytiscidae, respirano ponendo gli spiracoli in contatto con l'interfaccia acquaria e facendo una provvista di ossigeno mediante bolle d'aria poste tra i peli idrorepellenti o sotto le elitre.

Per sopravvivere in ambienti fangosi anossici alcuni Ditteri assumono ossigeno dalla porzione sommersa di piante acquatiche mentre i Ditteri Chironomidae e gli Oligocheti Tubificidae sono dotati di pigmenti

respiratori particolarmente efficienti e possono vivere in condizioni di anossia quasi totale. I Gasteropodi Polmonati respirano riempiendo d'acqua la cavità palleale che così funziona come una sorta di branchia.

Altro parametro fondamentale per la vita dei macroinvertebrati è la temperatura. Quest'ultima varia all'interno di un ecosistema fluviale lungo un gradiente longitudinale in funzione delle condizioni climatiche regionali e presenta ritmi giornalieri e stagionali. Alle nostre latitudini generalmente si osserva un aumento di temperatura progressivo andando da monte a valle e la maggiore turbolenza di un sistema lotico rispetto ad uno lentico impedisce inoltre la stratificazione termica.

Gli invertebrati acquatici tendono a vivere in luoghi aventi temperature prossime al proprio optimum che può tuttavia essere tuttavia diverso a seconda dello stadio vitale in cui si trovano.

Anche elementi chimici presenti in tracce possono essere di importanza fondamentale per alcuni organismi tanto da limitarne drasticamente l'abbondanza. Alcuni esempi di questa situazione sono dati dal silicio, essenziale per la costruzione dei frustuli da parte delle Diatomee, dal ferro e dallo zolfo, indispensabili per numerose reazioni di ossidazione e riduzione svolte dai batteri che vivono nei sedimenti.

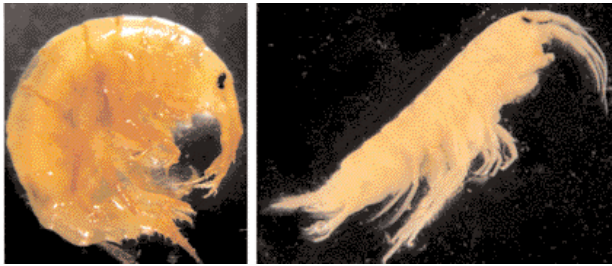


Fig. 58 – Anfipodi della Famiglia Gammaridae

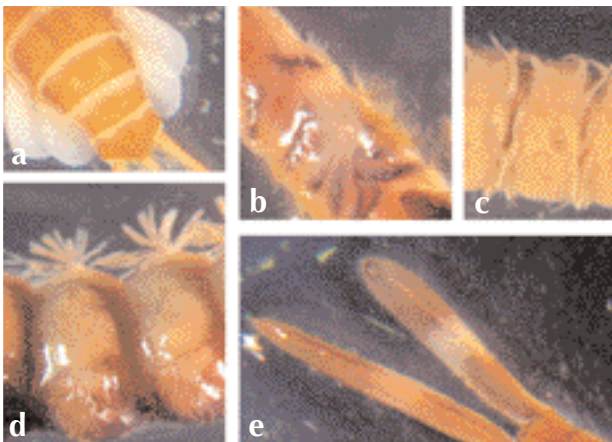


Fig. 59 – Esempi di tracheobranchie: a) lamellari (Efemerottero *Ecdyonurus*); b) a lamella frangiata (Efemerottero *Ephemera*); c) branchie filamentoze (Tricottero *Limnephilidae*); d) branchie a ciuffo (Tricottero *Rhyacophilidae*); e) lamelle caudali (*Odanati Calopteryx*)

ORIGINE DELL'INQUINAMENTO IDRICO

L'acqua pura in natura non esiste. Questa risorsa contiene già, anche negli ambienti più incontaminati, un certo grado di impurità, spesso indispensabile all'ecosistema naturale. In generale una risorsa viene definita contaminata quando contiene quantità eccessive di impurità naturali o di origine antropica.

Si definisce infatti inquinamento idrico: "lo scarico effettuato direttamente o indirettamente dall'esterno nell'ambiente idrico di sostanze o di energia, le cui conseguenze siano tali da mettere in pericolo la salute umana, nuocere alle risorse viventi o al sistema ecologico idrico, compromettere le attrattive o ostacolare altri usi legittimi delle acque" (Direttiva CEE 76/464 art. 2 comma e).

L'inquinamento idrico è dunque la degradazione della qualità dell'acqua che ne preclude l'uso del tutto o in parte.

Differentemente dall'aria che ha una composizione chimica costante da cui è facilmente rilevabile e quantificabile la deviazione da una situazione normale, l'acqua di fiumi e torrenti presenta varie realtà. A conseguenza di ciò le leggi di tutela delle acque superficiali non contengono valori assoluti, ma relativi all'uso che si vuole fare dell'acqua. Pertanto nella normativa sono presenti parametri diversi: chimici, fisici, microbiologici e biologici che definiscono criteri di qualità ognuno dei quali esprime le condizioni richieste per un dato uso.

PRINCIPALI FATTORI DI DISTURBO ANTROPICO

Un particolare tipo di perturbazione dell'ambiente acquatico, è quello provocato da modificazioni della struttura del corso

d'acqua e del suo regime idrologico. Queste modificazioni possono essere così riassunte:

- interventi sui corsi d'acqua che non comportano sostanziali variazioni del regime idrologico (correzione dei tracciati, ripianamento degli alvei, consolidamento delle sponde) (Fig. 60).



- interventi sui corsi d'acqua che modificano sostanzialmente il regime idrologico (costruzione di sbarramenti e formazione di serbatoi, deviazione di acque in condotte con restituzione a valle o senza restituzione).

Il primo intervento può considerarsi di minor impatto dal punto di vista ambientale anche se si hanno variazioni nella struttura e nelle funzioni della comunità fluviale. Gli interventi di ampliamento in larghezza delle sezioni dei corsi d'acqua determinano da un punto di vista fisico, un cambiamento delle dimensioni dell'habitat con riduzione della profondità, e modificazione della velocità. Durante la fase di attuazione dell'intervento il danno alla comunità acquatica consiste nella distruzione di fauna e flora e nell'allontanamento dei pesci e di altri organismi. La regola-

rizzazione delle sponde comporta la perdita di microhabitat con conseguente riduzione della ricchezza in specie tra gli organismi acquatici. Lo sbarramento di un corso d'acqua determina uno stato di perturbazione in quanto interferisce con lo spazio disponibile e con il regime termico naturale, con il normale trasporto di materiali sospesi e, modificando le portate giornaliere e annue, con la qualità chimica delle acque. Nel complesso si assiste ad una riduzione del numero di nicchie disponibili.

Le fonti di inquinamento idrico vengono generalmente classificate in fonti di tipo concentrato, riconducibile ad uno scarico puntiforme, proveniente da insediamenti produttivi, o civili, e fonti di tipo diffuso, nel caso in cui l'apporto di inquinante al corpo idrico derivi da un'area più o meno ampia, come nel caso delle attività agricole e silvo-pastorali. Una differenza fondamentale si riscontra nelle modalità di emissione: le prime recapitano ai corpi idrici inquinanti in modo abbastanza continuo, mentre le seconde in modo discontinuo, ad esempio in concomitanza di eventi meteorici di particolare intensità. Le modalità di dispersione degli inquinanti provenienti da sorgenti diffuse sono influenzati da complessi processi ambientali (correnti, piene, magre, etc.) che ne rafforzano la caratteristica discontinuità. Il trasporto di inquinanti di origine diffusa avviene essenzialmente nell'ambito del ciclo idrologico, con la percolazione ed il ruscellamento delle acque meteoriche verso i corpi idrici sotterranei e superficiali. Le fonti diffuse di origine agricola sono le principali responsabili dell'immissione nei corpi idrici di nutrienti (azoto e fosforo) e pesticidi (fitofarmaci ed antiparassitari). In generale, fra i nutrienti, la mobi-

lizzazione in forma di soluto coinvolge soprattutto l'azoto, mentre per il fosforo, meno solubile, assume maggiore rilievo la mobilizzazione in forma particolata. Per i pesticidi non è possibile una simile distinzione in quanto l'elevato numero e l'eterogeneità delle sostanze impiegate fa sì che possano presentarsi entrambe le tipologie di mobilizzazione. Occorre inoltre tener presente che tali composti vengono prodotti in formulazioni sempre più solubili, al fine di diminuirne la quantità residua nei prodotti soggetti al consumo alimentare. In questo modo aumenta il pericolo di inquinamento delle falde, soprattutto in quelle aree in cui le caratteristiche idrologiche, geo-pedologiche e morfologiche favoriscono la percolazione. Suoli strutturalmente degradati da un cattivo uso si prestano ad un più frequente ed abbondante ruscellamento e ad una maggiore erosione, ma contemporaneamente, la diminuita capacità di ritenzione idrica e l'aumento della permeabilità dello strato superficiale, possono provocare anche abbondante percolazione. I motivi delle differenze di comportamento vanno ricercati nella varietà di meccanismi di interazione suolo-inquinante ed acqua-suolo (Cavazza e Patruno, 1993).

SCARICHI URBANI

Oltre all'inquinamento di tipo diffuso, proveniente dall'agricoltura, le emissioni di tipo urbano ed industriale, presentano effetti altrettanto importanti. Per acque di scarico urbano si intendono quelle contenenti residui metabolici, feci ed urine, delle attività domestiche e del dilavamento delle strutture urbane, tetti e strade.

Tra i residui dell'attività domestica vi sono saponi, detersivi, pesticidi, frammen-

ti cartacei e alimentari. I detersivi sono costituiti da miscele di diversi composti tra i quali una tensioattiva con la funzione di portare in soluzione i grassi e una componente ad azione sequestrante nei riguardi del calcio dell'acqua di lavaggio.

Il dilavamento è determinato da eventi meteorici e la presenza di contaminanti dipende da vari fattori: emissione di autoveicoli, pesticidi di varia natura, residui metabolici animali e vegetali, catrami provenienti dal manto stradale, composti presenti nelle acque meteoriche. Queste ultime attraversando l'atmosfera acquisiscono un carico inquinante relativamente modesto, che aumenta fortemente appena entrano in contatto con il suolo. Mentre nelle aree agricole, inclusi gli insediamenti rurali, prevalgono sostanze organiche provenienti dagli allevamenti e composti del fosforo e dell'azoto, nelle aree urbano-industriali, con forte traffico veicolare, le acque meteoriche che dilavano le superfici impermeabilizzate si caricano di oli, idrocarburi, residui abrasivi di pneumatici e rifiuti urbani.

SCARICHI INDUSTRIALI

Molti dei numerosissimi processi industriali ed artigianali richiedono acque che dopo l'uso vanno ad alimentare gli scarichi. La prima distinzione fondamentale viene effettuata tra le acque di processo (ad es. acque di lavaggio) e le acque di raffreddamento, che allontanano calore in eccesso. Di regola le acque di processo, a causa del loro contatto diretto con le materie prime, sono inquinate chimicamente rispetto a quelle di raffreddamento inquinate termicamente. Le acque di scarico industriali e artigianali, sono responsabili dell'introduzione nei corpi d'acqua di un

numero enorme di sostanze estranee ai cicli naturali. A seconda della tipologia delle acque di processo, provenienti da industrie alimentari, industrie chimiche e petrolchimiche, della cellulosa, dei detersivi, ecc, lo smaltimento è più o meno facilmente raggiungibile. Le prime hanno carichi organici di origine naturale, più simili per caratteristiche a quelle degli scarichi domestici e quindi sono più facilmente suscettibili di trattamento negli impianti di depurazione.

Le seconde invece hanno spesso carichi organici di origine artificiale o comunque più difficilmente decomponibili.

I contaminanti immessi nell'ambiente esercitano effetti nocivi, che sono raggruppati nelle seguenti categorie:

1. effetti deossigenanti, dovuti a sostanze organiche ed altri composti ad azione riducente. Tali sostanze vanno incontro ad un processo di mineralizzazione ad opera di microrganismi, che utilizzano l'ossigeno disciolto. Al diminuire della concentrazione di ossigeno, la respirazione aerobia viene progressivamente sostituita da quella anaerobica con processi fermentativi che portano alla comparsa di prodotti solo parzialmente mineralizzati nonché tossici.
2. effetti eutrofizzanti che in ambienti dove l'acqua ristagna portano ad un aumento della produzione primaria del fitoplancton. I composti responsabili sono i sali di fosforo e azoto provenienti dai fertilizzanti usati per l'agricoltura, dai residui del metabolismo animale, dai detersivi, ecc. Tutto questo induce uno sviluppo elevato di biomassa vegetale, che, non più controllata nella catena del pascolo, viene immessa come sostanza organica morta nella catena del detrito, eccedendone spesso la capacità degradative aerobiche.