

CAPACITA' AUTODEPURATIVA DEI SISTEMI ACQUATICI

Gli ecosistemi acquatici, quali possono essere i corsi d'acqua, sono sistemi fisico-biologici, e come tali scambiano continuamente energia e materia con l'ambiente circostante: sono definiti pertanto dei "sistemi aperti". L'insieme costituito dall'ambiente (biotopo) e dalle forme di vita che lo abitano (biocenosi) si comporta come un "superorganismo" e come tale è capace di sostenersi e mantenere un equilibrio tra energia e materia in ingresso ed energia e materia in uscita. Come in un qualsiasi sistema meccanico progettato per compiere del lavoro, ad esempio un motore a scoppio, il bilancio tra entrate ed uscite è costantemente in pareggio ma ciò che si realizza è una degradazione irreversibile dell'energia che vi fluisce. Lo stesso vale per qualsiasi ecosistema, sia esso una foresta pluviale tropicale, una savana, un lago, l'oceano o una foresta delle regioni temperate. Tale flusso di energia, che in definitiva proviene dal sole, è in grado di dirigere i processi vitali quali la nascita degli organismi, l'accrescimento, la moltiplicazione. Nell'intero processo, la materia viene ad essere utilizzata in modo ciclico (riciclo) passando dalla forma inorganica (acqua, anidride carbonica, ossigeno, azoto molecolare, sali minerali) alla forma organica (proteine, carboidrati, grassi, acidi nucleici, i mattoni con cui sono costruiti gli organismi) e viceversa secondo l'alternanza tra nascita e morte che conoscono tutte le forme viventi. Chi possiede un qualsiasi animale, ad esempio un piccolo cane da compagnia, e magari lo tiene in appartamento, sa benissimo quanto lavoro richie-

da il mantenimento in buono stato della bestiola: è necessario fornirgli del cibo giornalmente, dell'acqua, tenere pulita la cassetta dove fa i bisogni, portarlo periodicamente dal veterinario per le vaccinazioni e così via. Ovviamente un cane chiuso in un appartamento ed abbandonato a se stesso è destinato alla morte. Un pesce immerso nell'acqua di un tranquillo rio, invece, ha elevate probabilità di sopravvivere ed anzi di accrescere e riprodursi ed il tutto senza l'intervento dell'uomo.

E' fin troppo evidente che mentre il cane è abbandonato in un sistema artificiale chiuso (l'appartamento), il pesce fa parte di un sistema naturale aperto che, in grado di autoregolarsi in un delicato ma costante equilibrio, consente alle specie di mantenersi nel tempo. Sono proprio le relazioni tra le diverse specie e tra le specie e l'ambiente fisico a garantire quell'equilibrio che rende l'ecosistema stabile. Un siffatto ingegnoso sistema è per sua natura resistente agli eventi perturbatori. Il termine corretto per definire la capacità di mantenere condizioni stabili al variare di qualche fattore ambientale è la resilienza.

La resilienza di un ecosistema non è, ovviamente, illimitata: ad un certo punto la capacità di opporsi alle modifiche esterne viene meno e l'ecosistema tende a subire modifiche più o meno pesanti. L'impatto delle attività umane, di norma, porta gli ecosistemi a modifiche che tendono a degradarlo: perdita di specie e peggioramento delle qualità estetico-paesaggistiche. Se però non spinti oltre un certo limite, che potremo definire di "non ritorno", anche gli impatti umani possono essere assorbiti dagli ecosistemi senza danni permanenti. Un fenomeno di questo tipo è caratteristico dei corsi d'acqua e prende

Autodepurazione

il nome di capacità autodepurativa o auto-depurante. La depurazione, come la si intende normalmente quando si tratta, ad esempio, dei reflui urbani, è un processo quindi del tutto naturale. Il problema nasce nel momento in cui gli apporti inquinanti, superano quella che è la normale capacità autodepurativa dell'ecosistema che li riceve. Per comprendere questi equilibri è necessario accennare a quali sono i meccanismi con cui si esplica il processo dell'autodepurazione. Un corso d'acqua, viene costantemente raggiunto da materia organica prodotta altrove che si aggiunge a quella derivante dai vegetali che lo popolano: ad esempio, parte del materiale prodotto dalla vegetazione sia riparia che presente nel bacino scolante (fogliame ma anche rami legnosi), può raggiungere il corso d'acqua veicolato dal vento ma anche dal ruscella-

l'acqua che penetra nel suolo e che in diversi modi raggiunge il flusso idrico fluviale, può trasportare ingenti quantità di sostanza organica disciolta (DOM).

Questi apporti di sostanza organica, nell'esempio solo di origine naturale, costituiscono materiale da demolire e su cui si insedia una miriade di microscopiche forme di vita in larga parte costituite da batteri, funghi, protozoi e piccoli animali pluricellulari (Fig.61), una comunità (la cosiddetta "catena del detrito") che, in maniera organizzata, sfrutta questa disponibilità di sostanza organica per lo svolgimento delle proprie funzioni vitali.

Accanto a questa attività delle forme microscopiche si inserisce l'azione demolitrice operata da parte della fauna macrobentonica nei confronti dei materiali più grossolani. L'azione combinata e sovente

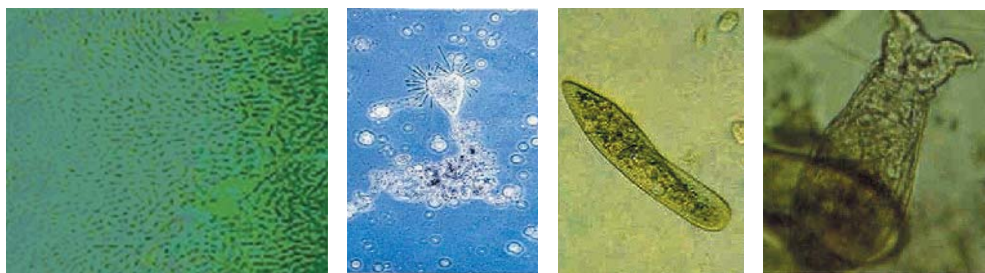


Fig.61 - Alcune forme viventi che costituiscono la cosiddetta "catena del detrito" di un sistema acquatico. Da sinistra: batteri (bacilli), due diverse forme di protozoi ed una specie di rotifero (piccolo animale pluricellulare)

mento superficiale in occasione di forti precipitazioni. Proprio la forza eolica e quella dell'acqua di dilavamento trasporta con sé anche materia organica particolata (POM) e sostanze più o meno eutrofizzanti. Infine,

sinergica di queste forme viventi comporta, in un tratto del corso d'acqua più o meno lungo, la costante demolizione di un'aliquota dell'apporto organico originato in un certo punto del tracciato fluviale.



Fig. 62 - Due tratti fluviali completamente diversi: il primo in buone condizioni, il secondo degradato dagli scarichi civili

Il processo termina con la completa mineralizzazione in anidride carbonica, acqua e sali minerali: il resto viene convertito in materia vivente e va a costituire il corpo degli organismi decompositori. In assenza di un apporto di sostanza organica (sia prodotta che importata dall'esterno) ed inorganica (sali minerali), i fiumi sarebbero completamente sterili (deserto biologico). Tutti i processi di demolizione della sostanza organica sono, tuttavia, dipendenti dall'approvvigionamento di ossigeno atto a sostenere la respirazione della comunità dei decompositori. Finché l'apporto di ossigeno riesce a soddisfare la richiesta, un certo equilibrio, sebbene variabile tra stagione e stagione e anche tra giorno e notte, viene mantenuto. All'aumentare dell'apporto di sostanza organica (ad esempio con uno scarico puntiforme di liquami civili), l'equilibrio può essere compromesso e in ogni momento la richiesta di ossigeno supera la disponibilità: in queste condizioni la comunità dei

decompositori si modifica sensibilmente ed accanto alla respirazione si devono necessariamente intensificare i processi di degradazione anaerobia. Questo è un meccanismo biochimico che consente a certe forme viventi di utilizzare la sostanza organica disponibile, anche in assenza di ossigeno. In questi casi, prevalgono nella comunità macrobentonica le forme che meglio tollerano le condizioni di scarsità d'ossigeno: ad esempio i Ditteri Simulidi. Normalmente, in queste condizioni, ciò che si osserva è una generale riduzione di forme viventi.

Ecco perché risulta fondamentale trattare gli scarichi inquinanti prima della loro immissione: si evita di trasformare un corso d'acqua in una maleodorante fogna a cielo aperto (Fig.62).

Inoltre si evita di far pervenire al corpo idrico accettore terminale (lago o mare) i residui inorganici dell'azione degradativa: i sali di fosforo ed azoto che, oltre certi limiti, possono innescare improvvise fioriture algali, sintomo evidente del processo di eutrofizzazione. Una complicazione sorge quando gli apporti inquinanti non sono di natura solamente o prettamente organica. Nel caso degli scarichi industriali, di norma, oltre al carico organico si aggiunge un carico inquinante, forse più pericoloso, che dipende dal tipo di processo industriale e che può essere costituito da metalli pesanti e sostanze organiche di sintesi (idrocarburi policiclici aromatici, fenoli ed altre sostanze cosiddette "xenobiotici recalcitranti"). Tali inquinanti oltre a venire metabolizzati poco o niente dalla comunità microbica, spesso a causa delle loro tossicità ne riducono l'efficienza e quindi le funzionalità. Sovente la stima della degradabilità di uno scarico, è ottenuta rapportando il quantitativo di ossigeno richiesto per la degradazione microbica (Richiesta Biologica di Ossigeno - BOD) a quello necessario per la degradazione chimica (Richiesta Chimica di Ossigeno - COD) di un certo quantitativo dello scarico stesso. Tanto maggiore è quest'ultimo parametro rispetto al primo e tanto meno risulta naturalmente degradabile lo scarico. L'inibizione è legata alla presenza di sostanze, comunque degradabili mediante un processo chimico molto forte, che per la loro natura si

comportano di fatto da inibitori della crescita o dell'attività dei microrganismi decompositori. In queste condizioni il carico organico potrà essere attaccato e demolito solo molto più a valle del punto di sverso, dopo essere stato notevolmente diluito, con evidenti danni al tratto fluviale terminale o al corpo idrico recettore finale. Una situazione del genere si verifica anche quando a seguito del trattamento delle acque reflue di tipo civile, lo scarico depurato viene disinfettato: i disinfettanti possono incidere negativamente sulla popolazione microbica del corso d'acqua a tutto danno della capacità autodepurativa stessa. Il superamento di quella soglia limite oltre la quale le capacità autodepurative di un corso d'acqua vengono superate ha delle gravi conseguenze per l'intera comunità animale, in primis la fauna ittica.

Carichi organici eccessivi comportano la perdita di specie ittiche pregiate ma che richiedono condizioni di buona ossigenazione delle acque (ad esempio le trote, salmerini, temoli e barbi) a vantaggio di altre più resistenti. Oltre a questa perdita qualitativa delle risorse ittiche si osserva, in particolari condizioni, accumulo di sostanze tossiche (ad esempio i metalli cosiddetti "pesanti") negli organi e nei tessuti dei pesci che ne pregiudicano l'uso alimentare. Questi effetti estremi si osservano sovente quando la sinergia tra l'intensificarsi dei fenomeni di degradazione anaerobica e la presenza di sorgenti d'inquinamento da metalli (ad esempio scarichi industriali) conducono ad una certa biodisponibilità di tali elementi tossici e ad un processo di bioconcentrazione lungo la catena alimentare.

Autodepurazione

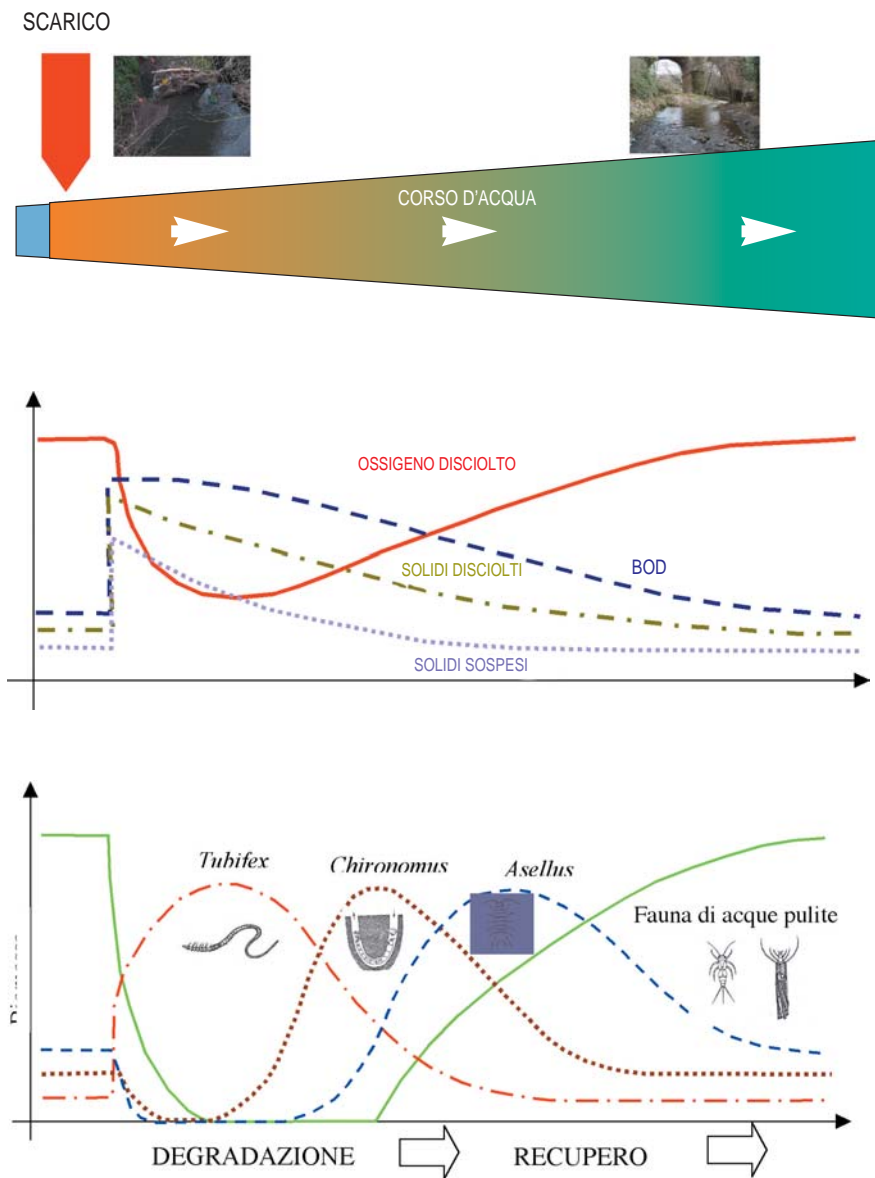


Fig.63 - Modifiche alla qualità ambientale di un corso d'acqua a seguito dell'immissione di uno scarico inquinante. In alto: schema di un corso d'acqua; al centro: variazione di alcuni parametri chimici e fisici della qualità delle acque; in basso: modifiche della comunità macrobentonica

I processi che stanno alla base della capacità autodepurativa di un fiume, sono in realtà qualcosa di molto complesso, in parte legato all'attività degli organismi viventi ed in parte dovuto alle caratteristiche chimiche e fisiche degli ambienti acquatici. La complessità degli eventi connessi all'autodepurazione è talmente elevata che, a tutto'ora, nonostante gli elevati sforzi dei ricercatori, innumerevoli domande risultano prive di una risposta scientificamente attendibile. Per lo più, sebbene con un certo grado di approssimazione, siamo solo in grado di caratterizzare gli eventi nel loro complesso basandoci su osservazioni d'insieme (black box ecology). Tuttavia, almeno qualitativamente i meccanismi che regolano la capacità autodepurante dei corpi idrici si possono spiegare genericamente in base a:

1. Diluizione degli inquinanti. E' un fattore determinante in grado di condizio-

narne altri. In generale si ritiene che la diluizione agevoli i successivi meccanismi di demolizione di molti inquinanti (Fig.63).

2. Sedimentazione degli inquinanti. E' un processo fisico molto efficiente nelle acque stagnanti o correnti ma con modesto grado di turbolenza. Aumenta con l'aumentare della densità delle particelle inquinanti (flocculati, sabbie, etc.) e sebbene apparentemente riduca l'inquinamento dell'acqua, in realtà va ad aumentare la concentrazione degli inquinanti nei sedimenti. In particolari condizioni questi depositi possono venire rimessi in circolo e costituiscono il cosiddetto "carico interno" di inquinanti di un corpo idrico (Fig.64).

3. Complessazione. E' un fenomeno fisico ben definito in base al quale alcuni

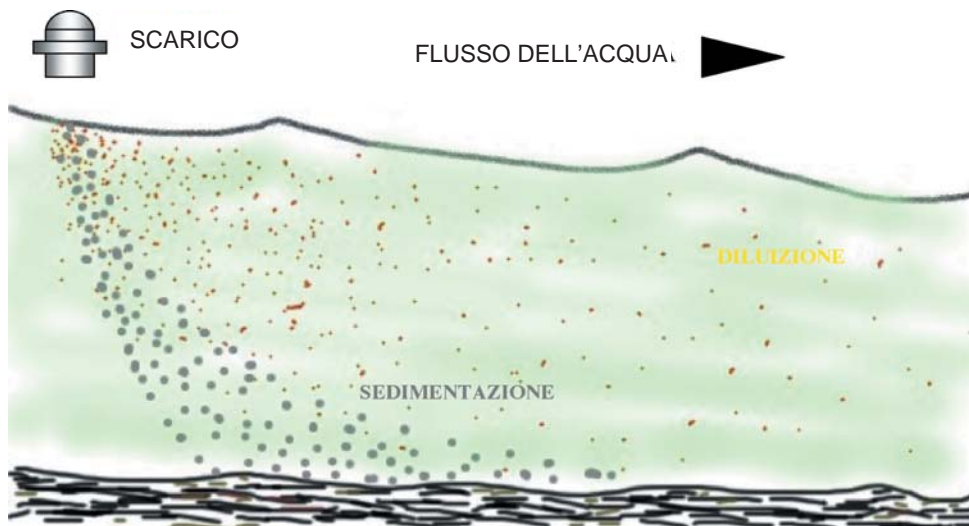


Fig. 64 - Processi di diluizione (le particelle più leggere che vengono immesse dallo scarico) e sedimentazione delle particelle più pesanti

elementi inquinanti (ad esempio alcuni metalli pesanti) possono legarsi in modo temporaneo a sostanze organiche complesse naturali: ad esempio gli acidi umici (da humus) e fulvici provenienti dai suoli presenti nel bacino (Fig.65A).

4. **Adsorbimento.** E' un processo fisico simile al precedente riguarda però l'in-

sulla fauna acquatica.

6. **Ossigenazione.** E' un altro fattore fisico che intensifica l'attività di ossidazione chimica diretta o mediata da organismi biologici nei confronti soprattutto delle sostanze organiche ma anche di alcuni inquinanti organici non particolarmente resistenti. La disponi-

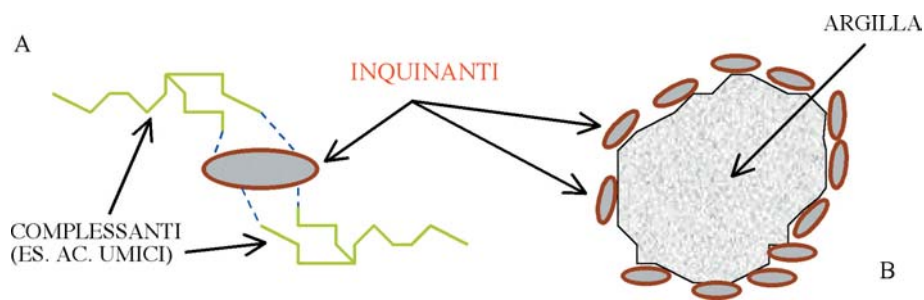


Fig. 65 - Schema della complessazione degli inquinanti (A) da parte di sostanze complessanti (ad es. gli acidi umici) e dell'adsorbimento (B) degli inquinanti su particelle coloidali (argilla)

terazione tra inquinanti organici (ad esempio erbicidi) o metallici (vedi rame, piombo, cadmio, etc..) e sostanze colloidali presenti nell'acqua come le argille. Tali complessi sono sede di intensa attività batterica fatto che consente una degradazione degli inquinanti organici molto efficiente (Fig.65B).

5. **Equilibrio acido-base ed "effetto tampone".** E' un processo chimico che, in virtù delle caratteristiche geologiche del bacino e del letto fluviale, consente al sistema acquatico di opporsi alle modifiche di acidità delle acque spesso provocate dall'inquinamento e che agiscono negativamente

bilità di ossigeno è garantita nei corsi d'acqua dalla turbolenza e dalla diluizione.

7. **Abrasiono.** Fattore prettamente fisico, esso comporta la frammentazione meccanica di particelle solide in particelle via via sempre più piccole. Tale frammentazione implica un aumento della superficie d'attacco per i processi di degradazione chimica e biologica.
8. **Degradazione biologica.** Complesso insieme di attività operate da molte forme viventi (batteri, protozoi, funghi, macroinvertebrati ma anche pesci che si nutrono di frammenti organici) il cui risultato ultimo è l'aumento delle biomassa e la liberazione di anidride

Autodepurazione

carbonica, acqua e sostanze minerali. La degradazione biologica è sovente organizzata secondo le cosiddette “reti trofiche basate sul detrito” dove alcuni microorganismi in grado di degradare le sostanze organiche e produrre biomassa sono alimento per forme animali di piccole dimensioni, ad esempio i macroinvertebrati bentonici, che a loro volta sono predati da specie animali di taglia maggiore come pesci o anfibi. La comunità microscopica altamente

diversificata (batteri, funghi, ciliati, microalghe, amebe, rotiferi, nematodi, gastrotrichi, tardigradi, ecc.) che forma quella sottile pellicola scivolosa al tatto (periphyton) (Fig. 66) che riveste i ciottoli e le rocce fluviali, rappresenta il primo livello depurante dei corsi d’acqua. Questo depuratore naturale supporta fisicamente e biologicamente un secondo sistema, costituito da macroinvertebrati che funge da acceleratore e regolatore del processo. La ricchezza di

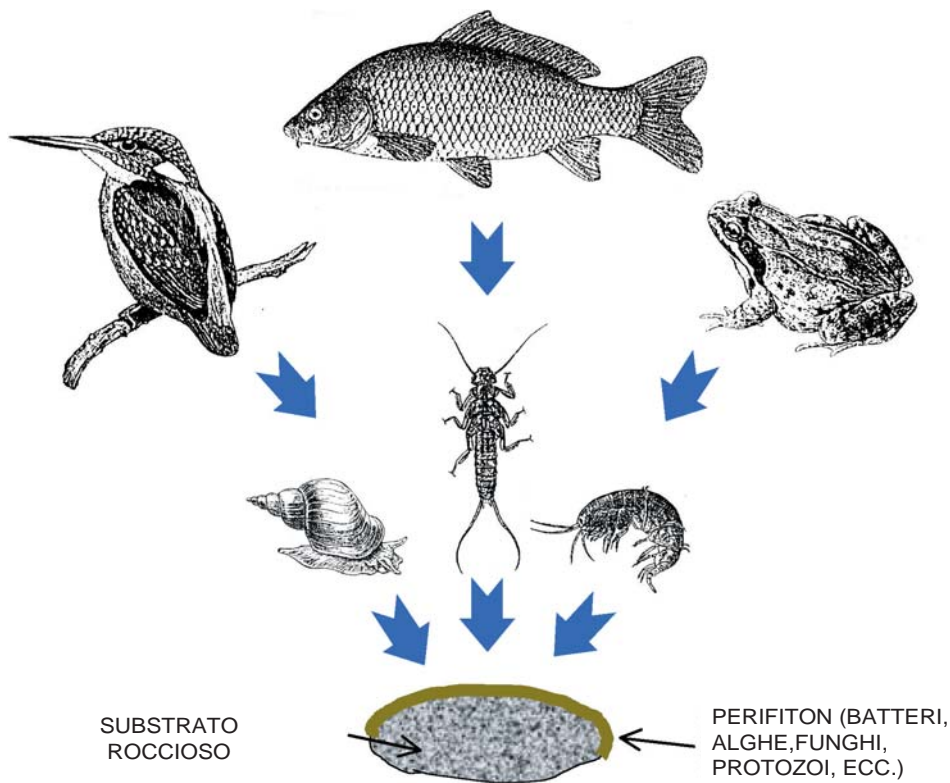


Fig. 66 - Rappresentazione schematica della “catena del detrito”, insieme di organismi che in maniera sequenziale sfruttano la materia organica presente nell’ambiente acquatico

specializzazioni dei macroinvertebrati consente l'utilizzazione di tutte le forme di risorsa alimentare disponibili (scarichi urbani compresi) e rende la comunità in grado di rispondere in maniera flessibile alle variazioni stagionali e/o antropiche del carico organico. Un ulteriore livello in cui si articola questo processo è costituito dai vertebrati, compresi quelli terrestri (pesci, anfibi, rettili, uccelli, mammiferi), che si nutrono dei macroinvertebrati acquatici e che nel loro insieme possono essere considerati il terzo sistema depurante dell'ambiente fluviale.

L'efficienza dei tre sistemi è, a sua volta, condizionata dall'integrità dell'ambiente terrestre circostante, in particolare dalle fasce di vegetazione riparia (le cosiddette "fasce filtro"). Questo quarto sistema, oltre a costituire un habitat molto importante per tutti quegli organismi legati alle "zone umide", svolge una duplice funzione depurante, agendo da filtro meccanico e da filtro biologico. La vegetazione riparia, infatti, intercetta le acque di dilavamento del bacino e ne rallenta la velocità, facilitando la sedimentazione del carico solido e degli inquinanti ad esso legati. A questa azione di chiarificazione delle acque 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 all'apparato radicale). In altre parole, l'efficienza di ciascun sistema depurante viene potenziata dall'efficienza dell'altro e, inversamente, il danneggiamento di un sistema depurante si riper-

cuote negativamente anche sugli altri.

9. Assimilazione vegetale. Fenomeno biologico che sottrae dall'ambiente acquatico i sali minerali (sali di azoto e fosforo) prodotti durante la degradazione della sostanza organica per essere utilizzati nella fabbricazione per fotosintesi della biomassa vegetale. L'effetto depurativo è tuttavia transitorio dovendo essere demolita in un secondo momento la stessa materia vegetale prodotta.

L'insieme di tali fenomeni, le cui relazioni sono assai complesse, porta ad una variazione lungo il corso d'acqua dal punto di immissione dello scarico inquinante verso la foce tipicamente nota con il termine di "curva a sacco". I diversi parametri chimici rispondono in maniera differente a seconda della loro natura, ma l'ossigeno disciolto segue una legge ben rappresentata da una curva che raggiunge un minimo ad una certa distanza dalla zona dello scarico per poi risalire lentamente fino a valori normali man mano che ci si allontana nel senso della corrente. Quest'andamento è così regolare che è stato studiato e caratterizzato da tempo, tanto che dallo studio di casi reali si può risalire con un certo grado di approssimazione al tipo di scarico inquinante in gioco.

I sistemi acquatici possiedono, quindi, delle intrinseche difese nei confronti dell'inquinamento. Tuttavia non occorre dimenticare che le potenzialità autodepurative non sono le stesse nei confronti di tutti i possibili tipi di inquinamento. Quello di tipo industriale o da pesticidi utilizzati in agricoltura, è sicuramente più dannoso che non l'inquinamento di origine civile. Inoltre, nella realtà di un bacino antropizzato oltre all'inquinamento di tipo puntiforme (il punto di

Autodepurazione

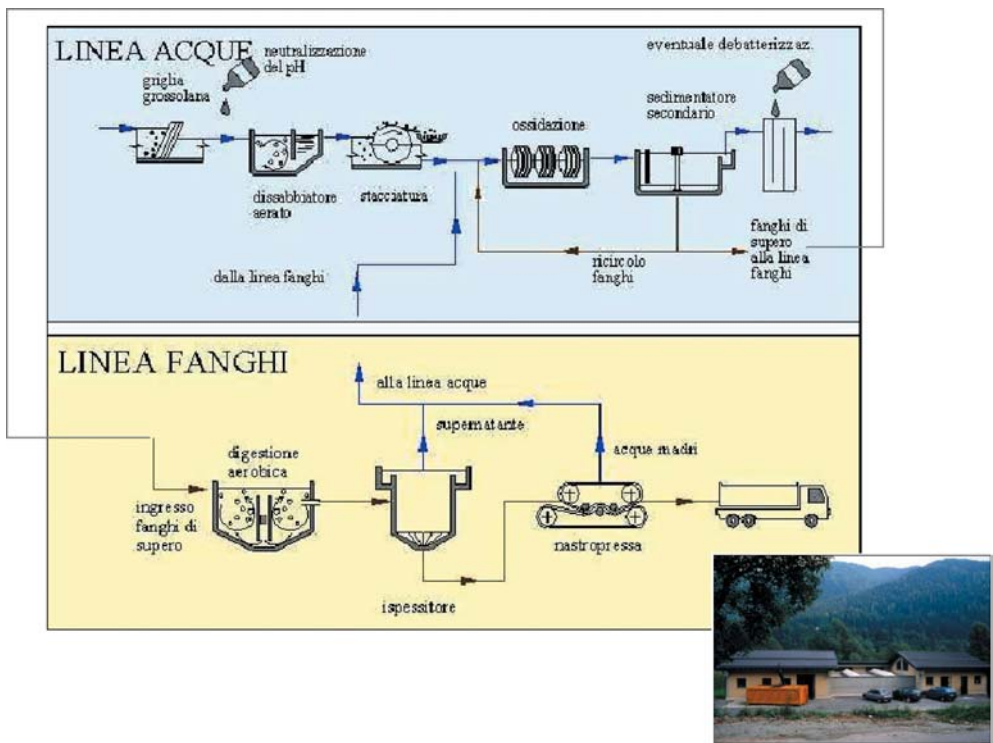


Fig. 67 - Gli impianti di depurazione simulano, in spazi limitati e sotto stretto controllo, ciò che naturalmente avviene in natura: la degradazione della sostanza organica. E' però importante anticipare il processo ed immettere nei corsi d'acqua gli scarichi già in parte o totalmente depurati per non incidere sulla "naturalità" dei nostri fiumi

immissione degli inquinanti è facilmente individuabile) gli ecosistemi acquatici sono esposti anche a forme di inquinamento diffuso, più difficile da localizzare e per questo più difficile da controllare ed eventualmente gestire.

L'inquinamento dei fiumi rappresenta oggi un problema di difficile soluzione. La depurazione preventiva degli scarichi inquinanti è sicuramente utile ma, dato l'impatto diffuso di molte attività umane sui bacini idrografici, non può da sola con-

correre ad abbattere tutte le forme di inquinamento. E' pertanto indispensabile consentire ai fiumi di "difendersi da soli" grazie alla intrinseca capacità autodepurante. Per fare ciò, vale la pena ricordarlo, occorre garantire in un fiume portate adeguate a sostenere i processi autodepurativi e mantenere il più possibile inalterata la fascia di vegetazione riparia che, naturalmente, tende a delimitare e proteggere l'ecosistema acquatico dal territorio circostante e dalle attività che in esso si svolgono (Fig.67).

