

L'EUTROFIZZAZIONE DELLE ACQUE

L'eutrofizzazione è un processo degenerativo dell'ecosistema acquatico dovuto all'eccessivo arricchimento in nutrienti (in questo caso fattori limitanti - sali di fosforo e azoto) dell'ecosistema stesso tale da provocarne un'alterazione dell'equilibrio. Una delle prime definizioni di eutrofizzazione coniate risale agli anni '70 ad opera dell'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico): "l'eutrofizzazione è un arricchimento delle acque dei sali nutritivi che provoca cambiamenti tipici quali l'incremento della produzione di alghe e piante acquatiche, l'impovertimento delle risorse ittiche, la generale degradazione della qualità dell'acqua ed altri effetti che ne riducono e precludono l'uso". Il fenomeno, che negli ultimi decenni ha assunto dimensioni rilevanti anche in Italia, interessa gran parte dei nostri laghi, alcuni corsi d'acqua e le acque marine e costiere. Le fonti di generazione dei nutrienti possono essere suddivise in "diffuse" e in "localizzate":

Fonti di generazione dei nutrienti	
Diffuse	Localizzate
Precipitazioni atmosferiche	Effluenti domestici: deiezioni del metabolismo umano e prodotti usati per lavare
Aree urbane: scarichi degli automezzi, ricadute dei fumi dei camini domestici e industriali, rilasci dei suoli dei parchi, ecc.	Allevamenti animali: deiezioni animali
Suolo	Industria: scarichi ed emissioni industriali

Meccanismo di formazione

L'aumento di sali nutritivi nell'ecosistema acquatico genera un aumento della biomassa algale (consumatori primari) che a sua volta provoca un aumento ai livelli successivi della catena alimentare. Quando la crescita algale non è più controllata dalla riduzione di nutrienti o da altri fattori, si forma una biomassa sempre più consistente destinata al degrado (catena del detrito). Se in acqua è disponibile una quantità sufficiente di ossigeno disciolto (necessario alla respirazione degli organismi operanti in aerobiosi), la catena del detrito è mantenuta attiva da funghi e batteri, procedendo senza problemi alla mineralizzazione della sostanza organica; se la demolizione della biomassa avviene con un consumo eccessivo di ossigeno e con una velocità maggiore di quella di rigenerazione dell'ossigeno stesso, si instaura una condizione anaerobica o anossica che vede subentrare agli organismi aerobi gli organismi degradatori anaerobi, che compiono i processi di demolizione della biomassa liberando composti per lo più tossici (tra i quali l'ammoniaca e l'idrogeno solforato).

Effetti

Gli effetti che si verificano sono:

- peggioramento della qualità delle acque con fenomeni di intorbidimento del fondo, di perdita di trasparenza generale e di colorimento delle acque (dal rosso al verde)
- produzione di cattivi odori
- morie di pesci e della fauna bentonica
- estrema semplificazione delle comunità
- impossibilità di utilizzo dell'acqua per uso potabile
- danni alle attività economiche, soprattutto turistiche (limitazioni alla balneazione)

Politiche e interventi di contenimento

Le strategie di prevenzione e contenimento dell'eutrofizzazione si possono rivolgere in modo specifico alla riduzione dei nutrienti quali la prevenzione della formazione dei carichi (rispettando i limiti imposti per gli scarichi in acque superficiali) e la riduzione dei carichi a valle o si possono limitare ad attenuare i danni causati ai corpi idrici senza operare sui carichi esterni.

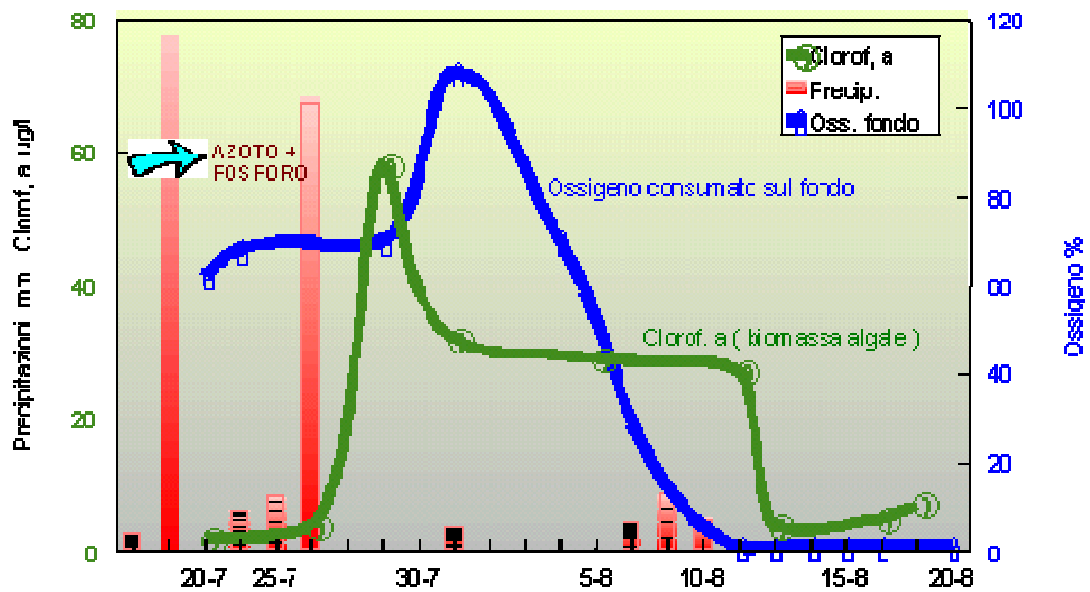
Le misure di prevenzione della formazione dei carichi prevedono interventi che concernono l'adozione di nuove tecnologie alternative nell'industria, la razionalizzazione delle pratiche agricole e della conduzione degli allevamenti, la sostituzione dei tripolifosfati nei detersivi. Le misure di riduzione dei carichi a valle vengono realizzate con interventi di deviazione parziale o totale degli scarichi provenienti dal bacino o con la depurazione delle acque inquinate.

Le misure di attenuazione dei danni causati ai corpi idrici (già eutrofizzati) prevedono l'utilizzo di condotte a mare per il convogliamento al largo delle acque reflue o di navi cisterna per lo scarico in acque aperte di materiali inquinanti, la precipitazione dei nutrienti direttamente nei laghi con l'inattivazione o l'allontanamento dei sedimenti / l'asportazione meccanica o biologica della biomassa vegetale, la limitazione degli effetti nocivi dell'anossia grazie all'aerazione ipolimnica e la destratificazione.

FASI DEL CICLO DI EUTROFIZZAZIONE



Il grafico accanto sintetizza un intero processo trofico mostrando l'andamento su scala temporale di alcuni parametri utili alla definizione del fenomeno: clorofilla "a" che indica la biomassa microalgale, l'ossigeno consumato sul fondo che indica l'entità dei processi di decomposizione e le precipitazioni meteoriche.

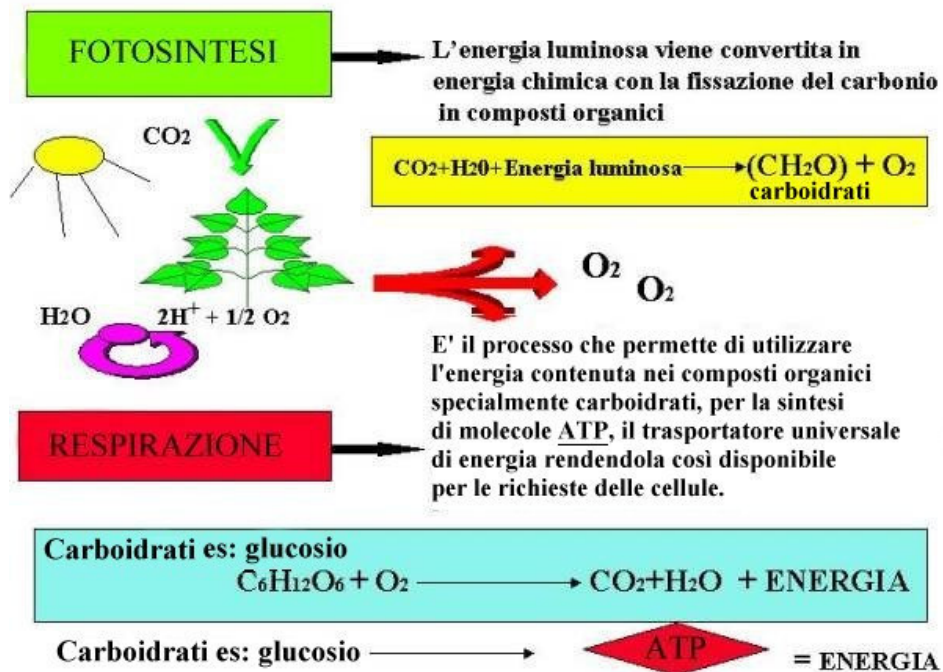


Schema generale di un processo di eutrofizzazione. Scale temporali di sviluppo del fenomeno eutrofico ed effetti ambientali.

Eutrofizzazione

Come avviene nell'ambiente terrestre, anche in acqua la vita si organizza sulla base dei rapporti che si stabiliscono tra alcuni organismi chiamati **produttori primari** e altri (erbivori e carnivori) detti **consumatori**, tra i quali si collocano quelli denominati degradatori o **decompositori**.

Dal punto di vista dell'eutrofizzazione, il massimo interesse rivestono i produttori primari, organismi vegetali che, con il processo della **fotosintesi** possono utilizzare, in presenza di luce, la materia organica (zuccheri o carboidrati). Con elaborazioni successive e l'assunzione di altri composti minerali, i produttori primari possono sintetizzare ulteriori composti organici di grande interesse (grassi, proteine, vitamine, ormoni ecc.) utilizzando, come fonte di energia per queste sintesi, gli zuccheri da essi stessi prodotti.

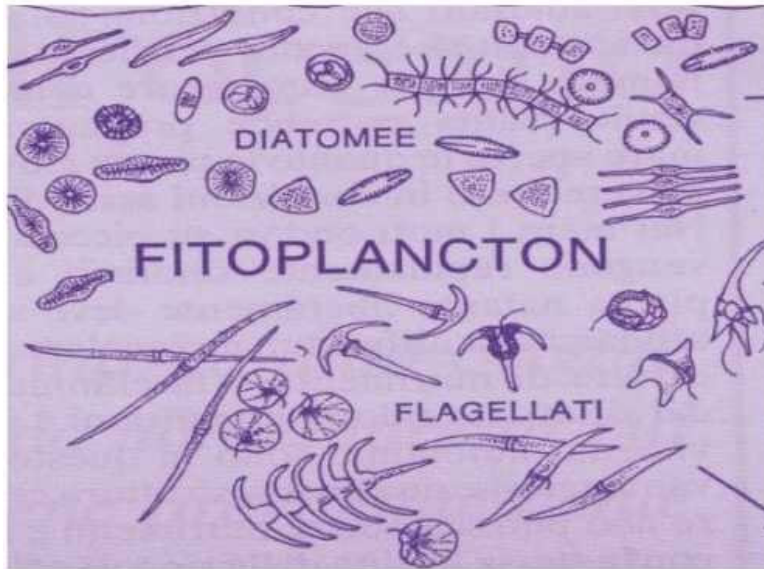


Fotosintesi

Questi produttori primari in ambiente acquatico sono rappresentati da piante o **macrofite sommerse**, da piante emerse con radici acquatiche e da **alghe microscopiche**.

Nelle acque interne non correnti quali sono i **laghi** il gruppo vegetale che svolge il maggiore ruolo ai fini della produzione primaria di sostanza organica vivente o biomassa, è quello delle alghe microscopiche che stanno in sospensione nell'acqua le cui dimensioni sono, di norma dell'ordine del millesimo di millimetro (micron) (Marchetti, 1994).

Alge microscopiche=Fitoplancton



La produzione primaria nelle acque correnti, ha luogo di norma nelle zone collaterali e marginali quali sono le lanche e le anse a scarso ricambio di acqua. Tipica è quella costituita dalle alghe verdi filamentose la cui presenza dà ai fondi dei fiumi la colorazione verdastra.

Fiume in pianura



Letto verde



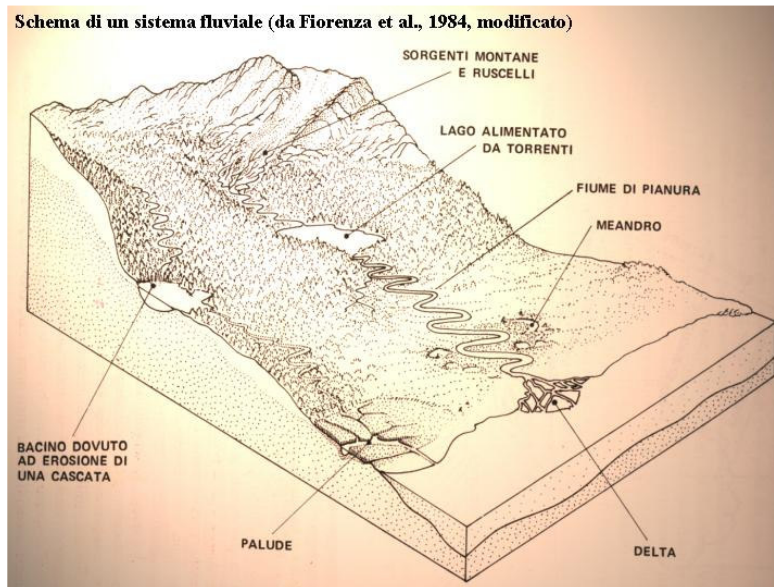
Il meccanismo iniziale di mantenimento della vita in acqua è quello della trasformazione fotosintetica della sostanza minerale in sostanza organica (produzione primaria) e che la sostanza organica così prodotta costituisce un serbatoio di energia chimica derivata dalla luce solare, che i vari organismi si trasferiscono in successione (catena alimentare o trofica) via via esaurendolo per le varie esigenze vitali (riproduzione, crescita, mantenimento, movimento).

Cinque sono i fattori dai quali dipende la variazione della massa degli organismi vegetali nel tempo:

1. la velocità iniziale con cui la biomassa iniziale si riproduce;
2. la quantità di alghe neoformate che viene esportata dall'ambiente;
3. l'entità della biomassa alloctona (prodotta altrove) che affluisce a quell'ambiente;
4. la rapidità con cui la biomassa algale presente viene utilizzata dai consumatori primari e questi vengono predati dai livelli successivi;
5. la velocità con cui la biomassa muore e hanno luogo i processi di decomposizione della sostanza organica morta.

Benché tutti i cinque fattori elencati concorrano a determinare la dimensione della biomassa, il ruolo prioritario che ciascuno di essi assume, dipende dalle caratteristiche fisiografiche dell'ambiente in esame, quali la profondità, la velocità con cui si ricambiano le acque, il volume ecc(Marchetti, 1994).

E' intuitivo, per esempio, che negli ambienti **lotici (fiumi)** propriamente detti, l'importazione e l'esportazione di biomassa generalmente prevarranno sulla produzione locale **autoctona** a differenza di quanto avviene per gli ambienti **lentic (laghi)** a basso ricambio.



Negli ambienti lentic, se esistono condizioni di scarso ricambio, la produzione di biomassa algale dipenderà soprattutto dall'attività autoctona che aumenta o diminuisce principalmente in funzione della disponibilità di composti minerali (carbonio, azoto, fosforo), che le alghe assimilano e trasformano in sostanze organiche. Per questo motivo i composti minerali citati vengono denominati sali nutritivi o nutrienti o, più in generale, fattori trofici.

Quando questi sali sono in difetto la produzione di nuova biomassa rallenta fino a cessare mentre, nel caso opposto, se la disponibilità di sali aumenta, anche la biomassa che si forma è maggiore. In questo caso la crescita algale può assumere un andamento esplosivo e dare luogo alla formazione di masse enormi di materiale vivente la cui presenza (e soprattutto la sua successiva decomposizione) innesca tutta una serie di fenomeni degenerativi. Si parla in questo caso di "blooms" algali cioè "**fioriture algali**".

Appare dunque evidente che, a parità di altre condizioni, il fattore più importante risulta la concentrazione dei sali nutritivi presenti in acqua di cui la biomassa iniziale può disporre. Se l'ambiente è povero di questi sali viene detto oligotrofo o oligotrofico; se ne dispone in rilevante quantità è definito eutrofo o eutrofico. Vi è inoltre una condizione intermedia detta mesotrofica e due condizioni estreme di ultra-oligotrofia e di iper-eutrofia o ipertrofia.

L'eutrofizzazione è un fenomeno del quale si sta prendendo coscienza in maniera crescente negli ultimi venti anni in coincidenza di una reimmissione in ecosfera di grossi quantitativi di azoto e fosforo estratti dalle loro riserve geologiche per uso agricolo (fertilizzanti) ed industriale.

Sul fenomeno "eutrofizzazione" sta crescendo la consapevolezza che esso è causa di una serie di effetti diretti ed indiretti sulle comunità biologiche, in funzione delle caratteristiche morfologiche ed idrodinamiche dell'ecosistema acquatico.

Diverse sono le definizioni di eutrofizzazione tra le prime coniate è stata quella dell'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) negli anni '70 :

“l'eutrofizzazione è un arricchimento delle acque di sali nutritivi che provoca cambiamenti tipici quali l'incremento della produzione di alghe e piante acquatiche, l'impoverimento delle risorse ittiche, la generale degradazione della qualità dell'acqua ed altri effetti che ne riducono e precludono l'uso”.

Attualmente nuove definizioni sono:

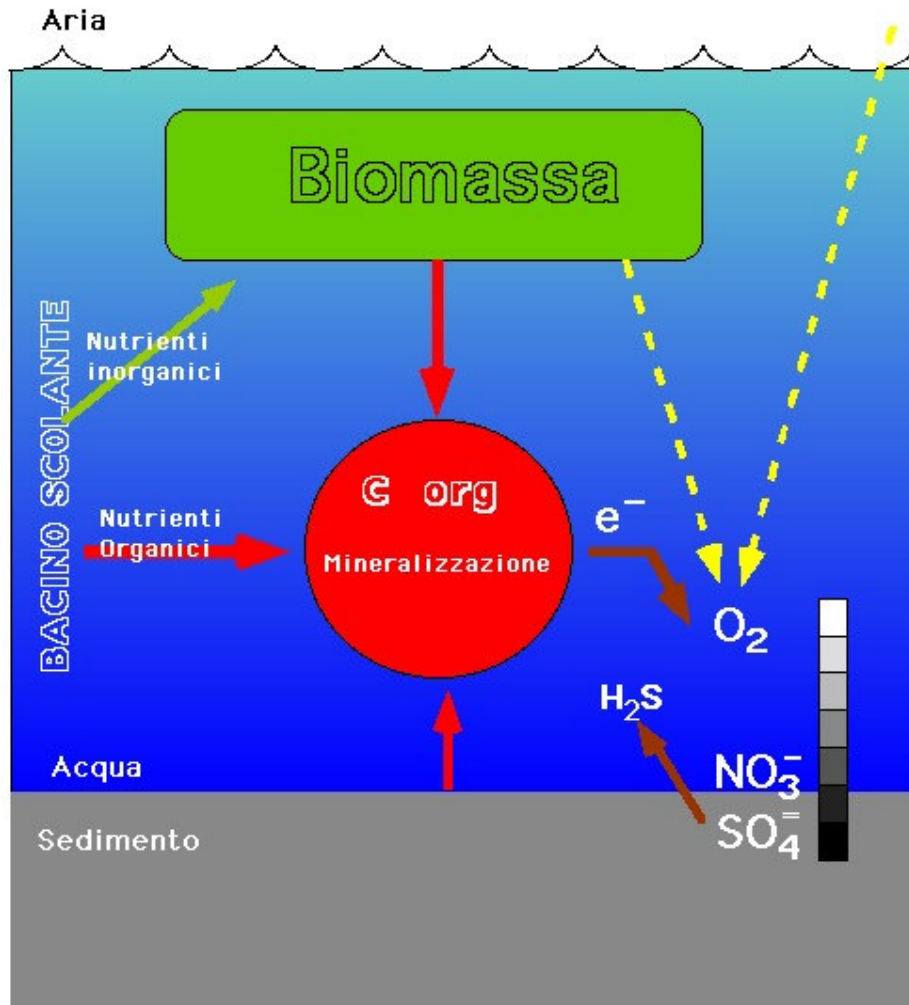
“un aumento del tasso di fornitura di sostanza organica ad un ecosistema Scott W. Nixon, (1995);

“un fenomeno di instabilità ecologica causata da un eccesso nel tasso di fornitura di sostanza organica ad un ecosistema Izzo et al., (1998).

L'aumento di sali nutritivi, generalmente sali di fosforo e azoto (principali fattori limitanti), all'interno di un qualsiasi ecosistema acquatico comporta un aumento della biomassa algale (consumatori primari); ciò, a sua volta, provoca un proporzionale aumento ai livelli successivi della catena alimentare e un incremento della produttività peschiera. Quando la crescita algale non è più controllata dalla riduzione dei nutrienti o da altri fattori, si forma una biomassa sempre più consistente il cui destino è quello di prendere la via della degradazione. Questa via viene denominata catena del detrito in contrapposizione alla catena del pascolo (Marchetti, 1994).

Se in acqua è disponibile una quantità sufficiente di ossigeno disciolto, necessario alla respirazione degli organismi operanti in aerobiosi, la catena del detrito è mantenuta attiva da funghi e batteri e può procedere alla mineralizzazione della sostanza organica senza particolari problemi, possono però instaurarsi processi di demolizione della biomassa che si realizzano con un consumo eccessivo di ossigeno. Tale consumo ha luogo con velocità diverse secondo vari fattori, tra i quali la quantità di biomassa presente e la temperatura dell'ambiente. Se la velocità di consumo è maggiore di quella di rigenerazione dell'ossigeno tramite fotosintesi e diffusione, il deficit si accumula e, alla scomparsa dell'ossigeno nelle acque, si instaura una condizione anaerobica o anossica. Quando si raggiunge la condizione di anossia, agli organismi aerobi subentrano gli organismi degradatori anaerobi che compiono i processi di demolizione della biomassa liberando composti che, nella maggior parte dei casi, sono tossici, quali ad esempio l'ammoniaca e l'idrogeno solforato.

EUTROFIZZAZIONE



Quindi da una condizione ipertrofica, riscontrabile con un maggior tasso di crescita e di produzione di micro- e macroalghe, di macrofite, di alghe galleggianti, radicate o sommerse, accompagnate da agglomerazioni batteriche o fungine, si passa ad una condizione di distrofia. Le acque si intorbidiscono e sul fondo, a causa dell'instaurarsi dei processi anaerobici, si ha produzione di cattivi odori, nonché morie dei pesci e della **fauna bentonica** .



Morie dei pesci
(Fonte: ENEA-CASACCIA di Roma)

Condizioni anossiche, precedute da periodi più o meno lunghi di ipossia (bassa concentrazione di ossigeno), sono tipici delle acque profonde di laghi eutrofici, ma si possono instaurare condizioni analoghe in ambienti lotici, marini e lagunari (Albertozza, 1980; Sfriso *et al.*, 1987; Damiani, 1990; Marchetti, 1994; Izzo, 1991).

Questa premessa introduce all'importanza dei sedimenti; essi infatti conservano memoria dei principali fenomeni occorsi nel bacino ed inoltre rappresentano una sede di accumulo di energia chimica che influisce stagionalmente sulla stabilità dell'ecosistema.

Per effetto degli intensi flussi di sedimentazione organica, i sedimenti contengono spesso riserve molto abbondanti di carbonio, azoto, e fosforo, che possono essere ceduti alle acque secondo modalità e flussi non sempre prevedibili. I nutrienti contenuti nei sedimenti sono trattenuti o rilasciati a seconda delle condizioni chimico-fisiche e delle attività batteriche ad esse associate.

Il problema nelle acque correnti

In base agli elementi esposti appare chiaro che la serie delle conseguenze negative dell'eutrofizzazione potrà essere risentita a livelli diversi nei vari ambienti. Per le acque correnti è piuttosto improbabile che l'aumento dei sali nutritivi, che può dare luogo a un rilevante sviluppo di macrofite, possa tradursi anche in un aumento della componente vegetale planctonica vera e, cioè, delle alghe microscopiche viventi sospese in acqua in grado di compiere l'intero ciclo vitale in condizioni di turbolenza. Questo anche per una questione di velocità della corrente e quindi di tempi, in quanto la biomassa che potrebbe prodursi nel sistema viene esportata a una velocità che è spesso superiore a quella con cui si moltiplica ed accresce. Ciò non esclude però che le acque correnti possano convogliare quantità notevoli di materiale vegetale fino a perdere di trasparenza e assumere colorazione verdastra. Si tratterebbe in questi casi di un effetto negativo secondario dell'eutrofizzazione che può avere interessato i laghi tributari del corso d'acqua emissario o zone collaterali del corso d'acqua stesso. Poco probabile, per le già citate ragioni di turbolenza, è anche la possibilità che in acque correnti s'instaurino situazioni anossiche e, di conseguenza, si producano composti della degradazione anaerobica, determinati da un fatto eutrofico. Questa precisazione è opportuna esistendo non pochi casi di corsi d'acqua in condizioni ipossiche e talora persino atossiche, da attribuire però agli effetti diretti di apporti inquinanti diversi dai sali nutritivi quali possono essere acque

cloacali putrescibili o altro materiale ossidabile. Casi di acque correnti prive di ossigeno per tratti di varia estensione a causa di inquinamenti industriali o per l'apporto di scarichi urbani in quantità nettamente superiori alle capacità autodepuranti del recettore (Marchetti 1994).

Il problema nei laghi

A differenza delle acque correnti, le conseguenze dannose dell'eutrofizzazione sono massime negli ambienti in cui il mescolamento verticale, che favorisce la riossigenazione degli strati profondi e il ricambio d'acqua, è limitato, come avviene nei laghi. In questi ambienti la produzione di macrofite litorali può assumere aspetti invasivi e in cui le alghe planctoniche possono svilupparsi a formare dense biomasse che, nei casi estremi, ricoprono come una coltre la superficie dell'acqua. Questa coltre può diminuire la trasparenza fino a pochi decimetri impedendo così la penetrazione della luce solare e la produzione fotosintetica di ossigeno.



Lago Eutrofo

Logica conseguenza di questi processi è l'instaurarsi di condizioni anaerobiche con gli effetti negativi già descritti. Sui meccanismi che regolano l'eutrofizzazione, la stratificazione non è una condizione stabile nel tempo ma dipende dalle variazioni termiche e da altre caratteristiche del clima locale quale è il regime dei venti. In periodi caldi le acque si riscaldano e l'ambiente si stratifica in una lamina superficiale, detta **epilimnio**, che si sovrappone alla massa d'acqua fredda sottostante **ipolimnio**. Tra le due si inserisce una zona intermedia detta **metalimnio**, caratterizzata da un rapido salto di temperatura o termoclino. Nei periodi invernali o autunnali il mescolamento delle acque diventa possibile e quindi lo scambio di gas con l'atmosfera sono massime, mentre in estate la stratificazione preclude l'ossigenazione delle acque più profonde.

Un corpo idrico ad elevato volume d'acqua come i grandi laghi potrà rispondere meglio all'apporto di sali nutritivi che non un corpo di modesto volume, essendo da un lato maggiore la capacità diluente e, dall'altro, più elevata la riserva di ossigeno. Più fragile potrà considerarsi un lago di bassa profondità nei confronti di uno profondo, essendo nel primo caso facilitati i processi di riciclo dei nutrienti e minore la riserva di ossigeno.