

# LA DEPURAZIONE BIOLOGICA IN ACQUARIO

**MAURIZIO MANERA**

*Medico Veterinario - Dottore di Ricerca in Discipline Anatomicoistopatologiche Veterinarie - Ricercatore  
Dipartimento di Strutture, Funzioni, Patologie Animali e Biotecnologie - Università degli Studi di Teramo*

**CARLA BORRECA**

*Medico Veterinario Libero Professionista - Roseto degli Abruzzi (TE)*

## Riassunto

L'acquario è fondamentalmente un sistema a ricircolo nel quale l'acqua, per rallentarne l'inevitabile degrado, deve subire una serie di processi fra i quali spicca la filtrazione o depurazione biologica. In un'ottica di sistema è importante che il medico veterinario "acquarista" acquisisca le conoscenze di base utili alla comprensione dei fenomeni biochimici batterici e sinecologici connessi con i processi di degradazione della sostanza organica, di nitrificazione e denitrificazione disassimilativa, conoscenze necessarie per una corretta gestione globale del sistema acquario.

## Summary

*Aquaria are recycling systems in which the water needs to be treated to contain its pollution. Biological filtration represents the most important aquarium water treatment. The veterinarian skilled in aquaristic should acquire the necessary knowledge to understand the bacterial biochemical pathways and synecological principles connected with the degradation of the organic matter, the nitrification and the disassimilative denitrification. Such knowledge is essential to manage the aquarium system from an integrated viewpoint.*

## NOTE INTRODUTTIVE

Sicuramente ognuno di noi ha una propria idea di cosa sia un acquario, tuttavia non è detto che questa idea corrisponda ai fatti. In termini strettamente scientifici un acquario è assimilabile ad un sistema fisico "aperto" poiché scambia energia e materia con l'ambiente circostante. Purtroppo l'entità di questi scambi è limitata nello spazio (entità degli scambi) e nel tempo (durata, continuità degli scambi) a discapito dell'auto-sostenibilità di questo particolare sistema tecnologico. L'acquariofilo, nell'impossibilità di ricreare una produzione primaria adeguata, le complesse reti trofiche naturali e le capacità autodepurative dei corpi d'acqua naturali, è costretto ad introdurre energia e materia dall'esterno sotto forma di mangimi e fertilizzanti (ma anche luce artificiale, aerazione e movimentazione dell'acqua) per sostenere biomasse o meglio densità di organismi sproporzionate rispetto ai biotopi originari. Ov-

viamente ne esitano proporzionalmente grandi quantità di sostanza organica (feci, organismi animali e vegetali morti, prodotti del metabolismo batterico, alghe, vegetale ed animale) che deve essere processata pena l'evoluzione del sistema tecnologico in un sistema polisaprobico, in parole povere una cloaca, sicuramente efficiente da un punto di vista ecologico ma poco attraente da un punto di vista estetico, scenografico.

Tralasciando le peraltro interessanti implicazioni impiantistiche, tratteremo di seguito gli aspetti tecnico-scientifici che stanno alla base del processo di depurazione o filtrazione biologica in acquario, sottolineandone le peculiarità che il veterinario interessato al settore deve necessariamente conoscere, pena il fallimento completo di qualsiasi atto profilattico o terapeutico. Infatti e contrariamente a quanto di norma avviene nella medicina degli animali da compagnia, l'oggetto delle attenzioni sanitarie non può essere il singolo animale, bensì l'ambiente, il sistema in cui l'animale vive, nella fattispecie l'acquario considerato nella sua interezza, sia nelle componenti inanimate (vasca, accessori, materiale di fondo e di arredo) che animate (batteri, alghe, piante superiori, animali).

"Articolo ricevuto dal Comitato di Redazione il 27/9/2001 ed accettato per pubblicazione dopo revisione il 6/10/2001".

## LA STAZIONE DI FILTRAZIONE

In assenza di un ricambio continuo, peraltro attuabile avendone le possibilità, l'acqua di acquario è naturalmente soggetta ad un degrado, inteso come un allontanamento progressivo dalle caratteristiche ideali per il sostentamento della popolazione ittica ospitata. Non è detto che le mutate condizioni non siano ideali per le altre componenti animate dell'acquario, nella fattispecie per le piante, i batteri e le alghe, ma è un dato di fatto che l'attrazione principale dell'acquario di comunità sia rappresentata principalmente dai pesci e che l'acquario debba essere allestito pensando alle esigenze fisiologiche ed etologiche di quest'ultimi.

L'inevitabile degrado dell'acqua deve essere contenuto attraverso regolari cambi (meglio frequenti e di ridotta entità per non stressare gli organismi ospitati) e sottoponendo l'acqua di acquario ad una serie di processi noti nel settore col generico termine "filtrazione". Tale termine deve essere considerato, soprattutto in riferimento alla così detta filtrazione biologica e chimica, come sinonimo di depurazione.

Ogni acquario che si rispetti possiede al suo interno od all'esterno una stazione di filtrazione a più stadi<sup>1</sup>. Di norma il primo stadio è rappresentato da un "filtro meccanico", ovvero un filtro propriamente detto poiché la sua funzione è quella di eliminare dall'acqua il materiale grossolano (solidi sospesi) con un diametro superiore ai 100 µm. È solitamente realizzato in lana o in spugna sintetiche e necessita di frequenti ispezioni, lavaggi o cambi per evitare che si intasi vanificando la sua funzione e quella degli stadi successivi. Segue uno stadio biologico, anche detto "filtro biologico", della funzione del quale ci occuperemo in dettaglio, costituito da materiale di varia natura (si va dalla spugna sintetica al materiale ceramico, vetroso o plastico) il cui scopo è quello di permettere l'insediamento di una adeguata biocenosi, dominata dalla componente batterica, utile ai fini della mineralizzazione del materiale organico in esubero e della eliminazione dall'acqua dei nutrienti in eccesso. Può seguire, ma non sempre è presente, uno stadio "chimico" di filtrazione, costituito da carbone attivo, zeoliti ed altre resine a scambio ionico.

Il principio su cui si basano fondamentalmente le stazioni di filtrazione è il seguente: per rimuovere dall'acqua ogni elemento estraneo per qualità (non dovrebbe esserci) e quantità (dovrebbe essercene di meno) è necessario operare una serie di processi. Ciò che è in sospensione può essere filtrato o sedimentato in ragione delle dimensioni e del peso specifico (rispettivamente  $> 100 \mu\text{m}$  e  $100 \mu\text{m} > > 10 \mu\text{m}$ ); ben più complicato è rimuovere ciò che si trova allo stato colloidale ( $10 \mu\text{m} > > 10^{-3} \mu\text{m}$ ) od è disciolto in acqua ( $< 10^{-3} \mu\text{m}$ )<sup>2</sup>. A questo pensano i batteri in grado di drenare grandi quantità di nutrienti e convertirli in biomassa batterica flocculabile e quindi sedimentabile o filtrabile ed in prodotti terminali del proprio catabolismo, spesso in grado di uscire dal sistema in forma gassosa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ )<sup>2</sup>. Attraverso la "filtrazione chimica" possono essere eliminate dall'acqua sostanze complesse, responsabili del colore e dell'odore dell'acqua "matura", fra le quali si trovano acidi umici e fulvici, clorofille e prodotti di degradazione delle clorofille. Purtroppo, anche se esistono carboni attivi a porosità calibrata e resine sintetiche a scambio ionico programmato<sup>3</sup>, non è ancora possi-

bile evitare del tutto che operando questo tipo di filtrazione si eliminino dall'acqua anche sostanze utili, tipo oligoelementi, fitormoni, feromoni. Inoltre, trattandosi di meccanismi di filtrazione reversibili, vi è il costante rischio che mutando le condizioni fisico-chimiche che hanno portato al legame di una determinata sostanza all'interno del filtro chimico, questa venga liberata in acquario repentinamente ed in massa dando origine a morie improvvise<sup>1</sup>. Di conseguenza è meglio utilizzare questo genere di filtrazione estemporaneamente, eliminandola il prima possibile dalla stazione di filtrazione.

## LA DEPURAZIONE O FILTRAZIONE BIOLOGICA

Vediamo ora nei dettagli i meccanismi biologici su cui si basa la filtrazione o depurazione biologica in acquario, ricordando che nulla di diverso accade negli impianti di depurazione biologica dei reflui civili e zootecnici, entità del carico trofico a parte.

Notoriamente i batteri non sono in grado di ingerire ciò di cui si nutrono, pertanto i nutrienti devono essere introdotti o perché assunti tal quali allo stato di soluti dall'ambiente circostante o previa digestione extracellulare con emissione di specifici enzimi in grado di scindere la materia organica in nutrienti assimilabili. La presenza in acquario e nel filtro di una meiofauna saprofitica contribuisce, sinergicamente e propedeuticamente ai batteri, alla mineralizzazione della sostanza organica in acquario<sup>4</sup>. Lo studio di questa particolare biocenosi e della successione ecologica nel filtro d'acquario è molto utile, in associazione al periodico monitoraggio dei valori fisico-chimici dell'acqua, al fine di valutare lo stadio di maturazione ed efficienza, rispetto al carico trofico, del comparto biologico della stazione di filtrazione<sup>4</sup>.

Se i batteri si limitassero a mineralizzare la sostanza organica, prevalesse cioè il metabolismo eterotrofo, l'acquario tenderebbe verso la distrofia (e spesso questo accade ai neofiti), cioè verso l'eccesso di nutrienti (azoto ammoniacale, fosforo inorganico, ed altri nutrienti). Fortunatamente in natura ed in acquario sono presenti specie batteriche aerobiche in grado di trasformare l'azoto ammoniacale, in azoto nitroso (*Nitrosomonas* spp.) e, quindi, in azoto nitrico (*Nitrobacter* spp.), utilizzabile dalle piante acquatiche a fini biosintetici. Ovviamente in assenza di piante l'utilità di questa biotrasformazione che prende il nome di nitrificazione (più precisamente nitrosazione la reazione  $55 \text{NH}_4^+ + 76 \text{O}_2 + 109 \text{HCO}_3^- = \text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} + 54 \text{NO}_2^- + 57 \text{H}_2\text{O} + 104 \text{H}_2\text{CO}_3$  e nitrificazione propriamente detta la reazione  $\text{NH}_4^+ + 400 \text{NO}_2^- + 4 \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^- + 195 \text{O}_2 = \text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} + 400 \text{NO}_3^- + 3 \text{H}_2\text{O}$ , riassumibile nella reazione globale  $\text{NH}_4^+ + 1.83 \text{O}_2 + 1.98 \text{HCO}_3^- = 0.021 \text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} + 0.98 \text{NO}_3^- + 1.88 \text{H}_2\text{CO}_3 + 1.041 \text{H}_2\text{O}$ ) ed è un esempio di autotrofia (i batteri utilizzano fonti inorganiche di carbonio ai fini biosintetici a differenza dei batteri organotrofi od eterotrofi che utilizzano fonti organiche) chemiosintetica (i batteri ricavano l'energia necessaria all'organizzazione grazie a reazioni di ossido-riduzione, a differenza dai batteri fotosintetici in grado di utilizzare la luce solare a tale fine)<sup>2</sup> vede ridotta la sua utilità globale nel senso di diminuire la quantità di nutrienti attraverso biosintesi ma contribuisce pur sempre a diminuire la tossicità dell'azoto ammoniacale.

È noto che l'ammoniaca in soluzione acquosa si idrata a dare idrossido di ammonio. Si instaura un equilibrio tra la forma ammoniacale (liposolubile ed altamente tossica) e lo ione ammonio (idrosolubile, meno tossico) in ragione del pH, e della temperatura<sup>5,6</sup> (Tab. 1). Sono da ritenersi a rischio gli acquari marini, o quelli di acqua dolce caratterizzati da acque dure ed alcaline.

Attraverso i processi di bioflocculazione (o bioadsorbimento) e di biosintesi batteriche è possibile ottenere, in condizioni impiantistiche ben lontane da quelle mediamente presenti in acquario, rimozioni dell'azoto totale in ragione del 10-40%<sup>2</sup>. Fra le biotrasformazioni operate dai batteri ben più interessante risulta il processo di denitrificazione disassimilativa. Tale processo metabolico batterico, accoppiato ai predetti fenomeni è in grado di aumentare l'efficienza di rimozione dell'azoto totale fino al 90% ed oltre<sup>2</sup>. Alcuni batteri (*Pseudomonas* spp., *Achromobacter* spp., ecc.) in condizioni di anossia operano una respirazione anaerobia che vede coinvolto in veste di accettore finale degli idrogenioni nella catena respiratoria l'ossigeno contenuto nella molecola dello ione nitrato, al posto dell'ossigeno molecolare, secondo la seguente generica reazione, qui non bilanciata,  $\text{NO}_3^- + \text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z = \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^-$ . L'azoto si riduce e, in condizioni ideali, abbandona l'acquario sotto forma di azoto molecolare gassoso, mentre si ossida il carbonio da fonti organiche<sup>2</sup>. Il problema è che in acquario raramente occorrono le condizioni ideali per operare questo genere di proficua depurazione biologica (la nitrificazione ed i pesci stessi necessitano di condizioni aerobiche) ed è quindi necessario aggiungere alcuni moduli alla stazione di filtrazione. Al loro interno si creano le giuste condizioni di anossia, di pH e trofiche per operare la denitrificazione. In assenza di condizioni ottimali la denitrificazione non porta alla liberazione di azoto molecolare, bensì di azoto nitroso, vanificando di fatto la precedente nitrificazione. Inoltre condizioni di anossia possono favorire l'azione di batteri solforiduttori chemolitotrofici, con la trasformazione dei solfati in acido solfidrico, molto tossico per i pesci ed i batteri nitrificatori stessi, ma anche dei metanobatteri con la liberazione di metano<sup>2</sup>. Per quanto riguarda il fosforo a motivo del particolare ciclo biogeochimico può essere drenato dal sistema quasi esclusivamente per il tramite delle biosintesi batteriche, algali e vegetali. In effetti i fenomeni delle fioriture algali nei corpi d'acqua naturali ma anche in acquario non rappresentano nient'altro che una reazione adattativa da parte del sistema in risposta all'esubero del nutriente. In nostre inedite esperienze condotte in acquario ed utilizzando idonei modelli matematici abbiamo notato come la concentrazione del fosforo in acquario sia meglio correlabile, rispetto a quella dell'altro nutriente per eccellenza, l'azoto, alla somministrazione di cibo, rendendo meglio conto del progressivo degrado e della necessità di cambio dell'acqua di acquario (Fig. 1).

In condizioni particolari (alternarsi di condizioni anaerobiche ed aerobiche) alcuni batteri (ad esempio *Acinetobacter calcoaceticus*) sono in grado di "sequestrare" all'interno del proprio citoplasma grandi quantità di fosforo sotto forma di polifosfati insolubili a concentrazioni notevolmente superiori ai rapporti stechiometrici propri del protoplasma batterico<sup>7</sup>. Purtroppo tale fenomeno è attualmente poco sfruttabile, modulabile in acquario. Eccessi di

fosforo possono altresì essere rimossi dall'acquario utilizzando apposite resine a scambio ionico (anioniche) od utilizzando appositi prodotti ad azione flocculante (coagulazione di colloidali) e precipitante (superamento soglia di solubilizzazione), perlopiù a base di  $\text{FeCl}_3$ <sup>3</sup>.

## LA "SINDROME DELLA VASCA NUOVA" E LO "STRESS DEL FILTRO"

In acquariofilia è noto il fenomeno della così detta "sindrome della vasca nuova" (*new tank syndrome*), caratterizzata dalla comparsa in successione di tre picchi, in ordine di azoto ammoniacale, quindi nitroso ed infine nitrico, accompagnata spesso da imponenti morie, dovuta alla scarsa presenza di specie batteriche nitrificanti che necessitano di un certo tempo di latenza per replicare ed attivarsi in senso nitrificante, ma anche a causa di fenomeni di inibizione della nitrificazione causati da livelli abnormemente alti di azoto ammoniacale od altre sostanze inibenti<sup>5</sup>. Per prevenire tale evenienza si era soliti, in passato, attivare il materiale filtrante di un nuovo filtro con l'acqua ed il sedimento (biomassa batterica) ottenuto da un delicato risciacquo di un filtro avviato. Attualmente sono disponibili in commercio numerosi starter microbici in forma liquida ma anche liofilizzata. A tal proposito sarebbero da preferire quelli in forma liquida, poiché i batteri nitrificatori non supererebbero indenni il processo di liofilizzazione<sup>8</sup>, e contenenti più specie batteriche anche eterotrofe. È importante ragionare infatti in un'ottica di sistema e capire

Tabella 1  
Percentuale di ammoniaca non ionizzata sull'azoto ammoniacale totale in funzione della temperatura e del pH

°C	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
14	0.082	0.253	0.796	2.48	7.43
18	0.108	0.342	1.07	3.31	9.78
22	0.145	0.457	1.43	4.39	12.7
26	0.193	0.607	1.89	5.75	16.2
30	0.254	0.799	2.48	7.46	20.3

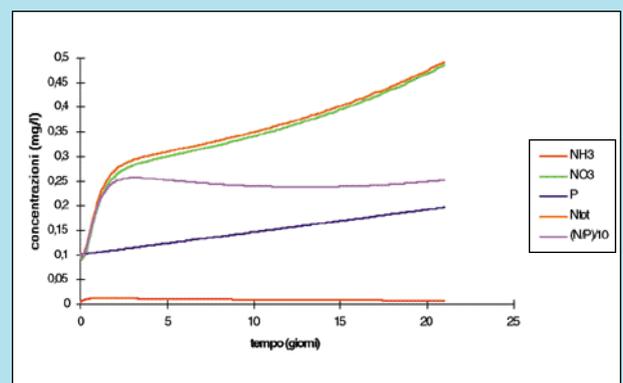


FIGURA 1 - Dinamica dei principali nutrienti in acquario e rapporto N/P (per valutare l'azoto o fosforo limitazione nella crescita algale) nel corso di 21 giorni. Simulazione "what - if" su modello matematico.

come l'azione depuratrice globale non sia data dalla somma di singole azioni depuratrici bensì dal complesso di relazioni trofico-funzionali intercorrenti tra organismi molto diversi tra loro<sup>4</sup>. Si sente spesso parlare nel settore di una presunta azione inibitrice esercitata dai batteri eterotrofi, e dalle condizioni ad essi favorevoli, su quelli autotrofi nitrificanti. In un comparto biologico ben avviato e ben condotto, non solo non si assiste ad alcun fenomeno di inibizione tra queste diverse categorie batteriche, ma, anzi, ad un fenomeno di sinergismo. Addirittura alcune specie nitrificanti manifestano un metabolismo di tipo mixotrofico (anche eterotrofico), necessitano cioè di fonti organiche di carbonio per ottimizzare la loro funzionalità nitrificante<sup>9</sup>. Personalmente abbiamo verificato e documentato questa stretta relazione trofica tra batteri eterotrofi ed autotrofi osservando un fenomeno da noi denominato "stress del filtro" in occasione della pulizia del comparto meccanico di un filtro di acquario<sup>10</sup>. A seguito di tale manualità abbiamo assistito all'innalzarsi del livello dell'ammoniaca e dei nitriti, con una inaspettata (l'ossidazione da nitriti a nitrati è molto più rapida rispetto a quella da ammoniaca a nitriti) e maggiore persistenza nel tempo di quest'ultimi, a testimonianza di un maggior risentimento della componente batterica tipo *Nitrobacter*. Nella fattispecie a motivo dei documentati rapporti trofici esistenti tra i batteri del genere *Nitrobacter* e batteri eterotrofi<sup>9</sup> è probabile che la pulizia del filtro meccanico in spugna azzurra, ricco di una componente batterica degradatrice di tipo organotrofo abbia negativamente influito, per via di questi non meglio chiariti rapporti trofici, con la componente autotrofa del comparto biologico, in canalicchi ceramici ad alta porosità, della stazione di filtrazione<sup>10</sup>.

## ANTIBIOTICI, CHEMIOTERAPICI E NITRIFICAZIONE

Il fatto che antibiotici o chemioterapici possano deprimere l'attività depuratrice batterica non desta certo stupore per il medico veterinario avvezzo a lavorare con sostanze antibiotiche ed a prevenirne o mitigarne gli effetti negativi sulla microflora dell'apparato gastroenterico animale. Il problema è che non tutti i prodotti svolgono la medesima depressione e particolare attenzione deve essere posta alle associazioni di medicamenti. Ci è infatti capitato di osservare una grave inibizione della nitrificazione con comparsa di "sindrome della vasca nuova" utilizzando una associazione di ossitetraclina e furazolidone, singolarmente non riportate come pericolose per la componente batterica del filtro biologico<sup>11</sup>. Fra le sostanze ai primi posti per quanto attiene l'inibizione della nitrificazione risulta il blu di metilene<sup>12</sup>, principio attivo dei più comuni prodotti, fra l'altro di libera vendita, utilizzati per la cura delle ectoparassitosi dei pesci ornamentali. Dal momento che non sempre è possibile ricorrere ai così detti "acquari infermeria", ove stabulare e trattare occasionalmente o fino a guarigione i pesci che necessitano di specifiche terapie è consigliabile operare razionalmente e cautamente nell'uso di qualsiasi sostanza in acquario, monitorando quotidianamente i parametri più critici quali il pH, N-NH<sub>3</sub>/N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (azoto ammoniacale), N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (azoto nitroso), N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (azoto nitrico) e, possibilmente il pO<sub>2</sub> (ossigeno disciolto). L'ossigeno disciolto assume una considerevole importanza,

oltre che per il sostentamento degli organismi animali ospitati (ma anche vegetali in assenza di luce), per il fatto che il processo della nitrificazione è particolarmente avido di ossigeno (occorrono 4.19 g di O<sub>2</sub> per ossidare 1 g di azoto ammoniacale<sup>2</sup>). Purtroppo l'acqua possiede una bassa capacità per l'ossigeno è questo fa sì che, soprattutto in acque calde e saline, la concentrazione di ossigeno disciolto sia spesso a livelli critici<sup>5,6</sup> (Tab. 2). Ne consegue che l'ossigeno riveste un ruolo di limitante primario nella progettazione, nell'allestimento e nella conduzione di un acquario. In estate, in acquari non refrigerati, posti in ambienti poco ventilati o, peggio, esposti alla luce solare diretta o a fonti di calore (perlopiù elettrodomestici), si può assistere alcune ore dopo il pasto, e a luce spenta, a crisi anossiche acute che, se non direttamente letali per i pesci, si ripercuotono inevitabilmente sulla microflora nitrificante con possibile comparsa di "sindrome della vasca nuova". Lo stesso può accadere per blocco improvviso della pompa di circolazione del filtro, protratto anche solo per poche decine di minuti.

## CARICO INQUINANTE E CAPACITÀ DI CARICO

Veniamo ora alla problematica del dimensionamento del filtro biologico. Fortunatamente, perlomeno per quanto riguarda gli aspetti impiantistici ed in riferimento ad acquari preconfezionati, siamo esentati dal preoccuparci del dimensionamento del filtro biologico. Nondimeno un veterinario desideroso di prestare la propria opera in campo acquariofilo deve essere in grado di saper consigliare i propri clienti riguardo al numero ed alle dimensioni massime dei pesci ospitabili in ogni singolo acquario (ovviamente oltre alle esigenze fisiologiche devono essere tenute in debita considerazione anche le esigenze comportamentali dei pesci). Conseguentemente è necessario avere dei punti di riferimento per valutare il carico "inquinante" presente in acquario ed il potenziale ossidante (capacità di carico) del singolo sistema filtrante biologico. Tradizionalmente e praticamente il carico inquinante viene quantificato esprimendolo sottoforma di BOD, cioè misurando la quantità di ossigeno necessaria alla processazione (ossidazione) biologica della materia organica<sup>2</sup>. Il BOD risulta quindi una maniera indiretta, ma molto pratica, di misurare il contenuto in materia organica biologicamente ossidabile, presente in acqua. Il BOD associato alla stabulazione di un pesce in acquario dipenderà essenzialmente dalle sue dimensioni, quindi dal suo metabolismo (il metabolismo è una funzio-

Tabella 2  
Ossigeno disciolto (mg/l) in acqua in funzione della temperatura e della salinità

°C	0‰	5‰	15‰	25‰	35‰
14	10.3	9.95	9.4	8.8	8.2
18	9.5	9.15	8.6	8.1	7.6
22	8.7	8.6	8.1	7.7	7.2
26	8.1	8.0	7.5	7.1	6.6
30	7.6	7.4	7.0	6.6	6.1

ne allometrica del peso vivo di un organismo<sup>13</sup>), e dal quantitativo di alimento consumato. Ovviamente nello specifico la cosa è molto più complessa poiché specie ittiche diverse differiranno, a parità di peso, e di altre condizioni ambientali, per quanto riguarda il metabolismo e, soprattutto, mangimi diversi possiedono potenziali inquinanti diversi<sup>14</sup>. Ciò non toglie che possedere un dato, anche se indicativo, sia meglio che non possederlo affatto ed è in tal senso che ci viene in aiuto l'equazione calcolata da Hirayama<sup>15</sup> e riferita a pesci marini. L'equazione è stata esplicitata graficamente nella Figura 2. È possibile calcolare attraverso il grafico il potenziale inquinante in mg/min di O<sub>2</sub> in pesci di peso variabile da 5 a 200 g a digiuno od alimentati con quantitativi di alimento variabili da un minimo dell'1% fino ad un massimo del 10% del peso vivo. Sempre Hirayama<sup>16</sup> ha sviluppato un'equazione in grado di valutare il potenziale ossidante (in mg/min di O<sub>2</sub>) di filtri sottomarini utilizzati in acquari marini. Anche a questo proposito è bene ricordare come i dati ricavabili da tale equazione siano indicativi e facciano riferimento ad una tipologia di filtrazione ben definita, molto diversa da quelle comunemente rinvenibili in un acquario di acqua dolce.

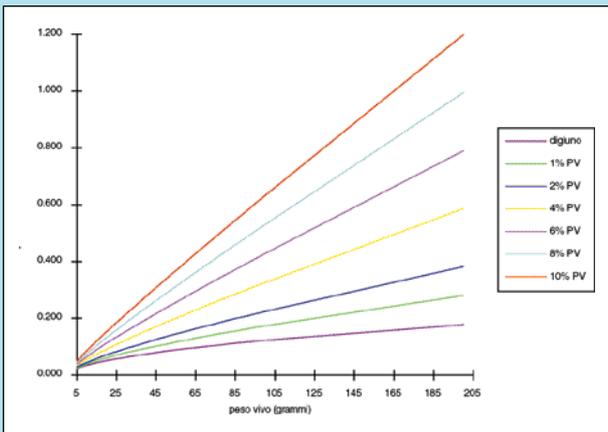


FIGURA 2 - Potenziale inquinante (mg O<sub>2</sub>/min) in funzione del peso vivo del pesce e della quantità di cibo somministrata (espressa in percentuale sul peso vivo).

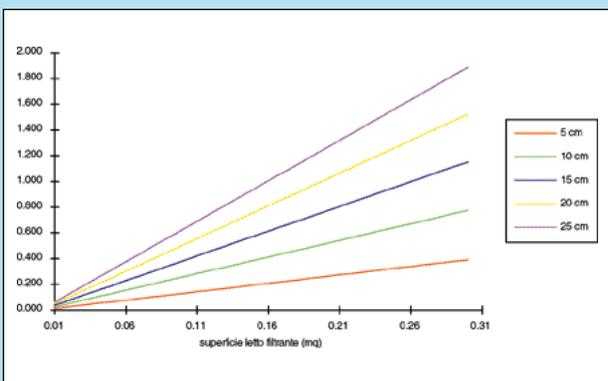


FIGURA 3 - Capacità di ossidazione (mg O<sub>2</sub>/min) di un filtro biologico in funzione della superficie del letto filtrante (m<sup>2</sup>) e dell'altezza del letto filtrante (cm), a parità di velocità del flusso attraverso il letto (10 cm/min) e di coefficiente di dimensione del materiale filtrante (diametro 4 mm, coefficiente 25).

L'equazione richiede diverse variabili in ingresso, nella fattispecie le dimensioni del letto filtrante (m<sup>2</sup>), l'altezza del letto filtrante (cm), il diametro (mm), quindi il coefficiente di dimensione della sabbia, ghiaia filtrante, e la velocità del flusso dell'acqua di acquario attraverso il letto filtrante (cm/min). Purtroppo l'equazione non tiene conto del coefficiente di forma e della porosità del materiale filtrante, fattori in grado di influenzare notevolmente la biomassa batterica adesa, le potenzialità ossidative ed, in ultima analisi, la capacità di carico. Le Figure 3, 4, 5 esprimono in forma grafica detta equazione, permettendo a chiunque di verificare il potenziale ossidativo (capacità di carico) di un sistema di filtrazione biologico sottomarino e, cosa più importante, di rapportarlo al potenziale inquinante espresso dall'ittiofauna ospitata. Come si può notare dalla lettura dei grafici, il potenziale ossidante aumenta proporzionalmente all'aumentare della superficie e dell'altezza del letto filtrante. Aumentando la granulometria del materiale filtrante la capacità ossidativa tende a peggiorare. Questo potrebbe suggerire di ridurre al minimo la granulometria del materiale filtrante per aumentare la capacità di carico; purtroppo al di sotto di un certo diametro il filtro tende-

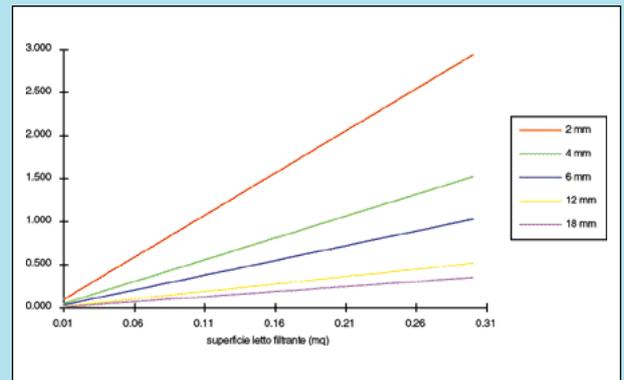


FIGURA 4 - Capacità di ossidazione (mg O<sub>2</sub>/min) di un filtro biologico in funzione della superficie del letto filtrante (m<sup>2</sup>) e del diametro (mm), quindi del coefficiente di dimensione, del materiale filtrante, a parità di velocità del flusso attraverso il letto (10 cm/min) e di altezza del letto filtrante (20 cm).

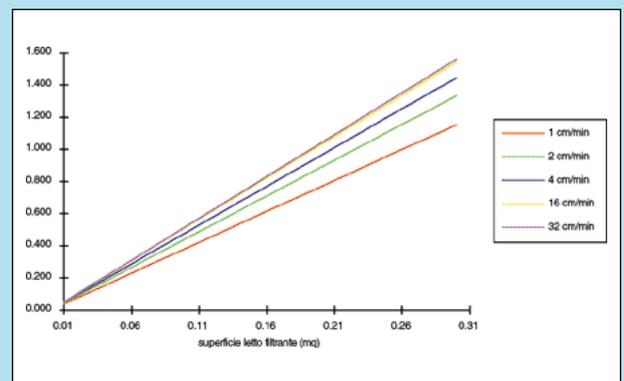


FIGURA 5 - Capacità di ossidazione (mg O<sub>2</sub>/min) di un filtro biologico in funzione della superficie del letto filtrante (m<sup>2</sup>) e della velocità del flusso all'interno letto filtrante stesso (cm/min), a parità di coefficiente di dimensione del materiale filtrante (diametro 4 mm, coefficiente 25) e di altezza del letto filtrante (20 cm).

rebbe ad intasarsi facilmente e causerebbe una elevatissima perdita di carico nel sistema di ricircolo che rischierebbe di vanificare l'efficienza ossidativa, col rischio aggiuntivo che si creino delle sacche anossiche sede di produzione di metano ed idrogeno solforato, tossici per i pesci e per i batteri nitrificanti. Per quanto riguarda la velocità dell'acqua attraverso il letto filtrante si nota che all'aumentare della stessa il potenziale ossidativo cresce, ma in maniera meno che proporzionale, suggerendo di non oltrepassare valori che possano favorire il dilavamento della componente batterica adesa al substrato. Per quanto riguarda la velocità del flusso di acqua all'interno della stazione di filtrazione e con specifico riferimento ai filtri aperti, in modo particolare ai filtri a percolazione (caratterizzati da una ottimale ossigenazione dell'acqua che lambisce, senza sommergerlo, il substrato rivestito da mucillagini e biomassa batteriche), si assiste ad una notevole ossidazione e precipitazione di oligoelementi essenziali, in modo particolare del ferro, ma anche di oligoelementi tossici, spesso chelati da ligandi organici di origine batterica/algale. Inoltre la notevole superficie di contatto aria/acqua che si viene a creare favorisce l'eliminazione della anidride carbonica in eccesso, cosa positiva dal punto di vista degli organismi animali ospitati, negativa dal punto di vista delle piante, a tal punto che, per favorire lussureggianti crescite delle piante acquatiche, si suggeriscono ricambi orari d'acqua non superiori a 2-2,5 volte la capacità totale della vasca d'acquario, filtri esterni chiusi (così detti filtri a canestro), l'impiego di oligoelementi chelati, fino alla "fertilizzazione" dell'acqua con CO<sub>2</sub> in bombola. Purtroppo l'utilizzazione di chelanti, con particolare riguardo ai così detti "biocondizionatori" (sostanze in grado di rendere l'acqua di rubinetto immediatamente utilizzabile in acquario, inibendo l'azione tossica di eventuali sostanze in essa contenute, tipo cloro, piombo, rame, ecc.), possono favorire solubilizzazione e movimentazione di oligoelementi essenziali (ma tossici a concentrazioni elevate) o prettamente tossici a partire dal comparto biologico del filtro, ma anche dal carbone attivo eventualmente "dimenticato" nella stazione di filtrazione, nonché dal materiale di fondo o di arredo, con improvvise ed apparentemente inspiegabili morie di pesci o di altri organismi animali ospitati.

## CONCLUSIONI

Quanto riportato dovrebbe suggerire al veterinario "acquarista" ad assumere un approccio al problema molto diverso da quello comunemente maturato durante il curriculum di studi accademici o nella quotidiana pratica ambulatoriale. Una malattia di un pesce d'acquario raramente è ascrivibile al singolo pesce colpito. Il più delle volte, anche per le forme infettive/infestive, rappresenta nient'altro che una spia, un campanello d'allarme, di un malessere ambientale coinvolgente l'intero sistema acquario. Ecco che il veterinario deve imparare un nuovo approccio di sistema basato cioè sulla constatazione della

interdipendenza fra le parti all'interno dell'acquario, con particolare riguardo alla componente microbica, al fine di perseguire non solo il benessere della fauna acquatica ospitata, bensì dell'intero sistema acquario. Ogni altra impostazione si rivelerebbe fallimentare sia nel breve e sia nel lungo periodo.

## Ringraziamenti

*Gli autori desiderano ringraziare il dott. Massimo Millefanti per avere criticamente revisionato il manoscritto.*

## Parole chiave

*Acquario, depurazione biologica, nitrificazione, denitrificazione, capacità di carico.*

## Key words

*Aquarium, biological filtration, nitrification, denitrification, carrying capacity.*

## Bibliografia

1. Stoskopf MK: Hospitalization. In: Fish Medicine. Ed. by MK Stoskopf. Philadelphia, Saunders, 1993, pp. 98-112.
2. Vismara R: Depurazione biologica. Milano, Editore Ulrico Hoepli, 1988.
3. Eckenfelder WWJr: Industrial water pollution control. New York, McGraw-Hill Publishing Company, 1989.
4. Manera M: Dietro le quinte dell'acquario. Una folla nel filtro! *Aquarium* 11: 30-32, 1998.
5. Noga EJ: Fish Disease: diagnosis and treatment. St. Louis, Mosby-Year Book, 1996.
6. Stirling HP: Chemical and biological methods of water analysis for aquaculturists. Institute of Aquaculture. Stirling, University of Stirling, 1985.
7. Ramadori R, Tandoi V: Depurazione biologica delle acque di scarico. In: *Ecologia Applicata*. Ed. by R Marchetti. Milano, Città Studi Edizioni, 1993, pp 915-952.
8. Bower CE, Tuner DT: Accelerated nitrification in new seawater culture systems: effectiveness of commercial additives and seed media from established systems. *Aquaculture* 24: 1-9, 1981.
9. Watson SW, Bock E, Harms H, et al.: Nitrite-oxidizing Bacteria. General considerations. In: *Bergey's manual of systematic bacteriology*, vol. 3. Ed. by JT Staley. Baltimore, Williams & Wilkins, 1989, pp. 1810-1813.
10. Manera M, Borreca C: Gli avvelenamenti: cause ed effetti. *Il mio Acquario* 17: 48-51, 2000.
11. Manera M, Borreca C: Antibiotici e chemioterapici: vantaggi e rischi. *Il mio Acquario* 27: 46-49, 2000.
12. Collins MT, Gratzek JB, Dawe DL, et al.: Effects of parasiticides on nitrification. *J Fish Res Bd Can* 32: 2033-2037, 1975.
13. Von Bertalanffy L: General system theory. New York, George Braziller, 1969.
14. Manera M, Borreca C: La "nutrizione integrata" dei pesci di acquario. *Veterinaria* 15(2): 63-66, 2001.
15. Hirayama K: Studies on water control by filtration through sand bed in a marine aquarium with closed circulating system - IV. Rate of pollution by fish, and the possible number and weight of fish kept in an aquarium. *Bull Jap Soc Sci Fish* 32: 20-27, 1966.
16. Hirayama K: Water control by filtration in closed system. *Aquaculture* 4: 369-385, 1974.