

Paolo Ferrari - Alessandra Roncarati - Andrea Dees

**TECNOLOGIE E STRUTTURE
PER IMPIANTI DI ACQUACOLTURA
E DI PESCA SPORTIVA**



GREENTIME

Paolo Ferrari - Alessandra Roncarati - Andrea Dees

**TECNOLOGIE E STRUTTURE
PER IMPIANTI DI ACQUACOLTURA
E DI PESCA SPORTIVA**

GREENTIME

Gli autori ringraziano:

Il Professore *Paolo Melotti*, direttore del Centro Universitario di Ricerca e Didattica in Agricoltura e Maricoltura di San Benedetto del Tronto (Ap); *Giovanni Magnanini* della Acqua&Co di Cadelbosco di Sopra (Re); *Alessandro Ciattaglia* della Technosea di Roma; *Marcello Guidi* dell'azienda Prati di Bologna; *Aldo Tasselli* e *Nicola Bucci* nonché la *Regione Emilia-Romagna* per la disponibilità dimostrata.

© Copyright 2003 by Greentime SpA - via Barberia, 11 - 40123 Bologna
Tel. 051.584020 - Fax 051.585000 - E-mail: info@greentime.it

131

Proprietà letteraria riservata - Printed in Italy

Disegni a cura di Alessandro Gastaldo

Foto di copertina: Andrea Dees

Stampa: Tipografia SAB - Via Cà Ricchi 1/3 - San Lazzaro di Savena - Bologna

Finito di stampare nel mese di luglio 2003

La riproduzione con qualsiasi processo di duplicazione delle pubblicazioni tutelate dal diritto d'autore è vietata e penalmente perseguibile (art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633). Quest'opera è protetta ai sensi della legge sul diritto d'Autore e delle Convenzioni internazionali per la protezione del diritto d'Autore (Convenzione di Berna, Convenzione di Ginevra). Nessuna parte di questa pubblicazione può quindi essere riprodotta memorizzata o trasmessa con qualsiasi mezzo e in qualsiasi forma (fotomeccanica, fotocopia, elettronica ecc.) senza l'autorizzazione scritta dell'editore. In ogni caso di riproduzione abusiva si procederà d'ufficio a norma di legge.

BIOGRAFIE

PAOLO FERRARI, laureato nel 1989 in Scienze della Produzione Animale presso l'Università di Bologna e abilitato all'esercizio della professione di dottore agronomo, dal 1990 è ricercatore presso il Centro Ricerche Produzioni Animali CRPA s.p.a. di Reggio Emilia per attività di ricerca e divulgazione nel settore di Genio Rurale. Dal 1997 al 2001 è stato docente di "Ingegneria Agraria" nell'ambito del Diploma Universitario in Produzioni Animali "orientamento acquacoltura e maricoltura" della Facoltà di Medicina Veterinaria dell'Università degli studi di Camerino. È membro dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA), della European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng) e della International Commission of Agricultural Engineering (CIGR).

ALESSANDRA RONCARATI, laureata nel 1987 in Scienze della Produzione Animale presso l'Università di Bologna, è attualmente Professore associato di Zooculture presso la Facoltà di Medicina Veterinaria dell'Università degli Studi di Camerino. L'attività di ricerca ricade nei campi dell'acquacoltura relativamente a tecniche di riproduzione e svezzamento larvale di nuove specie, riproduzione e tecnologie di allevamento di specie ittiche marine e di acqua dolce. È membro della Associazione Scientifica di Produzione Animale e della European Aquaculture Society di cui, dallo scorso anno, è stata eletta Consigliere.

ANDREA DEES, ittiologo, laureatosi nel 1994 presso l'Università di Bologna in Scienze Biologiche, consegue il titolo di Dottore di Ricerca e attualmente collabora sia con il Centro Universitario di Ricerca e Didattica in Acquacoltura e Maricoltura dell'Università degli Studi di Camerino che con il Centro di Ricerca Interdipartimentale sulle Tecnologie e l'Igiene degli Allevamenti Intensivi delle Piccole Specie dell'Università degli Studi di Bologna occupandosi principalmente della determinazione della qualità chimico-fisica e biologica delle acque e della gestione dei popolamenti ittici in ecosistemi naturali, in impianti di pesca sportiva nonché in allevamenti. È altresì autore di numerose pubblicazioni legate ai diversi aspetti che interessano sia l'Idrobiologia che l'Acquacoltura.

SOMMARIO

INTRODUZIONE Pag. XIII

PRESENTAZIONE Pag. XV

1. I SISTEMI ACQUATICI MODIFICATI	Pag.	1
1.1. Sistemi aperti	»	2
1.2. Sistemi semichiusi	»	5
1.3. Sistemi chiusi	»	6

2. LA CAPTAZIONE E IL TRASPORTO DELLE ACQUE	Pag.	7
2.1. Risorse idriche	»	8
2.2. Trasporto delle acque	»	10
2.3. Pompe	»	14
2.3.1. I principi di funzionamento	»	15
2.3.2. Le pompe centrifughe.....	»	17
2.3.3. Le pompe rotative.....	»	22
2.3.4. Le pompe a moto alternato.....	»	26

2.3.5. Le pompe ad aria	Pag.	28
2.3.6. Criteri di scelta di un impianto di pompaggio	»	31

3. GLI STAGNI	Pag.	33
3.1. Stagni ottenuti per sbarramento	»	33
3.1.1. Le dimensioni e la conformazione degli stagni.....	»	34
3.1.2. Gli sbarramenti	»	38
3.1.3. Gli scarichi.....	»	44
3.1.4. Le opere di impermeabilizzazione	»	47
3.2. Stagni ottenuti per escavazione	»	48
3.3. Fabbisogno idrico degli stagni.....	»	48

4. I LAGHI PER LA PESCA SPORTIVA	Pag.	57
4.1. Diffusione della pesca sportiva	»	57
4.2. La realtà dei laghi di pesca sportiva	»	59
4.3. Specie ittiche oggetto di pesca sportiva	»	60
4.4. L'aspetto chimico-fisico delle acque.....	»	63
4.5. L'influenza del sedimento sulla qualità delle acque dei bacini artificiali.....	»	67

5. LE STRUTTURE DI RECINZIONE	Pag.	69
5.1. Caratteristiche costruttive delle reti	»	69
5.1.1. Le reti flessibili.....	»	70
5.1.2. Le reti rigide	»	72
5.2. Gabbie	»	75
5.2.1. Le gabbie galleggianti	»	76

5.2.2. Le gabbie sommergibili	Pag.	81
5.2.3. Le gabbie per acque esposte e profonde	»	83
5.3. Progettazione delle gabbie e delle strutture di recinzione	»	85
5.3.1. Le strutture di supporto delle gabbie.....	»	89
5.3.2. Il raggruppamento e il collegamento delle gabbie	»	92
5.3.3. I sistemi di ormeggio.....	»	94
5.3.4. Gli ancoraggi	»	97
5.4. Fattori limitanti del sistema di allevamento in gabbia	»	99

6. I RACEWAY	Pag.	105
6.1. Modalità costruttive	»	106
6.2. Approvvigionamento idrico e gestione dei flussi.....	»	107

7. LE VASCHE	Pag.	109
7.1. Dimensionamento delle vasche	»	109
7.2. Materiali costruttivi.....	»	110
7.3. Conformazione delle vasche	»	111
7.4. Sistemi di immissione per vasche circolari.....	»	114
7.5. Sistemi di scarico per vasche circolari.....	»	116

8. LE TECNICHE DI AERAZIONE	Pag.	121
8.1. Sistemi di aerazione per caduta	»	126
8.1.1. Salti d'acqua	»	127

8.1.2. Vassoi perforati	Pag. 129
8.1.3. Letti percolatori	» 129
8.2. Aeratori superficiali	» 130
8.2.1. Aeratori a turbina	» 130
8.2.2. Pompe spruzzatrici	» 131
8.2.3. Aeratori a pale	» 132
8.2.4. Criteri operativi per l'impiego degli aeratori superficiali	» 132
8.4. Criteri di selezione dei sistemi di aerazione	» 138
8.5. Aerazione degli stagni e dei laghi di pesca sportiva	» 147

9. LE TECNICHE DI FILTRAZIONE	Pag. 145
9.1. Sedimentazione	» 146
9.2. Filtrazione meccanica	» 149
9.2.1. I vagli statici	» 150
9.2.2. I vagli rotativi	» 150
9.2.3. I filtri a sabbia	» 151
9.2.4. I filtri a diatomee	» 155
9.3. Filtrazione biologica	» 156
9.3.1. Tipologie di filtri biologici	» 160
9.3.2. I letti filtranti sommersi	» 161
9.3.3. Criteri di scelta dei filtri biologici	» 165
9.4. Filtrazione chimica	» 166
9.4.1. La flottazione	» 167
9.4.2. I carboni attivi	» 168
9.4.3. Lo scambio ionico	» 170
9.4.4. I raggi ultravioletti	» 171
9.4.5. L'ozono	» 174
9.4.6. La clorazione	» 176

10. LE ATTREZZATURE PER LA CALIBRATURA E IL SOLLEVAMENTO DEL PESCE	Pag. 179
---	-----------------

11. LE ATTREZZATURE PER LA DISTRIBUZIONE DEGLI ALIMENTI.....	Pag. 182
11.1. Alimentatori fissi	» 182
11.2. Alimentatori mobili.....	» 185

12. ALLEGATO	Pag. 187
---------------------------	-----------------

BIBLIOGRAFIA.....	Pag. 193
--------------------------	-----------------

INTRODUZIONE



*R*iteniamo che la pubblicazione di un testo sulle tecnologie e le strutture per impianti di acquacoltura e di pesca sportiva sia interessante per chi intenda acquisire informazioni aggiornate per sviluppare un'attività oppure anche semplicemente per avvicinarsi, per la prima volta, alle nozioni di base per una nuova e soddisfacente occupazione.

Anche questa pubblicazione indica come la Regione Emilia-Romagna sia attenta alla formazione professionale soprattutto in segmenti di attività produttive poco note al grande pubblico ed in grado di offrire ai giovani opportunità di nuove occasioni lavorative. L'obiettivo è finalizzato allo sviluppo dell'economia ittica e ad incrementare la disponibilità di un prodotto alimentare di cui l'Italia è carente e fortemente dipendente dalle importazioni. Per raggiungere tali obiettivi è assolutamente indispensabile fare leva su professionisti, in possesso di conoscenze multidisciplinari da applicare alla dinamica dei processi dell'acquacoltura. In questo modo si può riuscire a superare una carenza del passato, formando tecnici in grado di affrontare le complessità e le problematiche relative alla diversificazione nella tipologia degli allevamenti. Con l'avvio in vari atenei di numerosi corsi di laurea per professionisti in acquacoltura si registra così la necessità di disporre di materiale didattico adeguato ed è anche a questa esigenza che il presente volume intende fornire una risposta. L'allevamento di pesci, molluschi e crostacei, in acqua dolce, salmastra o marina, è sicuramente una carta vincente di questo



periodo storico dell'acquacoltura in cui si sono affermate tecnologie e standard produttivi che pongono tale attività in un contesto innovativo e di ampia prospettiva. L'acquacoltura è recente come scienza, riferibile agli ultimi trenta anni, con molte questioni ancora aperte. In particolare, nelle varie fasi dell'allevamento emergono problemi connessi all'ambito biologico (riproduzione e crescita degli organismi acquatici), all'ambito patologico (diagnostica e terapie delle malattie), nonché alle diete alimentari e all'insufficiente investimento industriale per la ricerca e la sperimentazione di tecnologie che concorrano a formare economie di scala.

Nonostante ciò, si può affermare che oggi l'acquacoltura rappresenta un'attività produttiva oramai solidamente affermata e ricca di promesse, ma che vede tuttavia subordinata la realizzazione delle sue notevoli, a volte entusiasmanti, potenzialità al corretto governo di numerosi ed eterogenei fattori strettamente interconnessi. Su tale strada è necessario procedere con decisione e rigore, senza più affidarsi esclusivamente all'intraprendenza ed alla passione degli autodidatti, ma basandosi piuttosto sul sostegno di percorsi formativi. Appare oramai acquisita la consapevolezza del rapporto decisivo che in acquacoltura e nel mondo produttivo e piscatorio lega la conoscenza e l'aggiornamento sulle tecnologie e sulle innovazioni. La Regione Emilia-Romagna, quindi, ha ritenuto utile favorire la realizzazione e la divulgazione di questo primo testo.

Speriamo sia di supporto alla divulgazione delle più aggiornate ed avanzate esperienze tecnologiche, ben consapevoli del rapido evolversi di tali tecnologie che impongono ai vari operatori un costante e continuo aggiornamento di metodologie ed impianti il cui costo diventa sempre più oneroso. Occorre quindi effettuare delle scelte attente ed oculate per non trovarsi "spiazzati" nel mondo della produzione. Sapere ed esprimere professionalità sono alcuni dei principi informatori di un professionista per produrre bene e a costi contenuti. Il mio augurio è che in questo percorso formativo si trovi lo stimolo per intraprendere una nuova attività e per sviluppare occupazione, utilizzando la pesca come elemento produttivo trainante per valorizzare l'ambiente e trarne un reddito. Un ringraziamento, infine, agli autori e a tutti quelli che hanno consentito di realizzare questo percorso formativo. Buona lettura.

Duccio Campagnoli

*Assessore alle Attività produttive
della Regione Emilia-Romagna*

PRESENTAZIONE

*L*a presente pubblicazione, frutto di un biennio di ricerca bibliografica e di esperienze di campo da parte degli Autori, prende in considerazione le più diffuse tecnologie di allevamento degli organismi acquatici congiuntamente agli aspetti impiantistici ed alle tecniche di conduzione dei laghi per la pesca sportiva. Nei capitoli iniziali, che descrivono le tipologie di allevamento ed i sistemi gestione e trasporto delle acque, vengono fornite approfondite indicazioni di carattere tecnico di sicuro ausilio a quanti si avvicinano a questo innovativo settore produttivo. Nella parte centrale del volume viene trattata la pesca sportiva a pagamento, sviscerando la componente ambientale, la tecnologia e l'impiantistica per poi affrontare gli aspetti concernenti i popolamenti ittici dei laghi per la pesca sportiva in relazione alle loro esigenze biologiche ed alle caratteristiche delle acque utilizzate. La dissertazione prosegue con una dettagliata descrizione delle strutture destinate all'allevamento (recinti, raceways, stagni e vasche) nonché delle attrezzature impiegate nella cattura, sollevamento e calibratura delle specie ittiche allevate. La trattazione di queste numerose tematiche da sola giustifica la realizzazione dell'opera al cui arricchimento ha certamente concorso la competenza e la personale esperienza degli Autori che oltre a svolgere ricerche scientifiche operano nell'ambito delle numerose problematiche relative alla pesca sportiva nonché dei temi più squisitamente tecnici che ne caratterizzano le finalità essenziali. È auspicabile che questo volume conquisti la più ampia diffusione fra gli appassionati della pesca sportiva che vogliono approfondire le proprie conoscenze nel settore nonché tra gli allevatori di specie ittiche marine e di acqua dolce che potranno trovare nei diversi capitoli chiarimenti sui numerosi quesiti a cui frequentemente sono tenuti a rispondere.

Paolo Melotti

Prof. Ordinario di Acquacoltura

1. I SISTEMI ACQUATICI MODIFICATI

I sistemi acquatici possono essere distinti in:

- sistemi naturali;
- sistemi modificati.

Un sistema naturale o ecosistema può essere definito come l'unità ecologica di base, ovvero come l'insieme di un determinato ambiente di vita e degli organismi vegetali e animali che in questo vivono naturalmente.

I sistemi naturali presentano il grande vantaggio di operare secondo cicli naturali nell'ambito dei quali le diverse componenti della catena alimentare sono in equilibrio tra di esse; generalmente, i cicli produttivi sono piuttosto lenti fornendo produzioni limitate in termini di prodotti destinabili al consumo umano.

Dal punto di vista produttivo sarebbe auspicabile aumentarne le produzioni senza comprometterne la funzionalità.

L'acquacoltura si è evoluta nel tempo attraverso l'introduzione di tecniche di allevamento innovative e di tecnologie finalizzate alla modifica degli ecosistemi acquatici e all'aumento delle produzioni.

A seconda dei sistemi e delle tecnologie utilizzati i sistemi acquatici modificati possono essere classificati in:

- *sistemi aperti*, in cui la produzione è ottenuta in acque naturali (es. corsi d'acqua, laghi, mare);
- *sistemi semichiusi*, dove la produzione è ottenuta prelevando acqua da risorse naturali, cui fa ritorno dopo un unico passaggio attraverso il sistema;
- *sistemi chiusi*, in cui l'acqua non è mai rinnovata oppure è rinnovata ad ampi intervalli di tempo.

1.1. SISTEMI APERTI

I sistemi aperti, pur essendo quelli di più antica concezione, sono tuttora quelli più utilizzati.

Il sistema aperto più semplice è rappresentato dal confinamento di un sistema naturale mediante barriere artificiali (es. recinzioni, argini); se il carico di allevamento non è eccessivo il sistema può essere gestito naturalmente.

Le spese sono limitate alla raccolta e, in particolare, alla durata di tali operazioni, al numero di operatori coinvolti e all'eventuale trasporto, lavorazione e commercializzazione dei prodotti; tuttavia, i costi di raccolta sono generalmente superiori nei sistemi di tipo naturale che non in quelli di tipo modificato a causa dei maggiori oneri per l'individuazione, la raccolta e il trasporto del pesce e della minore omogeneità nella taglia e nel volume del prodotto.

In genere, fino a quando i sistemi di tipo aperto hanno una limitata diffusione in una certa area geografica i profitti sono elevati, i costi di produzione sono relativamente bassi e le limitate produzioni sono vendute a prezzi elevati a causa dell'intensa domanda.

Tuttavia, se i ritmi di raccolta vengono aumentati oltre un certo limite, l'organismo rischia l'estinzione; in questi casi può rendersi necessaria l'imposizione di vincoli gestionali o normativi al prelievo oppure l'esecuzione di interventi finalizzati a incrementare il livello produttivo della risorsa.

Uno dei problemi più frequenti da affrontare nei sistemi di allevamento di tipo aperto è rappresentato dalla protezione delle specie allevate dall'attacco dei predatori (es. uccelli, altri organismi acquatici). A tale scopo vengono adottate diverse tecniche; quelle più comuni per combattere i predatori acquatici prevedono l'impiego di barriere di tipo diverso come argini, recinzioni, schermi, ecc. Una delle tecniche più diffuse consiste nel delimitare una determinata area (es. l'imbocco di una laguna) con una delle suddette barriere. Per eliminare dall'area di allevamento taluni organismi indesiderati si può ricorrere anche alla distribuzione di composti chimici o ad altri mezzi (es. la distribuzione di calce per combattere le stelle marine negli allevamenti di ostriche).

I principali vantaggi dei sistemi di tipo aperto sono rappresentati da:

- i bassi costi d'investimento;
- i limiti gestionali.

Un altro vantaggio di alcuni di questi sistemi consiste nel rendere possibile l'allevamento di organismi sessili, come ostriche e mitili, in una colonna d'acqua verticale, consentendo elevate produttività per unità di superficie. Tali sistemi, detti "colture sospese", utilizzano strutture di supporto e/o di confinamento delle specie allevate, costituite da reti o gabbie immerse e mantenute in loco mediante ormeggi e sistemi di galleggiamento superficiali.

Per il sistema di galleggiamento una soluzione abbastanza diffusa è rappresentata da zattere di varie dimensioni costruite assemblando barili vuoti o galleggianti in schiuma plastica (es. poliuretano espanso, polistirene) distanziati e interconnessi mediante un telaio di pali di legno (*Figura 1*).

Per consentire il fissaggio e il supporto delle larve dei molluschi durante la crescita possono essere impiegati diversi materiali collettori; un vecchio sistema prevede il reimpiego di conchiglie vuote di molluschi bivalvi, forate e fissate, a due a due, lungo appositi cavi con l'interposizione di distanziatori di lunghezza variabile da 25 mm a

150 mm in plastica, bambù o altri materiali. I cavi vengono appesi lungo una serie di funi orizzontali e parallele fissate ai pali della zattera. Le conchiglie vuote possono essere disposte anche all'interno di borse di rete da pesca fissate lungo i cavi verticali oppure in cesti o vassoi sovrapposti, realizzati con rete da pesca o grigliato metallico o plastico (sistema "a vassoi"). Nell'impiego di questa tecnica occorre prestare grande attenzione ai fenomeni di deposito progressivo di concrezioni, alghe e microrganismi (fouling) sulle reti e sui grigliati, la cui intensità varia in base alle caratteristiche qualitative dell'acqua e alle condizioni climatiche; tali fenomeni oltre a causare un appesantimento delle reti, possono ridurre la circolazione di acqua all'interno dell'ambiente di allevamento, limitando l'apporto di ossigeno e l'eliminazione dei cataboliti fino a livelli non compatibili con le esigenze di vita degli organismi allevati.

Come materiale collettore possono essere impiegate anche pertiche incatramate sospese verticalmente nell'acqua a supporti galleggianti (sistema "a rastrello"). I molluschi possono rimanere fino alla raccolta oppure possono essere trasferiti per l'ultimo anno di allevamento in sistemi di allevamento di altro tipo. Un sistema molto diffuso in mitilicoltura per i parchi da ingrasso consiste nella raccolta dei molluschi da collettori naturali o artificiali e nel loro confezionamento in reste, all'interno di lunghe calze di rete da pesca; le reste ven-

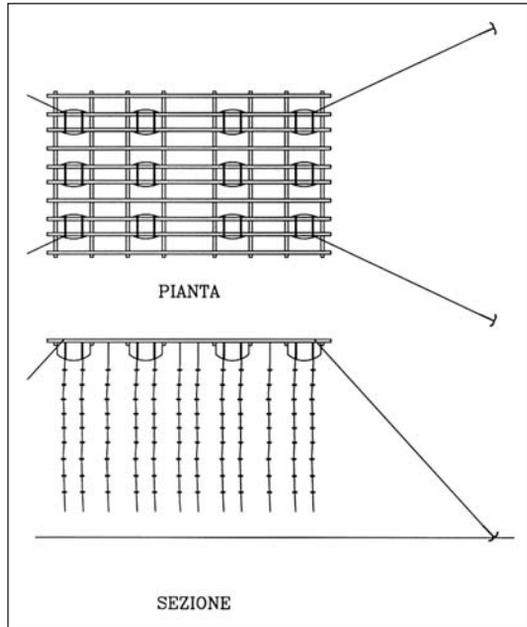


Figura 1 – Struttura di galleggiamento a zattera per il sostegno di colture sospese.

gono poi appese a sistemi di supporto galleggianti o a pali infissi sul fondo (es. pergolari). Uno dei vantaggi di questo sistema consiste nella facilità di installazione, di controllo, di manipolazione e di raccolta dei mitili così confezionati (*Foto 1 pag. 51*).

Un sistema di galleggiamento, detto “long line”, prevede l’impiego di una serie di galleggianti collegati tra di loro da uno o più robusti cavi principali le cui estremità sono saldamente ancorate e lungo i quali sono disposti i cavi secondari verticali o le calze riempite di mitili (*Figura 2*); il sistema long line si presta per masse d’acqua o tratti di mare esposti a correnti di una certa intensità.

La distanza tra i cavi può variare in funzione:

- della velocità delle correnti;
- della resistenza dei cavi;
- delle disponibilità alimentari esistenti in quelle acque per la specie allevata;
- degli usi locali;
- della velocità di deposito di fouling sulle strutture immerse che causano il progressivo appesantimento dei cavi e l’intasamento di reti e grigliati.

Le colture sospese in gabbia sono utilizzate anche per l’accrescimento di pesce allevato con densità elevate (*Foto 2 pag. 51*); ciò richiede l’apporto di alimentazione supplementare e un intenso ricambio idrico per consentire un sufficiente apporto di ossigeno e un’efficiente rimozione dei cataboliti e delle deiezioni. Una delle principali motivazioni a favore dello sviluppo dell’allevamento in gabbia riguarda l’utilizzo ottimale di grandi risorse idriche, senza richiedere costose opere di derivazione.

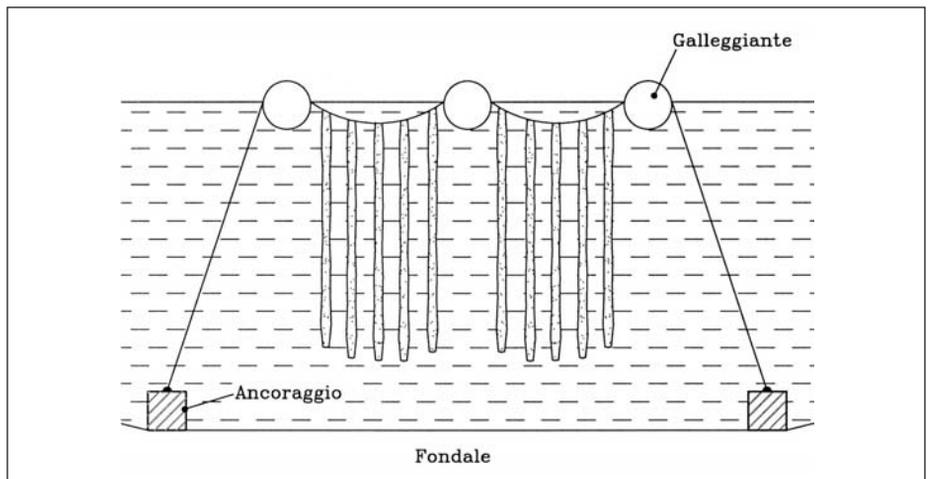


Figura 2 – Sistema di galleggiamento long line per colture sospese.

Le colture sospese per l'allevamento di organismi sessili favoriscono un aumento della produttività per i seguenti motivi:

- consentono lo sfruttamento dell'intero volume di una massa d'acqua piuttosto che la sola superficie del fondo;
- consentono la protezione degli organismi allevati dai predatori che dimorano sul fondo. La lunghezza dei cavi verticali viene regolata in modo tale da mantenere le estremità inferiori a non più di 0,3-0,6 m dal fondo, rendendo impossibile la risalita di predatori;
- consentono un maggiore utilizzo da parte della coltura allevata degli strati superficiali più ricchi di plancton.

In generale, i principali svantaggi delle colture sospese sono rappresentati da:

- i possibili danni causati dal moto ondoso che può determinare anche la totale distruzione del sistema di galleggiamento;
- l'intasamento delle reti o dei vassoi. Tale fenomeno è di intensità variabile a seconda del luogo, della stagione, del clima e delle caratteristiche dell'acqua;
- il possibile ristagno di deiezioni dovuto alla limitata circolazione di acqua e la possibile insorgenza di fermentazioni anaerobiche con produzione di H_2S .
- la difficoltà di controllo delle malattie.

1.2. SISTEMI SEMICHIUSI

Sono caratterizzati dall'impiego di acque prelevate da risorse idriche naturali, immerse e indotte circolare all'interno degli ambienti d'allevamento per poi essere scaricate (*Foto 3 pag. 51*); normalmente, vengono realizzati in aree appositamente predisposte e attrezzate sulla base delle esigenze e delle finalità tecniche e gestionali della forma di allevamento che si intende adottare.

I principali vantaggi degli allevamenti di tipo semichiuso, rispetto a quelli di tipo aperto, sono soprattutto di ordine gestionale; questi sistemi, infatti, rendono possibile il controllo di alcune importanti variabili quali:

- il volume e la velocità dei ricambi idrici;
- la qualità dell'acqua (es. la temperatura);
- i predatori;
- le malattie.

In realtà, il controllo assoluto sulla introduzione di predatori, di malattie e di inquinanti nel sistema risulta piuttosto difficile poiché l'approvvigionamento di acqua avviene in continuo, facendo ricorso a risorse idriche naturali (es. corsi d'acqua).

Normalmente, i sistemi semichiusi comportano investimenti di capitali superiori rispetto ai sistemi aperti; tuttavia, permettono una maggiore indipendenza

dalle variazioni climatiche e da altri fenomeni naturali, fornendo produzioni più uniformi e di migliore qualità merceologica.

Inoltre, le operazioni di raccolta sono più agevoli, più veloci ed economiche. I principali svantaggi dei sistemi di tipo semichiuso, rispetto ai sistemi aperti, sono riconducibili a:

- la maggiore esigenza di managerialità;
- l'esigenza di trattamento dell'acqua in entrata (es. filtrazione, disinfezione);
- le maggiori esigenze di controllo dell'impatto ambientale;
- i costi fissi più elevati.

1.3. SISTEMI CHIUSI

Sono sistemi in cui il fluido di supporto alla coltura non è scambiato con risorse idriche esterne ma viene continuamente ricircolato attraverso gli ambienti di allevamento per mezzo di pompe; eventuali immissioni o interscambi di acqua con l'esterno avvengono soltanto occasionalmente in concomitanza con specifiche esigenze tecniche (es. perdite di acqua per evaporazione, correzione dei parametri chimici, carico o svuotamento dell'impianto).

I sistemi di tipo chiuso permettono il controllo accurato di tutti i parametri ambientali; per esempio, il controllo della temperatura dell'acqua è più agevole e meno costoso in un sistema chiuso che non in uno semichiuso.

Nei sistemi chiusi è possibile svincolarsi totalmente dalle variabili ambientali, consentendo la programmazione produttiva in modo ottimale.

Il controllo sanitario può essere effettuato agevolmente e in maniera mirata.

Il trattamento dell'acqua in continuo, necessario per prevenire la crescita di organismi nocivi, risulta più agevole dal punto di vista tecnico-economico nei sistemi chiusi che non in quelli semichiusi.

Nella progettazione degli impianti di tipo chiuso non devono mancare idonee attrezzature per la movimentazione e la manipolazione del pesce al fine di rendere le operazioni di cattura il più possibile semplici, rapide ed economiche.

Gli impianti di tipo chiuso presentano due svantaggi principali:

- comportano elevati costi fissi e di gestione (per strutture, vasche, impianti, attrezzature, ecc.);
- richiedono un management altamente qualificato.

2. LA CAPTAZIONE E IL TRASPORTO DELLE ACQUE

L'acqua, essendo il substrato di ogni produzione ittica, deve rispondere a esigenze specifiche in funzione delle specie allevate e delle tecniche di allevamento adottate; quindi i fabbisogni quantitativi e qualitativi di acqua devono essere sempre valutati preventivamente per potere assolvere alle seguenti funzioni fondamentali:

- il trasporto dei gas;
- il trasporto del calore;
- il trasporto degli alimenti;
- l'allontanamento delle deiezioni e dei cataboliti;
- la creazione di un ambiente rispondente alle esigenze di vita e di crescita della specie allevata.

La correzione delle caratteristiche qualitative dell'acqua comporta sempre degli oneri economici e quindi deve essere valutata attentamente in relazione ai costi e ai benefici apportati. Per esempio, la temperatura dell'acqua, influenzando direttamente sulla crescita degli organismi, deve mantenuta il più possibile prossima ai valori ottimali consigliati, in funzione della specie allevata e del relativa fase di allevamento. Tuttavia il controllo e la variazione della temperatura, mediante trattamenti che richiedono il dispendio di energia, risulta nella maggior parte dei casi non sostenibile dal punto di vista economico; il riscaldamento può risultare economicamente conveniente soltanto per alcune delicate fasi d'allevamento caratterizzate da fabbisogni idrici limitati (es. allevamento larvale, condizionamento dei riproduttori, incubatoi). Diverso è il caso degli impianti di acquacoltura termica i quali, sfruttando la locale disponibilità di "acque calde" a basso costo per il riscaldamento delle acque di allevamento, riescono a mantenere le temperature a livelli ottimali in tutte le fasi di allevamento ottenendo molteplici vantaggi dal punto di vista produttivo; queste acque

calde possono provenire dal sottosuolo, da fonti naturali (acque geotermiche), oppure possono derivare dagli scarichi di determinati impianti industriali (es. centrali termoelettriche).

I trattamenti di aerazione sono largamente impiegati nell'allevamento di moltissime specie a causa del costo relativamente contenuto in rapporto ai benefici ottenuti (*vedi capitolo 8*). In ogni caso, nella scelta del tipo di attrezzature e delle modalità di intervento è necessario tenere conto del fabbisogno complessivo di ossigeno, il quale dipende da numerosi fattori tra cui la temperatura dell'acqua, la specie allevata, la taglia del pesce, la sua attività motoria e il suo stato fisiopatologico. I parametri di riferimento più importanti per la stima del fabbisogno complessivo di ossigeno sono la *minima concentrazione* di ossigeno compatibile con la sopravvivenza del pesce e il *consumo relativo* di ossigeno in condizioni normali.

Il dimensionamento di un impianto di distribuzione dell'acqua deve essere calcolato in funzione del fabbisogno di ossigeno, con riferimento alla biomassa allevata e alla temperatura e al tenore di ossigeno dell'acqua in entrata.

Per analizzare le modalità di trasporto dell'ossigeno nell'acqua occorre considerarne la solubilità che è in funzione di vari fattori tra cui la temperatura, la pressione barometrica e la salinità.

Si ricorda, inoltre, che in determinate situazioni si possono venire a creare condizioni di sovrassaturazione ovvero di eccesso di gas totali nell'acqua che possono causare l'insorgere di situazioni patologiche nelle specie allevate (es. malattia della bolla gassosa); ciò può accadere, per esempio, in caso di infiltrazione di aria nelle tubazioni di aspirazione degli impianti di pompaggio oppure in caso di erroneo impiego di alcuni tipi di aeratori (es. eiettori, tubi a "U") o nell'impiego di acqua riscaldata.

2.1. RISORSE IDRICHE

Le risorse idriche di un impianto di acquacoltura devono essere valutate sia dal punto di vista qualitativo, sia dal punto di vista quantitativo.

La quantità di acqua deve essere almeno sufficiente a:

- sopperire alle perdite (es. evaporazione, infiltrazione);
- fornire il quantitativo di ossigeno necessario;
- creare le condizioni idonee per un'efficace rimozione delle deiezioni.

Ulteriori fabbisogni quantitativi devono essere disponibili per soddisfare eventuali altre utenze aziendali come quelle di uffici, di abitazioni o di un impianto di macellazione e di confezionamento.

La qualità dell'acqua negli impianti di acquacoltura deve rispondere a standard

piuttosto elevati; la temperatura, il tenore di ossigeno, la durezza e la salinità devono essere a livelli ottimali, a meno che la loro modifica non risulti possibile e comunque vantaggiosa sul piano tecnico-economico.

Gli elementi inquinanti e gli organismi indesiderati devono poter essere eliminati e il contenuto di nutrienti nell'acqua deve essere più vicino possibile a quello ottimale per la coltura allevata (Saroglia et al., 1994).

Il prelievo di acqua dal sottosuolo può rappresentare una valida soluzione, sempre che questa sia qualitativamente idonea e che il flusso ottenibile sia sufficiente alle esigenze di funzionamento dell'impianto per tutta la durata del ciclo produttivo; uno dei vantaggi dell'impiego di acque sotterranee è rappresentato dalla limitata variabilità nel tempo delle caratteristiche qualitative (es. pH, temperatura). Il principale svantaggio consiste nella scarsa ossigenazione dell'acqua; ciò richiede l'adozione di adeguati sistemi di aerazione per ottenere una concentrazione di ossigeno nell'acqua idonea alle esigenze di allevamento.

Tra le diverse risorse idriche, le *sorgenti superficiali* presentano il vantaggio di comportare limitate esigenze di pompaggio.

I *pozzi* possono rappresentare una valida soluzione; tuttavia la loro progettazione e, in particolare, la scelta dell'ubicazione, del diametro e dell'impianto di pompaggio devono essere effettuate attentamente considerando:

- le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo;
- la profondità delle falde acquifere e le relative oscillazioni durante l'anno;
- lo spessore delle falde acquifere.

Le *acque civili di acquedotto* presentano il difetto di contenere additivi (es. cloro) e come tali necessitano di trattamenti per essere rese idonee all'impiego in acquacoltura.

Le *acque superficiali* presentano un'elevata variabilità nel tempo dei parametri qualitativi rispetto alle acque provenienti dal sottosuolo; normalmente, le prime hanno il vantaggio di presentare un tenore più elevato in ossigeno ma anche lo svantaggio di essere più soggette ai fenomeni d'inquinamento.

L'impiego di *acque salmastre e marine* comporta problemi di rapida corrosione dei materiali e d'intasamento della rete di distribuzione, che richiedono l'adozione di adeguate soluzioni tecniche e impiantistiche. Innanzitutto si rende indispensabile l'impiego di materiali costruttivi altamente resistenti alla corrosione per strutture, vasche, condotte, attrezzature e impianti; inoltre, per limitare il deposito di fouling è possibile fare ricorso a diverse soluzioni quali il trattamento dell'acqua con raggi ultravioletti oppure il suo riscaldamento o l'adozione di elevate velocità di circolazione. Per la pulizia periodica delle tubazioni si può ricorrere all'impiego di additivi chimici oppure ad appositi sistemi meccanici (spazzole interne) che comportano, però, l'esigenza di scaricare separatamente le acque di lavaggio per non influire negativamente sulla

qualità dell'acqua destinata agli organismi allevati; a tale scopo la soluzione migliore consiste nello sdoppiamento delle linee che permette lo svuotamento alternato delle tubazioni con elevata frequenza e la loro efficace pulizia con i mezzi più idonei.

Le modalità di prelievo delle acque marine variano a seconda del tipo di costa e della profondità. In presenza di litorali sabbiosi, le condutture devono essere collocate entro trincee opportunamente scavate fino a profondità non inferiori a 4-6 m. La captazione può avvenire per mezzo di pompe sommerse oppure mediante una stazione di pompaggio posta a terra o all'interno di un manufatto emergente (es. in camera asciutta). Il terminale a mare deve essere provvisto di filtri per prevenire l'ingresso di materiale sabbioso.

Il problema dei materiali in sospensione può essere risolto anche ricorrendo a pozzi scavati direttamente nell'arenile, in modo tale che la massa sabbiosa circostante funga da filtro meccanico.

Un altro metodo di derivazione prevede, invece, la realizzazione di canalizzazioni fino al mare o alla laguna da cui le acque possono essere prelevate a quote diverse per mezzo di pompe o sifoni.

In presenza di coste rocciose, l'approvvigionamento idrico avviene, normalmente, mediante condotte che raggiungono profondità di 10-30 m; alle profondità maggiori si ottiene una maggiore uniformità della temperatura dell'acqua nell'arco dell'anno con valori che, nei mesi invernali, arrivano a superare di diversi gradi le temperature superficiali o quelle riscontrabili sui litorali sabbiosi poco profondi. Le acque provenienti da coste rocciose non sono soggette a intorbidamento; tuttavia, in caso di mareggiate, le condutture possono essere intasate da masse algali trascinate dalle correnti.

Le tubazioni devono essere realizzate necessariamente con materiali atossici e resistenti alla corrosione (acciaio inox, calcestruzzo, polietilene, PVC, ecc.) e devono presentare superfici interne il più possibile lisce per evitare l'insediamento ostruttivo di organismi sessili. Anche se le parti ispezionabili possono essere protette con vernici antivegetative, peraltro quasi mai atossiche nei confronti dei pesci, è indispensabile procedere periodicamente alla radicale pulizia delle condotte con sistemi meccanici (es. spazzole metalliche) o chimici (es. clorazione).

2.2. TRASPORTO DELLE ACQUE

Il trasporto delle acque avviene, di norma, per mezzo di canalizzazioni, condotte e tubi di vario tipo, per la cui progettazione numerosi tecnici e studiosi hanno messo a punto diversi sistemi di calcolo, formulati in epoche diverse,

soprattutto a partire dal 18° secolo. L'attendibilità dei risultati, varia comunque in base a diversi fattori tra cui, principalmente, le caratteristiche fisiche del fluido, il tipo di moto ipotizzato, le condizioni di esercizio, e il materiale costruttivo utilizzato (calcestruzzo, acciaio, PVC, polietilene, ecc.); infatti, molte formule, essendo state calcolate su base empirica attraverso l'elaborazione di dati sperimentali riferiti a condizioni di esercizio specifiche, forniscono valori attendibili soltanto per determinate applicazioni. Non volendo approfondire nel presente testo la trattazione di questa complessa materia si rimanda il lettore ai testi e ai manuali di ingegneria idraulica; a tale riguardo molte ditte costruttrici di tubi in polietilene e in PVC sono solite fornire ai progettisti le norme, gli strumenti e le istruzioni tecniche necessarie per il dimensionamento corretto e l'adeguata messa in opera delle condotte. I canali a cielo aperto possono essere considerati come delle condotte entro cui il liquido scorre, sottoposto alla sola pressione atmosferica e alla forza di gravità.

La costruzione di un canale può richiedere movimenti di terra, la formazione di rilievi, di manufatti e di opere di protezione, analogamente a quanto avviene nella cantieristica stradale.

Tenuto conto che il tracciato e le pendenze di un canale devono essere il più possibile uniformi, può rendersi necessaria la realizzazione di trincee e rilevati, di gallerie e di botti sifone per l'attraversamento di strade o di rilevati e di ponti-canale per superare gli avvallamenti. Per le opere di derivazione o di immissione, necessarie per il collegamento di un canale ad un bacino o a un corso d'acqua, sono necessarie strutture atte a consentire la regolazione della portata e a trattenere eventuali sostanze in sospensione.

Generalmente per i canali a cielo aperto in terra o in roccia compatta si adottano sezioni a profilo trapezio simmetrico, risultando questo il più economico dal punto di vista costruttivo in quanto consente l'impiego ottimale del terreno scavato per la formazione degli argini.

Nei canali a sezione trapezia, la scarpa delle sponde, ovvero il rapporto tra la proiezione orizzontale e la proiezione verticale del paramento interno varia secondo la natura del terreno; in genere si consiglia un rapporto di 1,5-2 per canali in terreno sciolto, di 1 per canali con paramenti interni rivestiti e di 0,1-0,05 per canali in roccia compatta.

Per evitare fenomeni erosivi a danno delle sponde e del fondo, i canali in terra possono essere rivestiti in vario modo mediante palizzate o scogliere. Per evitare le perdite di acqua per infiltrazione e per ridurre la scabrosità delle superfici interne, si possono adottare anche rivestimenti in argilla battuta, in muratura o in calcestruzzo.

Nella progettazione di un canale occorre considerare, innanzitutto, le esigenze di portata da soddisfare. In Europa per il calcolo delle portate dei canali a cielo

aperto è ancora largamente utilizzata la seguente formula che unisce l'equazione di continuità alla formula di Chézy:

$$Q = A \times X \times (R \times I)^{1/2}$$

Q = portata (m³/s);

A = area della sezione piena del canale (m²);

X = coefficiente di resistenza, calcolato in funzione della scabrezza delle pareti;

R = raggio medio o raggio idraulico (R = A/C);

C = contorno bagnato della sezione piena del canale (m).

I = pendenza o rapporto tra il dislivello esistente tra due punti e la loro distanza orizzontale misurata a livello del fondo o del pelo libero (m/m).

Il valore di “X” dipende dal raggio medio R e dalla scabrezza delle pareti e del fondo del canale.

Tra le diverse formule proposte per il calcolo di X, quelle più impiegate sono:

● la formula di Kutter
$$X = 100 \times \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{R} + m}$$

● la formula di Bazin
$$X = 87 \times \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{R} + \gamma}$$

I valori dei coefficienti di scabrezza “m” e “γ” variano in base alla natura delle pareti, alle condizioni di manutenzione del canale e alla concentrazione di solidi nell'acqua e sono stimabili empiricamente mediante apposite tabelle.

Un'altra formula, ampiamente diffusa nei paesi anglosassoni, per il calcolo delle portate dei canali a cielo aperto è la seguente che utilizza l'equazione di Manning per il calcolo della velocità di flusso:

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Q = portata (m³/s);

A = area della sezione piena del canale (m²);

n = coefficiente di scabrezza, stimabile mediante apposite tabelle;

I = pendenza o rapporto tra il dislivello esistente tra due punti e la loro distanza orizzontale misurata a livello del fondo o del pelo libero (m/m);

R = raggio medio o raggio idraulico ($R = A/C$);

C = contorno bagnato della sezione piena del canale (m).

Per la determinazione della velocità media occorre stabilire sempre un limite superiore per limitare l'erosione del fondo e delle pareti del canale e un limite inferiore per evitare che eventuali solidi sospesi possano sedimentare causando problemi di ostruzione o, comunque, di riduzione della sezione utile.

Il limite superiore della velocità dipende dalla natura dei materiali di cui sono costituite le pareti; per la sua stima possono essere utilizzati i seguenti valori di riferimento (*Fois, 1991*):

- 0,4-0,6 m/s per terreni argillosi di media compattezza;
- 0,8-1 m/s per terreni argillosi molto compatti e per ghiaia minuta;
- 1-1,25 m/s per ghiaia media e grossa;
- 2-2,5 m/s per pareti in muratura intonacata o in roccia.

Il limite inferiore di velocità varia da 0,2 m/s per eventuali acque fangose, ricche di argille o limo, fino a 0,5-0,6 per acque sabbiose.

Dopo avere calcolato l'area della sezione del canale, occorre ricercarne la forma cui corrisponde la minima resistenza, ovvero il minimo contorno bagnato; ciò permette di ottenere la massima portata per unità di superficie della sezione del canale, ovvero la massima velocità media.

Questa, a parità di pendenza, aumenta all'aumentare del raggio medio R . Si tratta, quindi, di trovare per una data sezione A , la forma a cui corrisponde il massimo raggio medio R ovvero, a parità di area della sezione, il minimo contorno bagnato C .

Per sezioni di forma rettangolare la condizione di minimo contorno bagnato si verifica quando la base del fondo del canale è pari al doppio dell'altezza ($b = 2 \times h$) mentre per le sezioni di forma trapezia la condizione di minimo contorno bagnato si ottiene quando è soddisfatta la seguente equazione (*Figura 3 pagina seguente*):

$$b = 2 \times h \times \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

in cui β è l'angolo acuto della sezione del canale formato dall'intersezione tra il paramento interno e il piano orizzontale. Ciò evidenzia che le condizioni di minima resistenza o di minimo attrito si verificano adottando profondità elevate; in pratica, tali orientamenti sono da considerare utili per la realizzazione di canali di piccole o modeste dimensioni, ma non per quelli di media o grande portata, per i quali le profondità elevate comporterebbero costi di costruzione maggiori, difficilmente giustificabili.

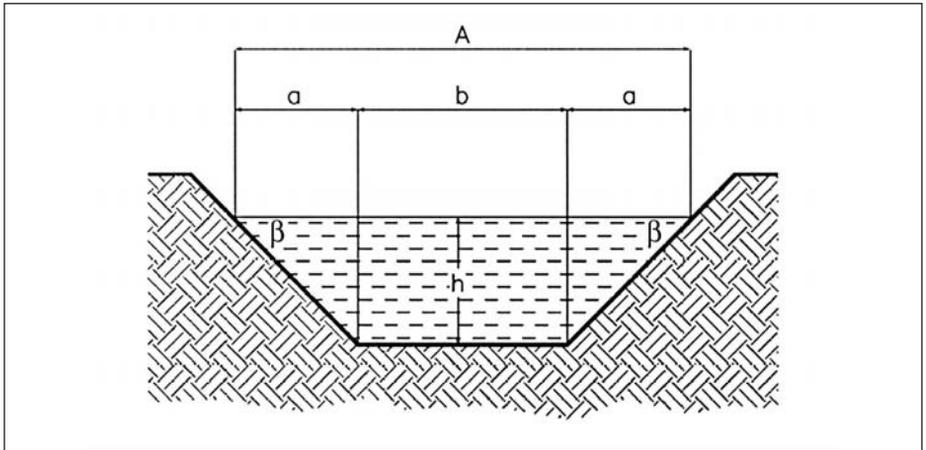


Figura 3 – Sezione trapezia di un canale a cielo aperto;
in evidenza le caratteristiche geometriche.

Per la scelta dei coefficienti di scabrezza in fase di progettazione si consiglia di adottare sempre i valori che abbiano la maggiore probabilità di rispecchiare le condizioni di scabrezza ordinarie o finali, in base alla prevedibile durata di esercizio del canale.

2.3. POMPE

Dal punto di vista fisico, le pompe possono essere definite come dispositivi meccanici finalizzati all'applicazione di energia ai fluidi; infatti, il moto dell'acqua avviene, come per tutti i fluidi, in funzione di un gradiente energetico. Negli impianti di acquacoltura vi è spesso l'esigenza di muovere acqua in opposizione a un gradiente energetico esistente; una delle esigenze più frequenti consiste, appunto, nel trasporto di acqua da quote più basse a quote più alte, in opposizione al gradiente gravitazionale. Le pompe possono essere utilizzate anche per aumentare la pressione di un sistema idraulico allo scopo di trasmettere energia meccanica (es. a un albero di trasmissione, a un cilindro idraulico). Il progresso tecnologico del settore meccanico ha comportato la realizzazione di una vasta gamma di dispositivi di pompaggio classificabili in base a:

- il principio di funzionamento;
- le prestazioni (es. portata, prevalenza);
- le caratteristiche costruttive (es. resistenza dei materiali alla corrosione);
- l'applicabilità ai diversi sistemi idraulici.

Nella progettazione di un impianto di acquacoltura la scelta di una adeguata

soluzione di pompaggio assume grande importanza poiché i relativi costi d'installazione e di gestione possono incidere in modo rilevante sul bilancio economico dell'allevamento. Scelte sbagliate possono incidere sui costi di pompaggio raddoppiandoli o triplicandoli, e possono comportare maggiori rischi di guasti nei momenti più critici del ciclo produttivo.

2.3.1. I principi di funzionamento

Per maggiore chiarezza nella esposizione degli argomenti trattati, si ricordano di seguito alcune definizioni di idraulica applicata. Per *superficie libera* si intende il piano superficiale di una massa fluida sottoposta esclusivamente alla pressione atmosferica. La *pressione netta positiva in aspirazione* P_{NPA} (Net Positive Suction Head, NPSH) è la pressione cui è sottoposto il liquido nel punto di aspirazione della pompa; può assumere valore positivo o negativo a seconda che il punto di aspirazione della pompa sia, rispettivamente, al di sotto o al di sopra della superficie libera del fluido da pompare, sempre che questo sia sottoposto alla sola pressione atmosferica.

$$P_{NPA} = h_b - h_v - h_a \pm h_h$$

h_b = pressione atmosferica o barometrica (Pa);

h_v = pressione di vapore del liquido, in relazione alla propria temperatura (Pa);

h_a = perdite dovute all'attrito e alla viscosità del liquido attraverso la condotta di aspirazione (Pa);

h_h = prevalenza geodetica nel punto di aspirazione (Pa).

La *pressione totale o manometrica* di una pompa è la pressione totale che la pompa deve vincere con riferimento a una portata specifica.

$$H_T = \gamma \times h + P_2 + V_2^2/2 \cdot g + h_a \pm P_{NPA}$$

H_T = pressione totale o manometrica;

γ = peso volumico del liquido;

h = dislivello tra l'asse centrale della pompa e il punto più alto del sistema idraulico;

P_2 = pressione statica nel punto più alto del sistema idraulico;

$V_2^2/2 \cdot g$ = pressione cinetica o carico dinamico nel punto di mandata;

h_a = perdite di carico per attrito nel sistema idraulico;

P_{NPA} = pressione netta positiva in aspirazione.

In ogni sistema idraulico la prevalenza totale varia al variare della portata poiché con questa variano anche il carico dinamico, le perdite di carico per attrito e la prevalenza netta positiva in aspirazione.

Per esprimere la prevalenza totale nei sistemi idraulici, il Sistema Internazionale prevede l'utilizzo del pascal (Pa), unità di misura derivata, pari a 1 N/m^2 , e del bar come multiplo del pascal; in passato la prevalenza totale si esprimeva, per semplicità, in metri di colonna d'acqua gravante sulla superficie di 1 cm^2 ($10,33 \text{ mca} = 1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$).

Per il calcolo delle perdite di carico, si rimanda il lettore ai testi e ai manuali di ingegneria idraulica oltre che alle documentazioni tecniche offerte dai produttori di materiali, attrezzature e impianti idraulici.

In ogni caso si ricorda che nelle condotte per il trasporto di acqua le perdite, a parità di portata, variano con il cubo del diametro delle condotte stesse; tanto più grande è il diametro di queste e tanto minore è la perdita di carico.

La *potenza idraulica* P_I o potenza in mandata della pompa, può essere calcolata mediante la seguente formula:

$$P_I = \gamma \times Q \times H_T$$

P_I = potenza idraulica (W);

γ = peso volumico del liquido (N/m^3);

Q = portata (m^3/s);

H_T = prevalenza totale o manometrica (m);

Il *rendimento* (η) o efficienza di una pompa viene calcolato mediante la seguente equazione:

$$\eta = P_I / P_T$$

dove P_T è la *potenza totale o potenza applicata* alla pompa dal motore attraverso il sistema di trasmissione, espressa in watt (W).

Le relazioni esistenti tra la potenza applicata, la portata, il peso volumico del liquido, il rendimento e la prevalenza possono essere espresse matematicamente attraverso la seguente formula:

$$P_T = \frac{\gamma \times Q \times H_T}{\eta}$$

Esprimendo la prevalenza H_T in termini di pressione $p_t = H_T \times \gamma$ (Pa), la precedente equazione si trasforma nella seguente:

$$P_T = \frac{Q \times p_t}{\eta}$$

Sul mercato esiste una vasta gamma di pompe, ciascuna delle quali è progettata per impieghi specifici o per determinate categorie d'impiego.

In base al principio di funzionamento, le pompe utilizzabili in acquacoltura rientrano nelle seguenti categorie:

- centrifughe;
- rotative;
- a moto alternato;
- ad aria.

2.3.2. Le pompe centrifughe

Le pompe centrifughe sono quelle più utilizzate in acquacoltura. Il loro principio di funzionamento consiste nell'imprimere una elevata velocità angolare a un fluido racchiuso in un recipiente; per reazione centrifuga, il liquido si addensa verso la periferia e, accumulando energia, viene spinto verso l'esterno.

Le principali componenti meccaniche di una pompa centrifuga sono le seguenti (Figura 4):

- il *distributore* è l'organo fisso che riceve il liquido dal tubo di aspirazione e lo invia alla girante;
- la *girante* è una ruota munita di alette curvilinee avente la funzione di trasferire al liquido l'energia proveniente dall'albero di trasmissione;
- il *corpo pompa* è l'involucro fisso che ha la funzione di trasformare l'energia cinetica in pressione, convogliando il liquido verso l'uscita, dalla girante al tubo di mandata.

Generalmente, il rapporto tra i diametri del tubo di aspirazione e del tubo di mandata è pari a 1/0,8.

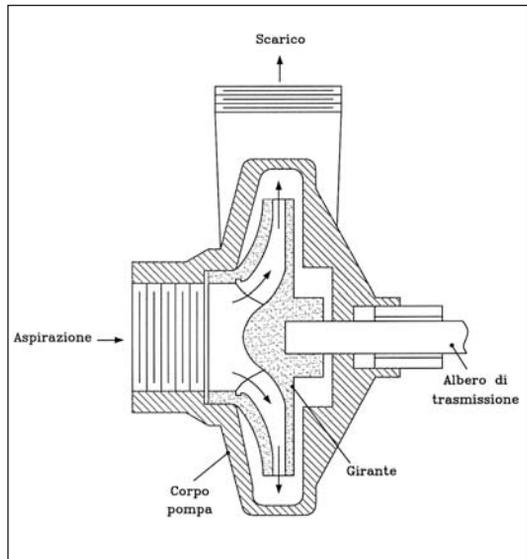


Figura 4 – Schema di pompa centrifuga; in evidenza le principali componenti meccaniche.

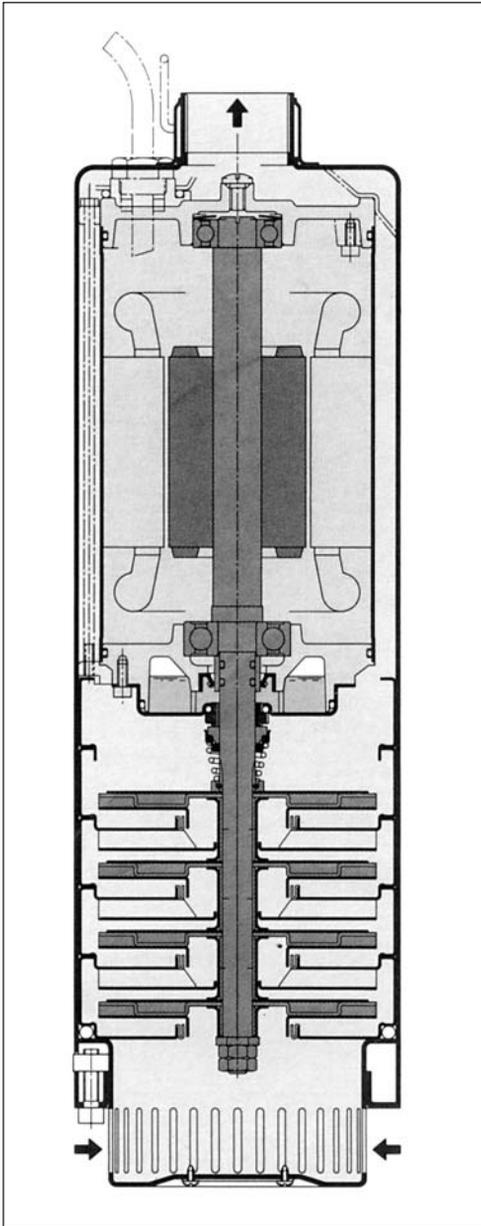


Figura 5 – Schema di pompa centrifuga multistadio per installazione sommersa; in evidenza l'aspirazione, le giranti, il motore elettrico e lo scarico. (Fonte: Calpeda).

Per funzionare, le pompe centrifughe devono essere adescate prima del loro avviamento; ciò significa che il tubo di aspirazione e il corpo pompa devono essere riempiti del liquido da pompare. Per le installazioni sommerse tale problema non si pone (Figura 5 e foto 4 pag. 51), mentre per le installazioni esterne si può ricorrere a sistemi diversi, tra cui l'adescamento manuale o automatico per mezzo di un'altra pompa più piccola di tipo autoadescante. Per aumentare la prevalenza è possibile collegare tra di loro più coppie girante-corpo pompa.

Per alte pressioni si utilizzano pompe multiple, dette anche multistadio o a turbina, costituite da un certo numero di giranti montate in serie e calettate sullo stesso albero di trasmissione (Figura 5); ogni girante riceve, attraverso appositi condotti di ritorno, il liquido scaricato dal corpo pompa della girante che la precede. Tali pompe possono raggiungere prevalenze molto elevate, dell'ordine di alcune centinaia di metri. Le pompe sommerse a turbina rappresentano la soluzione più comune per il sollevamento e il pompaggio dell'acqua dal sottosuolo. Le prestazioni delle pompe possono essere rappresentate graficamente mediante curve caratteristiche che esprimono le relazioni esistenti tra la portata e la prevalenza o altre variabili quali il rendimento, la potenza applicata e la velocità di rotazione della girante (Figura 6).

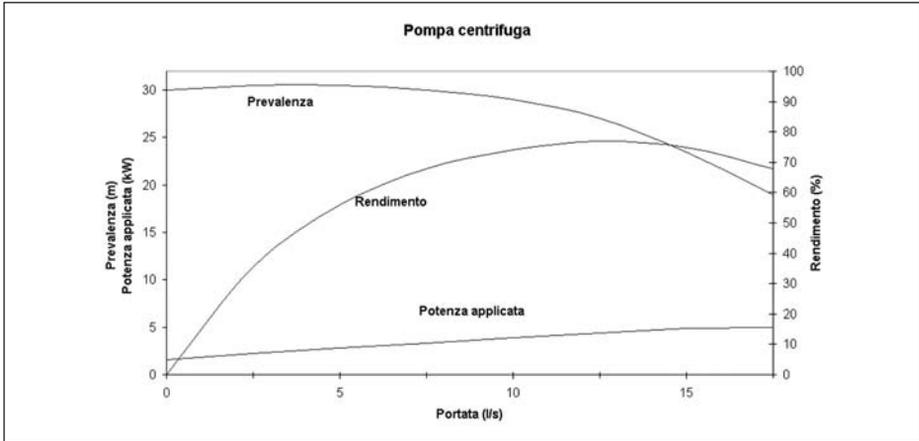


Figura 6 – Esempio di rappresentazione grafica delle prestazioni di una pompa centrifuga.

Le relazioni esistenti tra dimensioni della girante, velocità di rotazione della stessa, portata e prevalenza generate non sono lineari; alcune di esse possono essere espresse matematicamente. Per la stima delle prestazioni di una pompa centrifuga in diverse condizioni operative valgono le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} Q_1/Q_2 &= N_1/N_2 \\ h_1/h_2 &= (N_1/N_2)^2 \\ P_1/P_2 &= (N_1/N_2)^3 \end{aligned}$$

La portata della pompa è direttamente proporzionale alla velocità del flusso di scarico e quindi anche alla velocità di rotazione della girante; invece la prevalenza varia con il quadrato della velocità di rotazione della girante. La potenza, essendo proporzionale alla portata e alla prevalenza, varia con il cubo della velocità della girante. Diversamente per la stima delle prestazioni di pompe geometricamente simili ma di dimensioni diverse possono essere utilizzate le seguenti altre relazioni.

$$\begin{aligned} Q_1/Q_2 &= (D_1/D_2)^3 \\ h_1/h_2 &= (D_1/D_2)^2 \\ P_1/P_2 &= (D_1/D_2)^5 \end{aligned}$$

- Q = portata (l/s);
- N = velocità di rotazione (giri/min);
- h = prevalenza geodetica (m);
- D = diametro della girante (m);
- P = potenza richiesta (W).

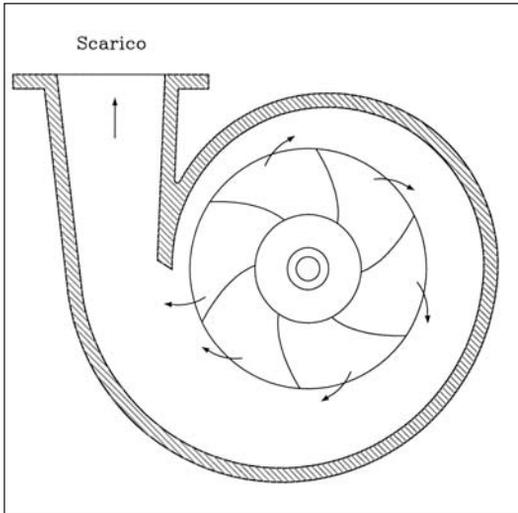


Figura 7 – Schema di pompa centrifuga a voluta.

amente diffuse per la loro semplicità e per la capacità di pompare anche liquidi con un modesto contenuto di solidi in sospensione.

Diversamente dalla precedenti, le *pompe centrifughe del tipo a diffusore* sono caratterizzate dalla presenza di un organo a palette (diffusore), solidale con il

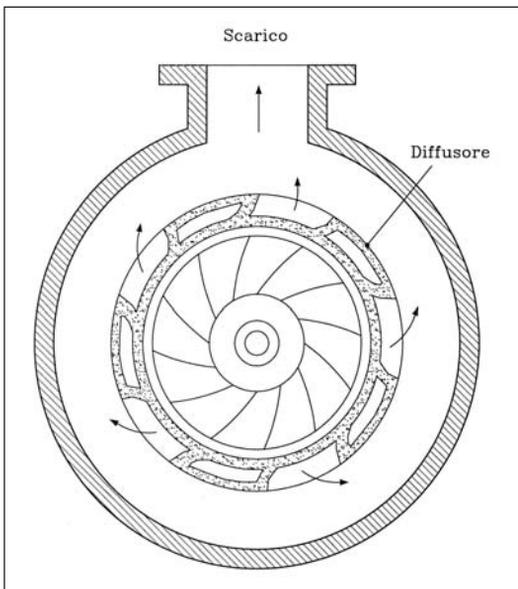


Figura 8 – Schema di pompa centrifuga a diffusore.

La potenza totale della pompa è data dal prodotto della portata per la prevalenza.

Le pompe centrifughe a bassa prevalenza forniscono prestazioni modeste, comprese tra i 4 e i 25-30 m.

Appartengono a questo categoria le *pompe centrifughe a voluta*, così chiamate per la forma del loro corpo pompa (Figura 7); lo spazio interno tra la girante e l'involucro del corpo pompa si allarga progressivamente riducendo i fenomeni di turbolenza e aumentando il rendimento idraulico. Tali pompe sono ampia-

mente diffuse per la loro semplicità e per la capacità di pompare anche liquidi con un modesto contenuto di solidi in sospensione. Diversamente dalla precedenti, le *pompe centrifughe del tipo a diffusore* sono caratterizzate dalla presenza di un organo a palette (diffusore), solidale con il corpo pompa, disposto intorno alla girante (Figura 8); esso ha la funzione di favorire la trasformazione dell'energia cinetica in pressione, riducendo i fenomeni di turbolenza e le perdite di carico e aumentando il rendimento idraulico.

Queste pompe sono impiegate per vincere prevalenze relativamente alte nel pompaggio di liquidi privi, o quasi privi, di solidi in sospensione. Il rendimento può arrivare ad assumere valori del 90%.

Nelle pompe centrifughe la forma della girante influenza largamente le prestazioni; determinanti sono, infatti, la curvatu-

ra delle alette, lo spazio esistente tra il corpo pompa e la girante e il tipo di girante.

Generalmente, le giranti possono essere classificate in:

- *giranti di tipo chiuso*, con palette interposte tra due dischi piatti (Figura 9a). Forniscono i migliori rendimenti e dovrebbero essere utilizzate in tutti i casi possibili, quando il liquido da pompare non contiene solidi sospesi. In caso contrario, la girante è sottoposta a usura con rapida riduzione del rendimento e della pressione generata;
- *giranti di tipo semichiuso*, con palette fissate su di un disco piatto (Figura 9b). Hanno caratteristiche e prestazioni intermedie tra quelle di tipo aperto e quelle di tipo chiuso;
- *giranti di tipo aperto*, con palette fissate su di un elemento piatto di dimensioni più ridotte possibile (Figura 9c). Forniscono basse prevalenze e bassi rendimenti e sono utilizzate per pompare liquidi con un elevato contenuto di solidi in sospensione.

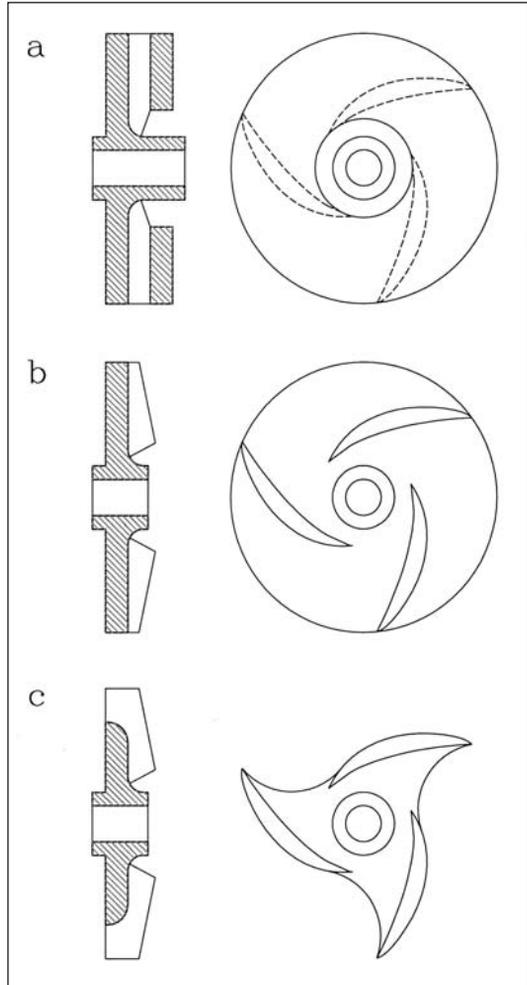


Figura 9 – Piante e sezioni di tre diverse tipologie di giranti per pompe centrifughe:
 a) girante di tipo chiuso;
 b) girante di tipo semichiuso;
 c) girante di tipo aperto.

Una proprietà caratteristica delle pompe centrifughe consiste nella possibilità di regolare la portata allargando o riducendo la sezione della condotta allo scarico (es. mediante una valvola a saracinesca); ciò determina una riduzione del rendimento della pompa senza rischi di sovraccarico del motore o del sistema di trasmissione. In alternativa, per regolare la portata e la prevalenza si può agire modificando la velocità di rotazione della girante.

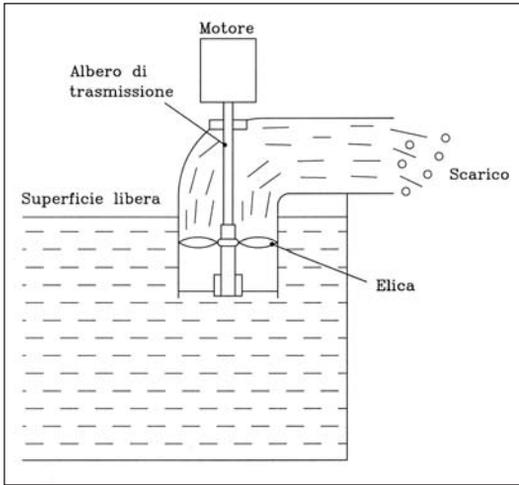


Figura 10 – Schema di pompa ad elica.

Le pompe a flusso misto utilizzano sia la forza centrifuga, sia l’azione di sollevamento tipica delle pompe a elica; l’energia è impartita al liquido sia per accelerazione radiale, sia per sollevamento meccanico in direzione assiale.

2.3.3. Le pompe rotative

Le pompe rotative sono costituite da un involucro, detto “corpo pompa”, e da elementi meccanici in rotazione che inducono il liquido a passare da un ambiente caratterizzato da bassa pressione a un altro caratterizzato da pressione elevata.

Nelle pompe a elica l’involucro è costituito da un tratto di condotta all’interno della quale è installata un’elica collegata a un motore elettrico o endotermico (Figura 10); forniscono ottimi risultati per basse prevalenze ed elevate portate (Figura 11).

Per questo tipo di pompe è sconsigliabile la regolazione della portata mediante la riduzione della sezione della condotta di scarico.

Queste pompe forniscono elevate prestazioni in termini di portata fino a valori di diverse migliaia di m³/min, ma con prevalenze molto contenute.

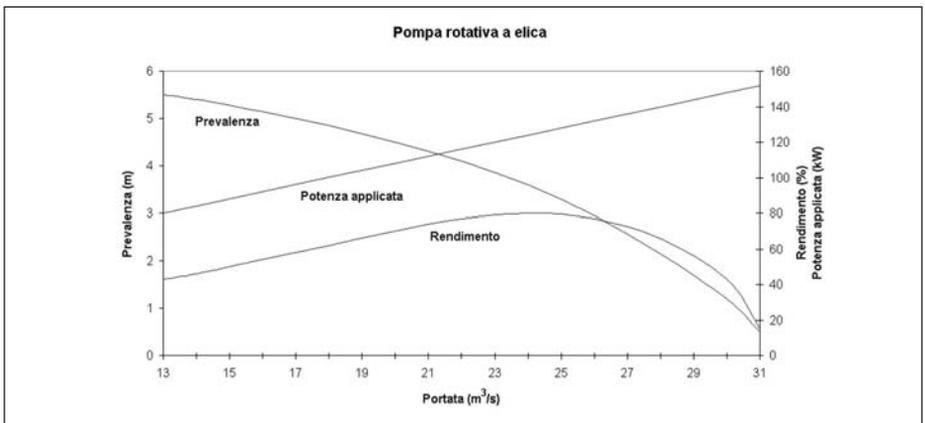


Figura 11 – Esempio di rappresentazione grafica delle prestazioni di una pompa rotativa ad elica.

Le pompe a elica singola sviluppano prevalenze di 7-8 m, mentre esistono anche pompe a eliche multiple che raggiungono prevalenze fino a 40 m. Generalmente, le pompe a elica di elevate dimensioni operano con velocità di rotazione comprese tra 100 e 300 giri/min.

Le pompe a turbina rigenerativa sono simili costruttivamente alle pompe centrifughe ma, diversamente da queste, sono provviste di uno speciale tipo di girante, costituita da tante piccole palette fissate sulle due facce di un disco piatto e sporgenti radialmente da questo (Figura 12); il trasferimento di energia avviene nella porzione più periferica del corpo pompa per mezzo delle palette che spingono il liquido verso l'esterno. Poiché il sistema non sfrutta che in minima parte il principio della forza centrifuga, queste pompe sono considerate rotative, invece che centrifughe. La curva di rendimento delle pompe a turbina rigenerativa presenta un andamento simile a quelle delle pompe centrifughe; invece la curva di prevalenza è inclinata a tutte le portate mentre per le pompe centrifughe tende a essere piatta a basse portate (Figura 13).

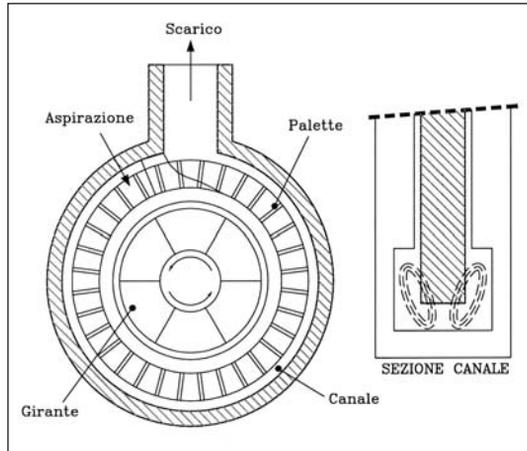


Figura 12 – Schema di pompa rotativa a turbina rigenerativa.

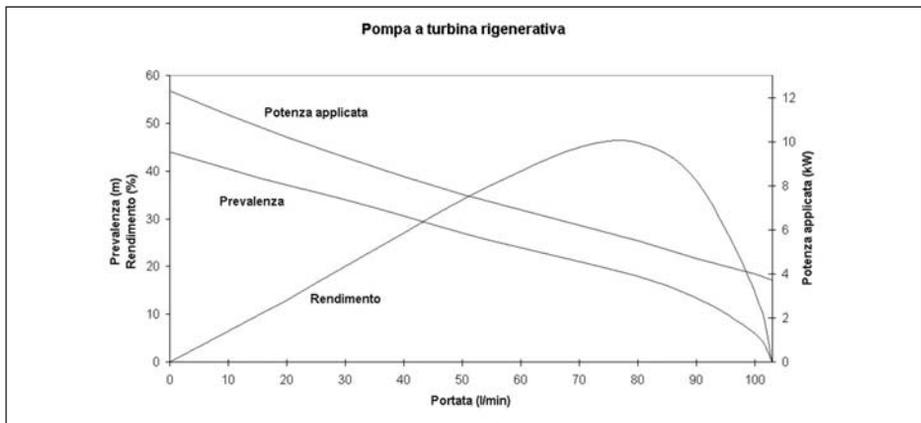


Figura 13 – Esempio di rappresentazione grafica delle prestazioni di una pompa rotativa a turbina rigenerativa.

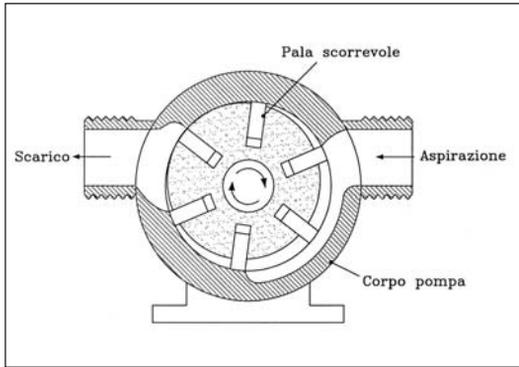


Figura 14 – Schema di pompa a pale scorrevoli.

Inoltre, al contrario delle pompe centrifughe, la potenza richiesta diminuisce all'aumentare della portata.

Le pompe a turbina rigenerativa possono essere impiegate per basse portate e prevalenze intermedie; diversamente dalle pompe centrifughe, la regolazione della portata non può avvenire riducendo la sezione della condotta di scarico.

Le pompe a pale scorrevoli possono essere impiegate sia per il pompaggio di acqua, sia per il pompaggio di olio nei sistemi di trasmissione idraulici (Figura 14).

Il rotore è montato in posizione eccentrica rispetto al corpo pompa e costituisce, insieme a questo, delle camere a volume variabile; il liquido in entrata è sottoposto, quindi, a compressione per riduzione di volume.

La portata è quasi indipendente dalla prevalenza; tuttavia, si possono verificare perdite di pressione tra il rotore e il corpo pompa la cui entità aumenta all'aumentare della prevalenza.

Le perdite di pressione influiscono negativamente sul rendimento volumetrico ($\eta = \text{volume in uscita per ciclo} / \text{volume in entrata per ciclo}$).

Le pompe a pale scorrevoli presentano, però, alcuni vantaggi:

- sono autoadescenti;
- molti modelli funzionano nei due sensi di rotazione;
- sono leggere;
- presentano un rendimento volumetrico relativamente alto;
- permettono la regolazione della portata variando la velocità di rotazione e, in alcuni modelli, variando l'eccentricità del rotore;
- alcuni modelli possono generare pressioni fino 15.000 kPa e portate dell'ordine di alcune migliaia di litri al minuto;
- possono pompare liquidi caratterizzati da elevata viscosità.

Gli svantaggi sono i seguenti:

- non possono essere utilizzate per liquidi abrasivi, contenenti solidi sospesi;
- necessitano di valvole di sicurezza per evitare danni alla pompa o al motore in caso di occlusione del tubo di mandata.

Le pompe a pale flessibili funzionano con lo stesso principio di quelle a pale scorrevoli ma, diversamente da queste, variano il volume delle camere mediante la

flessione delle pale (Figura 15); sono di piccole dimensioni, leggere e facili da smontare. I rotori sono economici e facili da sostituire. Le pompe sono autoadescenti e generano portate fino a 400-500 l/s con pressioni di circa 400 kPa.

Le pompe a vite sono costituite, essenzialmente, da una vite o più viti rotanti all'interno di un corpo pompa chiuso, in modo tale da forzare il liquido a superare, lungo la vite o le viti, un determinato gradiente di pressione; nei modelli a una vite, questa aderisce a una membrana elastica in gomma, detta "statore", fissata al corpo pompa (Figura 16), mentre nei modelli a più viti, queste sono ingranate l'una nell'altra.

La portata varia in funzione della viscosità del liquido, della geometria interna della pompa, della velocità di rotazione del rotore e della prevalenza poiché, all'aumentare di questa, tendono ad aumentare le perdite di carico interne.

Nonostante siano voluminose e pesanti, le pompe a vite presentano i seguenti vantaggi:

- generano prevalenze elevate;
- possono pompare liquidi particolarmente densi (es. fanghi);

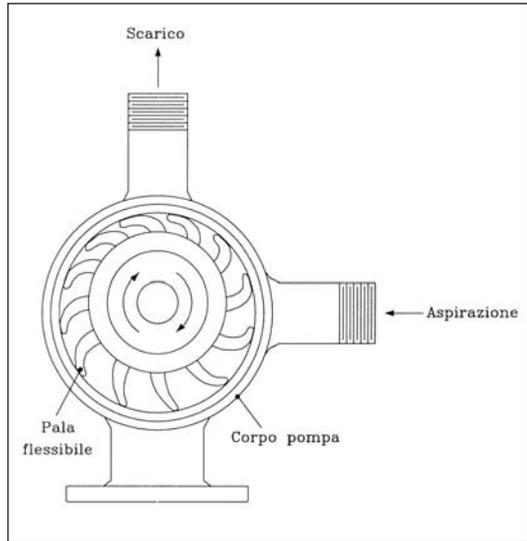


Figura 15 – Schema di pompa a pale flessibili.

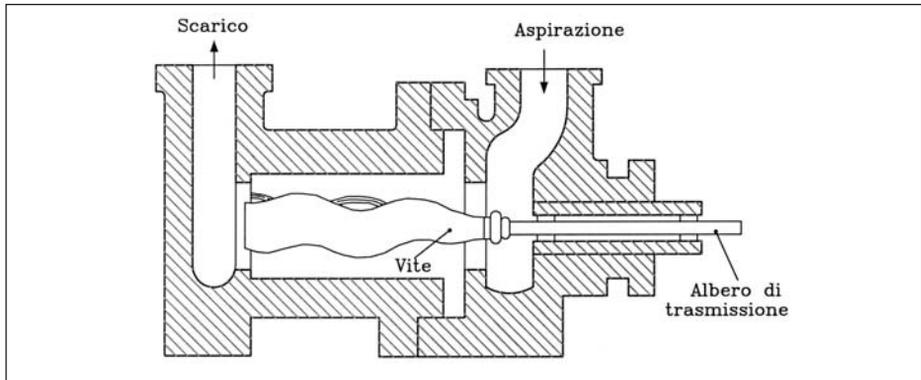


Figura 16 – Schema di pompa a vite.

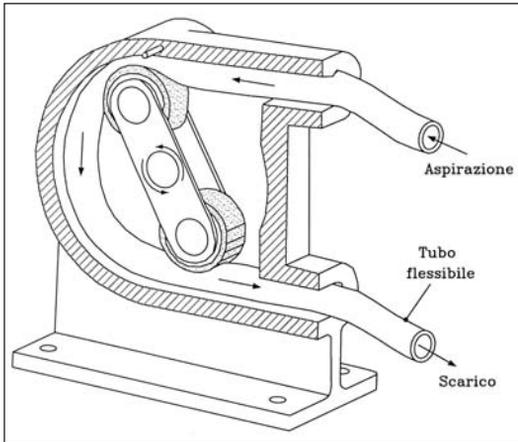


Figura 17 – Schema di pompa a tubo flessibile.

(Figura 17); essendo caratterizzate da portate piuttosto limitate, trovano un impiego limitato in acquacoltura. Tuttavia, possono essere utilizzate come pompe dosatrici per liquidi corrosivi (es. cloro) da aggiungere a elevati volumi d'acqua.

- hanno una lunga durata;
- sono autoadescanti;
- presentano uno scarico uniforme e senza pulsazioni.

Nel caso in cui il circuito di mandata possa essere soggetto a occlusioni, queste pompe devono essere provviste di una valvola di sicurezza.

Le pompe a tubo flessibile, dette anche pompe peristaltiche, consistono in un elemento rotante che schiaccia un tubo flessibile entro cui scorre il liquido

2.3.4. Le pompe a moto alternato

Le pompe a pistone sono costituite dalle seguenti componenti (Figura 18):

- una camera cilindrica;
- un pistone montato a tenuta che scorre in modo alternato dentro il cilindro;
- due valvole che inducono il liquido a entrare e a uscire.

Quando il pistone inizia ad abbassarsi, la valvola inferiore si chiude; continuando ad abbassarsi, il pistone aumenta la pressione del liquido, determinando l'apertura della valvola superiore che permette al liquido di fluire dalla parte sottostante a quella sovrastante. Quando il pistone si alza, la valvola superiore si chiude e il liquido viene sollevato e scaricato. Tutte le pompe a pistone funzionano in questo modo; alcuni modelli scaricano soltanto durante una delle due fasi, mentre altri scari-

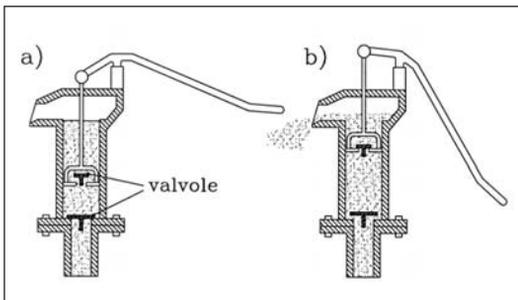


Figura 18 – Schema di pompa a pistone:
a) corsa di discesa; b) corsa in salita.

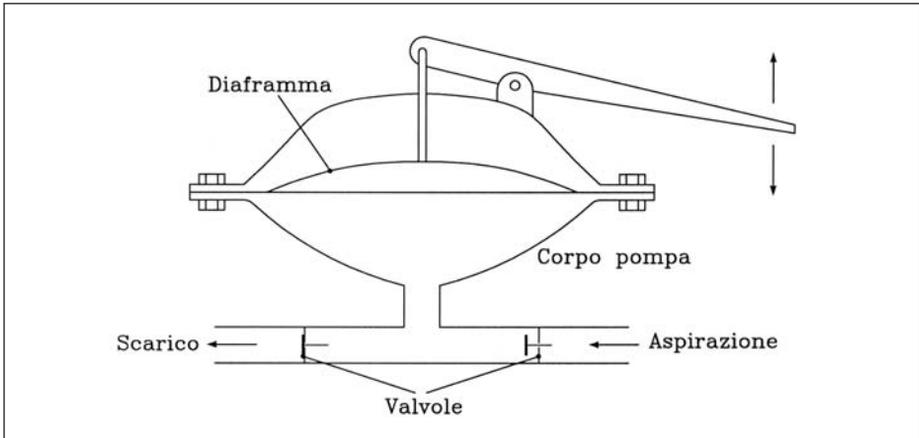


Figura 19 – Schema di pompa diaframma.

cano durante entrambe le fasi per mezzo di un sistema di valvole più complesso. Esistono anche modelli a due o più pistoni con portate fino a diverse migliaia di litri al minuto.

Le pompe a pistone sono autoadescanti fintanto che le guarnizioni del pistone permangono in buone condizioni; quelle di tipo più semplice hanno una capacità di sollevamento teorica di 10,3 m e una pratica di 7-8 metri, se installate in superficie.

Per altezze di sollevamento maggiori, si può installare il pistone più vicino al fondo del pozzo; tuttavia, tale sistema non si è diffuso poiché non è in grado di fornire portate elevate come quelle delle pompe centrifughe a turbina sommerse. Le pompe a pistone possono generare prevalenze elevate che, in alcuni modelli, possono arrivare a valori dell'ordine di 300.000 kPa.

Il loro principale svantaggio consiste nella intermittenza dello scarico; inoltre, richiedono sempre la predisposizione di una valvola di sicurezza sulla condotta di scarico.

Le pompe a diaframma sono costituite da (Figura 19):

- un involucro o corpo pompa;
- un diaframma;
- un meccanismo in grado di provocare l'inflessione del diaframma;
- due valvole.

Lo scarico delle pompe a diaframma è intermittente; tuttavia, tale problema può essere risolto mediante l'impiego di pompe multiple e di un serbatoio accumulatore avente la funzione di smorzare le pulsazioni.

La trasmissione del movimento può avvenire per mezzo di un albero a camme

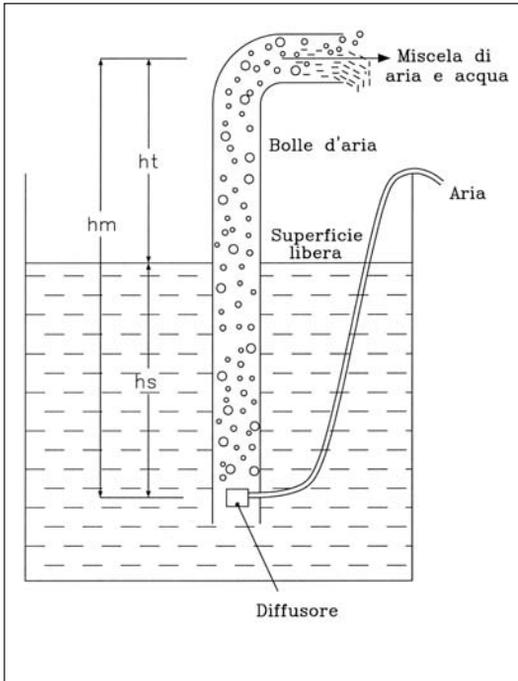


Figura 20 – Schema di pompa ad aria (airlift).

ne (sempre che tali solidi non occludano le valvole). I modelli ad azionamento pneumatico non necessitano di valvole di sicurezza in virtù della comprimibilità dell'aria; diversamente quelli azionati meccanicamente le richiedono. Le portate variano da 0,05 l/min fino a oltre 400 l/min, mentre le pressioni generate arrivano a superare i 24.000 kPa.

2.3.5. Le pompe ad aria

Le pompe ad aria, meglio conosciute con il termine “airlift”, sono dispositivi di sollevamento idrico costituiti da un tronco di tubo rettilineo, aperto alle estremità, parzialmente immerso, verticalmente, nel liquido da pompare; all'estremità inferiore del tubo è installato un diffusore poroso per mezzo del quale viene insufflata aria sotto forma di bolle di piccolo diametro (Figura 20).

La risalita di bolle d'aria all'interno del tubo provoca il sollevamento del liquido e la sua fuoriuscita dalla estremità superiore, sopraelevata rispetto alla superficie libera.

In acquacoltura le pompe ad aria sono largamente utilizzate al duplice scopo

o di un sistema pneumatico ad aria compressa.

Generalmente queste pompe sono autoadescanti.

Pompe di questo tipo, di piccole dimensioni, ad azionamento manuale sono utilizzate per l'adescamento di pompe centrifughe installate in superficie.

La portata può essere regolata variando la velocità oppure, in alcuni modelli, regolando l'estensione del movimento alternato.

Il diaframma è l'unica parte della pompa a entrare in contatto con il liquido; ciò rappresenta il principale vantaggio di questo tipo di pompa, consentendone l'impiego per acque di mare, acque salmastre e acque contenenti solidi in sospensione.

di pompare acqua e di aerarla al tempo stesso. Il funzionamento di questo tipo di pompa è dovuto alla differenza tra il peso di volume del liquido all'esterno della condotta e il peso di volume della miscela di aria e liquido all'interno della condotta.

In base ai principi di idrostatica tale funzionamento può essere espresso attraverso la seguente equazione:

$$h_m \times g_m = h_s \times g_1$$

h_m = altezza della miscela aria-acqua o dislivello tra diffusore e baricentro della sezione di scarico;

g_m = peso di volume della miscela aria-acqua;

h_s = profondità d'immersione del diffusore o dislivello tra diffusore e superficie libera;

g_1 = peso di volume dell'acqua esternamente alla condotta.

Essendo g_1 maggiore di g_m , anche h_m deve necessariamente essere maggiore di h_s affinché l'equazione sia soddisfatta.

Lo scarico avviene fintanto che il flusso di aria immessa determina una differenza tra g_1 e g_m tale che $h_m - h_s$ ecceda h_t (h_t = altezza di sollevamento o dislivello tra superficie libera e baricentro della sezione di scarico).

In condizioni di scarico $h_s \times g_1$ presenta valori superiori a $h_m \times g_m$; quindi, l'acqua esterna alla condotta, essendo più pesante della miscela aria-acqua, è indotta a entrare nella condotta e ad alimentare la pompa.

Il flusso di aria sufficiente a fare assumere a $h_m \times g_m$ un valore uguale a $h_s \times g_1$ è considerato il flusso minimo necessario al funzionamento della pompa.

La seguente formula fornisce valori attendibili per diametri della condotta compresi tra 25 e 100 mm, per lunghezze da 4 a 42 m e per rapporti di immersione h_s/h_m da 0,4 a 0,8 (*Todoroki et al., 1973*).

$$Q_{am} = \frac{0,35 \times (1 - M_s) \times A \times \sqrt{g \times d}}{1,2 \times M_s - 0,2}$$

Q_{am} = flusso minimo di aria (cm³/s);

M_s = rapporto d'immersione h_s/h_m (m/m);

A = area della sezione della condotta (cm²);

g = accelerazione di gravità (cm/s²);

d = diametro della condotta (cm).

Di norma raddoppiando il diametro della condotta è possibile aumentare la portata di 5,6 volte. Il diametro delle bolle influisce sul funzionamento della pompa; più le bolle sono fini e minore è l'effetto di rapido slittamento delle stesse verso l'alto. Poiché questo effetto di slittamento costituisce la maggior perdita di energia, i migliori rendimenti delle pompe ad aria sono ottenuti riducendo al minimo il diametro delle bolle che però, in pratica, non può essere ridotto oltre certi limiti (es. fino a 3-4 mm). Inoltre, per ottenere un flusso continuo di bolle, l'aria non dovrebbe eccedere il 10% del volume interno alla condotta poiché, per percentuali superiori, le bolle, risalendo, tendono a riunirsi tra di loro comportando una riduzione del rendimento della pompa.

D'altra parte il rapporto volumetrico aria/acqua del 10% produce una prevalenza massima, ovvero un'altezza di sollevamento, pari a circa $0,1 h_s$ che dal punto di vista pratico rappresenta un grosso limite per le pompe ad aria.

Quindi, per ridurre il rapporto d'immersione delle pompe ad aria, il rapporto aria/acqua viene mantenuto, generalmente, su valori superiori al 10%, ammettendo un peggioramento del rendimento rispetto a quello massimo ottenibile.

Il rendimento complessivo di una pompa ad aria è influenzato, oltre che dal rendimento idraulico (dipendente da diversi fattori tra cui, principalmente, la portata, il diametro del tubo, il rapporto aria/acqua e il rapporto d'immersione), dai rendimenti del compressore e del sistema di distribuzione dell'aria.

Chiari sintomi di scarso rendimento di una pompa ad aria sono rappresentati dalla presenza di turbolenze e di gorgoglio sonoro allo scarico che evidenziano la fuoriuscita di bolle di grosso diametro; in tal caso è possibile migliorare il rendimento riducendo il flusso d'aria fino a quando il flusso non risulti omogeneo. In molti casi, le pompe ad aria sono preferibili alle pompe meccaniche, rispetto alle quali, offrono i seguenti vantaggi:

- minor costo d'impianto iniziale;
- minori esigenze di manutenzione (le pompe non dispongono di organi in movimento);
- facile installazione;
- facile trasferibilità;
- non sono soggette a intasamento;
- occupano poco spazio;
- sono di semplice progettazione e realizzazione;
- presentano elevata efficienza per basse prevalenze ed elevati rapporti d'immersione;
- facile regolazione della portata;
- versatilità elevata di applicazione.

In pratica, il rendimento della pompa ad aria eccede raramente il 60%; tuttavia, l'impiego di queste pompe è ampiamente diffuso soprattutto per il pompaggio

di liquidi che necessitano di aerazione e per liquidi corrosivi o contenenti elevate concentrazioni di solidi sospesi.

2.3.6. Criteri di scelta di un impianto di pompaggio

Nella scelta di un impianto di pompaggio è necessario tenere in considerazione i seguenti aspetti:

- le caratteristiche di funzionamento dei diversi tipi di pompe disponibili;
- le caratteristiche specifiche del sistema idraulico che l'impianto deve soddisfare (es. portate, prevalenze);
- le caratteristiche del liquido da pompare.

Generalmente, l'obiettivo principale è rappresentato dalla riduzione al minimo dei costi di pompaggio attraverso la scelta di modelli di pompe e di relative installazioni che siano in grado di operare ai massimi livelli di rendimento. Inoltre, devono essere valutati attentamente i costi fissi di acquisto e d'installazione, le spese di manutenzione e i costi energetici (es. energia elettrica, gasolio, gpl). Conoscendo a priori le portate e le prevalenze di esercizio, è possibile calcolare la potenza idraulica massima della pompa; rapportando questo valore al rendimento, si calcola la potenza applicata massima necessaria per l'azionamento della pompa.

In genere, gli accoppiamenti tra pompa e motore sono realizzati mediante accoppiamento diretto oppure attraverso trasmissioni a cinghia (piatta o a "V") o a ingranaggi (es. motoriduttori).

Per la scelta del tipo di motore necessario per l'azionamento di una pompa, occorre considerare:

- la potenza applicata;
- il costo di acquisto e d'installazione;
- i costi di gestione;
- la frequenza e la durata d'impiego;
- le disponibilità energetiche.

La seguente equazione può essere utilizzata per mettere a confronto dal punto di vista economico due diverse soluzioni impiantistiche:

$$C_{i1} / a_1 + h_1 \times Ch_1 = C_{i2} / a_2 + h_2 \times Ch_2$$

$C_{i1} C_{i2}$ = costi fissi iniziali di acquisto e installazione;
 $a_1 a_2$ = durate presunte in anni;
 $h_1 h_2$ = durate di utilizzo annue in ore;
 $Ch_1 Ch_2$ = costi di gestione orari.

3. GLI STAGNI

Gli stagni utilizzati in acquacoltura sono generalmente di origine artificiale. In base al tipo di approvvigionamento idrico possono essere classificati in:

- stagni alimentati da acque sorgive;
- stagni alimentati da acque meteoriche;
- stagni alimentati da acque superficiali.

Dal punto di vista costruttivo possono essere distinti in:

- stagni ottenuti per *sbarramento*;
- stagni ottenuti per *escavazione*.

I primi si realizzano attraverso la costruzione di una diga, di sbarramenti, di argini o di analoghe strutture fuori terra, atte a contenere acqua.

I secondi si ottengono mediante opere di scavo e di sbancamento con rimozione di suolo da un'area destinata a contenere acqua. Gli stagni ottenuti per sbarramento presentano numerosi vantaggi rispetto ai secondi, uno dei quali è rappresentato dai minori costi di costruzione. Generalmente gli stagni ottenuti per escavazione sono realizzati in aree relativamente pianeggianti; il loro principale svantaggio consiste nell'esigenza di dovere pompare l'acqua per effettuarne lo scarico. In realtà, non sempre gli stagni rientrano in una sola delle suddette tipologie; per la loro realizzazione alcuni possono richiedere sia opere di sbarramento, sia opere di escavazione. Normalmente, in aree pianeggianti, la soluzione costruttiva più economica prevede scavi sbancamento di modesta entità e il reimpiego del terreno di risulta per la costruzione degli argini e degli sbarramenti.

3.1. STAGNI OTTENUTI PER SBARRAMENTO

La scelta del sito influisce sul costo di costruzione dello stagno, sulla sua funzionalità e, quindi, anche sul rendimento economico dell'allevamento.

Le condizioni ottimali si verificano quando il terreno presenta una pendenza omogenea e adeguata in una o due direzioni; pendenze eccessive determinano la formazione di stagni eccessivamente profondi o di estensione limitata e richiedono movimenti di terra ingenti e onerosi. Un sito ideale è rappresentato da un ampio avvallamento, caratterizzato da superfici regolari e degradanti con pendenze limitate e uniformi.

Un'altra ubicazione idonea può consistere in un'ampia area avente un'adeguata pendenza, continua, dell'ordine del 1-5%, sulla quale gli stagni possono essere realizzati erigendo argini perimetrali; in questo caso una piccola pendenza può essere sufficiente per convogliare l'acqua da uno stagno all'altro per gravità.

Il suolo deve presentare una bassa permeabilità a meno che non si ricorra ad opere di impermeabilizzazione.

L'approvvigionamento idrico deve essere sufficiente sia qualitativamente, sia quantitativamente durante tutte le stagioni in cui si svolge il ciclo di allevamento; a tale scopo pozzi e sorgenti presentano, di norma, portate tendenzialmente costanti durante tutto l'arco dell'anno, mentre i corsi d'acqua possono essere soggetti ad ampie variazioni stagionali.

Nel caso in cui gli stagni siano alimentati da un corso d'acqua, questo non deve mai attraversarli per evitare di esporli a possibili ostruzioni o agli effetti disastrosi di eventuali piene o alluvioni; gli stagni devono essere realizzati a lato del corso d'acqua, regolando il prelievo di acqua secondo le esigenze di allevamento. Inoltre gli stagni devono essere protetti dai problemi di intasamento durante i periodi dell'anno più piovosi.

Alcuni aspetti legali da considerare per la scelta del sito possono riguardare la presenza di:

- limiti di prelievo delle acque superficiali o dal sottosuolo;
- limiti allo scarico delle acque (quantitativi e/o qualitativi);
- vincoli alla proprietà e alla vendita di pesce;
- protezioni contro la pesca di frodo e/o le intrusioni di estranei.

3.1.1. Le dimensioni e la conformazione degli stagni

Le dimensioni degli stagni possono variare ampiamente in base a numerosi fattori tra cui, principalmente:

- la specie allevata;
- la tecnica di allevamento (es. sistemi estensivi o semi-intensivi);
- il tipo di alimentazione (es. naturale o artificiale);
- la tecnica di raccolta (es. manuale o meccanizzata);

- le caratteristiche topografiche e idrografiche del sito (es. pendenze, corsi d'acqua);
- le dimensioni aziendali;
- il costo di costruzione.

In realtà, la superficie dei singoli stagni può variare entro limiti estremamente ampi; di seguito si riportano alcuni valori indicativi tratti dalla bibliografia per il dimensionamento degli stagni in funzione della specie allevata e della relativa fase di allevamento.

Per gli stagni di *riproduzione*:

- 0,01-0,1 ha in carpicoltura;
- 0,1-1 ha nell'allevamento di pescegatto.

Per gli stagni di *primo allevamento*:

- 0,25-5 ha in carpicoltura;
- 0,4-2 ha nell'allevamento di pescegatto;
- 0,1-0,5 ha in troticoltura.

Per gli stagni da *ingrasso*:

- fino a 100 ha e oltre in carpicoltura;
- fino a 1 ha in troticoltura.

Per gli stagni di *stabulazione temporanea* o di *prevendita*:

- da 0,05 a 0,15 ha.

In ogni caso, i suddetti valori sono da considerarsi puramente indicativi, essendo riferiti a una vasta gamma di condizioni e di tecniche di allevamento.

Nei sistemi intensivi gli stagni presentano dimensioni minori rispetto ai sistemi estensivi allo scopo di garantire un migliore controllo e una più agevole operatività (per riempimento, drenaggio, raccolta).

Nella progettazione di più stagni adiacenti le caratteristiche topografiche del sito vincolano, spesso, il tipo di disposizione; gli stagni, infatti, possono essere disposti in serie e, quindi, comunicanti oppure possono essere disposti in parallelo con punti di scarico e d'immissione indipendenti gli uni dagli altri.

In vallate strette con pendenze longitudinali accentuate, la disposizione degli stagni in serie risulta spesso quella più conveniente, soprattutto quando limitata è la portata del corso d'acqua che li alimenta; diversamente, in ampie vallate con limitate pendenze longitudinali è preferibile la disposizione degli stagni in parallelo a condizione che la portata dei corsi d'acqua sia sufficiente ad alimentarli.

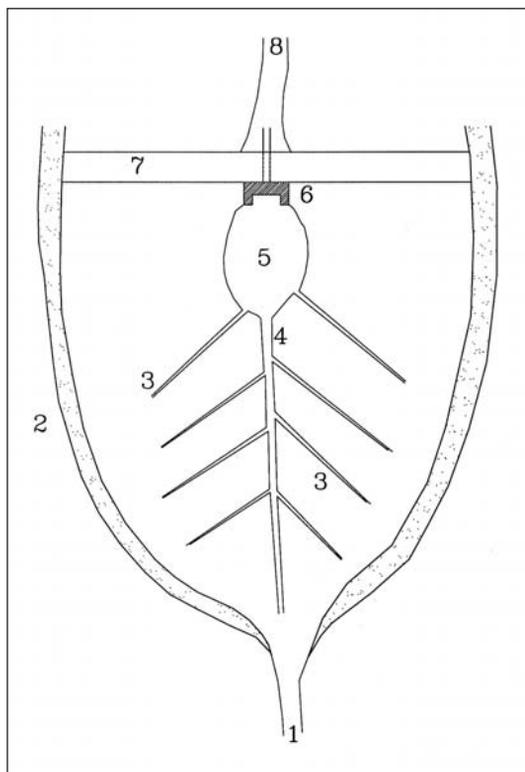


Figura 21 – Schema planimetrico di uno stagno:
 1) immissione; 2) argini; 3) fossi colatoi secondari;
 4) fosso colatoio principale; 5) bacino di cattura;
 6) sfioratore meccanico; 7) sbarramento; 8) scarico.

Per quanto riguarda la conformazione planimetrica degli stagni, la forma rettangolare è, generalmente, quella preferita per facilitare le operazioni di raccolta; a parità di superficie, la forma quadrata determina minori costi costruttivi a causa della minore incidenza degli argini, ma comporta anche problemi più frequenti di circolazione dell'acqua in corrispondenza degli angoli.

Per impianti di tipo intensivo esistono anche stagni di forma circolare di ampiezza limitata a non più di un ettaro (es. allevamento di gamberi).

La conformazione interna degli argini e del fondo deve essere adeguata alle esigenze operative della tecnica di allevamento.

Per limitare lo sviluppo delle piante acquatiche il fondo degli stagni dovrebbe essere conformato in modo tale da limitare al minimo le aree con profondità

inferiore al metro, garantendo una profondità minima lungo gli argini di almeno 0,5 m; in base a questo criterio, gli argini dovrebbe essere più ripidi possibile, compatibilmente con l'angolo di attrito del terreno. In genere, gli argini in terra presentano un'inclinazione variabile dal 50 al 30%, secondo la granulometria del terreno utilizzato; tuttavia, la pendenza può arrivare anche alla verticalità, nel caso di manufatti in calcestruzzo, in pietrame o in blocchi di laterizio, comportando, però, maggiori costi.

Il fondo dello stagno deve presentare una pendenza omogenea e continua verso il punto di scarico, preferibilmente del 0,3-0,6%; pendenze maggiori possono essere adottate qualora il fondo sia in grado di mantenersi in buono stato durante le operazioni di svuotamento e se la profondità dell'acqua non risulta eccessiva in corrispondenza dello scarico.

Nel caso di pendenze relativamente elevate è consigliabile la realizzazione di

un sistema ramificato di fossi di scolo, costituiti da un collettore centrale con pendenza minima del 0,1% e da fossi laterali con pendenza minima del 0,5%, disposti a spina di pesce a una distanza, l'uno dall'altro, variabile da 10 a 50 m secondo il tipo di suolo (*Figura 21*). I fossi laterali devono essere conformati prevedendo una larghezza del fondo di circa 0,5 m e pareti fortemente inclinate (rapporto tra proiezione verticale e proiezione orizzontale non inferiore a 1,5/1); una tale affossatura garantisce un efficiente drenaggio e un rapido svuotamento dello stagno ma può essere comunque evitata se lo stagno presenta pendenze del fondo adeguate e omogenee. Infatti, essa rappresenta un costo, dovendo essere sempre ricostituita in occasione delle periodiche operazioni di drenaggio e di lavorazione del fondo.

La profondità ottimale dello stagno varia in funzione di numerosi fattori tra cui, principalmente, la specie allevata, le condizioni climatiche e la tecnica di allevamento; in ogni caso, all'aumentare della taglia del pesce aumenta anche la profondità ottimale dello stagno.

Le profondità consigliate fanno riferimento sempre a valori medi; infatti, considerando le pendenze del fondo dello stagno, la profondità a valle nel punto di scarico è sempre maggiore di quella a monte lungo le sponde che delimitano l'area di carico.

Di seguito si riportano alcuni valori di profondità medie degli stagni, tratti dalla bibliografia internazionale:

- 0,3-1 m per gli stagni di riproduzione;
- 0,4-1,5 m per gli stagni di primo allevamento;
- 0,8-3 m per gli stagni di accrescimento e ingrasso;
- 1,2-2 m per gli stagni di stoccaggio temporaneo o di prevedita.

Negli allevamenti europei si adottano le seguenti profondità medie in funzione della specie allevata e della relativa fase di allevamento:

- in *carpicoltura* 0,3-0,7 m per stagni di riproduzione, 0,5-1 m per stagni di primo allevamento, 1-1,2 m per stagni da ingrasso (per carpe di oltre 1 anno) e 1,5-2,5 m per stagni di svernamento;
- in *troticoltura* 0,75 m per stagni di primo allevamento e 1,5 m per stagni da ingrasso (es. 1 m nell'area di carico e di 1,5-2 m nell'area di scarico).
- in *pescigatticoltura* 0,6-1,2 m per stagni di riproduzione e 1,2-1,5 m per stagni di primo allevamento e da ingrasso.

Nei climi freddi si adottano profondità tendenzialmente superiori allo scopo di limitare i rischi di morie invernali dovute alla formazione di ghiaccio in superficie e alla conseguente carenza di ossigeno.

Profondità relativamente alte per l'allevamento della trota (es. 1,5-2,5 m) garantiscono, in estate, il mantenimento di temperature sufficientemente basse negli strati inferiori dello stagno.

Gli stagni di svernamento sono impiegati in carpicoltura al duplice scopo di permettere il drenaggio e la manutenzione degli stagni da ingrasso e di proteggere il pesce dal congelamento della superficie dello stagno e dal conseguente rischio di asfissia; essi presentano superfici comprese tra 0,5 e 3 ha e profondità medie comprese tra 1,5 e 2,5 m.

Nei climi temperati possono essere adottate profondità limitate durante le fasi di accrescimento allo scopo di incrementare la temperatura dell'acqua e consentire ritmi di crescita più veloci.

Nei climi caldi gli stagni per l'allevamento del pescegatto presentano, spesso, una profondità media di circa 1,2 m, mentre quelli per l'allevamento estensivo di gamberi presentano, generalmente, profondità inferiori comprese tra 0,45 e 0,6 m. Per la raccolta del pesce a fine ciclo gli stagni sono provvisti, in genere, di un bacino di cattura posto in corrispondenza del punto di scarico.

Nella maggior parte dei casi il bacino di cattura è parte integrante dello stagno stesso, dimensionato e conformato per favorire le operazioni di assembramento e di raccolta del pesce al termine della fase o del ciclo di allevamento (*Figura 21 pag. 36*); tuttavia, in certi casi può essere realizzato anche all'esterno, a servizio di più stagni.

Quando è interno la superficie occupata dal bacino di cattura può variare dal 1 al 10% della superficie complessiva dello stagno; il fondo è posto a una quota inferiore di 0,3-0,6 m rispetto alla quota delle aree dello stagno che lo circondano.

In ogni caso, deve essere abbastanza ampio per contenere tutto il pesce da raccogliere senza che si verifichino rapide carenze di ossigeno; inoltre, deve essere sufficientemente stretto per facilitare la rapida raccolta con reti o altri mezzi.

Quando il bacino di cattura è esterno se ne raccomanda il dimensionamento e la realizzazione e in base ai seguenti criteri:

- superficie di 40 m²/ha di stagno;
- profondità di 0,6-1 m;
- larghezza di 10-25 m, atta a favorire l'utilizzo di reti;
- predisposizione di un sistema di immissione e di circolazione di acqua fresca.

3.1.2. Gli sbarramenti

Gli sbarramenti, le dighe e gli argini necessari per la costruzione degli stagni presentano, generalmente, altezze modeste che molto raramente superano i 7-8 m; tuttavia, la tecnica costruttiva di riferimento è quella utilizzata per la realizzazione di dighe per invasi artificiali le cui altezze superano, in genere, i 15 m.

Di seguito si riportano alcune definizioni degli elementi che caratterizzano le opere di sbarramento per invasi artificiali (Figura 22):

- *coronamento*, sommità dello sbarramento;
- *paramento*, falda inclinata dello sbarramento (nelle dighe si distingue un paramento di monte e uno di valle);
- *altezza dello sbarramento*, dislivello tra la quota del piano di coronamento e quella del punto più basso della superficie di fondazione;
- *livello di massimo invaso*, quota massima che può raggiungere l'acqua nell'invaso per effetto di una piena eccezionale prevista;
- *altezza di massima ritenuta*, dislivello tra la quota di massimo invaso e quella del punto più depresso dell'alveo in corrispondenza del paramento di monte;
- *sfiatore*, manufatto costituito da una soglia tracimabile oppure da una presa di fondo o di superficie seguite da un canale di scarico;
- *livello di ritenuta normale*, quota della soglia dello sfiatore;
- *franco*, dislivello tra la quota del piano di coronamento dello sbarramento e quella di massimo invaso.

Come ogni altra struttura in elevazione, anche gli sbarramenti richiedono adeguate opere di fondazione; infatti, il suolo su cui vengono realizzati deve presentare, innanzitutto, una portanza sufficiente a sostenerne il peso. Normalmente, i suoli compatti hanno caratteristiche sufficienti in relazione alle limitate dimensioni delle dighe utilizzate in acquacoltura; tuttavia, occorre prestare grande attenzione in presenza di terreni organici o paludosi.

Inizialmente deve essere rimosso lo strato di terra superficiale allo scopo di

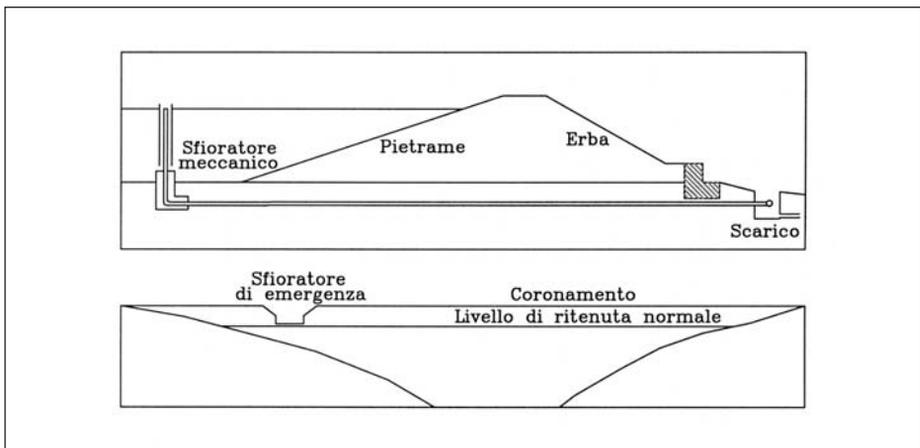


Figura 22 – Schema di sbarramento per invasi artificiali; sezione e prospettiva.

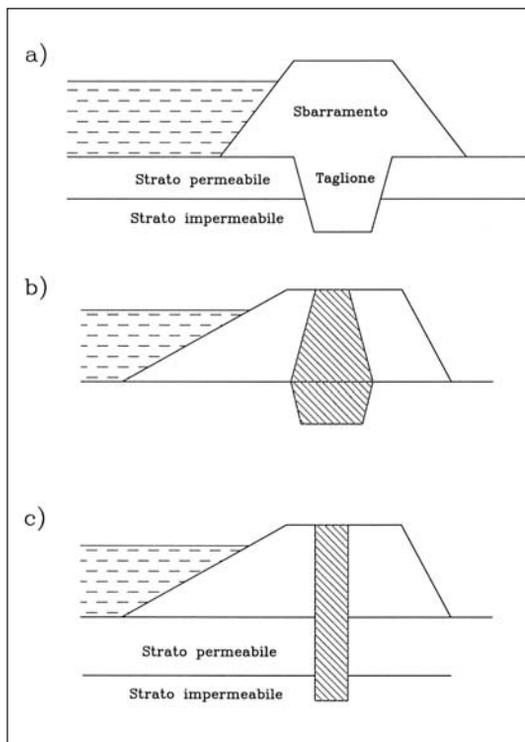


Figura 23 – Schemi di sezioni di sbarramenti realizzati con diverse soluzioni costruttive:
 a) scavo di ammorsamento e taglione;
 b) nucleo centrale in argilla;
 c) nucleo centrale in cemento armato.

basare la costruzione dello sbarramento su uno strato di terreno sottosuperficiale, sufficientemente omogeneo e compatto; pietre e radici devono essere rimosse accuratamente.

Il materiale di fondazione deve presentare una bassa permeabilità onde prevenire elevate perdite di acqua per infiltrazione.

Il terreno ideale a questo scopo presenta una tessitura argillosa-sabbiosa; in alternativa, devono essere adottati sistemi idonei per controllare dette infiltrazioni. Lo scavo di fondazione, detto “ammorsamento”, è uno dei sistemi più comunemente utilizzati quando al di sotto di uno strato superficiale permeabile sia presente uno strato sufficientemente impermeabile ad alto tenore di argilla; con l’ausilio di un escavatore si scava una trincea, detta “taglione”, lungo il futuro sbarramento in modo tale da penetrare in

profondità lo strato impermeabile (Figura 23a). Il fondo della trincea deve presentare una larghezza minima non inferiore a 1,25 m e le pareti devono avere un’inclinazione non inferiore a 45° rispetto al piano orizzontale; la trincea deve essere riempita progressivamente con strati di terreno a bassa permeabilità, dello spessore di 0,15-0,2 m ciascuno, fino al riempimento per realizzare il cosiddetto “nucleo impermeabile”.

Essendo questo solidale con lo strato impermeabile sottostante, le perdite per infiltrazione sono prevenute; si può, quindi, procedere alla realizzazione dello sbarramento sovrapponendo strati successivi di terreno adeguatamente costipati con l’ausilio di apposite macchine e attrezzi (es. pale cingolate, rulli a “zampe di montone”, rulli costipatori pneumatici).

In mancanza di terreno sufficientemente impermeabile per la realizzazione dell’intero sbarramento, si può valutare la reperibilità in aree limitrofe di mate-

riale idoneo per la costruzione del solo “nucleo centrale” (Figura 23b); questo deve presentare pareti con pendenze non inferiori al 75% e una larghezza alla sua sommità che sia tale da permettere le operazioni di compattazione con le macchine a disposizione. Il terreno più permeabile può essere impiegato, quindi, per la realizzazione dei due contronuclei di sostegno.

Altre soluzioni possibili ma più costose per la realizzazione del nucleo centrale sono rappresentate da muri in cemento armato o da barriere in altro materiale durevole e impermeabile (Figura 23c).

La larghezza del coronamento dovrebbe essere circa uguale all'altezza della diga e, comunque, mai inferiore a 1 m; nella seguente tabella sono riportati alcuni valori consigliati di larghezza del coronamento in relazione all'altezza dello sbarramento.

Tabella 1 – Larghezze minime consigliate del coronamento, di sbarramenti per invasi artificiali (U.S. Soil conservation service, 1969).

Altezza dello sbarramento (m)	Larghezza del coronamento (m)
fino a 3	2,4
da 3 a 4,5	3,0
da 4,5 a 6	3,7
da 6 a 7,5	4,3

Quando è prevista una strada carrabile lungo lo sbarramento, si raccomanda una larghezza del coronamento di 4-4,5 m e, comunque, mai inferiore a 3,7 m per motivi di sicurezza; la larghezza minima dovrebbe essere calcolata tenendo conto della larghezza del veicolo aziendale più largo più una maggiorazione minima di 1,2 m per le due banchine laterali (0,6 + 0,6 m).

La pendenza dei paramenti è stabilita in base alle caratteristiche geotecniche e all'angolo di attrito dei materiali da utilizzare, la cui conoscenza può essere acquisita mediante analisi geognostiche di laboratorio effettuate su un congruo numero di campioni di terreno, prelevati nelle zone destinate a fornire il materiale da costruzione.

Comunemente, si adottano rapporti tra le proiezioni orizzontale e verticale vicini a 3/1 (pendenza del 33%); tuttavia, in terreni particolarmente stabili tale rapporto può essere ridotto a 2,5/1 per il paramento di monte e a 2/1 per il paramento di valle.

Terreni poco compatti possono richiedere rapporti vicini a 4/1 o anche supe-

riori e che, in ogni caso, devono essere sempre più elevati per il paramento di monte.

Il *franco* equivale all'altezza aggiuntiva di sicurezza, da considerare per il calcolo dell'altezza complessiva dello sbarramento; generalmente, si adottano i seguenti dimensionamenti (*Wheaton, 1977*):

- 0,3 m per stagni di lunghezza fino a 200 m;
- 0,5 m per stagni di lunghezza compresa tra 200 e 400 m;
- 0,6 m per stagni di lunghezza compresa tra 400 e 800 m.

Per il calcolo dell'altezza complessiva dello sbarramento occorre considerare anche la *tolleranza di assestamento* che dipende dal tipo di materiale utilizzato, dalla sua umidità durante i lavori di costruzione, dal tipo di costipazione, dalla velocità di costruzione e dalle caratteristiche del terreno di fondazione.

Generalmente, per compensare il calo in altezza dello sbarramento si può considerare una tolleranza di assestamento del 5% ma, quando il materiale da costruzione o il terreno di fondazione sono di qualità scadente o sono tali le modalità costruttive, è necessario prevedere una tolleranza non inferiore al 10%; inoltre, se nella costruzione degli argini non vengono eseguite operazioni di estesa e accurata compattazione del terreno è opportuno prevedere una tolleranza di assestamento dell'ordine del 20-25% (*Frevert et al., 1962*).

Anche l'*altezza del moto ondoso* viene considerata nel calcolo dell'altezza degli sbarramenti; la sua entità è in funzione della distanza libera massima, in linea retta (D), a livello del pelo dell'acqua, tra un punto qualsiasi della riva dello stagno e un punto qualsiasi della diga.

Per il calcolo dell'altezza del moto ondoso può essere utilizzata la seguente formula:

$$h_0 = 0,014 \times \sqrt{D}$$

h_0 = altezza del moto ondoso (m);

D = distanza libera massima in linea retta, a livello del pelo dell'acqua, tra un punto qualsiasi della riva dello stagno e un punto qualsiasi della diga (m).

Per proteggere il paramento di monte dall'effetto erosivo del moto ondoso possono essere adottati diversi sistemi; uno di questi consiste in una o più file di tronchi, ancorati saldamente e sistemati nell'acqua a una distanza di circa 2 m dalla riva del paramento di monte, con lo scopo di smorzare le onde.

La soluzione più diffusa consiste nella messa in opera lungo il paramento di

monte della cosiddetta *scogliera*, costituita da pietrame oppure da blocchi o lastre di calcestruzzo; questi materiali devono appoggiare su uno strato di pietrisco e sabbia per evitare l'asportazione delle frazioni fini del terreno sottostante.

Se l'azione del moto ondoso non è troppo intensa l'inerbimento rappresenta la soluzione più economica, avendo l'accortezza di mantenere un'adeguata fertilità del terreno e di controllare l'eventuale traffico di veicoli transitanti lungo il coronamento; l'inerbimento deve interessare tutto il paramento fino a 1 m sopra e a 2 m sotto l'altezza di ritenuta normale.

Un'ulteriore tolleranza da considerare riguarda l'eventuale azione del gelo ovvero l'effetto di espansione e contrazione, causato dal congelamento dell'umidità del terreno, che ne provoca il sollevamento e la disgregazione; l'altezza della diga deve essere calcolata tenendo conto della presunta profondità di penetrazione del gelo nello sbarramento, in funzione della zona climatica in cui l'invaso deve essere realizzato.

Per il calcolo dell'altezza complessiva dello sbarramento (H) si utilizza la seguente formula (*Wheaton, 1977*):

$$H = h + h_o + h_f + h_s + h_g$$

H = altezza complessiva dello sbarramento o distanza verticale tra il piede del paramento di monte e il piano di coronamento (m);

h = altezza di ritenuta normale (m);

h_o = altezza aggiuntiva dovuta al moto ondoso (m);

h_f = franco o altezza aggiuntiva di sicurezza (m);

h_s = tolleranza di assestamento (m);

h_g = tolleranza per l'azione del gelo (m).

Se lo sbarramento è realizzato per il contenimento di masse d'acqua soggette all'azione della marea, occorre considerarne le relative fluttuazioni; i dati più importanti sono quelli relativi alla marea di sizigie (altezza massima) e agli innalzamenti dovuti a condizioni climatiche particolari (es. mareggiate, alluvioni).

In questi casi occorre fare riferimento a dati storici poiché le stime risulterebbero troppo rischiose; in tabella 2 sono riportati alcuni valori consigliati di pendenza dei paramenti di monte e di valle, di altezza di ritenuta normale e di altezza libera aggiuntiva per sbarramenti di stagni, in base al tipo di suolo da utilizzare per la costruzione o del tipo di rivestimento del paramento interno.

Tabella 2 - Valori indicativi, consigliati di pendenza dei paramenti di monte e di valle (rapporto tra proiezione orizzontale e proiezione verticale), di altezza di ritenuta normale e di altezza libera aggiuntiva per sbarramenti di stagni, in base al tipo di suolo da utilizzare per la costruzione e del tipo di rivestimento del paramento interno (Kovari, 1984, modificata).

Tipo di suolo	Pendenza paramento di monte	Pendenza paramento di valle	Altezza di ritenuta normale (m)	Larghezza del coronamento (m)	Altezza libera (m)
Sabbioso marnoso	2/1-3/1	1,5/1-2/1	0,5	0,5	0,4
Sabbioso argilloso	1,5/1	1,5/1	0,5-0,8	0,5-1	0,4-0,5
Argilloso compatto	1/1	1/1	0,8-1,2	1,5	0,5
Rivestimento interno in mattoni	1/1-1,5/1	1,5/1-2/1	1,2-2	2-2,5	0,5
Rivestimento interno in calcestruzzo	1/0,75-1/1	1,5/1-2/1	2-3	2,5-4	0,5-0,6

3.1.3. Gli scarichi

Nella progettazione degli stagni occorre prevedere due tipi di scarico:

- lo *sfiatore meccanico*, per lo scarico del normale flusso di acqua dallo stagno;
- lo *sfiatore di emergenza*, per l'allontanamento delle acque in eccesso.

La soluzione più semplice ed economica per realizzare lo *sfiatore meccanico* consiste in una soglia di tracimazione posta lungo lo sbarramento; costruttivamente, consiste in una chiusa provvista di soglia fissa o mobile. Questo tipo di sfiatore è largamente utilizzato nei laghetti di pesca sportiva.

In acquacoltura si utilizza un altro tipo di sfiatore meccanico, costituito da una condotta che attraversa lo sbarramento nel punto più basso dell'alveo dello stagno, collegata a una o più prese di scarico.

La prima tipologia, pur essendo costruttivamente più semplice, presenta il grande svantaggio di non permettere il drenaggio dello stagno.

Diversamente, la seconda tipologia può prevedere:

- uno scarico di fondo vero e proprio;

- un tubo di presa superficiale provvisto di un cilindro esterno la cui regolazione in altezza consente il prelievo di acqua a profondità diverse (*Figura 22 pag. 39*);
- un tubo verticale di presa superficiale che può essere inclinato lateralmente e immerso a profondità variabili.

Quest'ultima soluzione, pur essendo molto diffusa negli Stati Uniti, non è altrettanto funzionale come le due precedenti per allontanare completamente le acque più profonde, spesso più ricche di cataboliti e carenti in ossigeno.

Il dimensionamento dello sfioratore meccanico e del tubo di presa superficiale deve essere calcolato in relazione alle dimensioni dello stagno e alla velocità di svuotamento desiderata; generalmente, un diametro di 150-200 mm è ritenuto sufficiente per stagni di piccole dimensioni (fino a 1-2 ha), mentre diametri da 200 a 320 mm sono consigliati per stagni di ampiezza compresa tra i 6 e gli 8 ha. In tutti i casi, l'imboccatura delle prese deve essere sempre dotata di una cuffia grigliata per evitare la fuoriuscita di pesce ed eventuali problemi d'intasamento della condotta.

Una soluzione alternativa al tubo di presa superficiale è costituita dal "monaco"; questo consiste in una sorta di pozzetto a sezione quadrata, aperto su un lato, posto lungo lo sbarramento in corrispondenza del punto più basso del fondo dello stagno (*Figura 24*). Il lato rivolto verso lo stagno è aperto ma presenta, ai lati, due o tre scanalature o guide verticali per l'inserimento di saracinesche costituite da lastre metalliche o da serie di tavole di legno sovrapposte; la terza guida serve, in genere, per l'inserimento di una griglia. La regolazione in altezza delle due saracinesche permette il prelievo di acqua dalla superficie

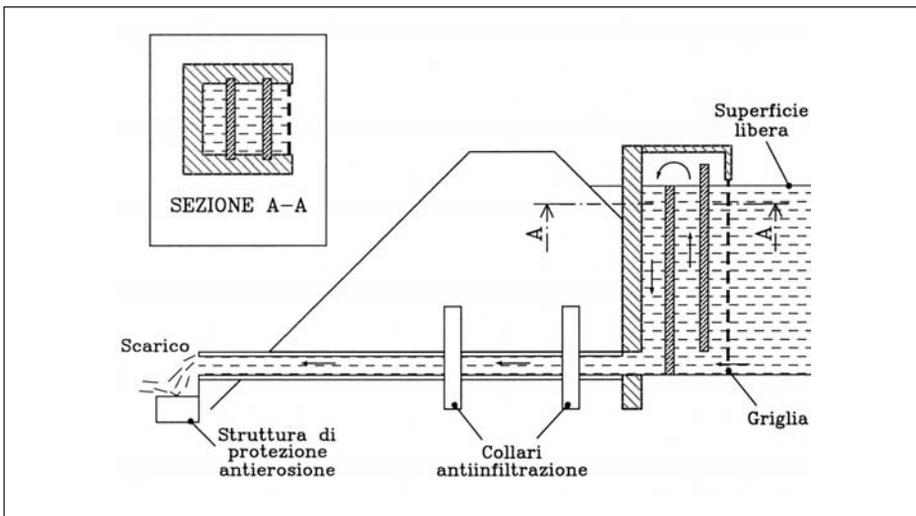


Figura 24 – Schema costruttivo di "monaco" per la realizzazione dello sfioratore meccanico.

dello stagno o dal fondo (*Figura 24*). Il monaco è collegato alla condotta che attraversa lo sbarramento; questa si innesta sul fondo del monaco nel lato opposto a quello aperto. Per il dimensionamento del monaco si consiglia una larghezza del lato aperto non superiore a 0,4 m per stagni di ampiezza fino a 5 ha. Lo sfioratore meccanico del tipo a condotta interrata deve essere posato in opera con una leggera pendenza (1%) verso lo scarico per consentire il drenaggio completo di tutte le acque e, quindi, il completo prosciugamento dello stagno. A tale scopo, prima della posa in opera della condotta è opportuno verificare che le pendenze del fondo dello stagno siano realizzate in modo tale da convogliare tutta l'acqua verso il punto di posa.

Lo sfioratore meccanico può essere realizzato con materiali diversi, quali:

- tubazioni metalliche corrugate, inglobate in terreno impermeabile, adeguatamente costipato;
- tubazioni rigide in calcestruzzo, fibrocemento o in acciaio zincato, posate in opera in uno strato di calcestruzzo di spessore pari ad almeno 1,5 volte il diametro delle tubazioni.

Ogni condotta che attraversa lo sbarramento deve essere circondata da sottili strati di terreno accuratamente costipato; se il terreno non presenta un elevato grado di impermeabilità è necessario ricorrere a collari o dischi anti-infiltrazione in calcestruzzo o in acciaio zincato (*Figura 24*). Questi vengono connessi o saldati ermeticamente intorno alla condotta; rispetto all'asse di questa, sono disposti perpendicolarmente, in modo tale da estendersi radialmente da essa. I dischi antinfiltrazione hanno la funzione di aumentare la distanza che l'acqua di infiltrazione percorrerebbe lungo la condotta; tale incremento dovrebbe essere almeno pari al 20% della lunghezza del tratto di condotta interrato nello sbarramento. In ogni caso, tutti i giunti della condotta devono essere rigorosamente sigillati; se la sigillatura è effettuata con malta, durante il tempo di presa occorre coprire e comprimere la condotta con uno strato di terreno di spessore non inferiore a 1,25 m, per evitare che i giunti possano crepare successivamente nelle fasi di riempimento e di costruzione dello sbarramento.

Lo *sfioratore di emergenza* è concepito per scaricare l'acqua in eccesso, che può accumularsi temporaneamente nello stagno per effetto di eventi climatici particolari (es. nubifragi). Uno sfioratore di emergenza può essere previsto anche in stagni dotati di monaco o di tubo di presa superficiale quando questi non sono ritenuti in grado di scaricare tutte le possibili acque in eccesso.

Il dislivello tra lo sfioratore meccanico e lo sfioratore di emergenza, moltiplicato per la superficie dell'invaso equivale al "volume di stoccaggio temporaneo" dello stagno.

Il dimensionamento dello sfioratore di emergenza può essere effettuato calco-

lando il rapporto tra il volume di stoccaggio temporaneo e l'atteso volume di acqua meteorica in eccesso in condizioni di emergenza. Se tale rapporto è inferiore o uguale a 0,3/1, lo sfioratore di emergenza deve essere dimensionato per scaricare tutto il flusso di acqua in eccesso; per rapporti compresi tra 0,3/1 e 0,7/1 lo sfioratore deve essere dimensionato per scaricare, rispettivamente, dal 86 al 40% del flusso massimo di acqua in eccesso (*Frevert et al., 1962*).

La soluzione costruttiva più diffusa consiste in un canale in terra a cielo aperto, a sezione trapezia.

Possibilmente, il percorso del canale dovrebbe girare intorno allo sbarramento senza attraversarlo; lo sbocco dello sfioratore dovrebbe essere situato a valle dello sbarramento ed essere protetto dall'erosione.

La profondità non dovrebbe essere superiore a 0,3 m e il fondo dovrebbe essere inerbito e avere una pendenza del 2% verso l'invaso; l'inerbimento dovrebbe interessare anche i paramenti la cui pendenza non dovrebbe essere inferiore al 50%. Inoltre, il grado di inerbimento dovrebbe essere controllato periodicamente provvedendo a eventuali trasemine e/o apporti di fertilizzanti; ratti, nutrie e altri animali da tana devono essere controllati e combattuti per evitare seri danni agli argini.

3.1.4. Le opere di impermeabilizzazione

Per la costruzione di stagni su terreni relativamente permeabili è necessario ricorrere a sistemi di rivestimento interno per evitare elevate perdite di acqua per infiltrazione.

Un primo sistema consiste nella rimozione della copertura vegetale, di pietre o ostacoli, nel pareggiamento del terreno e nella lavorazione di questo fino alla profondità di 0,20-0,25 m; successivamente, si procede alla distribuzione e alla costipazione di uno strato dello spessore di 0,2 m di terreno contenente non meno del 10% di argilla. Questo sistema è ritenuto adeguato per profondità dello stagno non superiori a 3 m; per profondità superiori si raccomanda di aumentare in proporzione lo spessore dello strato di terreno. In alternativa, si può ricorrere ai seguenti sistemi:

- l'impiego di terreno ad alto tenore di argilla (non meno del 20%) distribuito in un unico strato dello spessore di almeno 300 mm, più altri 50 mm ogni 0,3 m eccedenti la profondità di 3 m dello stagno;
- l'aggiunta di bentonite a un terreno di medio impasto omogeneo. Tale soluzione deve essere valutata attentamente a seconda delle caratteristiche pedologiche del terreno poiché, avendo la bentonite una elevata capacità di assorbire acqua (è in grado di aumentare da 8 a 20 volte il proprio volume), forma

uno strato compatto impermeabile che, in assenza di acqua, tende a crepare. Per tale motivo questo sistema non è adatto a stagni soggetti a frequenti prosciugamenti o ad oscillazioni di livello;

- l'aggiunta di additivi chimici in suoli ricchi di limo e argilla provoca un effetto di compattamento per distruzione degli aggregati strutturali del terreno (es. polifosfati, cloruro di sodio). L'impiego di tali sostanze deve essere valutato attentamente anche in relazione ai possibili effetti tossici sulle specie da allevare;
- il rivestimento impermeabile con teli plastomerici (es. PVC, HDPE, EPDM) che permette di ridurre a zero le perdite per infiltrazione, purché sia garantita l'integrità del telo. A tal fine è opportuno che il rivestimento sia posato su di uno strato di 150 mm di terreno livellato, a grana fine, privo di pietre o di oggetti appuntiti o taglienti. Uno strato analogo di terreno può essere previsto superiormente al telo ma, in questo caso, la pendenza dei paramenti non deve superare il 33%.

3.2. STAGNI OTTENUTI PER ESCAVAZIONE

Gli stagni ottenuti per escavazione sono realizzati asportando terreno e creando ampie depressioni mediante opere di scavo e di movimento terra particolarmente onerose. In genere, anche gli stagni di questo tipo richiedono adeguate opere di impermeabilizzazione del fondo e dei paramenti interni. Fanno eccezione gli stagni il cui fondo sia al di sotto del livello di falde freatiche o artesiane nel qual caso è preferibile un fondo sufficientemente permeabile per agevolare l'entrata dell'acqua. Il principale svantaggio di questi stagni è rappresentato dalle esigenze di pompaggio per lo scarico dell'acqua; oltre che per il drenaggio dello stagno, il pompaggio di acqua può essere necessario per l'asportazione di sedimenti organici (es. deiezioni, residui di mangime) e per mantenere la qualità dell'acqua entro limiti accettabili. In ogni caso, la concentrazione di ossigeno può essere mantenuta a livelli accettabili intervenendo con sistemi di aerazione meccanica.

In questi stagni le operazioni di raccolta del pesce a fine ciclo possono risultare difficoltose a causa delle elevate portate richieste per il pompaggio e il drenaggio dell'acqua dall'invaso.

3.3. FABBISOGNO IDRICO DEGLI STAGNI

Il fabbisogno idrico degli stagni dipende da numerosi fattori tra cui:

- la specie allevata;

- la densità di allevamento;
- il clima;
- il tipo di suolo.

Per una stima precisa si può fare riferimento alla seguente formula (Kovari, 1984):

$$Q_a = V_r + V_{rr} + L_e + L_i + L_c - V_{me}$$

Q_a = fabbisogno idrico annuo (m^3);

$V_r = A \times h$ = volume di riempimento (m^3);

A = superficie media dello stagno (m^2);

h = profondità media dello stagno (m);

$V_{rr} = N_o \times V_r$ = volumi di riempimento successivi al primo (m^3);

N_o = numero di riempimenti successivi al primo;

$L_e = A \times E$ = perdita di acqua per evaporazione (m^3);

E = evaporazione media annua (m);

$L_i = A \times T \times S$ = perdita di acqua per infiltrazione (m^3);

S = coefficiente di infiltrazione (m/d);

$L_c = A_c \times 1,2 \times E$ = perdite di trasporto in canali in terra (m^3);

A_c = superficie del canale di trasporto (m^2);

$V_{me} = A_{eff} \times P_{me}$ = apporto di acque meteoriche (m^3);

A_{eff} = superficie effettivamente esposta alla raccolta di acque meteoriche (m^2);

P_{me} = precipitazioni medie annue (m);

T = giorni operativi di utilizzo dello stagno (d).

Recentemente la stima del bilancio idrico degli impianti di stagnosticoltura è stata oggetto di studi approfonditi che hanno portato alla messa a punto e al testaggio di modelli di calcolo che tengono conto di numerose variabili climatiche e pedologiche sulla base dei dati disponibili per alcune zone geografiche.



Foto 1 - Impianto di mitilicoltura; veduta di una resta in un parco da ingrasso.



Foto 2 - Allevamento in gabbie galleggianti.



Foto 3 - Sistema di allevamento semichiuso.



*Foto 4 - Pompa centrifuga per installazione sommersa.
(Fonte: ITT Flight S.p.A).*



Foto 5 - Bacino naturale posto in località turistico-termale destinato alla pesca sportiva.



Foto 6 - Pescatori durante una competizione distribuiti lungo la sponda sulle apposite piazzole attrezzate.



Foto 7 - Strumentazione adottata per la misurazione dei parametri dell'ossigeno, della temperatura e del pH.



Foto 8 - Carpa durante la delicata operazione di slamatura.

Foto 9 - Gabbia galleggiante; particolare dell'operazione di sollevamento manuale della rete.





Foto 10 - Gabbia sommersibile in fase d'immersione. (Fonte: Technosea).



Foto 11 - Raceway disposti in serie.



Foto 12 - Aeratore superficiale a turbina. (Fonte: Milanese)

Foto 13 - Cupola galleggiante per l'aerazione dell'acqua in ambiente separato dall'atmosfera, con insufflazione di ossigeno puro o di aria arricchita di ossigeno. (Fonte: Aqua&co).





Foto 14 -
Aeratore a pale.



▲ Foto 15 - Elementi diffusori di poliuretano espanso ad alta densità.
(Fonte: ITT Flight).

◄ Foto 17 - Pompa a elica aspiratrice per installazione sommersa a profondità regolabile (Fonte: Aqua&co).

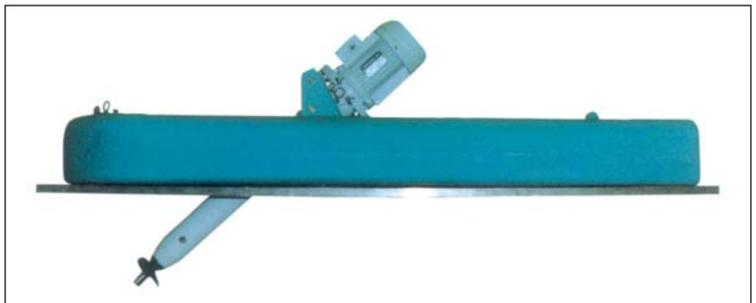


Foto 16 -
Pompa a elica aspiratrice.
(Fonte:
Bosi & Rovatti).



Foto 18 - Pompa a elica aspiratrice in funzione. (Fonte: Aqua&co).



Foto 19 - Vaglio rotativo; in evidenza il sistema di lavaggio in controcorrente.



Foto 20 - Filtri a sabbia in pressione.



Foto 21 - Operazione di calibratura in un allevamento in gabbie; in evidenza il selezionatore servito da una pompa a vite di Archimede. (Fonte: Faivre).



Foto 22 - Impianto di distribuzione del mangime funzionante ad aria compressa; veduta sulle linee di distribuzione.

Foto 24 - Alimentatore a volontà. ▶



Foto 23 - Alimentatore dotato di dispositivo distributore azionato da motore elettrico.



Foto 25 - Alimentatore a nastro.



Foto 26 - Alimentatore semovente per distribuzione meccanizzata a bordo vasca. (Fonte: Milanese).

4. I LAGHI PER LA PESCA SPORTIVA

4.1. DIFFUSIONE DELLA PESCA SPORTIVA

La pesca sportiva in acque interne in Italia è praticata da oltre 2 milioni di persone con un indotto superiore ai 37 milioni di euro, provenienti dalle sole licenze di pesca, senza considerare gli ulteriori apporti finanziari derivanti da attività alieutiche sostenute in acque gestite da associazioni o privati (*vedi tabella 3 pag. 58*). Ulteriori entrate sono conseguenti alle attività delle molte industrie legate al mondo della pesca come quelle produttrici di canne da pesca, accessori correlati e abbigliamento tecnico. Anche le strutture alberghiere poste in località particolarmente ricche di acque traggono rilevanti vantaggi economici derivanti dalla pesca sportiva (*Foto 5 pag. 51*).

La pesca sportiva nelle acque interne è praticata da tutte le classi sociali ed è principalmente destinata a soddisfare esigenze puramente ricreative e non legate alla esclusiva cattura per il consumo alimentare. Questo sport è svolto dal pescatore individualmente o nell'ambito di associazioni che promuovono tale attività con finalità sia ricreative che agonistiche. Questa tendenza è peraltro in atto in numerosi Paesi europei e del Nord America dove gli organismi preposti alla gestione della pesca in acque interne privilegiano l'attività puramente sportiva e di conservazione.

La pesca sportiva offre sempre maggiori vantaggi alla società dal punto di vista socio-economico perché assicura introiti maggiori rispetto al reddito derivante dall'attività professionale condotta in acque interne fornendo altresì una notevole spinta al turismo; il passaggio da una pratica di tipo commerciale ad una pesca impostata a fini ricreativi ha talvolta creato conflitti fra i pescatori di professione ed i pescatori sportivi, nonché fra i pescatori sportivi e gli ambientalisti.

Tab. 3 - Situazione della pesca sportiva in Europa. (Fonte: FAO, 1998).

Paese	Superficie <i>km²</i>	Popolazione <i>milioni abit.</i>	Numero pescatori sportivi <i>milioni</i>	Pescatori numero abitanti %
Austria	83,9	7,5	0,22	3,0
Belgio	30,5	10,0	0,30	3,0
Bulgaria	110,9	9,2	0,18	1,9
Cipro	9,3	0,6	0,003	0,5
Repubblica Ceca	78,9	10,5	0,288	2,7
Danimarca	43,1	5,2	0,25	4,8
Estonia	45,1	1,5	0,05	—
Finlandia	337,0	5,0	2,1	42,0
Francia	544,0	56,0	5,0	8,9
Germania	357,9	79,1	1,4	1,8
Ungheria	93,0	10,3	0,32	3,1
Irlanda	68,5	3,9	0,14	3,6
Italia	301,2	57,0	2,0	3,5
Olanda	41,2	14,5	1,3	8,97
Norvegia	325,5	4,2	0,9	21,4
Polonia	312,7	39,0	2,0	5,1
Portogallo	92,0	10,3	0,23	2,2
Romania	237,5	23,0	0,2	0,9
Slovacchia	49,0	5,3	0,069	1,3
Spagna	504,8	39,8	—	—
Svezia	449,8	8,3	2,2	26,5
Svizzera	41,3	6,4	0,2	3,1
Gran Bretagna	244,0	57,1	2,0	3,5

La moderna scienza alieutica allarga il campo a tutte le attività includendo gli aspetti socio-economici della pesca occupandosi così sia dei pesci e del loro habitat, sia del pescatore considerandone non solo i doveri e le regole a cui deve sottostare, ma anche le sue opinioni ed i suoi diritti.

4.2. LA REALTÀ DEI LAGHI DI PESCA SPORTIVA

La diffusione dei laghi per la pesca sportiva in Italia è un fenomeno che ha interessato soprattutto il centro-nord, dove maggiore è la concentrazione di pescasportivi che operano in acque interne, seppure in questi ultimi tempi sia andato diffondendosi sempre più anche al sud.

Non è noto il numero esatto dei bacini destinati a questa attività presenti sul territorio nazionale, anche se un valore oscillante intorno ad alcune migliaia risulta abbastanza aderente alla realtà.

Gli invasi destinati alla pesca sportiva sono inseriti in un panorama molto vario e composito sia sotto il profilo delle superfici occupate, che del numero delle presenze giornaliere. Gli specchi d'acqua si estendono su aree comprese tra qualche migliaio di metri quadrati ed alcuni ettari con profondità variabili da 1,5 a 6 metri. Queste strutture svolgono un importante ruolo socio-economico in quanto offrono la possibilità di poter essere frequentate anche da categorie che, per ragioni diverse (età troppo giovane o avanzata, mancanza di un mezzo di trasporto proprio), ben difficilmente potrebbero esercitare questa attività ricreativa in fiumi e laghi posti a grande distanza dai centri abitati e privi dei servizi essenziali.

I laghi destinati all'attività alieutica sono generalmente posti in prossimità di centri urbani, lungo alvei di fiumi e torrenti, oppure sono realizzati su bacini preesistenti, opportunamente ristrutturati, derivanti dall'attività estrattiva di materiali sabbiosi e di argilla. La loro realizzazione ha influito positivamente, come già ricordato, contribuendo al ripristino di ambienti degradati.

L'attività di estrazione di materiale inerte (ghiaia), in relazione al continuo sviluppo edilizio, ha fornito un'ulteriore spinta verso la creazione di molte di queste strutture. Gli invasi derivanti da scavi appositi o originati da cave, possiedono tutti i requisiti richiesti perché possano essere adibiti agevolmente all'attività di pesca sportiva, in quanto sono rappresentati quasi sempre da ambienti ben accessibili spesso privi di vegetazione sommersa e superficiale.

Diversa è la condizione degli stagni e delle vecchie casse di espansione dove la vegetazione di sponda spesso è ricca, con tratti a fitto canneto ed erbe acquatiche che salgono fino alla superficie e che lasciano poco spazio per l'agevole esercizio della pesca.

Tab. 4 - Distribuzione dei pescatori sportivi in Italia secondo classi di età. (Fonte: FAO, 1998)

Età anni	Numero di pescatori %
10-19	20
20-29	15
30-39	23
40-49	31
> 50	11

La scelta e l'eventuale progettazione di un impianto di pesca sportiva è anche dipendente dalle esigenze gestionali e conseguentemente dai potenziali fruitori.

Si conoscono principalmente due realtà quali quella del lago "tradizionale" destinato ad accogliere oltre al pescatore praticante i famigliari (vedi tabella 4) ed il lago inteso come campo gara, struttura dedicata prevalentemente ad attività

agonistica, ove è necessario rispettare precise regole sia nel corso di progettazione che nelle fasi gestionali successive.

4.3. SPECIE ITTICHE OGGETTO DI PESCA SPORTIVA

I laghi per la pesca sportiva rappresentano altresì l'anello finale del ciclo produttivo che ha luogo nel contesto dell'acquacoltura italiana e regionale. Dati attendibili relativi alla destinazione del prodotto ittico evidenziano come i bacini a pagamento rivestano particolare importanza assorbendo percentuali elevate delle specie ittiche allevate. In relazione alle condizioni climatiche ed all'ubicazione degli impianti interessati, gli invasi possono essere popolati con specie limnofile che prediligono quindi fondali morbidi ricchi di nutrimento come carpe e tinche, pesci gatto comune e/o americano, oppure con specie predatrici come salmonidi (trota fario, trota iridea, salmerino) che peraltro in pianura possono essere immesse unicamente durante il periodo autunnale e invernale, mentre negli invasi appenninici o alpini è possibile che l'attività di pesca ai salmonidi sia svolta durante tutto l'arco dell'anno. Altri predatori di elevato pregio ed interessanti da un punto di vista alieutico che non risentono in modo rilevante del passaggio delle stagioni e delle oscillazioni termiche delle acque sono il luccio, il persico trota e il persico reale. Per quanto riguarda le immissioni, è consigliabile effettuare semine razionalmente scaglionate nel breve periodo, avendo particolare cura nel verificare le condizioni sanitarie dei soggetti per evitare l'introduzione di agenti parassitari o batterici responsabili di patologie difficili da eradicare. Essenziale è inoltre equilibrare il popolamento del bacino in relazione al volume d'acqua presente nell'invaso. A seconda del destino del lago, se campo gara o rivolto alla pesca tradizionale, le densità ittiche potranno essere variabili. Nello stabilire il quantitativo di materiale da immettere dovranno essere consi-

derate la biologia e le esigenze dei pesci interessati, nonché la capacità di carico “carrying capacity” (Stephen Spotte, 1970) che in altre parole indica la densità massima di organismi acquatici che un sistema può sopportare.

$$\sum_{i=1}^p \frac{10W_i}{V_i + \frac{0.95 \times 10^3}{G_i D_i}} \geq \sum_{j=1}^q (B_j^{0.544} \times 10^{-2}) + 0.051F$$

La parte sinistra della formula permette di calcolare la capacità ossidativa di un sistema filtrante (OCF) in mg di ossigeno consumato per minuto, dove **W** indica la superficie del letto filtrante (m²), **V** la velocità di filtrazione (cm/min), **D** la profondità del letto filtrante (cm) e **p** il numero di filtri che servono il sistema.

$$G = 1/R_1 x_1 + 1/R_2 x_2 + 1/R_3 x_3 + \dots + 1/R_n x_n +$$

R = misura media di ogni frazione di particelle che costituiscono il letto filtrante in mm e **x** è uguale alla percentuale di peso di ogni frazione.

La parte destra della formula permette di determinare l'effetto inquinante dovuto al metabolismo animale espressa in mg per minuto di ossigeno.

B = peso vivo animali in grammi (individuale)

F = peso alimento in grammi giornaliero

q = numero di pesci nel sistema

La resa del sistema filtrante può essere maggiore o uguale alla percentuale degli inquinanti derivanti dall'attività degli organismi acquatici.

La “carrying capacity” non dipende unicamente dalla biomassa totale, ma anche dalla taglia individuale dei soggetti, infatti, un sistema che può sopportare 100 soggetti del peso unitario di 1000 g non è detto necessariamente che possa essere in grado di ospitare 1000 pesci della pezzatura di 100g.

Per il popolamento di un lago inteso come “tradizionale” ove è previsto il prelievo per il consumo alimentare, all'avvio dell'impianto, sarà necessario provvedere ad una prima consistente immissione di soggetti in modo da raggiungere densità pari a 150-250 g/m³.

In relazione al numero dei frequentanti gli impianti, sarà opportuno considerare ulteriori reintegri periodici, fondamentali per il mantenimento di un popolamento ittico costante, sempre in grado di soddisfare le esigenze del pescatore. Importante altresì sarà conoscere il quantitativo di esemplari prelevati giornalmente in modo tale da potere così intervenire nelle operazioni di immissione, non secondo stime approssimative e casuali, ma nel rispetto di tabelle, compilate nel tempo, in cui si registrano la mortalità e i prelievi del materiale ittico.

I laghi adibiti alla pesca sportiva, progettati come campi gara permanenti, sono venuti prepotentemente alla ribalta da alcuni anni, incontrando sempre maggior gradimento. Si tratta per lo più di bacini di modeste dimensioni, con profondità ridotte destinati ad ospitare competizioni, che devono essere realizzati in modo da offrire il maggior comfort e poter accogliere il numero più elevato di pescatori possibile. Il “carpodromo” rappresenta il lago appositamente progettato per lo svolgimento di prestazioni agonistiche dove il pescatore è portato più a considerare quello che è l’aspetto tecnico dell’impianto che le corrispondenze naturali. Le carpe sono i pesci prevalentemente immessi in questo tipo di ambiente, importate dai Paesi dell’Europa orientale (Ungheria, Croazia, Cecoslovacchia e Romania); sono ormai pochi i soggetti prodotti e commercializzati in Italia.

Della carpa comune si conoscono parecchie “varietà” che differiscono per provenienza o selezione (carpa di Galizia, di Boemia, ecc.), per habitat (carpa di allevamento, di fiume, di lago) e per tipo di squamatura (carpa regina, a specchi, a linea di squame, nuda o cuoio). In questo tipo di invaso, nonostante il pescato venga prontamente rilasciato dopo le operazioni di pesatura, si accusano comunque perdite di una certa entità.

Nei laghi così adibiti viene ripristinata la popolazione attraverso l’introduzione di un numero di soggetti sempre proporzionale a quello dei decessi evitando di superare i limiti di densità sopportabili dall’ambiente che per il “carpodromo” si attestano su 500 g pv/m^3 , pena il rischio di ingenti perdite nei periodi stagionali più critici. Le immissioni dovranno aver luogo nei momenti in cui le temperature non sono soggette a brusche oscillazioni evitando, in ogni caso, i mesi prossimi alla riproduzione della specie e i mesi primaverili quando si dispone solo di soggetti reduci dalla travagliata e sfibrante permanenza in vasche di svernamento e stabulazione.

Il problema del carpodromo assume dimensione diversa rispetto al lago di pesca sportiva tradizionale dove è previsto il prelievo del pesce. In un ambiente dove le acque vengono popolate in via definitiva si dovrà, al fine di una gestione accurata, controllare periodicamente lo stato qualitativo delle stesse sotto l’aspetto chimico-fisico nonché le condizioni igienico-sanitarie dei pesci. Durante i mesi che intercorrono da ottobre a fine febbraio/marzo, in molte regioni italiane, vige il divieto di pesca alla trota. Tale periodo corrisponde al momento in cui la maggior parte delle specie appartenenti alla famiglia dei salmonidi si riproduce. Il pescatore di trote di conseguenza si trova forzato, per poter proseguire la sua attività preferita, ad orientarsi verso altri ambienti dove tale pratica di pesca è autorizzata, questi sono rappresentati perlopiù dai laghi di pesca sportiva privati.

Per quanto riguarda la qualità ed il tipo di materiale da ripopolamento sarà da privilegiare la trota iridea “*Oncorhynchus mykiss*” che fra i salmonidi rappre-

senta l'animale in possesso dei maggiori requisiti di rusticità. Le taglie da preferire dovranno essere uguali o superiori ai 250 g con alcuni soggetti destinati a divenire i "capi trofeo" di peso superiore a 6 kg. Oltre alla trota iridea, possono essere introdotte specie di maggior pregio come la trota fario "*Salmo trutta morpha fario*" che, seppure più costosa, rappresenta un pesce particolarmente apprezzato dal pescatore e il salmerino "*Salvelinus fontinalis*" che riscuote successo sia per l'aspetto qualitativo e nutrizionale delle carni, spesso superiori a quelle della trota fario e della trota iridea, sia per il comportamento meno sospettoso e tipicamente più aggressivo.

Diverso è, invece, il lago destinato a campo gara alla trota dove non è previsto il rilascio del pescato al termine della competizione. In questi ambienti la popolazione di salmonidi sarà costituita prevalentemente da trota iridea di pezzatura inferiore ai 200 g.

Le dimensioni ridotte dei pesci introdotti hanno lo scopo di garantire al pescatore garista numerose catture, in quanto il punteggio maggiore viene assegnato in base al numero di pesci catturati favorendo inoltre l'esercizio delle varie tecniche agonistiche di pesca alla trota in lago (tremarella e striscio).

Un'altra realtà è il bacino naturale o artificiale, ove sempre è previsto il rilascio del pesce catturato che deve essere manipolato e reintrodotta con la massima cura.

In questi laghi solitamente vengono praticate le tecniche considerate tra le meno cruente, come la pesca con la coda di topo (pesca a mosca) e la pesca a cucchiaio (spinning) con ami privi di ardiglione.

Gli invasi di cui sopra devono essere destinati ad ospitare solo materiale di elevata qualità. Il pesca-sportivo che affronta questi impianti non è animato dalla sola possibilità di cattura, ma dal desiderio di ingannare pesci che molto hanno da condividere con i loro cugini selvatici insidiabili solo nelle acque correnti e nei laghi appenninici ed alpini.

La destinazione di un lago all'esclusiva pesca ai salmonidi il più delle volte rappresenta una scelta per l'operatore remunerativa ed interessante, ma richiede maggiore attenzione e controllo rispetto ad altre impostazioni di impianto.

4.4. L'ASPETTO CHIMICO-FISICO DELLE ACQUE

Per il benessere della fauna ittica ed il conseguente miglioramento delle rese, in termini di catture, non si può prescindere da una corretta gestione che deve prevedere, oltre al continuo controllo dello stato sanitario del pesce presente, anche il monitoraggio periodico delle acque tramite l'esecuzione di analisi a mezzo di appropriati strumenti e reattivi (*Foto 7 pag. 52*). L'ossigeno rappresenta un fattore importante per la vita acquatica e le caratteristiche chimiche dell'ambien-

te. Basse concentrazioni di questo gas possono essere comuni in ambienti ove il sedimento di fondo è ricco di nutrienti e invasi ove è ridotto il ricambio idrico. In alcuni casi, effettivamente gli organismi acquatici possono adattarsi anche a tenori di ossigeno non elevati; tuttavia la maggior parte di questi sono in grado di sopravvivere in tali condizioni solitamente per breve tempo e solo raramente per diversi giorni. La tolleranza a basse concentrazioni di ossigeno varia comunque da specie a specie.

Il controllo e la gestione di questo importante parametro è quindi fondamentale, perché a bassi livelli di saturazione di questo gas il pesce può morire, crescere lentamente ed essere più facilmente esposto a malattie. Il processo in natura che determina il consumo di ossigeno è la respirazione, mentre la diffusione e la fotosintesi sono reazioni che ne determinano la produzione.

La respirazione consiste nel consumo di ossigeno continuo esercitato dagli organismi aerobi: pesci, crostacei, molluschi, ma anche forme più semplici come i batteri e, nel periodo di oscurità, le alghe unicellulari.

La diffusione rappresenta il fenomeno tramite il quale l'ossigeno diffonde liberamente dalla atmosfera alla superficie dell'acqua quando quest'ultima non è satura, mentre il processo inverso si verifica quando l'acqua è sovrassatura.

La fotosintesi si spiega come produzione biologica di ossigeno per opera della componente vegetale. In acqua questo compito è svolto prevalentemente dalle alghe unicellulari durante il periodo di massima luminosità.

Nel caso in cui si raggiungano concentrazioni algali elevate, come avviene spesso in estate, in laghi di limitata profondità e in presenza di notevoli disponibilità di nutrienti viene prodotto ossigeno in grande quantità durante le ore diurne, mentre nelle ore notturne, o in particolari condizioni di cielo coperto, si innesca il processo inverso che prevede un elevato consumo di ossigeno con produzione di anidride carbonica (respirazione). Situazioni di questo tipo sono particolarmente pericolose: è proprio in questi frangenti che sbalzi repentini delle concentrazioni di questo gas nell'arco delle 24 ore, dal giorno alla notte, possono determinare mortalità massicce specialmente in ambienti ad elevata densità ittica come sono i laghi di pesca sportiva.

Nelle zone a clima temperato, le temperature subiscono continue oscillazioni durante l'arco dell'anno e nel corso della giornata. Bruschi sbalzi durante il periodo estivo si osservano nei laghi in senso verticale lungo la colonna d'acqua (stratificazioni), dalla superficie sino a contatto con il substrato di fondo; a questo riguardo giocano un ruolo fondamentale la latitudine, l'altitudine ed i movimenti circolatori dell'aria. La temperatura influisce sui processi sia fisico-chimici che biologici; innalzamenti della temperatura valorizzano l'attività enzimatica determinando un'accelerazione nel completamento delle reazioni chimiche. L'aumento stimola altresì l'evaporazione e la volatilizzazione delle

sostanze disciolte in acqua e determina un calo di solubilità dei gas come l'ossigeno, l'anidride carbonica, l'azoto molecolare e il metano. La temperatura è quindi strettamente correlata alla quantità di ossigeno disciolto in quanto valori elevati della stessa corrispondono ad una più accesa attività metabolica essenzialmente dettata dai fenomeni respiratori con un maggior consumo di ossigeno impiegato anche dai processi di decomposizione della materia organica. La temperatura dell'acqua superficiale è sempre sottoposta ad escursioni che possono essere anche notevoli potendo oscillare da 0 °C per i primi centimetri, dove si verifica il cambiamento di stato e l'acqua modifica in ghiaccio, allo strato subito sottostante che si mantiene sui 2-3 °C sino ai 28-30 °C del periodo estivo. Queste temperature variano con valori minimi durante i periodi invernali e massimi durante l'estate o la stagione secca, specie in acque ferme. Le acque di falda sotterranee al contrario mantengono sempre temperature costanti.

Il pH è un altro importante parametro nella determinazione della qualità dell'elemento liquido influenzando molti processi biologici e chimici. Questo parametro informa sul grado di acidità ed alcalinità di una soluzione ed è definito come il negativo del logaritmo di base 10 del valore di concentrazione dello ione idrogeno. I valori di pH rientrano in una scala compresa fra 0 e 14 dove il pH 7 indica la condizione di neutralità, la variazione dei numeri dipende dalla concentrazione di sostanze quali l'anidride carbonica, gli ioni carbonato e bicarbonato così come altri composti di origine naturale acidi umici e fulvici. L'equilibrio naturale acido-base può essere rotto per apporti dovuti alle diverse attività antropiche e alle precipitazioni atmosferiche (piogge acide).

L'azoto costituisce un elemento fondamentale per la vita dei pesci rappresentando una componente indispensabile nella costruzione degli aminoacidi e quindi delle proteine, incluso il materiale genetico. Un certo numero di microrganismi sono in grado di trasformare quello che è l'azoto inorganico nella forma organica. Nell'ambiente l'azoto inorganico si presenta sotto forma di nitriti e nitrati o ammoniaca e azoto molecolare dipendentemente dallo stato di ossidazione. I processi più frequenti sono abiotici dove l'azoto segue diverse fasi come la volatilizzazione, l'assorbimento e la sedimentazione. La trasformazione biologica consiste invece nella assimilazione della forma inorganica (ammoniaca e nitrati) perpetrata dalle piante e dai microrganismi per formare azoto organico e aminoacidi. Un'altra strada segue l'ossidazione dell'ammoniaca in nitrati e nitriti (nitrificazione). L'ammoniaca viene ossidata grazie all'attività di batteri (*Nitrosomonas*) in nitriti ed il nitrito viene poi trasformato da altri batteri (*Nitrobacter*) in nitrati. Nell'ambiente l'azoto inorganico si presenta sotto forma di NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ e N_2 a seconda dello stato di ossidazione. Un'ulteriore reazione è l'ammonificazione dell'azoto organico con produzione di ammoniaca durante la decomposizione della materia organica.

L'ammonificazione dell'azoto organico avviene, per processi riduttivi favoriti in condizioni anossiche (carenza e assenza di ossigeno) a seguito della produzione di ammoniaca per decomposizione di materiale organico.

L'azoto molecolare N_2 si ricava ad opera di batteri anaerobi. L'ammoniaca è presente naturalmente nei laghi, prodotta dall'escrezione degli organismi acquatici e dalla riduzione dell'azoto gassoso. Sfortunatamente, responsabili sono anche gli scarichi che originano da attività industriali e agricole nonché i reflui urbani. L'ammoniaca totale indica la somma dell'ammoniaca non ionizzata NH_3 e dello ione ammonio NH_4^+ che sono sempre presenti in equilibrio.

Il pH influisce favorendo la percentuale di ammoniaca libera che rappresenta la più piccola parte dell'ammoniaca totale, ma che se presente anche in piccole dosi può risultare letale per molte specie ittiche e altri organismi acquatici.

I nitrati costituiscono parte dei nutrienti che, in carenza di ossigeno, possono facilmente essere ridotti ad azoto nitroso (denitrificazione), composto che come l'ammoniaca libera è estremamente tossico per la fauna ittica seppure possa essere riossidato rapidamente ad azoto nitrico. Fonti naturali di nitrati sono le rocce ignee (eruttive), il suolo inquinato ed i residui di decomposizione di piante e animali. In condizioni non alterate, le concentrazioni di azoto nitrico difficilmente superano 0,1 mg/l, ma possono essere sensibilmente più elevate nel caso l'invaso riceva, anche se solo parzialmente, acque inquinate come reflui di origine urbana e industriale o arricchite da residui di attività agricole e zootecniche. Tutti i laghi ove le concentrazioni di nitrati eccedono 0,2 mg/l e prevalgono sui contenuti di fosfato sono ambienti che in modo ricorrente manifestano fenomeni di intensa proliferazione algale (bloom algale).

Anche le acque sotterranee, come risultato di lisciviazione (infiltrazione) in aree dove vengono impiegati fertilizzanti, possono presentare elevate concentrazioni di nitrati. Il convogliamento di nitrati da terreni non coltivati o con notevole vegetazione è generalmente molto basso; solo alcune sono le zone naturali potenzialmente apportatrici di riserve azotate (dovute all'attività di batteri nitrificanti nel suolo). Le concentrazioni di nitriti nei laghi di pesca sportiva solo occasionalmente superano 0,1 mg/l. I fosfati contribuiscono all'arricchimento delle acque di nutrienti dove le riserve di fosforo possono originare da erosione di rocce e/o dalla decomposizione organica di materiale.

Reflui domestici, detersivi, effluenti da impianti industriali, fertilizzanti contribuiscono ad elevare questi livelli.

Il fosforo, associato a materiale organico e a composti minerali del sedimento, può essere mobilizzato dai batteri e rilasciato nella colonna dell'acqua potendo così essere rapidamente captato dalle piante. Nei bacini di pesca sportiva non sono consueti i casi in cui i fosfati superano 1 mg/l e dove ciò si verifica il più delle volte è visibile una intensa proliferazione algale.

Nei laghi artificiali e naturali con pH compresi tra 6 e 8, le concentrazioni di ione di ferro (Fe^{++}) possono raggiungere valori di 1 mg/l in funzione della capacità ossidativa dell'ambiente; valori superiori, specie in condizioni anossiche, diventano pericolosi per la fauna ittica. L'origine del ferro in soluzione è il frutto della riduzione dell'idrossido di ferro o dell'ossidazione del solfato ferroso per opera di processi influenzati dall'attività microbica.

L'acqua sotterranea ridotta è chiara ed è così appena sgorga in superficie, ma appena prende contatto con l'ossigeno immediatamente il ferro viene ossidato a idrossido di ferro e precipita donando quel caratteristico colore bruno rossiccio.

4.5. L'INFLUENZA DEL SEDIMENTO SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE DEI BACINI ARTIFICIALI

Nella valutazione dello stato ambientale di un corpo idrico: lago, fiume o torrente che sia, sempre poca attenzione è rivolta alla componente del substrato di fondo. Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sono strettamente legate alla qualità del sedimento che costituisce l'habitat per importanti organismi animali e vegetali. Il fondale di un lago è composto da una frazione inorganica, originata dalla frammentazione e degradazione della componente minerale, da una frazione organica costituita da tutti gli organismi viventi e da una frazione degradata, rappresentata da rifiuti e da prodotti di decomposizione.

Le forme viventi legate al sedimento sono fondamentali per la sua evoluzione, anche la componente del fondo con il trascorrere degli anni "invecchia", passando da una condizione "giovane" ad uno stato più "maturo" influenzando in tal modo sullo stato qualitativo delle acque che lo sovrastano.

Un ambiente all'origine vivo, ricco di ossigeno, con acque limpide muta nel tempo passando da uno stato cosiddetto oligotrofico ad uno stato eutrofico.

I batteri presenti sul fondo sono i principali fautori della digestione e degradazione della sostanza organica che viene ad accumularsi nel tempo. Il ruolo di questi microrganismi è sostanziale, ma cosa viene prodotto dal loro operato?

La digestione spesso comporta la liberazione di sostanze estremamente pericolose per l'ambiente acquatico e la fauna ittica.

Il prodotto ritenuto tra i più tossici frutto dell'attività riducente (in assenza di ossigeno) dei batteri anaerobi è senza ombra di dubbio l'acido solfidrico, potente veleno che costituisce un fattore limitante quando si accumula nelle acque lentiche di laghi e stagni ricchi di detrito organico. Ne rappresentano un esempio i laghi di pesca sportiva con densità ittiche elevate e che vivono, in alcuni periodi come l'estate, momenti estremamente pericolosi per la fauna acquatica in essi presente. In condizioni di scarso ricambio idrico e ridotta movimentazione

zione della massa liquida tra la superficie ed il fondo, vengono a formarsi degli strati d'acqua ove l'ossigeno è carente in particolar modo in corrispondenza del fondale dove spesso è assente e molte volte viene rimpiazzato dall'acido solfidrico. Attraverso la riduzione del solfato di calcio ad opera di alcune specie di batteri, in presenza di elevate concentrazioni di anidride carbonica, si ha la produzione di carbonato di calcio e acido solfidrico.

Nei sedimenti in cui la sostanza organica supera determinate concentrazioni l'idrogeno solforato (acido solfidrico) viene facilmente rilasciato nella colonna d'acqua. Questo composto è in grado di bloccare i citocromi respiratori che sono enzimi (proteine) presenti di solito nei mitocondri delle cellule di tutti gli organismi aerobi, animali e vegetali; per questo motivo la presenza di elevate concentrazioni di solfuri nei sedimenti riduce significativamente la vita animale, ed inoltre viene gravemente ridotta la biodiversità, in quanto solo poche specie più resistenti riescono a prosperare. Un altro gas che può liberarsi dipendentemente dalle condizioni del fondo è il metano.

Il cosiddetto "gas delle paludi", sempre estremamente pericoloso per la fauna ittica, è il risultato della decomposizione anaerobica dei residui vegetali e animali. Per una corretta gestione di un lago è importante, quindi, monitorare periodicamente le acque, ma anche controllare le condizioni del sedimento. Non si dovrà mai raggiungere uno stadio tale per cui un eccessivo accumulo di sostanza organica possa innescare quel pericoloso meccanismo che porta alla produzione di quei gas che risultano il più delle volte letali per molti organismi acquatici e potenzialmente in grado di scatenare improvvise e importanti mortalità di pesce in particolar modo ove le densità sono elevate. Fondamentale è quindi mantenere i laghi nelle migliori condizioni attraverso costanti interventi di movimentazione ed ossigenazione, specie in quei corpi idrici ove è sconsigliato e spesso impossibile lavorare il substrato per esporlo agli agenti atmosferici, perché ciò comporterebbe lo svuotamento e il trasferimento della fauna ittica con conseguenti spese per i lavori e consistenti perdite per la mancata attività. La prevenzione è di vitale importanza e quindi necessario evitare si manifesti il fenomeno conosciuto come "stratificazione delle acque" che comporta un calo di ossigeno negli strati più profondi. È necessario quindi favorire sempre le reazioni ossidative attraverso opportuni interventi di ossigenazione e di movimentazione delle acque liberandole altresì da tutti quei composti che se in soluzione rappresentano un potenziale pericolo per tutti gli organismi acquatici.

5. LE STRUTTURE DI RECINZIONE

Le strutture di recinzione trovano un largo impiego nei sistemi di allevamento di tipo aperto; esse rientrano in due tipologie principali:

- recinzioni di tipo fisso;
- recinzioni di tipo mobile.

Le recinzioni di tipo fisso, costituite da involucri di rete supportati da pali infissi nel fondo, sono utilizzate per delimitare piccoli tratti di acque interne relativamente basse; si sono ampiamente diffuse in alcuni paesi asiatici (es. Cina, Filippine), sono economiche e facili da costruire ma di piccole dimensioni. Il loro uso è limitato a piccole aree riparate, caratterizzate da sufficiente ricambio idrico e da fondali con idonee caratteristiche chimico-fisiche.

In acque più profonde si utilizzano recinzioni di tipo mobile che possono essere galleggianti, sommergibili o sommerse (*Beveridge, 1984*).

5.1. LE CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLE RETI

Le reti utilizzate in acquacoltura sono, principalmente di due tipi:

- reti flessibili, in fibre naturali o sintetiche (es. cotone, nylon);
- reti rigide o semirigide, in metallo o in materie plastiche estruse.

Entrambi i tipi sono fabbricati in una vastissima gamma di forme e di dimensioni.

Ogni rete può essere descritta e caratterizzata in base:

- alla densità (kg/m^2);
- al diametro dei cavi o dei fili che la costituiscono;
- alla larghezza della maglia o interasse tra i fili paralleli.

La densità dei fili o cavi utilizzati per la fabbricazione delle reti può essere

espressa in “tex”, unità di misura ammessa dal Sistema Internazionale per definire la massa lineica delle fibre tessili e dei filati (1 tex = 1 g / 100 m).

5.1.1. Le reti flessibili

Le fibre naturali sono utilizzate raramente per la fabbricazioni di reti per gabbie o recinzioni fisse perché l’immersione prolungata le rende soggette a degradazione e alla conseguente perdita di resistenza con elevati rischi di rotture.

Le reti moderne sono fabbricate con fibre sintetiche, ottenute da materiali derivati dal petrolio; quelli utilizzati più comunemente sono:

- il poliammide (PA);
- il poliestere (PES);
- il polietilene (PE);
- il polipropilene (PP).

Purtroppo, i diversi tipi di filato esistenti sul mercato sono commercializzati con numerosissimi marchi commerciali, variabili da Stato a Stato e da fabbrica a fabbrica, senza riferimento al materiale plastico di cui sono costituiti; a tale riguardo, si citano 274 marchi commerciali di filati in PA, 100 marchi di filati in PES, 78 marchi di filati in PE e 136 per filati i PP. “Nylon”, infatti non è altro che un termine generico utilizzato per definire i filati in PA, diffuso a tal punto da essere diventato un sinonimo del poliammide, essendo utilizzato, ormai, non soltanto per i filati ma anche per altri tipi di prodotto (Beveridge, 1996).

In tabella 5 sono riportate le proprietà tecnologiche delle principali fibre sintetiche.

Tabella 5 - Proprietà tecnologiche delle fibre sintetiche (Beveridge, 1996).

Proprietà	PA	PES*	PE**	PP
Densità (g/cm ³)	1,14	1,38	0,96	0,91
Carico di rottura a secco	molto alto	alto	alto	alto
Carico di rottura in immersione (% del carico di rottura a secco)	85-95***	100	110	100
Estensibilità in immersione	alta	bassa	intermedia tra PA e PES	bassa



Proprietà	PA	PES*	PE**	PP
Rigidità	flessibile	moderatamente rigida	rigida	rigida
Sofficità	soffice	moderatamente soffice	dura	dura
Resistenza a esposizione all'aperto (senza coloranti)	media	alta	media	medio-bassa
Resistenza al fouling	moderata	–	bassa	moderata

*PES tipo Terylene, Dacron, Diolen, Tergal, Tetoron, Trevira.

**PE tipo ad alta densità, polimerizzato a bassa pressione.

***PA tipo a filamento continuo.

Le reti flessibili possono essere annodate oppure senza nodi. La produzione dei cavi destinati alla realizzazione di reti annodate avviene in tre fasi successive: la prima fase consiste nella lavorazione delle fibre per la produzione del filamento; nella seconda fase un certo numero di filamenti (in genere tre) sono intrecciati per la produzione di cavetti; nell'ultima fase un certo numero di cavetti (in genere tre) sono intrecciati con direzione inversa rispetto alla fase precedente per la produzione dei cavi.

Le reti ideali per la costruzione delle gabbie galleggianti dovrebbero avere una densità leggermente superiore a quella dell'acqua, in modo tale da poter essere appese facilmente alle strutture di sostegno superficiali, senza gravare eccessivamente sulle strutture di galleggiamento e di ormeggio; la leggerezza delle reti ne facilita, inoltre, la sostituzione e la pulizia.

Le reti dovrebbero essere sufficientemente robuste per resistere all'attacco di pesci predatori e alle eventuali collisioni con corpi galleggianti alla deriva; inoltre, devono sopportare parte del peso della biomassa allevata quando sono sollevate per le operazioni di raccolta.

La resistenza delle reti è in funzione dei seguenti fattori:

- il tipo di materiale;
- il diametro del filo;
- l'elasticità del filo;
- il tipo di maglia (es. annodata o senza nodi);
- le dimensioni della maglia;

- le condizioni di immersione;
- l'esposizione ai raggi solari.

In genere, le caratteristiche di resistenza e di elasticità sono documentate dalle ditte costruttrici. Caratteristiche positive delle reti sono l'elevata elasticità e la resistenza all'abrasione.

La rigidità delle reti può essere vantaggiosa in quanto ne evita la deformazione dovuta alla forza delle correnti; d'altra parte, le reti rigide hanno, generalmente, lo svantaggio di essere abrasive nei confronti del pesce allevato, comportando danni alle pinne, alla pelle e agli occhi.

La resistenza al fouling è una caratteristica molto positiva in quanto permette di limitare l'incremento di peso delle reti dovuto al loro graduale e progressivo intasamento, riducendo le esigenze di manutenzione e favorendo, al tempo stesso, un migliore ricambio idrico all'interno delle gabbie.

Altre caratteristiche da considerare per la scelta del tipo di rete sono la durata, la disponibilità, il costo e le esigenze di manutenzione.

Le caratteristiche tecniche delle reti flessibili non sono influenzate soltanto dal tipo di filato ma anche dal metodo di fabbricazione (es. con o senza nodi), dalle dimensioni della maglia e dall'eventuale impiego di additivi stabilizzanti, anti-fouling, irrigidenti e coloranti.

Lo svantaggio principale delle reti annodate è costituito, appunto, dalla presenza dei nodi stessi; questi determinano un incremento del peso della rete per unità di superficie, fino al 100% in più, e rappresentano il punto di maggior debolezza della struttura.

In genere, le reti annodate sono più costose di quelle senza nodi; inoltre vanno soggette a maggiore intasamento da fouling e causano più frequenti abrasioni al pesce allevato. D'altra parte, presentano il vantaggio di rimanere più aperte quando sono esposte alle correnti.

Le reti senza nodi sono quelle più impiegate per la costruzione di reti per gabbie galleggianti e sono disponibili in molte parti del mondo; rispetto alle reti annodate, sembrano essere meno resistenti all'usura causata da sollecitazioni continue dovute a carichi dinamici (es. moto ondoso) e, quindi, possono risultare meno indicate per essere utilizzate su gabbie "off-shore" (Beveridge, 1996).

5.1.2. Le reti rigide

Per la produzione delle reti rigide vengono utilizzati due tipi di materiali: la plastica rigida oppure il metallo.

Le reti rigide in plastica, essendo più semirigide che propriamente rigide, possono essere arrotolate facilmente per facilitarne il trasporto e l'immagazzina-

mento; presentano densità intermedie tra le reti sintetiche flessibili e le reti metalliche rigide (in genere, di circa 0,35-0,6 kg/m² e, per alcune di tipo pesante, di 0,7-1 kg/m²). Inoltre, sono resistenti alla corrosione e al fouling ma, come gli altri polimeri di sintesi, sono soggette a degradazione se esposte all'aperto; in particolare, la resistenza al fouling è maggiore, rispetto alle reti flessibili, ma inferiore a quella delle reti rigide in acciaio zincato o in leghe di rame (Beveridge, 1996).

Le reti metalliche sono state ampiamente testate per la costruzione di gabbie rigide; il loro principale svantaggio è rappresentato dalla scarsa resistenza alla corrosione in condizioni di immersione. La facilità con cui un metallo è soggetto alla corrosione dipende dalla sua tendenza a subire l'ossidazione ovvero dal suo potenziale di ossido-riduzione. Il ritmo di corrosione dipende dalla natura del mezzo elettrolitico (es. dalla temperatura, dalla concentrazione ionica e dalla concentrazione di ossigeno) e dalla struttura fisica e dalla uniformità chimica del metallo.

I fenomeni corrosivi si possono sviluppare anche nelle seguenti condizioni (Beveridge, 1996):

- presenza di differenze nella microstruttura di un metallo o di un componente della lega metallica;
- presenza di differenze nella concentrazione ionica della soluzione liquida (es. nell'acqua di mare le aree metalliche a contatto con acqua a minore concentrazione salina fungono da anodi mentre le aree a contatto con acqua a maggiore concentrazione salina fungono da catodi);
- presenza di differenze nella concentrazione di ossigeno disciolto nell'acqua (es. le aree metalliche a contatto con acqua a bassa concentrazione di ossigeno fungono da anodi mentre quelle a contatto con acqua ad alta concentrazione di ossigeno fungono da catodi);
- presenza nella struttura metallica di punti sottoposti a particolari sollecitazioni o stress fisici (es. sollecitazioni "a fatica");
- presenza di differenze nelle dimensioni della grana metallica (grana fine = anodo, grana grossa = catodo) o di imperfezioni (difetto = anodo, normale = catodo) o di tensioni (metallo lavorato a freddo = anodo, metallo temperato = catodo).

Alcuni metalli sono particolarmente resistenti alla corrosione in virtù del proprio potenziale di ossido-riduzione, ma ve ne sono altri che, pur avendo basso potenziale negativo, risultano relativamente resistenti alla corrosione a causa della formazione sulla loro superficie di uno strato protettivo di ossido (es. alluminio, zinco). La resistenza di un metallo alla corrosione può essere migliorata attraverso la fusione con un altro metallo dotato di maggiore resistenza (es. di 12-30% di cromo nell'acciaio inossidabile). Un altro sistema di salvaguardia

delle strutture metalliche dalla corrosione consiste nella protezione catodica mediante corrosione sacrificale; collegando la struttura da proteggere a elementi metallici aventi funzione di anodi, il fenomeno corrosivo si concentra su questi ultimi a causa del loro potenziale di ossido-riduzione. Questo sistema è largamente impiegato per la protezione di installazioni marine, di tubazioni e di navi; a tale scopo possono essere utilizzati anodi in alluminio oppure in lega di magnesio. Rivestimenti metallici possono essere applicati mediante immersione, placcatura, verniciatura, laminazione e cementazione; i rivestimenti con ossidi inorganici (es. fosfati, cromati) si ottengono mediante trattamento chimico. In commercio esiste anche una vasta gamma di vernici, di materiali plastici, di lacche e gomme che possono essere utilizzate per isolare i metalli dal contatto con l'acqua; tuttavia, pochi di questi prodotti sono applicabili alle reti metalliche. Ancora meno sono quelli igienicamente idonei per essere utilizzati su reti destinate alla produzione di pesce o di alimenti. Molti materiali, che sul piano tecnico potrebbero risultare particolarmente idonei alla fabbricazione di reti rigide, non sono utilizzabili per motivi di peso, di costo o di fragilità. Per tali motivi i materiali più largamente impiegati nella produzione di reti rigide sono i seguenti (*Beveridge, 1996*):

- *filo metallico o rete metallica espansa in 90/10 rame-nickel* (lega CA-706). In seguito a numerose prove questa lega risulta essere la soluzione più idonea per la realizzazione di reti rigide; i principali vantaggi sono rappresentati dalla elevata resistenza strutturale, dalla leggerezza e dalla resistenza alla corrosione e al fouling. Rispetto al filo metallico, la rete espansa di Cu-Ni risulterebbe avere una durata superiore essendo meno esposta a crepe e abrasioni le quali sono particolarmente soggette alla corrosione. In genere, le reti di Cu-Ni sono disponibili in un'ampia gamma di spessori e di grandezza delle maglie (da 3 a 50 mm);
- *rete in acciaio zincata*. Il materiale costruttivo di questo tipo di rete è il filo di acciaio dolce trafilato e zincato a caldo. Il filo può essere sagomato e ondulato per realizzare reti a maglia romboidale oppure può essere saldato per fabbricare reti a maglia quadrata; in questo caso la zincatura deve essere effettuata dopo la saldatura. Generalmente, a parità di dimensioni, le reti non saldate sono realizzate con filo di acciaio più sottile risultando, quindi più leggere ma meno resistenti delle reti saldate. La durata delle reti in acciaio zincate dipende dal tipo di maglia e dalla qualità della zincatura; le reti non saldate risultano essere molto meno durevoli a causa delle abrasioni che si producono in corrispondenza delle interconnessioni tra i fili, rendendo questi più esposti alla corrosione. Dopo un anno di immersione in acqua di mare le reti saldate risultano mantenere l'80% della resistenza a nuovo, contro il 50% delle reti non saldate; in pratica, le reti non saldate devono essere sostituite

tuite dopo circa 12-15 mesi. Alcune prove hanno dimostrato la possibilità di proteggere le reti dalla corrosione, raddoppiandone la durata, mediante l'impiego di anodi sacrificali in lega d'alluminio;

- *reti in acciaio zincate e plastificate.* Sono reti assai simili alle precedenti per densità e resistenza. Il rivestimento è in PVC, realizzato successivamente alla zincatura. Pur garantendo una maggiore resistenza alla corrosione, queste reti risultano più soggette al fouling rispetto alle reti zincate non plastificate.

5.2. LE GABBIE

La tecnica di allevamento in gabbia su vasta scala risale ad un'epoca piuttosto recente; infatti, i primi rudimentali impianti furono realizzati in aree lagunari e lacustri della Cambogia alla fine del 1800. Intorno alla seconda decade del 1900 analoghe strutture sorsero nelle Filippine, in Cina e in Giappone. Negli ultimi decenni questa tecnica di allevamento ha avuto un grande sviluppo, diffondendosi ampiamente in molte parti del mondo.

Le gabbie, a seconda della prevista localizzazione, possono essere distinte in:

- gabbie galleggianti;
- gabbie sommergibili;
- gabbie sommerse.

Le gabbie galleggianti sono costituite da un involucro di rete totalmente o parzialmente immerso nell'acqua, sorretto da una struttura di galleggiamento superficiale, detta "collare", ormeggiata al fondale oppure alla terra ferma (Figura 25); tra

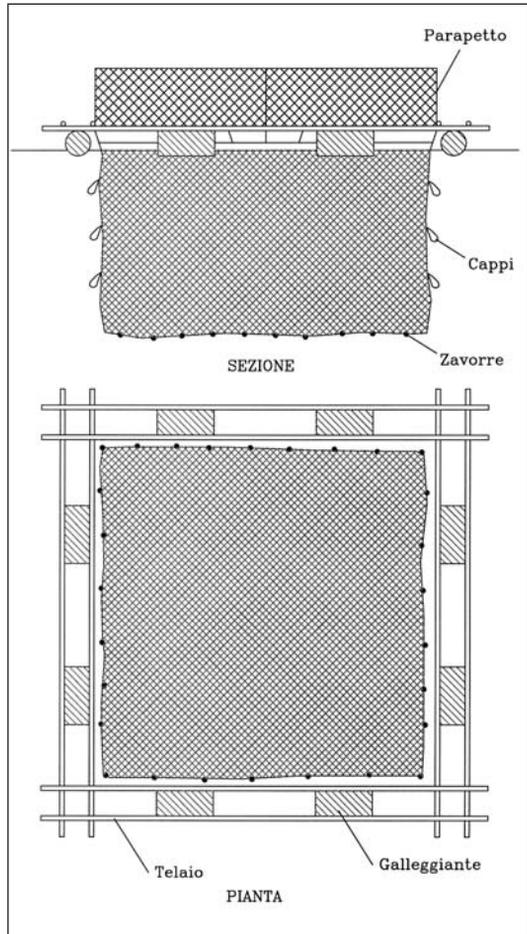


Figura 25 – Gabbia di forma quadrata con sacco di rete provvisto di zavorre e cappi.

le tre tipologie, questa è quella più largamente utilizzata nel mondo (*Foto 2 pag. 51 e foto 9 pag. 52*). Le gabbie sommergibili sono gabbie galleggianti provviste di dispositivi che ne consentono l'immersione a profondità limitate, ma comunque sufficienti per sottrarre le strutture e i pesci all'impatto del moto ondoso; tale caratteristica le rende particolarmente adatte per installazioni in mare aperto. La gabbia in immersione può essere inoltre posizionata alla batimetria in cui è presente l'optimum termico della specie allevata.

Le gabbie sommerse, concepite per lavorare stabilmente in profondità, hanno un'importanza marginale; presentano una scarsa diffusione e sono costruite con tecniche artigianali. Solitamente, sono costituite da un'intelaiatura metallica su cui sono fissati i pannelli di rete. L'ancoraggio di questo tipo di gabbie è effettuato direttamente sul fondale.

Le motivazioni a favore dello sviluppo dell'allevamento in gabbia sono numerose, in gran parte riconducibili all'utilizzo ottimale di grandi risorse idriche senza l'esigenza di costose opere di derivazione. Un altro vantaggio, rispetto agli allevamenti a terra, è rappresentato dal limitato impatto ambientale in conseguenza delle maggiori dimensioni del corpo ricevente. Nel caso degli allevamenti a terra le acque reflue sono scaricate in fiumi, torrenti o tratti di costa le cui volumetrie e portate possono risultare modeste, risentendo maggiormente degli apporti eutrofizzanti.

Dal punto di vista biologico l'allevamento in gabbia rappresenta una situazione pressoché ottimale per molte specie allevate, che consente loro di vivere in un ambiente particolarmente idoneo dal punto di vista della qualità delle acque e spesso simile a quello naturale; ciò si ripercuote positivamente sull'accrescimento (*Svealy, 1988; Larsen, 1988*), generalmente più rapido rispetto agli allevamenti a terra, sulla sopravvivenza (*Karlsen, 1988*), sulla conversione degli alimenti e sulla qualità del prodotto (*Lindberg, 1979*).

Le densità di allevamento non sono inferiori a quelle adottate negli allevamenti a terra dove però, per raggiungere valori di alcune decine kg/m³, è necessario ricorrere a tecnologie spesso molto costose (es. aeratori, ossigeno liquido).

5.2.1. Le gabbie galleggianti

Fino al 1950 la produzione ittica in gabbie galleggianti ha mantenuto un ruolo marginale rispetto alle altre tecniche di allevamento ma, a partire dal 1960, ha fatto registrare un fortissimo incremento in Giappone, dove oggi rappresenta la più importante tecnica di allevamento per quasi tutte le specie ittiche. Nel 1993, in questo paese, risultavano in funzione 31.000 gabbie contro 7.500 gabbie in Europa e 3.600 gabbie nel bacino del Mediterraneo.

La Norvegia, favorita anche dalla conformazione delle sue coste, ha acquisito il primo posto nella produzione mondiale di salmone grazie all'applicazione di questa tecnica di allevamento. Attualmente, il Mediterraneo è diventato la più importante area di produzione per alcune specie ittiche marine tra cui, principalmente, l'orata e la spigola.

Organismi di ricerca e industrie costruttrici di attrezzature per l'acquacoltura hanno elaborato e messo a punto tecnologie innovative per la realizzazione di moderne tipologie di gabbie, atte a soddisfare le diverse esigenze di allevamento. Attualmente, esiste al mondo una grande varietà di gabbie per lo sfruttamento dei corpi idrici naturali. La forma, le dimensioni e le modalità costruttive delle gabbie possono variare ampiamente in base ai seguenti criteri:

- l'ubicazione operativa (es. in mare aperto o in aree riparate come golfi, fiordi, estuari, laghi, fiumi);
- l'esposizione a fattori ambientali limitanti (es. moto ondoso, maree, mareggiate);
- il sistema di galleggiamento;
- il sistema di ancoraggio e di collegamento tra le gabbie;
- il tipo di struttura (es. rigido o flessibile);
- le esigenze operative (es. per la distribuzione degli alimenti, il controllo, la calibratura e la cattura del pesce).

La planimetria delle gabbie galleggianti può avere forme diverse (es. quadrata, rettangolare, esagonale, ottagonale, circolare); tuttavia le gabbie a pianta quadrata o rettangolare rappresentano il 70% di quelle esistenti. La forma circolare può essere preferita alle altre perché, a parità di superficie occupata, presenta un perimetro di minore lunghezza e, quindi, una minore incidenza delle strutture perimetrali di supporto delle reti, consentendo un risparmio di materiali costruttivi (es. reti, collari, dispositivi di fissaggio); tuttavia, tale risparmio può essere limitato dal maggiore costo dei collari, la cui costruzione può richiedere tecnologie più sofisticate e costose. Nella maggior parte dei casi, le gabbie galleggianti sono state progettate per installazioni in aree "in-shore", riparate dagli eventi atmosferici (es. baie, golfi, fiordi, laghi), ma per consentire lo sfruttamento di tratti di mare aperto sono state progettate e realizzate anche soluzioni costruttive particolari; alcune di queste, di tipo leggero, sono costituite da strutture flessibili in gomma, mentre altre, di tipo pesante, sono caratterizzate da un'alta resistenza alle sollecitazioni. Le gabbie di prima generazione, concepite per installazioni in aree riparate, presentano una struttura di sostegno delle reti, costituita da un'intelaiatura flessibile di legno o di metallo, o di elementi tabulari in bambù, assicurata a elementi galleggianti (es. da barili da petrolio, cilindri di plastica vuoti, blocchi di schiuma plastica). Normalmente, le gabbie di questo tipo sono ancorate in piccoli gruppi o allineate in serie (*Foto 2 pag. 51*).

Le esigenze di accessibilità hanno comportato lo sviluppo di una seconda generazione di gabbie, rappresentata da strutture a piattaforma, ancorate alla terra ferma o in prossimità di questa, costituite da serie di gabbie collegate tra di esse per mezzo di passerelle galleggianti. Queste gabbie, rigide o articolate in lunghe unità flessibili, sono risultate efficienti, relativamente economiche, facilmente trasferibili e di semplice gestione. Gli impianti di questo tipo, presenti nel Mediterraneo, sono costituiti, generalmente, da moduli di 6-8 gabbie, formati da una passerella centrale e da due file di gabbie laterali, replicati da 2 fino a 5 volte. In genere, la distribuzione degli alimenti viene effettuata manualmente oppure per mezzo di autoalimentatori ma si stanno diffondendo anche impianti di trasporto e di distribuzione del mangime, funzionanti ad aria compressa o ad acqua, con comando a distanza (*Foto 22 pag. 56*); questi impianti permettono di inviare e distribuire automaticamente alle singole gabbie dosi di alimento programmate in funzione di parametri diversi (es. fase di allevamento, temperatura).

Generalmente, i costi e i tempi di realizzazione degli impianti in-shore sono contenuti anche se, in alcuni paesi, il rilascio delle necessarie autorizzazioni da parte degli Enti Pubblici preposti può richiedere tempi piuttosto lunghi.

Uno dei principali vantaggi delle gabbie galleggianti consiste nella loro trasferibilità, ovvero nella possibilità di essere trainate in luoghi diversi a seconda delle esigenze: per le operazioni di raccolta o per portarle al riparo dalle mareggiate oppure per evitare danni ambientali dovuti all'accumulo di deiezioni e di residui di cibo sul fondale. Qualora più moduli di gabbie vengano posizionati in tratti di mare chiusi o in aree lagunari, privi di scambi attivi con il mare aperto, si possono presentare problemi di accumulo di grandi quantità di detriti sulle biocenosi del fondo con compromissione, talora anche grave, di queste ultime (*Grau et al., 1993; O'Connor et al., 1993*). In Norvegia, non di rado si sono verificati casi di eccessiva eutrofizzazione delle acque con comparsa di "bloom" algali talvolta pericolosi, oltre che per i pesci, anche per la salute dei consumatori (*Folke et al., 1994*).

La maggior parte delle gabbie presenta un volume interno compreso tra 100 e 500 m³; tuttavia, nei modelli di gabbie più grandi il volume interno può superare i 1000 m³. In rapporto all'unità di volume, le gabbie più grandi risultano, in genere, più economiche ma richiedono per la loro gestione attrezzature specifiche e un consistente impiego di manodopera. In ogni caso, le gabbie di grandi dimensioni richiedono, per la loro costruzione, tecnologie più complesse e materiali più sofisticati; inoltre, risultano più difficili da gestire e comportano l'impiego di più unità lavorative, anche per l'esecuzione di operazioni relativamente semplici come l'ispezione delle reti e la rilevazione della mortalità. Anche le operazioni di selezione e di controllo dello stato di salute dei

pesci possono risultare difficoltose; inoltre, in determinate condizioni, la circolazione dell'acqua e il ricambio idrico interno possono risultare limitati o insufficienti.

Un altro svantaggio delle gabbie di grandi dimensioni è rappresentato dal maggiore rischio di perdere grandi quantità di pesce (es. decine di tonnellate) per danni o rotture a carico di una sola gabbia. In effetti, i vantaggi offerti dall'allevamento in gabbia, in termini di flessibilità e di programmazione produttiva, possono essere vanificati dall'eccessiva dimensione delle gabbie.

Per quanto riguarda l'effetto della volumetria della gabbia sulla crescita dei pesci, pochi sono ancora gli studi in merito; alcune esperienze hanno evidenziato che i pesci pelagici o che vivono in branchi (es. salmoni, tonni) crescono più rapidamente in gabbie caratterizzate da una grande estensione in superficie. Uno studio norvegese ha confrontato due gabbie di diverso perimetro (50 e 90 m) per l'allevamento del salmone; i risultati hanno dimostrato che la gabbia più grande ha permesso un accrescimento più veloce, minori sprechi di mangime, migliori indici di conversione, minori mortalità e una riduzione dell'incidenza di maturazione sessuale (*Guldberg et al., 1993*). Tuttavia tali differenze non sembrerebbero così evidenti nell'allevamento di altre specie fisiologicamente meno attive del salmone.

Anche riguardo alla profondità ottimale delle gabbie, le conoscenze scientifiche sono ancora piuttosto scarse. In base delle esperienze attuali, profondità comprese tra 3 e 10 m sono ritenute idonee per l'allevamento di molte specie mentre profondità superiori sarebbero sconsigliate in quanto poco utilizzate dal pesce.

Teoricamente, le reti per l'allevamento in gabbia dovrebbero possedere le seguenti caratteristiche:

- resistenza ai carichi;
- leggerezza;
- resistenza all'immersione;
- resistenza all'esposizione agli agenti atmosferici (ossigeno, raggi ultravioletti, ecc.);
- facilità di riparazione;
- assenza di superfici abrasive per i pesci;
- economicità.

In realtà, nessun tipo di rete possiede tutte queste proprietà; quindi, ogni scelta rappresenta sempre un compromesso in relazione alla specie allevata, alla tecnica di allevamento e alle caratteristiche del sito in cui si opera.

Le reti possono essere rigide oppure flessibili; ovviamente, le reti rigide richiedono collari di tipo rigido.

A seconda del tipo, le reti possono essere più o meno soggette a intasamento da

fouling; in ogni caso, l'entità di tale fenomeno è in funzione del clima e delle caratteristiche dell'acqua in cui le reti sono immerse.

Per l'allevamento in gabbia dei pesci piatti (es. rombo) si utilizzano gabbie particolari, provviste di fondo rigido perforato, realizzato in vetroresina, che permette a queste specie l'esplicazione dei caratteristici comportamenti di alimentazione e di stazionamento sul fondo.

Alcuni modelli di gabbie galleggianti sono stati progettati e realizzati per limitare e controllare lo sviluppo del fouling. In questi modelli la rete, mantenuta in tensione da un'apposita struttura, ruota parzialmente immersa nell'acqua, rimanendo parzialmente esposta all'irraggiamento solare e all'atmosfera.

Spesso, le gabbie sono provviste di una doppia rete di cui quella esterna, a maglia più larga, ha lo scopo di proteggere la specie allevata dall'attacco dei predatori.

Le correnti agiscono sulle gabbie sotto forma di carichi dinamici, la cui entità dipende:

- dalla velocità delle correnti;
- dal tipo di rete (es. diametro dei cavi o dei fili, ampiezza della maglia);
- dall'orientamento delle reti rispetto alla direzione della corrente;
- dal grado d'intasamento da fouling.

Inoltre, le correnti causano la deformazione delle reti con conseguente riduzione della volumetria interna delle gabbie. Per evitare tale fenomeno si può zavorrare il bordo inferiore delle reti ottenendone una maggiore distensione; ciò ne comporta, però, una maggiore esposizione alla forza delle correnti, con intensità da due a sei volte maggiori, rispetto alle reti non zavorrate.

Normalmente, per la progettazione di gabbie di piccole dimensioni non sono richiesti procedimenti di calcolo dettagliati che, invece, si rendono necessari per la costruzione delle gabbie di grandi dimensioni, molte delle quali sono fabbricate dalle stesse ditte produttrici di reti.

Il dimensionamento delle gabbie costruite con reti rigide è influenzato, spesso, dalle misure standard dei pannelli di rete in commercio. Generalmente, queste gabbie sono realizzate prevedendo una pannellatura superiore, superficiale, oltre a quella inferiore e a quelle laterali. I pannelli sono fissati a un telaio di supporto realizzabile in legno, in metallo o con materie plastiche.

Spesso, le gabbie costruite con reti flessibili in plastica sono provviste di un bordo perimetrale sopraelevato rispetto alla superficie dell'acqua per evitare che i pesci, saltando, possano scappare dalla gabbia; l'altezza del bordo dipende dalla specie allevata. In alternativa, può essere prevista una rete orizzontale, superficiale che ha anche la funzione di proteggere i pesci dagli uccelli predatori; generalmente, queste reti sono di tipo annodato, a maglia larga, in PE o in nylon.

Le reti di nylon sono impiegate prevalentemente nei luoghi particolarmente esposti o per l'allevamento dei grandi pesci pelagici.

Le reti di polietilene vengono generalmente impiegate in luoghi marini protetti dove presentano una buona resistenza alla crescita del fouling.

Le reti in fibre sintetiche sono prodotte e commercializzate in rotoli di diversa larghezza; il loro assemblaggio può essere effettuato mediante cucitura manuale o a macchina.

Per gabbie di volume inferiore a 50 m³, le reti dovrebbero essere provviste di funi allacciate sui lati esterni, lungo gli angoli inferiori e laterali; per gabbie più grandi, le reti dovrebbero essere provviste anche di funi disposte lungo le pareti verticali, a intervalli regolari allo scopo di irrigidirle e rinforzarle, facilitandone il sollevamento durante le operazioni di cattura del pesce e di sostituzione delle reti stesse (*Foto 9 pag. 52*). Per agevolare queste operazioni è opportuno prevedere serie di cappi fissati lungo le funi a intervalli regolari (*Figura 25 pag. 75*); quelli disposti lungo i bordi inferiori possono essere collegati a zavorre per assicurare una migliore distensione della rete. Generalmente, il numero e il peso delle zavorre è determinato empiricamente. In ogni caso, le funi e i cappi a cui sono appese le zavorre devono essere sufficientemente resistenti per sopportarne il peso nelle situazioni di massimo sforzo, dovute alla concomitanza di sollecitazioni di vario tipo (es. correnti, moto ondosso).

5.2.2. Le gabbie sommergibili

Nei tratti di mare aperto, soggetti a mareggiate o a eventi meteorologici di grande intensità (es. uragani, cicloni, tifoni), trovano impiego le gabbie di tipo sommergibile, essendo queste meno esposte all'azione distruttiva del vento e del moto ondosso, rispetto a quelle di tipo galleggiante.

In ambienti off-shore queste gabbie presentano il grande vantaggio di poter essere immerse a profondità di 5-10 m quando le condizioni meteorologiche sono avverse, sottraendo le strutture e i pesci all'impatto del moto ondosso.

Un altro vantaggio di alcuni tipi di gabbie sommergibili è rappresentato dalla riduzione dei fenomeni di intasamento delle reti da parte di alghe e di organismi che si sviluppano prevalentemente negli strati più superficiali della colonna d'acqua. Le gabbie sommergibili, destinate a installazioni off-shore, sono state sviluppate in anni recenti; alcune di esse presentano forme simili a quelle di tipo galleggiante.

La regolazione del livello di immersione si ottiene variando il grado di riempimento con acqua di mare di galleggianti o di elementi tubolari o scatolari, aventi anche funzione strutturale (*Foto 10 pag. 53*).

Un tipo di gabbia, di costruzione russa, presenta una struttura portante realizzata con elementi tubolari di acciaio che, fungono anche da camere d'aria per produrre la spinta di galleggiamento. La variazione della spinta ascensionale è ottenuta mediante l'allagamento o lo svuotamento di tali camere; operazioni effettuate mediante l'azionamento di apposite valvole e l'impiego di aria compressa. I volumi di allevamento di questo tipo di gabbie variano, in genere, da 1.000 fino a 2.000 m³.

Un particolare tipo di gabbia sommergibile di piccole dimensioni è impiegato nelle aree caraibiche per resistere agli uragani; presenta una struttura a forma di fuso, costituita da una rete non rigida sorretta da anelli di PVC di diverso diametro (maggiore al centro e minore agli estremi). Per la distribuzione del mangime dispone di una sorta di tasca a forma di imbuto. In condizioni normali la gabbia è mantenuta in superficie, in parziale immersione, con parte della rete al di sopra della linea di galleggiamento (effetto anti-fouling); in caso di uragano la gabbia viene immersa, applicando zavorre e rimuovendo i galleggianti.

Un altro tipo di gabbia sommergibile di forma sferica, progettato e realizzato nel 1991, presenta un particolare tipo di struttura lamellare in alluminio di forma sferica che le conferisce leggerezza e resistenza. Il volume interno è di 1.000 m³; nelle normali condizioni operative la gabbia è mantenuta per 1/3 del volume al di sopra della linea di galleggiamento (effetto anti-fouling) e in caso di mareggiate può essere sommersa.

Recentemente è stata messa a punto una gabbia sommergibile che, pur essendo dotata di un sistema di ormeggio reticolare generalmente usato nei moduli galleggianti, consente l'immersione fino a 20 m ed oltre di profondità. La gabbia viene immersa e riportata in superficie attraverso un sistema di tubolari che vengono riempiti alternativamente con aria e acqua.

In genere, le gabbie sommergibili sono caratterizzate da una maggiore complessità costruttiva, rispetto alle gabbie galleggianti, rappresentata, principalmente, dal sistema di immersione ed emersione; per contro, non sono soggette alle forze impresse dalle onde e dai venti di elevata intensità e alle sollecitazioni "a fatica" che una lunga esposizione al moto ondosso rende pericolose, data la difficoltà in fase di progettazione di valutarne gli effetti sugli elementi strutturali. Di conseguenza, il numero delle sollecitazioni da assumere come dati di progetto per il dimensionamento delle strutture è inferiore rispetto a tutte quelle che devono essere considerate per le gabbie galleggianti. Infatti, per garantire la sicurezza di un'installazione di superficie occorre che in fase di progettazione si preveda un dimensionamento strutturale che tenga conto anche della possibilità di mareggiate eccezionali, che possano verificarsi a distanza di anni, ma il cui impatto sulle strutture e sui pesci allevati resta, comunque, pericoloso e di difficile valutazione.

5.2.3. Le gabbie per acque esposte e profonde

Strutture complesse, idonee a installazioni in acque esposte e profonde, sono state sviluppate per consentire la produzione in gabbia anche lungo le coste prive di ripari naturali e per evitare problemi di auto-inquinamento, di diffusione di parassiti e di malattie. Infatti, la rapida espansione dell'allevamento in gabbia in-shore, in aree costiere protette, ha provocato l'insorgenza di problemi ambientali limitando gli spazi utilizzabili per un'ulteriore crescita dell'attività. Spesso l'allevamento in gabbie di tipo off-shore è preferito perché comporta un ridottissimo impatto ambientale, grazie alla vastità del corpo ricevente e alla presenza di forti correnti, e inoltre si concilia con l'attività turistica lungo le coste o nella fascia marina strettamente adiacente a questa (*Lisac, 1991*).

Generalmente, sono caratterizzate da forma cilindrica o poliedrica in grado di offrire una ridotta resistenza alle correnti, con volumi che possono superare 10.000 m³ per gabbia.

Attualmente, sono disponibili sul mercato differenti tipologie di modelli di gabbie off-shore o di sistemi di allevamento concepiti per operare in mare aperto. Molte sono le idee progettuali proposte in materia, alcune delle quali sono ancora in fase progettazione, mentre altre sono già state testate in vasche sperimentali e soltanto poche sono da considerarsi pienamente collaudate.

L'idonea localizzazione delle gabbie è un fattore di primaria importanza per assicurare il buon funzionamento di un impianto. L'esperienza ha dimostrato che le localizzazioni più esposte non presentano problemi di auto-inquinamento e favoriscono un maggior ritmo di ingestione del mangime e di accrescimento del pesce, migliorandone lo stato di salute generale. Alcune ditte dichiarano per allevamenti in gabbie di propria produzione accrescimenti più rapidi del 15%, fattori di conversione alimentare più favorevoli e mortalità inferiori rispetto ai normali allevamenti in gabbie; tali prestazioni sarebbero confermate da resoconti tecnici di esperienze condotte in Svezia, in Danimarca e in Norvegia.

Inoltre, la qualità del prodotto ottenuto in gabbie situate in mare aperto risulta nettamente superiore quale conseguenza dell'attività motoria a cui sono costantemente sottoposti gli animali; in questo caso i pesci presentano masse muscolari più sviluppate e compatte, minore accumulo di grasso periviscerale e, quindi, una maggiore resa in carne (*Braaten e Dahle, 1990*).

La localizzazione e l'ormeggio di un impianto di maricoltura off-shore devono essere effettuati secondo procedure che prevedano l'esame dei possibili siti d'installazione sotto il profilo dei dati ambientali meteomarinari e meteorologici (vento, correnti, moto ondosso) e il calcolo delle forze che si esercitano sulle strutture delle gabbie. Queste analisi risultano decisive per la scelta del tipo di

gabbie e del relativo equipaggiamento, in relazione alla localizzazione prevista (Beveridge, 1996; Pomelie e Paquotte, 2000).

Un impianto di maricoltura completo deve consentire lo svolgimento in loco di tutte le funzioni necessarie di ordine tecnico, biologico e pratico. Non tutte le tecnologie esistenti per installazioni in acque protette si prestano per essere adottate su gabbie off-shore.

La somministrazione dell'alimento può essere svolta manualmente con sistemi meccanici di distribuzione posti su imbarcazioni o su piattaforme di alimentazione oppure può essere effettuata in modo automatico con sistemi computerizzati. Comunque, un certo livello di automazione è sempre richiesto, in considerazione del grande volume delle singole gabbie e della variabilità delle condizioni atmosferiche.

È stato di recente messo a punto un alimentatore subacqueo che consente la programmazione della distribuzione del mangime, differenziandone la razione in relazione al carico ed alla taglia dei pesci allevati. È composto da un cilindro in HDPE flangiato con un setto separatore intermedio in modo da formare due camere distinte; la prima è pressurizzata sottovuoto e contiene il mangime da erogare; la seconda ha la funzione di serbatoio di aria compressa con timer elettronico e batteria. Il timer, programmabile per periodi di tempo prolungati tramite selettori presenti nel circuito, comanda l'elettrovalvola permettendo all'aria compressa di entrare nella camera spingendo all'esterno l'alimento.

Quando le gabbie sono di grandi dimensioni il cambio delle reti rappresenta un'operazione relativamente complessa. Le reti di tipo auto sostenente, usate in molti sistemi di allevamento, possono essere cambiate a mano (massa di 600-800 kg); tuttavia, è sempre raccomandato l'impiego di sistemi di sollevamento meccanici. In ogni caso, il cambio delle reti può essere eseguito soltanto in condizioni atmosferiche favorevoli.

La manipolazione del pesce in grandi volumi di acqua risulta difficoltosa; quindi per le operazioni di selezione e di cattura del pesce, di trattamento contro i parassiti, di raccolta e di campionamento, è necessario disporre di un certo assortimento di gabbie di piccole e grandi dimensioni. Selezione, conteggio e trasferimento del pesce sono effettuati lasciando che il pesce stesso si muova nuotando attraverso dei tunnel di rete; i risultati di questa tecnica dipendono, principalmente, dalla esperienza pratica e dalla comprensione che si ha del comportamento del pesce.

Una gabbia di tipo corrente del volume di 500 m³, contenente 10-20 tonnellate di pesce, può essere trattata facilmente ma una gabbia contenente 100-150 tonnellate di pesce non può essere svuotata in breve tempo; in questo caso, anche la macellazione può richiedere 2 o 3 settimane di tempo. L'allevamento su larga scala richiede, quindi, una attenta pianificazione della macellazione poiché le

operazioni di raccolta possono richiedere tempi relativamente lunghi mentre le gabbie di piccole dimensioni possono essere rimorchiate a terra con il loro carico di pesce vivo, rendendo il lavoro più agevole e veloce.

Il pesce morto deve essere rimosso sistematicamente da parte di addetti sommozzatori o mediante il sollevamento della rete, pratica assai faticosa che richiede molto tempo. In Norvegia è stata messa a punto una tecnica di asportazione delle mortalità che prevede l'impiego di un apparecchio elevatore per il sollevamento periodico di un cesto posizionato sul fondo del sacco di rete.

Nelle gabbie di grandi dimensioni l'elevata profondità rende difficile la visione e il controllo del pesce al loro interno, le cui anomalie di comportamento possono indicare l'insorgenza di patologie, di attacchi parassitari o di un quadro ambientale sfavorevole. Per il monitoraggio della biomassa si stanno studiando diversi sistemi quali ecosonde, sonar e sistemi televisivi a circuito chiuso, alcuni dei quali sono in via di sperimentazione mentre altri sono già in commercio. I nuovi tipi di gabbie per la maricoltura in acque esposte potranno avere uno sviluppo se i risultati economici saranno migliori di quelli ottenuti con tecniche tradizionali. Molti ritengono che la maricoltura di altura sia troppo rischiosa, in quanto soggetta a rischi di perdite totali in caso di incidenti; tuttavia, se i produttori di gabbie e gli allevatori si attengono a norme e procedure idonee in materia di scelta delle attrezzature e delle localizzazioni e si adottano opportuni metodi di allevamento, il fattore rischio può essere limitato a livelli accettabili.

Uno studio condotto in Norvegia ha confrontato i costi di produzione degli allevamenti in gabbia di tipo off-shore con quelli di tipo in-shore, evidenziando per i primi maggiori profitti nel terzo e nel quarto anno di attività; tuttavia, negli anni successivi al quarto i costi di produzione degli allevamenti off-shore sono risultati analoghi a quelli di allevamenti in-shore (*Blakstad, 1988*).

Il vantaggio principale della maricoltura di altura è rappresentato dalla possibilità di realizzare grosse produzioni, massimizzando i profitti complessivi. Lo sviluppo di gabbie adatte tecnicamente ed economicamente a installazioni in acque esposte e profonde consentirebbe l'esercizio e l'espansione dell'acquacoltura in nuove e vaste aree marine "d'altura".

5.3. LA PROGETTAZIONE DELLE GABBIE E DELLE STRUTTURE DI RECINZIONE

Le strutture di recinzione devono essere progettate considerando molteplici aspetti tra cui, principalmente, le forze o sollecitazioni meccaniche cui devono essere in grado di resistere.

Le forze applicate possono essere di tipo statico o dinamico. I carichi statici

sono rappresentati dal peso della struttura (le reti, i supporti e le altre componenti strutturali) e dai carichi aggiuntivi, connessi al mantenimento in immersione delle reti e alla esecuzione di determinate operazioni. I carichi dinamici includono le forze generate dal vento sulla superficie dell'acqua, quelle esercitate dalle onde in corrispondenza dell'interfaccia aria-acqua e quelle impresse dalle correnti, tra cui quelle delle maree. Inoltre, devono essere considerati altri carichi accidentali, come quelli derivanti dalla collisione con oggetti alla deriva, con imbarcazioni o con grossi predatori. Alcuni carichi si modificano nel tempo per effetto della corrosione e, soprattutto, dell'intasamento delle reti dovuto allo sviluppo di "fouling" ovvero al deposito su di esse di concrezioni, di alghe e di microrganismi. Il ritmo di formazione del fouling varia considerevolmente, in relazione al clima e alle caratteristiche dell'acqua in cui le reti sono immerse; in tabella 6 sono riportati alcuni dati di incremento di peso delle reti per effetto del fouling, rilevati sperimentalmente in acque di mare della costa scozzese.

Tabella 6 - Incrementi di peso delle reti immerse per effetto del fouling rilevati in acque di mare della costa scozzese (Milne, 1970).

Tipo di rete	Peso delle reti (N/m ²)			
	rete pulita	Luglio	Settembre	Novembre
Nylon	2,26	6,8	194	240
Ulstron	3,33	10,0	216	370
Courlene	1,96	5,9	169	249
Polietilene:				
a) standard	1,77	5,3	200	356
b) trattato con cupra	1,77	3,5	80	168
Netlon	3,33	6,7	123	163
Plastabond	31,87	55,8	350	446
Acciaio zincato:				
a) maglia non saldata	19,91	25,9	30	74,7
b) maglia saldata	33,34	43,3	50	117

I carichi dinamici variano in funzione delle condizioni idrografiche e meteorologiche del luogo d'installazione; il ritmo di formazione del fouling può variare in modo considerevole a seconda del luogo, mentre varia in misura minore il ritmo di corrosione.

I dati di riferimento per la velocità del vento, l'altezza delle onde e la fluttuazione delle maree possono essere stimati attraverso l'elaborazione statistica di dati storici, sempre che questi siano disponibili.

Per la progettazione delle strutture superficiali di supporto alle gabbie si deve considerare l'effetto del vento e, in particolare, la sua massima velocità attesa; la forza del vento può essere calcolata utilizzando la seguente formula:

$$F_w = 0,946 \times A \times V^2 \quad (\text{Van Boven, 1968})$$

F_w = forza del vento (N);

A = area della proiezione della struttura sul piano ortogonale alla direzione del vento (m^2);

V = velocità dell'aria (m/s).

La suddetta equazione è utile per calcolare le forze trasmesse alle strutture piene mentre quella seguente fornisce valori abbastanza attendibili per reti a maglia, di larghezza superiore a 25 mm, prive di fouling.

$$P_w = \frac{1}{2} \times K \times \rho \times V^2 \quad (\text{Pankhurst e Holder, 1958})$$

P_w = pressione del vento (N/m^2);

ρ = densità dell'aria (kg/m^3);

V = velocità dell'aria (m/s);

K = coefficiente di resistenza = $(1 - B)/B^2$;

B = coefficiente di ostruzione $1 - d/L^2$;

d = diametro del filo (m);

L = larghezza nominale della maglia della rete (m).

Anche per le sollecitazioni del moto ondoso occorre considerare la probabile forza, di maggiore intensità, che possa essere trasmessa alla recinzione.

L'altezza delle onde è in funzione:

- della velocità media oraria del vento;
- della distanza libera massima, in linea retta, a livello del pelo dell'acqua, tra la struttura e un punto qualsiasi della massa d'acqua;
- della profondità della massa d'acqua.

La forza del moto ondoso sulle strutture di recinzione dipende dalla velocità orbitale delle particelle d'acqua all'interno dell'onda; la velocità orbitale dipende dalla profondità della massa d'acqua e dal periodo e dalla lunghezza dell'onda. In mare aperto, a una profondità superiore alla metà della lunghezza d'onda, il moto ondoso si annulla quasi completamente; i pesci, essendo più piccoli in rapporto alla lunghezza d'onda, seguono gli stessi movimenti che sono propri delle particelle d'acqua in un campo di pressione costante. Quindi, per condizioni meteomarine difficili, le gabbie dovrebbero essere progettate in modo tale che le strutture e le reti riproducano e assecondino i moti delle particelle d'acqua indotti dalle onde. Questo risultato può essere ottenuto applicando un sistema di ancoraggio non rigido e utilizzando elementi di galleggiamento di piccole dimensioni. Relativamente alle strutture immerse, devono essere considerate anche le forze delle correnti, tra cui quelle generate dalle maree. Le correnti favoriscono la circolazione dell'acqua e il ricambio idrico attraverso le recinzioni.

Il carico dinamico che incide sulla rete per effetto delle correnti è in funzione del tipo di rete (diametro e ampiezza della maglia), della velocità della corrente e della densità dell'acqua.

$$F_c = C_d \times \rho \times V^2 \times \frac{A}{2} \quad (\text{Kawakami, 1964; Rudi et al., 1988})$$

F_c = forza della corrente applicata alla recinzione a rete (N);

C_d = coefficiente di resistenza della maglia della rete;

ρ = densità dell'acqua (kg/m^3);

V = velocità della corrente (m/s);

A = proiezione della rete ortogonale alla direzione della corrente (m^2).

Il coefficiente di resistenza della maglia della rete C_d si può calcolare utilizzando le seguenti formule (Milne, 1970):

$$\text{per reti annodate } C_d = 1 + 3,77 (d/a) + 9,37 (d/a)^2$$

$$\text{per reti senza nodi } C_d = 1 + 2,73 (d/a) + 3,12 (d/a)^2$$

a = larghezza nominale della maglia della rete (mm);

d = diametro del filo della rete (mm).

Queste formule permettono di calcolare la forza delle correnti su reti pulite; per considerare l'effetto del fouling occorre adottare opportune modifiche, come

riportato a titolo esemplificativo in tabella 6. Tutte le recinzioni devono essere progettate per sopportare la somma delle forze agenti nella stessa direzione e nello stesso verso, assumendo che tutte siano applicate contemporaneamente.

5.3.1. Le strutture di supporto delle gabbie

Per la realizzazione delle strutture di supporto delle reti e dei sistemi di galleggiamento, di ormeggio e di connessione tra le gabbie, esistono diverse soluzioni costruttive.

La struttura perimetrale della gabbia, detta “collare”, oltre a sostenere le reti nella colonna d’acqua, può fungere anche da piattaforma di lavoro per l’esecuzione delle operazioni manuali di gestione (es. alimentazione, controllo, selezione, cattura); inoltre, quando le reti sono di tipo flessibile, ha la funzione di mantenerne la forma. La struttura può essere realizzata con diversi materiali e modalità costruttive; gli elementi strutturali possono essere realizzati con:

- profilati metallici di acciaio zincato o di alluminio (tubi, barre, ecc.);
- legno trattato con prodotti impregnanti (moralì, listelli, tavole);
- bambù (pertiche);
- materiali plastici (PE).

La robustezza complessiva della struttura di supporto di una gabbia dipende da diversi fattori (*Kerr et al., 1980*):

- il materiale costruttivo;
- il dimensionamento e la conformazione degli elementi strutturali (es. sezione);
- la robustezza dei giunti utilizzati per la connessione degli elementi strutturali, soprattutto nel caso in cui le sollecitazioni siano concentrate su di essi;
- la flessibilità dei giunti e degli elementi strutturali;
- il sistema di ormeggio;
- la distribuzione dei carichi risultanti in funzione della collocazione e dell’orientamento dei punti di ormeggio, rispetto alla gabbia.

Le forze statiche agenti verticalmente, tranne quelle esercitate dal fouling, possono essere determinate con precisione in sede di progetto allo scopo di assicurare la stabilità della gabbia.

Le forze dinamiche, agenti sulla struttura di galleggiamento e di supporto delle reti, possono avere direzione orizzontale, come quelle impresse dal vento e dalle correnti, oppure direzione verticale, come quelle indotte principalmente dal moto ondoso. Quelle agenti sulla parte immersa della gabbia, invece, sono costituite principalmente dalla spinta idrodinamica esercitata dalla corrente che, oltre ad agire sulle reti, è trasmessa per mezzo di queste alle strutture di sostegno e di galleggiamento.

La forza ascensionale prodotta dal sistema di galleggiamento può essere considerata come la reazione ai carichi verticali, mentre le forze indotte dal sistema di ormeggio rappresentano le reazioni ai carichi orizzontali.

Nella progettazione delle gabbie occorre considerare due tipi di situazione:

- di limite ultimo;
- di limite di servizio.

La prima fa riferimento a situazioni catastrofiche (es. uragani, mareggiate eccezionali) che richiedono l'applicazione di determinati margini di sicurezza per minimizzare i rischi, mentre la seconda definisce il comportamento ordinario delle strutture, relativo all'esercizio delle normali operazioni di routine.

Un'analisi, condotta su numerosi tipi di gabbie galleggianti, ha evidenziato che la resistenza degli elementi strutturali dei collari ai carichi orizzontali risulta, in genere, di circa mille volte superiore alla resistenza ai carichi verticali (*Cairns e Linfoot, 1990*); ciò sarebbe confermato, in Scozia, dalla frequente rottura delle gabbie a causa degli eccessivi carichi verticali cui sono sottoposte.

Tra i carichi verticali, oltre al peso delle reti, devono essere considerati le sovrastrutture (struttura di sostegno, piattaforme, corrimano, reti superficiali) e gli eventuali carichi supplementari necessari allo svolgimento delle operazioni di routine (es. peso degli operatori e di eventuali pompe, alimentatori, selezionatori, aeratori).

Il sistema di galleggiamento può essere realizzato con soluzioni e materiali diversi quali: barili pieni d'aria, boe cilindriche o sferiche di polietilene espanso, pertiche di bambù, elementi di forma prismatica in polistirene o tubi in polietilene riempiti con aria o con schiuma poliuretanic.

Come le reti, anche i galleggianti, essendo soggetti al deposito di fouling, richiedono periodici interventi di manutenzione per evitarne un progressivo appesantimento. I barili possono essere sostituiti oppure ruotati periodicamente di 180° per esporre all'aria i microrganismi responsabili del fouling, oppure possono essere rivestiti con sacchi di polietilene intercambiabili.

La spinta ascensionale impressa dagli elementi galleggianti può essere calcolata in base alla densità del materiale di cui sono costituiti, utilizzando la seguente formula:

$$F_G = 9,807 \times (V_A \rho_A - V_M \rho_M)$$

F_G = forza ascensionale di galleggiamento (N);

V_M = volume del galleggiante (m^3);

$V_A = V_M$ = volume di acqua uguale a quello del galleggiante (m^3);

ρ_A = densità dell'acqua (kg/m^3);

ρ_M = densità del galleggiante (kg/m^3).

La stessa formula può essere utilizzata per i barili metallici o per quelli in materiale plastico considerandone, il volume e il peso.

Per garantire la stabilità della gabbia il sistema di galleggiamento deve essere progettato valutando anche il numero e la distribuzione dei galleggianti lungo i collari, in relazione ai diversi carichi verticali, concentrati o distribuiti, cui la struttura può essere sottoposta. Un dimensionamento eccessivo, pur incrementando la stabilità della gabbia in superficie, può aumentare molto la frequenza delle oscillazioni indotte dal moto ondoso, causando stress nel pesce allevato e rendendo insicuri o disagiati i collari di tipo largo, utilizzati come passerelle per gli operatori.

Sui collari il moto ondoso imprime sollecitazioni cicliche di flessione e di torsione, la cui frequenza è inversamente proporzionale al periodo dell'onda ovvero al tempo necessario alla cresta dell'onda per percorrere una distanza pari a una lunghezza d'onda; nei tratti di mare riparati il periodo delle onde è molto inferiore a quello riscontrabile in mare aperto e quindi è molto maggiore la frequenza di tali sollecitazioni, che sottopongono i collari a dannosi fenomeni di "fatica". Un'esposizione prolungata a carichi di entità pari al solo 10% del carico di rottura misurata in una singola applicazione, possono provocare la rottura dei collari soprattutto in corrispondenza delle saldature. In particolare, le sollecitazioni di flessione tendono a scaricarsi sugli elementi strutturali mentre quelle di torsione agiscono principalmente sui punti di collegamento (Beveridge, 1996).

In virtù della forma e delle loro dimensioni, i collari esagonali e ottagonali possono assorbire minore energia rispetto a quelli rettangolari, in quanto presentano una minore superficie esposta al vento e alle correnti; inoltre permettono la distribuzione dei carichi su un maggior numero di giunti.

I collari circolari, essendo privi di angoli, risultano più robusti ma possono comportare maggiori difficoltà costruttive.

Tutti i collari presentano un certo grado di flessibilità; tuttavia, in molti tipi di gabbie la flessibilità dei collari rappresenta un vantaggio poiché, in un certo senso, consente alla gabbia di "cavalcare le onde" riducendo sia l'intensità delle forze agenti sui collari, sia l'ampiezza di oscillazione delle reti. Per esempio, i collari realizzati in tubi di polietilene ad alta densità (HDPE), sono in grado di limitare le forze indotte dal moto ondoso sulla struttura, dissipando l'energia attraverso la propria deformazione elastica (Foto 10 pag. 53). Questi tubi, essendo leggeri, robusti e altamente resistenti all'immersione e all'esposizione agli agenti atmosferici, sono ampiamente utilizzati nel mondo per la realizzazione di collari circolari od ottagonali; generalmente, la base è costituita da un tubo del diametro di 160-250 mm riempito di poliuretano espanso ad alta densità, mentre i montanti e i correnti di supporto alle reti sono realizzati con tubi vuoti di dia-

metro inferiore. L'assemblaggio dei tubi può essere effettuato mediante bulloni o saldatura. La base dei collari può comprendere due o tre anelli concentrici di tubo collegati tra di loro per mezzo di puntoni di sezione inferiore, provvisti alle estremità di giunti "a sella" conformati in modo da aderire alla superficie curva dei tubi; tale soluzione permette di rinforzare e irrigidire la struttura, di aumentare la spinta di galleggiamento e di migliorare le condizioni di lavoro intorno alla gabbia.

Nel caso di impiego di rete antiuccello, è possibile posizionare questa su di un supporto galleggiante in PE che viene sistemato al centro della gabbia e collegato al collare tramite corde; questo supporto consente di mantenere la rete ad altezze diverse (da 1,5 a 3,5 m) dalla superficie.

5.3.2. Il raggruppamento e il collegamento delle gabbie

Il raggruppamento delle gabbie di tipo galleggiante è una pratica molto diffusa, non soltanto perché permette di semplificare i sistemi di ancoraggio e di ridurre i costi, ma anche per motivi di carattere gestionale, in quanto assicura migliori condizioni di lavoro e può consentire l'installazione di strutture e di attrezzature di stoccaggio e di distribuzione meccanizzata del mangime; ciononostante, molti tipi di gabbie sono concepiti per essere ormeggiati individualmente.

In ogni caso, le modalità di raggruppamento dipendono, principalmente, dai seguenti fattori:

- dimensioni dell'allevamento;
- dimensioni e natura del sito;
- forma e tipologia di gabbie;
- sistema di collegamento tra le gabbie;
- sistema di ormeggio e di ancoraggio;
- aspetti ambientali;
- aspetti sanitari e gestionali.

Nei grandi allevamenti le esigenze di programmazione produttiva influiscono sulle dimensioni delle singole gabbie e sulle relative modalità di raggruppamento. Anche le caratteristiche fisiche del sito (es. grado di esposizione, profondità, estensione) possono vincolare l'installazione delle gabbie e il loro raggruppamento in funzione delle loro dimensioni, della loro forma e della loro profondità.

Normalmente le gabbie a pianta quadrata o rettangolare possono essere collegate e raggruppate abbastanza agevolmente, secondo diverse configurazioni; diversamente, le gabbie esagonali, ottagonali o circolari risultano meno versatili da questo punto di vista (*Figura 26*).

In alcuni modelli commerciali di gabbie i sistemi di collegamento ne permettono il raggruppamento soltanto secondo configurazioni prestabilite. Anche la qualità dell'acqua e la velocità delle correnti influiscono sulle modalità di raggruppamento delle gabbie. Alcune sperimentazioni sono state condotte per verificare gli andamenti dei flussi di acqua, passanti attraverso serie di gabbie allineate lungo la direzione principale della corrente; i risultati di tali studi hanno evidenziato che, da gabbia a gabbia, si manifestano cali molto consistenti della velocità dell'acqua e riduzioni del tenore di ossigeno disciolto. Generalmente, si raccomanda di evitare l'installazione di più di due o tre gabbie disposte in successione lungo la direzione della corrente principale. Se il sistema di allevamento prevede numerose gabbie disposte su una fila, questa dovrebbe essere ancorata in modo tale che il suo asse principale risulti perpendicolare alla direzione della corrente dominante; in ogni caso, sono da evitare gli ancoraggi in un unico punto perché la fila di gabbie tenderebbe sempre a disporsi parallelamente alla direzione della corrente (Figura 26e).

Il raggruppamento delle gabbie modifica il comportamento dei collari, riducendo l'intensità delle forze che agiscono su ogni singola gabbia, con smorzamento dei movimenti indotti di traslazione e di torsione. I giunti di collegamento tra le gabbie dovrebbero essere concepiti per smorzare moderatamente i movimenti di torsione intorno all'asse trasversale del collegamento (beccheggio) e limitare al minimo i movimenti di traslazione orizzontali e quelli di torsione intorno agli assi longitudinale (rollio) e verticale.

La costruzione di giunti elastici, in grado di assecondare e di smorzare ogni tipo di movimento di traslazione e di torsione, risulta piuttosto difficile, oltre che costosa; inoltre, quando i collari fungono anche da supporto a passerelle o a piat-

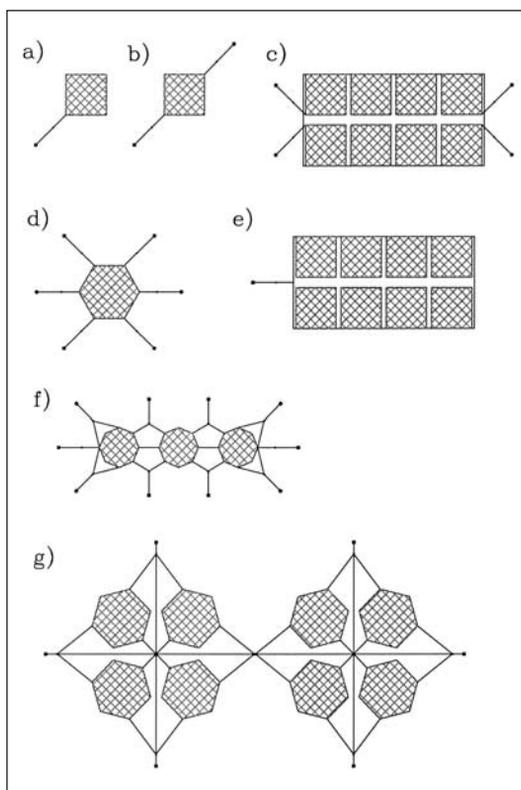


Figura 26 – Schemi planimetrici di diversi sistemi d'ancoraggio per gabbie galleggianti.

taforme di lavoro un'eccessiva flessibilità dei giunti può comportare problemi di stabilità per gli operatori. D'altra parte, i giunti di tipo rigido, tendendo a concentrare su di sé le forze agenti sulla gabbia, devono presentare una robustezza elevata, soprattutto per installazioni in aree esposte. Il sistema di collegamento più semplice, utilizzato per gabbie di modeste dimensioni, è costituito da una fune o da una catena fissata strettamente intorno a due collari attigui in modo tale da limitare al minimo ogni tipo di movimento. Le catene sono da preferire alle funi, essendo più resistenti all'abrasione; pneumatici usati possono essere interposti tra i collari, appesi o imbullonati ad essi, per fungere da parabordi. Tipologie di giunti più sofisticate devono essere previste per gabbie di tipo pesante, di grandi dimensioni e per installazioni in tratti di mare non riparati.

5.3.3. I sistemi di ormeggio

I sistemi di ormeggio delle gabbie sono costituiti, in genere, da un insieme di cavi e di dispositivi di ancoraggio atti a garantire il mantenimento delle gabbie in una determinata posizione. La loro rigidità influisce sia sui movimenti delle gabbie, sia sulla distribuzione delle forze all'interno dell'intero sistema di gabbie; ciò richiede un'accurata progettazione degli ormeggi, che tenga conto dei requisiti di sicurezza strutturale, delle esigenze di stabilità e di operatività dei lavoratori e dei bisogni di crescita della coltura allevata (movimenti delle reti). Il sistema di ormeggio dovrebbe essere considerato una parte integrante della struttura di una gabbia; quindi, le diverse componenti dei collari, delle reti e degli ormeggi dovrebbero essere progettate congiuntamente. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, il sistema di ormeggio è progettato e realizzato successivamente alla scelta o alla progettazione delle gabbie. Da alcuni anni molti costruttori di gabbie tendono a proporre ai loro clienti anche la progettazione e l'installazione delle strutture di ormeggio. La progettazione degli ormeggi deve essere effettuata considerando le caratteristiche delle gabbie e del sito di installazione allo scopo di determinare le forze incidenti sulla gabbia nelle peggiori condizioni che abbiano una certa probabilità di verificarsi e, quindi, di caratterizzare e quantificare le forze trasferite al sistema di ormeggio.

Alcuni studi hanno evidenziato che i carichi trasferiti attraverso le linee di ormeggio, ovvero lungo i cavi collegati ai dispositivi di ancoraggio, variano enormemente in funzione (*Beveridge, 1996*):

- della corrente;
- del moto ondoso;
- del tipo di gabbia;
- del numero e della disposizione dei punti ormeggio.

In tratti di mare particolarmente esposti al moto ondoso e agli agenti atmosferici è consigliabile verificare l'eventuale presenza in loco e il dimensionamento di impianti d'allevamento in gabbia oppure consultare ditte specializzate nella progettazione e nella costruzione di sistemi di ormeggio.

In relazione al numero di punti di ancoraggio, il sistema di ormeggio può essere multiplo o localizzato in un unico punto. Il sistema multiplo è il più diffuso e assicura il mantenimento dell'orientamento delle gabbie, mentre quello localizzato permette alle gabbie di ruotare intorno al punto di ormeggio (*Figura 26a e 26e pag. 93*); in questo caso, le gabbie assumono la posizione di minor resistenza al vento, al moto ondoso e alle correnti, limitando al minimo le sollecitazioni sulle gabbie e sulle strutture di collegamento. Ciononostante, il sistema di ormeggio localizzato in un unico punto è impiegato preferibilmente per installazioni in siti riparati di gabbie a pianta quadrata o rettangolare; rispetto al sistema di ormeggio multiplo, richiede maggiori disponibilità di spazio e comporta una più ampia distribuzione dei reflui (deiezioni, residui di mangime). In rapporto alla superficie occupata dall'insieme degli ormeggi e delle gabbie, la percentuale di superficie occupata dalle sole gabbie (escludendo quella occupata dagli ormeggi) risulta pari al 20-30% per il sistema di ormeggio multiplo e pari al solo 2-4% per il sistema a punto singolo (*Beveridge, 1996*).

L'orientamento ottimale delle gabbie ormeggiate con il sistema multiplo dipende dalla natura del sito, dal tipo di gabbie e dalla modalità di raggruppamento. In aree particolarmente esposte è consigliabile orientare le gabbie in modo tale da offrire la minore resistenza alle forze prevalenti trasmesse dai venti, dal moto ondoso e dalle correnti, mentre in aree riparate, caratterizzate da una ridotta circolazione delle acque, è consigliabile orientare le gabbie in modo da massimizzare il ricambio idrico al loro interno.

Un sistema di ormeggio può essere definito da un numero di cime, specificando il tipo e il diametro delle stesse, la batimetria in corrispondenza di ogni ancoraggio e le modalità di ormeggio; per la progettazione di sistemi di ormeggio complessi sono stati messi a punto appositi software.

Il numero di linee di ormeggio dipende dalle modalità di distribuzione delle forze ai punti di ancoraggio. Per collari di tipo flessibile il numero delle linee di ormeggio dipende principalmente dalla forma della gabbia, ovvero dal numero di angoli (es. sei linee di ormeggio per le gabbie di forma esagonale). In genere, i sistemi di ormeggio prevedono l'impiego di cavi e/o di catene per collegare le gabbie alle ancore.

Una soluzione alternativa per l'ormeggio di gabbie di piccole dimensioni in acque riparate poco profonde, consiste in una serie di pali infissi nel fondale, la sommità dei quali, fuori dall'acqua è collegata alle gabbie per mezzo di cavi oppure di cerchi metallici o di pneumatici, in modo tale da limitarne i movi-

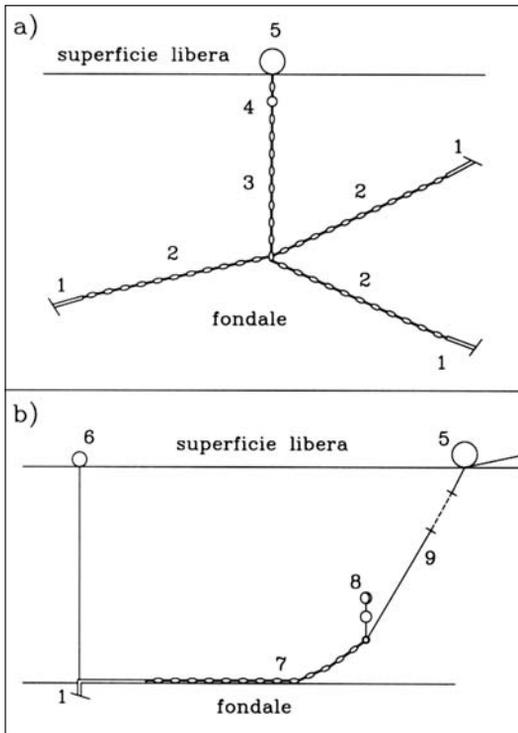


Figura 27 - Schemi di linee di ormeggio per:
 a) sistemi di ormeggio localizzati in un unico punto;
 b) sistemi di ormeggio multipli.

In evidenza:

1. ancora;
2. catena (lunghezza $l = \text{profondità} \times 1,75$);
3. catena, tratto ascendente ($l = p$);
4. anello girevole su perno;
5. boa d'ormeggio;
6. boa di segnalazione;
7. catena ($l = p$);
8. galleggianti di sollevamento;
9. cavo d'ormeggio ($l = p \times 3$).

menti soltanto a quelli indotti dalle maree e dal moto ondoso. Questo sistema prevede l'impiego di pali di legno di elevata durezza e resistenza, piantati per circa due metri di profondità nel fondo.

Per la realizzazione dei sistemi di ormeggio esiste un'ampia gamma di soluzioni costruttive. Alcune prevedono il collegamento diretto delle gabbie ai dispositivi di ancoraggio per mezzo di cavi; altre prevedono l'interposizione di una o due catene di tipo pesante tra l'ancora e il cavo di collegamento alle gabbie (Figura 27). Le ancore sono concepite per opporre resistenza nelle principali direzioni in cui agiscono le forze a cui sono sottoposte normalmente. A parità di diametro, i cavi da ormeggio in nylon e in PES sono considerevolmente più pesanti di quelli in PP o in PE; quelli in nylon presentano un più elevato carico di rottura rispetto agli altri. La connessione dei cavi agli ancoraggi non dovrebbe essere diretta, ma dovrebbe prevedere l'interposizione di un tratto di catena; quest'ultima,

oltre a presentare una elevata resistenza all'abrasione, permette di aumentare l'efficienza del sistema di ormeggio sia a causa della propria massa, fungendo anche essa da ancora, sia modificando la disposizione della linea di ormeggio (forma a catenaria), con una riduzione dell'angolo tra linea di ormeggio e il fondale e con un aumento del potere di trattenuta dell'ancora (Figura 27b). Inoltre, la forma a catenaria assunta dalla linea di ormeggio permette, in caso di trazio-

ne, un elevato assorbimento di energia, limitando le sollecitazioni a carico dell'ancora.

Generalmente, la lunghezza del tratto di catena non è superiore a un terzo della lunghezza complessiva della linea di ormeggio, per evitare un eccesso di carichi verticali gravanti sul sistema di galleggiamento della gabbia. La lunghezza totale della linea di ormeggio dovrebbe essere pari ad almeno tre volte la profondità massima in corrispondenza del sito d'installazione della gabbia. In alcuni casi, può essere adottato un particolare tipo di linea di ormeggio che prevede l'impiego di una tratto di catena, di lunghezza pari a due o tre volte la profondità massima, per collegare l'ancora a un galleggiante superficiale da posizionare a circa 10 m di distanza dalla gabbia; il collegamento tra galleggiante e gabbia è realizzato mediante un cavo in fibra sintetica. Il tratto di catena tra l'ancora e il galleggiante assume una pronunciata forma a catenaria; il potere di trattenuta in direzione orizzontale e verticale dipende dalla massa della catena e dall'angolo esistente tra la catena e il piano del fondale. Il galleggiante ha la funzione di minimizzare i carichi verticali trasmessi alla gabbia dalla linea di ormeggio e deve essere dimensionato per sopportare il peso della catena e per resistere alle sollecitazioni verticali trasmesse dalla gabbia e dal sistema di ormeggio. In caso di urti o di shock improvvisi, l'insieme della catena e del galleggiante funge da ammortizzatore assorbendo gran parte dell'energia ed evitando che questa sia trasferita all'ancora.

Il sistema di ancoraggio a terra può essere adottato quando si prevede l'installazione delle gabbie in aree riparate vicine alla terra ferma; in questo caso, i dispositivi di ancoraggio sono di facile installazione e manutenzione.

Su substrato roccioso di adeguata consistenza l'ancoraggio può essere costituito da barre di acciaio zincate inserite all'interno di fori, praticati mediante trapano, e fissate con malta di cemento; in alternativa, possono essere utilizzati pioli di acciaio conficcati nella roccia, muniti di occhiello per il collegamento alla catena mediante anello di trazione. Su substrati terrosi possono essere utilizzati pali in legno di sezione e lunghezza adeguate (es. sezione 15 x 15 cm e lunghezza di 2 m) infissi nel suolo; in questo caso il collegamento alla linea di ormeggio non è effettuato mediante un tratto di catena, ma per mezzo di un cap-palo passante attraverso un foro, praticato nella sezione del palo.

5.3.4. Gli ancoraggi

Per l'ormeggio delle gabbie possono essere adattate diverse soluzioni di ancoraggio. Il tipo di ancoraggio più semplice ed economico è rappresentato dal "corpo morto" che, generalmente, consiste in un sacco pieno di sabbia o di pie-

tre oppure in un blocco di calcestruzzo o in un rottame metallico. Il corpo morto rimane immobile, mantenendo il proprio potere di ancoraggio, a condizione che la forza di attrito tra ancora e substrato del fondale sia superiore alla componente orizzontale della risultante delle forze, trasmesse dalla gabbia attraverso la linea di ormeggio. Il coefficiente di attrito “ k ” dell’ancora è definito dal rapporto tra la componente orizzontale della risultante delle forze trasmesse dalla gabbia e il peso dell’ancora.

È possibile dimostrare che k dipende dalla natura del fondale e dall’angolo esistente tra linea di ormeggio e il piano del fondale ovvero dal rapporto tra la lunghezza della linea di ormeggio e la profondità nel punto d’installazione. All’aumentare di tale rapporto, il coefficiente k aumenta ma, per rapporti superiori a 4, l’incremento di k tende progressivamente ad annullarsi.

Rispetto agli altri tipi di ancore, il corpo morto presenta minore efficienza; per esempio, un sacco di sabbia della massa di 100 kg, installato su substrato sabbioso, presenta un potere di ancoraggio compreso tra 19 e 27 daN, variabile a seconda dell’inclinazione della linea di ormeggio rispetto al fondale, mentre un’ancora moderna di tipo leggero (es. lightweight) presenta un potere di ancoraggio pari a circa 50-70 volte la propria forza peso.

Su fondali fangosi il potere di ancoraggio del corpo morto è molto inferiore a quello ottenibile su substrati sabbiosi. In ogni caso quando il corpo morto affonda parzialmente nel substrato del fondo, ne consegue un sensibile aumento del potere di ancoraggio. I corpi morti in cemento armato possono essere realizzati facilmente utilizzando cassature in legno o in materiali di recupero (es. pneumatici usati); normalmente, nel getto sono incorporate barre d’acciaio di rinforzo collegate a un anello di trazione per il collegamento alla linea di ormeggio.

Una volta realizzati, i corpi morti possono essere immersi in acqua in condizioni di bassa marea e collegati a un galleggiante che ne consente il trasporto in condizioni di alta marea fino al punto d’installazione. Un altro svantaggio degli ancoraggi a corpo morto consiste nella difficoltà di recupero dei medesimi. Per l’ormeggio delle gabbie, oltre ai corpi morti, si possono utilizzare ancore vere e proprie il cui potere di ancoraggio dipende dalle caratteristiche meccaniche del fondale, dal grado di penetrazione nel substrato e, più che dalla massa dell’ancora, dall’area della marra (estremità appuntite dei bracci dell’ancora).

Il grado di penetrazione dell’ancora nel substrato del fondale è in funzione dell’area e della forma della marra e dell’angolo tra la marra e il fuso (o asta) dell’ancora, mentre il suo attrito con il substrato dipende dalla coesione e dalla resistenza di questo allo sforzo di taglio. Come per i corpi morti, anche per le ancore la forza di trattenuta dipende dall’angolo compreso tra la linea di ormeggio e il piano del fondale.

Esistono molti tipi di ancore, diversi per forma, peso e caratteristiche funzionali:

- ancora navale;
- ancorotto;
- ancora Danforth;
- ancora lightweight;
- ancora a rampini o “grappino”;
- ancora a fungo.

In condizioni ottimali, con substrati fangosi-sabbiosi e ridotto angolo tra linea di ormeggio e fondale, le ancore risultano da 10 a 500 volte più efficienti dei corpi morti; tuttavia, sono molto più onerose in termini di costo per unità di forza di trattenuta e richiedono un’accurata installazione. Infatti, le ancore non fanno presa sul fondo immediatamente dopo l’immersione ma necessitano di essere trascinate per parecchi metri prima di fissarsi saldamente. Inoltre, nel caso in cui perdano la presa, possono essere trascinate a distanze considerevoli prima di fissarsi nuovamente. Oltre a quelli citati, esistono numerosi altri tipi di ancore, alcuni dei quali con caratteristiche intermedie tra le ancore propriamente dette e i corpi morti (es. blocchi in cemento sagomati) e altri progettati per particolari tipi di substrato. Prima di scegliere o di installare gli ancoraggi è opportuno esaminare le caratteristiche del fondale.

Il posizionamento delle ancore può essere effettuato accuratamente, utilizzando il sistema GPS (Global Positioning System), oppure in modo meno preciso, orientandosi facendo riferimento a punti facilmente visibili sulla terra ferma. Per la loro segnalazione possono essere utilizzate piccole boe collegate alle ancore per mezzo di cavi leggeri.

Il sistema di ormeggio deve essere controllato a intervalli regolari rimuovendo il fouling dalle boe e dalla linee di ormeggio e sostituendo gli anelli di trazione ogni tre o quattro anni.

5.4. I FATTORI LIMITANTI DEL SISTEMA DI ALLEVAMENTO IN GABBIA

Per favorire la crescita ottimale della coltura allevata è opportuno che il sistema di allevamento sia in grado di soddisfare al meglio le esigenze operative degli addetti; quindi, nella progettazione o nella scelta delle gabbie occorre considerare preventivamente tutte le esigenze operative specifiche del ciclo produttivo che si intende attuare, tra cui (*Huguenin, 1997*):

- il confinamento della coltura;
- il conteggio, la misurazione e la pesatura degli organismi allevati;
- la calibratura degli organismi allevati;

- lo stoccaggio, la preparazione e la distribuzione degli alimenti;
- l'esecuzione dei trattamenti di profilassi;
- il monitoraggio della qualità dell'acqua e del ricambio idrico;
- il controllo dello stato di salute degli organismi allevati;
- la raccolta, la lavorazione e il confezionamento del prodotto;
- la pulizia delle gabbie;
- l'impiego di mezzi per il trasporto degli organismi e/o del personale (imbarcazioni, autocarri, ecc.);
- la manutenzione meccanica (es. impianti, ormeggi, sistemi di connessione);
- la presenza di strutture di supporto, a servizio del personale;
- la presenza di strutture di stoccaggio delle attrezzature e dei prodotti.

Molte delle suddette esigenze operative sono state considerate nella progettazione di alcuni modelli di gabbie di grandi dimensioni (*Willinsky et al., 1991*); in ogni caso, tali esigenze devono essere sempre analizzate preventivamente, in relazione alle dimensioni delle singole gabbie, adottando soluzioni tecniche che limitino al minimo gli stress a carico degli organismi allevati (es. calibratura).

La densità massima di allevamento, espressa in peso o in numero di pesci di una determinata taglia per unità di volume, è un dato di grande importanza per la gestione dell'allevamento in gabbia; spesso, i cicli di allevamento hanno inizio con basse densità di allevamento per terminare con densità prossime a quella massima. Tuttavia, per un utilizzo ottimale delle gabbie sarebbe opportuno mantenere livelli di densità vicini a quelli massimi, provvedendo periodicamente a smistare e trasferire il pesce in altre gabbie durante la crescita. In realtà, i valori di densità massima sono difficili da calcolare con precisione, essendo variabili in base a diversi fattori tra cui:

- la qualità dell'acqua;
- il ricambio idrico all'interno delle gabbie;
- la fisiologia degli organismi allevati;
- lo stadio di sviluppo degli organismi allevati;
- i parametri costruttivi delle gabbie (es. tipo di rete, dimensioni interne).

Per l'allevamento del salmone atlantico esistono alcuni dati di riferimento riportati dalla bibliografia. In buone condizioni di qualità dell'acqua e di ricambio idrico la densità massima di allevamento si aggira tra i 16 e i 24 kg/m³ in molti allevamenti del New England, tra i 20 e i 25 kg/m³ in Norvegia, e tra i 10 e i 15 kg/m³ in Scozia (*Bettencourt and Anderson, 1990; Huguenin, 1997*); in British Columbia gli allevamenti di salmone "Chinook" adottano densità massime di circa 8 kg/m³ (*Bjorndal, 1990*).

Per l'utilizzo delle gabbie di altura si raccomandano densità massime non superiori a 15 kg/m³.

Prove di allevamento del salmone atlantico, condotte in Norvegia con reti ad

ampio sviluppo verticale (20-30 m), hanno evidenziato buoni accrescimenti e ridotte mortalità con densità di 8-10 kg/m³.

Le reti ad ampio sviluppo verticale consentono al pesce di scegliere a che profondità stazionare; seguendo il comportamento del pesce con metodi acustici, è stato dimostrato che i salmonidi utilizzavano l'intero volume della gabbia, dalla superficie al fondo. Reti di questo tipo possono essere indicate nei climi in cui le temperature si abbassano in inverno e/o si innalzano in estate fino a livelli critici per la sopravvivenza del pesce.

Uno dei principali vantaggi dell'allevamento in gabbia consiste nell'utilizzo ottimale di grandi risorse idriche senza dover sostenere costi elevati per opere di derivazione che, invece, sono richieste per le altre forme di allevamento.

Un altro vantaggio di questa tecnica riguarda i costi delle strutture che, per quanto elevati negli impianti "off-shore", risultano comunque competitivi con gli allevamenti a terra poiché, a fronte di un notevole investimento iniziale, presentano costi di gestione più contenuti. Per valutare la convenienza economica delle gabbie per l'allevamento di una determinata specie ittica, occorre confrontare le prestazioni di questo sistema con quelle fornite da altri sistemi, aperti, chiusi o semichiusi (es. in stagni, vasche, raceway), in termini di:

- costo della gabbia o costo delle risorse necessarie per la sua costruzione e gestione;
- livello di tecnologia richiesto per la costruzione;
- facilità di gestione;
- adattabilità;
- qualità del prodotto;
- aspetti sociali e ambientali;
- rendimento economico.

L'acquisto iniziale delle gabbie, pur incidendo in misura limitata sul costo di produzione, rappresenta un esborso importante.

In tabella 7 (pag. 102-103) sono riportati alcuni costi indicativi di diversi tipi di gabbie galleggianti, tratti da diverse fonti bibliografiche; l'ampia variazione di costo per unità di volume delle gabbie, oltre che alle dimensioni della singola gabbia, è da imputare anche a diversi altri fattori quali la presenza o meno di passerelle perimetrali o di piattaforme di servizio e l'asprezza delle condizioni ambientali per le quali le gabbie sono state progettate. Purtroppo questi dati non sono riportati in modo preciso per le diverse tipologie di gabbie.

Per effettuare correttamente una valutazione comparativa del costo delle diverse tipologie di gabbie, dovrebbero essere considerate anche le effettive differenze in termini di:

- durata tecnica;
- costi operativi e di manutenzione;

- necessità di attrezzature o di impianti ausiliari;
- vincoli imposti dalle caratteristiche ambientali;
- prestazioni del sistema di allevamento.

Generalmente, circa la metà del costo dell'impianto è rappresentato dalle gabbie e dai galleggianti, mentre l'altra metà riguarda le reti di ricambio, il sistema di ormeggio, le reti antipredatori, le attrezzature e gli impianti ausiliari (alimentatori automatici, autocarri, natanti, ecc.).

Le dimensioni dell'impianto influiscono sui costi di produzione; tuttavia, i van-

Tabella 7 - Costi di acquisto di alcuni tipi di gabbie galleggianti, espressi in dollari statunitensi. (Huguenin, 1997 modificata).

Volume (m ³)	Costo (\$/cad.)	Costo (\$/m ³)	Forma e dimensioni
48	1.100	23	quadrata 4 x 4 m profondità 3 m incluse passerelle
130	1.300	10	quadrata 4,6 x 5,8 profondità 4,9 m incluse passerelle
240	1.650	7	quadrata 8,75 x 5,5 profondità 4,9 m incluse passerelle
450	4.800	11	ottagonale (Ø 12 m) profondità 4 m
545	10-15.000	18-28	quadrata 12 x 12 m profondità 3,8 m
675	5000	7	ottagonale (Ø 12 m) profondità 6 m
720	11- 14.000	15-20	quadrata 12 x 12 m profondità 5 m
800	27.750	35	quadrata 15 x 15 m incluse passerelle
1.000	20.000	20	sferica (Ø 12 m) rotante e sommergibile, operante in immersione per 2/3 del volume
1.150	15-20.000	13-17	quadrata 15 x 15 m profondità 5 m
1.350	1.350.000 (4 gabbie)	250	Ø 12 m profondità 9 m (modello realizzato per il mercato spagnolo)
6.500	150.000	23	esagonale Ø 30 m profondità 10 m incluse reti antipredatori escluse passerelle

I valori riportati includono, in genere, soltanto le gabbie e i sistemi di galleggiamento; tuttavia, essi devono essere considerati attentamente in quanto le condizioni, i materiali e i servizi inclusi possono variare da modello a modello. I costi non sono comprensivi di trasporto e consegna, di tasse, di attrezzature e di impiant-

taggi economici derivanti dalle economie di scala tendono ad annullarsi oltre una certa soglia dimensionale.

La dimensione ottimale dell'impianto dipende, principalmente, dalle caratteristiche del sito, anche se, recentemente, si riscontra la tendenza adottare soluzioni impiantistiche di elevata ampiezza; in ogni caso, una dimensione minima dell'impianto deve essere garantita affinché l'attività sia redditizia, remunerando il lavoro e coprendo le spese per l'acquisto del novellame, del mangime e delle attrezzature. L'allevamento in gabbia presenta comunque alcuni limiti e inconvenienti, che devono essere tenuti in massima considerazione al fine di raggiungere gli obiettivi produttivi prefissati; i costi di manodopera possono

Materiale Struttura	Ditta o nome commerciale	Fonte
legno e acciaio zincato	Kames fish farming	Kames fish farming, 1982
legno e acciaio zincato	Kames fish farming	Kames fish farming, 1982
legno e acciaio zincato	Kames fish farming	Kames fish farming, 1982
legno	Mallock	Aiken, 1989
acciaio zincato	Skretting o Hercules	Aiken, 1989
legno	Mallock	Bettencourt e Anderson, 1990
acciaio zincato	Skretting	Bettencourt e Anderson, 1990
–	–	Bjorndal, 1990
struttura lamellare in alluminio	Trident	Willinsky e Allen, 1993; Willinsky et al. 1991
acciaio zincato	Hercules o Viking	Bettencourt e Anderson, 1990
piattaforma in cemento e acciaio	SEACON	Bjerke, 1990
collare in tubi di gomma e giunti in acciaio	Bridgestone Corporation	Braaten e Dahle, 1990

ti ausiliari (es. reti di ricambio, reti antipredatori, sistemi di ormeggio e impianti di alimentazione). Le passerelle possono essere incluse o escluse a seconda del modello. I diversi modelli di gabbie sono elencati in ordine crescente di volumetria interna. I valori di costo sono espressi in dollari statunitensi.

risultare superiori anche del 70-80%, rispetto a quelli di altre forme di allevamento a causa dell'elevato grado di specializzazione richiesto e delle difficoltà connesse all'ambiente di lavoro.

Sotto il profilo sanitario, l'allevamento in gabbie galleggianti presenta alcuni inconvenienti; sebbene l'incidenza delle patologie risulti molto inferiore rispetto ai sistemi di allevamento a terra, le uniche possibilità di trattamento del pesce consistono, spesso, nella somministrazione orale di farmaci. Un inconveniente che non deve essere sottovalutato riguarda i rischi di perdita parziale o totale del prodotto per eventi imprevedibili quali mareggiate, collisioni con imbarcazioni, furti o rottura delle reti da parte delle specie allevate (es. orata) o di predatori. Oltre al danno diretto all'allevatore, ciò può comportare gravi rischi ecologici d'inquinamento del patrimonio genetico delle popolazioni locali quando gli animali sfuggiti provengono da aree diverse da quelle di allevamento. La possibilità che si verificano danni tali da comportare la perdita totale del prodotto non può essere eliminata completamente; tuttavia, il fattore rischio può essere ridotto a livelli accettabili se nella progettazione, nell'installazione e nella gestione degli impianti le ditte costrittrici, gli installatori e gli allevatori si attengono a norme adeguate e a procedure di lavoro rigorose.

6. I RACEWAY

Il termine anglosassone “raceway” è impiegato in tutto il mondo per definire i canali artificiali utilizzati nei sistemi semichiusi di acquacoltura.

I raceway possono essere considerati come serie di stagni rettangolari, caratterizzati da un grande sviluppo in lunghezza, da larghezze limitate, generalmente inferiori a 6-7 m e da scarsa profondità, da 1 a 2 m; essendo sistemi operanti con acqua corrente, consentono l'adozione di densità di allevamento molto superiori a quelle normalmente adottate in stagnicoltura ma richiedono flussi abbondanti di acqua con buone caratteristiche di ossigenazione per soddisfare i fabbisogni respiratori della coltura allevata e per evacuarne i cababoliti, in particolare, l'ammoniaca. Il principale vantaggio di questo sistema, rispetto ad altri meno intensivi, è rappresentato dalla semplificazione di numerose operazioni quali: la distribuzione degli alimenti, i trattamenti sanitari e le operazioni di controllo, di selezione e di raccolta.

La disposizione dei raceway può essere in serie oppure in parallelo.

I *raceway in serie* sono alimentati da un unico flusso d'acqua che viene scaricato da un raceway a quello successivo (*Figura 28*); sono disposti in modo scalare, separati da dislivelli che producono salti d'acqua finalizzati al miglioramento delle condizioni di ossigenazione (*Foto 11 pag. 53*). In genere, i dislivelli variano da 0,3 a 1 m in base a diversi fattori, tra cui la densità di allevamento, la portata e il ritmo di

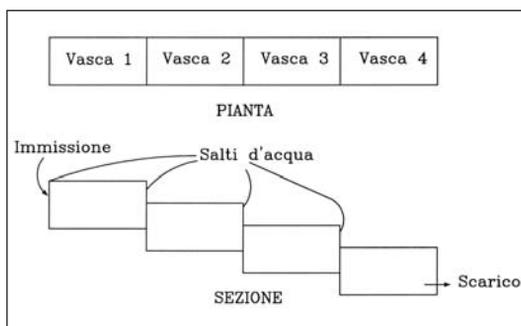


Figura 28 – Schema di raceway disposti in serie.

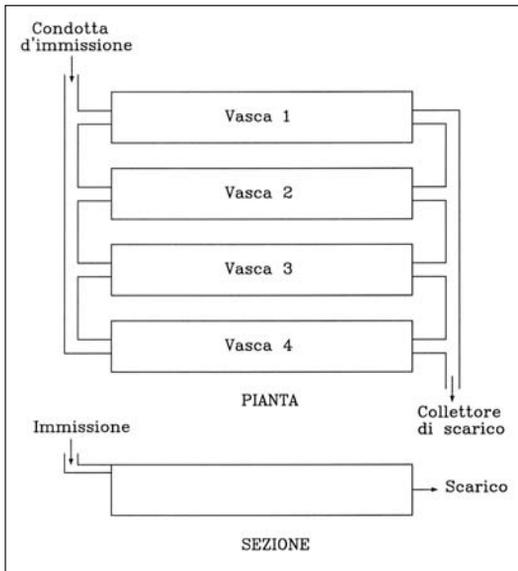


Figura 29 – Schema di raceway disposti in parallelo.

alimentazione; tuttavia, possono essere anche inferiori a 0,3 m qualora nei raceway siano adottati altri sistemi di aerazione. I *raceway in parallelo* sono alimentati da flussi d'acqua indipendenti che originano da un'unica canalizzazione di carico e scaricano in un unico canale collettore (Figura 29). Questa disposizione limita al minimo le perdite di carico e i problemi di aerazione e di aumento delle concentrazioni di cataboliti, ma richiede la disponibilità di elevate portate d'acqua, proporzionali al numero di canali serviti. Nei raceway in serie possono insorgere problemi igienico-sanitari in corrispondenza dei canali posti più a valle; tuttavia, quando il numero di canali non è elevato e la velocità del flusso è sufficientemente alta i rischi sono abbastanza contenuti, a meno che non insorgano patologie infettive nei canali posti a monte. Per evitare questo genere di problemi è necessario disporre di strutture e di canalizzazioni che permettano all'occorrenza di isolare i singoli canali, garantendone l'approvvigionamento e lo scarico separati.

6.1. LE MODALITÀ COSTRUTTIVE

I raceway possono essere costruiti con materiali diversi: terra battuta, cemento armato, rivestimenti di materie plastiche. In alcune situazioni possono essere realizzati interamente in terra battuta ma, nella maggior parte dei casi, sono costruiti con fondo in terra e pareti di cemento armato o di blocchi di conglomerato cementizio oppure con pareti e fondo interamente di cemento armato. I raceway in terra possono essere rivestiti con teli di materie plastiche per limitare l'attrito dell'acqua sul fondo e sulle pareti e per evitare le perdite per infiltrazione.

Nella progettazione dei raceway è necessario considerare le pendenze naturali del terreno evidenziando negli elaborati grafici le quote e le curve di livello. Generalmente i raceway presentano pendenze del 1-2%, larghezze sul fondo di

2,5-3 m, profondità di 1-1,2 m e lunghezze elevate dell'ordine di alcune decine di metri. Le pareti possono essere verticali o inclinate, con rapporti tra altezza e larghezza della scarpa compresi tra 1/1 e 1/0,5.

6.2. APPROVVIGIONAMENTO IDRICO E GESTIONE DEI FLUSSI

Il principale vincolo per gli allevamenti in raceway è rappresentato dall'approvvigionamento idrico; le risorse idriche possono essere rappresentate da sorgenti, da corsi d'acqua, da pozzi o da bacini naturali o artificiali. In trofocoltura si riscontra la tendenza a preferire le acque di sorgente o di pozzo, essendo queste caratterizzate da temperatura costante nel tempo. Generalmente, è necessario disporre di riserve idriche per le situazioni di emergenza; la soluzione migliore è rappresentata da un bacino, ubicato in prossimità dei raceway, dal quale possa essere derivata acqua per gravità.

Le portate necessarie dipendono da diversi fattori, tra cui:

- la specie allevata;
- la densità di allevamento;
- il ritmo di alimentazione;
- la temperatura dell'acqua
- la disponibilità di risorse idriche.

La portata ottimale può essere calcolata in base al consumo di ossigeno della coltura allevata e alla relativa concentrazione di ossigeno nell'acqua oppure in base alla concentrazione di ammoniaca nelle acque di scarico.

Il valore massimo della velocità di flusso varia a seconda della specie allevata, della taglia del pesce e delle relative condizioni fisiologiche. Per evitare i fenomeni di sedimentazione delle deiezioni sul fondo dei raceway è necessario mantenere la velocità di flusso al di sopra di una soglia minima (es. 0,24-0,3 m/s nel caso del salmone); tuttavia, questa velocità minima può essere eccessiva per pesci di taglia molto piccola, i quali possono incontrare gravi difficoltà nel mantenersi stazionari all'interno della corrente.

La bocca d'immissione, la bocca di scarico e lo stesso raceway devono essere progettati per creare un flusso caratterizzato da condizioni di moto uniforme. Dal punto di vista idrodinamico il moto uniforme, noto anche con il termine anglosassone "plug-flow", è definito come il flusso in cui ogni particella del liquido mantiene la stessa velocità orizzontale lungo il percorso, essendo velocità e pressione costanti nel tempo. In realtà, i fenomeni di attrito prodotti dal flusso di acqua lungo le pareti e il fondo dei raceway non consentono di ottenere le condizioni di moto uniforme teorico. Analogamente a quanto si verifica

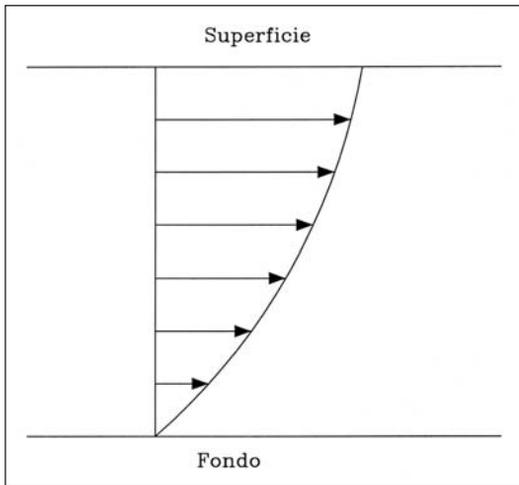


Figura 30 – Profilo verticale delle velocità di flusso in un raceway.

nei canali a cielo aperto, la distribuzione spaziale delle velocità ha un andamento parabolico sul piano verticale; la velocità massima del flusso si manifesta in prossimità della superficie libera, mentre la velocità si riduce a zero negli strati periferici a contatto con il fondo e con le pareti (Figura 30). In ogni caso, per evitare il deposito di deiezioni e di solidi in sospensione sul fondo dei canali è necessario prevedere soluzioni costruttive che limitino i fenomeni di attrito e di corto circuito e che permettano l'instaurarsi di

condizioni di flusso vicine il più possibile a quelle teoriche di moto uniforme. Infatti condizioni di circolazione disomogenea nei raceway possono comportare la creazione di "aree morte" in cui si manifestano carenze di ossigeno che possono risultare aggravate da fenomeni di sedimentazione e di decomposizione delle deiezioni. La formazione di aree morte nei raceway devono essere evitate perché sono la causa di patologie e di mortalità per il pesce allevato.

Per la regolazione dei flussi che attraversano i raceway è necessario disporre di sistemi di chiuse e di dispositivi di controllo che consentono la variazione della portata e del livello di riempimento dei canali. Normalmente le bocche d'immissione e di scarico sono realizzate con manufatti di blocchi cassero armati o di cemento armato e con barriere regolabili in altezza costituite, generalmente, da lastre metalliche o da tavole di legno; esse dovrebbero permettere lo scarico dell'acqua a livello del fondo del canale per favorire la rimozione dei cataboliti e dell'acqua più carente in ossigeno. In questi casi è necessario prevedere a monte una griglia che eviti l'uscita del pesce. Per lo scarico dell'acqua dal fondo possono essere adottati sistemi a sifone oppure bocche a battente realizzate mediante una lastra regolabile in altezza. Quando si adotta lo scarico dal fondo è necessario regolare attentamente le portate in immissione per evitare problemi di svuotamento del raceway o di eccessivo riempimento. In condizioni di emergenza la pulizia del fondo dei raceway può essere effettuata per aspirazione mediante apposite apparecchiature.

7. LE VASCHE

La varietà di vasche utilizzate in acquacoltura è pressoché infinita; le differenze esistenti tra le diverse tipologie e i diversi modelli riguardano, principalmente, la forma, le dimensioni e i materiali costruttivi.

Le vasche possono essere realizzate con materiali diversi tra cui i più utilizzati sono il cemento armato, la vetroresina e le materie plastiche.

Per essere idonee all'utilizzo in acquacoltura le vasche devono soddisfare alcuni requisiti principali. Le superfici interne delle vasche devono essere atossiche per la specie allevata e sufficientemente lisce per evitare lesioni ai pesci; inoltre, il flusso di acqua che le alimenta deve essere quantitativamente e qualitativamente rispondente alle esigenze ottimali per la coltura allevata.

Le vasche devono essere durevoli nel tempo e resistenti alla corrosione e alle possibili sollecitazioni meccaniche (es. spostamento, trasporto); la forma e le dimensioni devono essere concepite per consentire l'esecuzione agevole e rapida delle operazioni di pulizia e di disinfezione.

Inoltre le vasche devono essere il più possibile economiche.

7.1. IL DIMENSIONAMENTO DELLE VASCHE

Il dimensionamento delle singole vasche di un impianto influisce sia sui costi costruttivi, sia sui costi di gestione; alcune economie possono essere realizzate limitando il numero delle vasche e aumentandone le singole dimensioni. Tuttavia, questi vantaggi economici possono essere annullati dalla insorgenza di alcuni problemi, propri delle vasche di grandi dimensioni, quali:

- la circolazione disomogenea dell'acqua e la rimozione insufficiente dei sedimenti;

- la difficoltà di raccolta e di calibratura del pesce;
- la difficoltà di rimozione delle mortalità;
- i rischi di elevate perdite economiche per errori, guasti meccanici o motivi sanitari.

Tali problemi possono essere evitati, o comunque limitati al minimo, adottando impianti e attrezzature adeguati e correttamente gestiti. In ogni caso l'operatività delle vasche di grandi dimensioni risulta sempre un po' più difficoltosa, rispetto a quella di vasche di piccole dimensioni. In ogni caso, la capacità di carico di una vasca è influenzata dal ricambio idrico, dalla distribuzione di alimento, dal consumo di ossigeno e dalla produzione di deiezioni.

Attualmente nei sistemi chiusi si riscontra un interesse crescente per l'impiego di vasche circolari di grandi dimensioni, con diametro superiore a 10 m.

7.2. I MATERIALI COSTRUTTIVI

Tra i materiali costruttivi il *cemento armato* è uno di quelli più utilizzati; è durevole, economico e può essere conformato a piacere ma, essendo molto pesante, è utilizzabile soltanto per impianti fissi.

Le superfici interne possono essere sufficientemente lisce ma, senza l'impiego di rivestimenti appropriati, è quasi impossibile permetterne l'efficace disinfezione a fine ciclo.

Per questo motivo le vasche in cemento armato, prive di rivestimento, pur essendo idonee per molte colture, non possono essere utilizzate quando sia necessario evitare qualunque forma di deposito di batteri (es. depurazione dei bivalvi); in molti casi tale problema può essere risolto utilizzando rivestimenti in resine epossidiche atossiche.

Un altro svantaggio delle vasche in cemento armato di nuova costruzione e prive di rivestimento consiste nell'elevato rilascio di carbonato di calcio, che può comportare un aumento del pH dell'acqua; questo problema può essere risolto ricorrendo a ripetuti lavaggi preventivi.

Anche il *legno*, sotto forma di fogli di compensato o di paniforte e di elementi squadrati (moralì, listelli), è stato utilizzato in alcuni paesi (es. in Canada) per la costruzione di vasche a pianta rettangolare; l'impermeabilità interna è stata ottenuta mediante rivestimento con resine epossidiche. Alcuni modelli sono stati realizzati con fogli di compensato fissati a una intelaiatura di sostegno, avente la funzione di irrigidire al massimo la struttura e di evitare che eventuali flessioni delle pareti determinassero la formazione di crepe o di soluzioni di continuità nel rivestimento rigido delle superfici interne.

Tra le *materie plastiche* sono utilizzati le resine poliesteri (vetroresina), il polipropilene, il PVC, il polietilene, il vinile e i materiali acrilici; ciascuno di questi materiali possiede proprietà specifiche adatte a determinate applicazioni.

La vetroresina è il materiale più utilizzato; è leggero, economico, inerte all'acqua dolce e salata e può essere conformato in vari modi. Tuttavia, la forma più utilizzata è quella circolare.

Il polietilene è disponibile in spessori diversi a seconda delle esigenze.

Tra i materiali acrilici si ricorda il plexiglass; per spessori inferiori a 3,5 mm presenta una certa flessibilità ma oltre tale valore può essere considerato rigido. Può essere utilizzato ampiamente in sostituzione del vetro essendo più facilmente lavorabile e sigillabile; è inerte all'acqua salata ma è soggetto a dilatazione se esposto a lungo a umidità elevate. Il principale svantaggio di questo materiale consiste nell'elevato costo.

Il polipropilene è inerte all'acqua dolce e salata. È stato utilizzato per la realizzazione di vasche di piccole dimensioni (1-2 m³); per ampiezze elevate risulta comunque meno economico della vetroresina.

Il PVC è utilizzato soprattutto per le condotte, essendo il materiale più economico a tale scopo, in rapporto alle prestazioni fornite; inoltre presenta il vantaggio di essere inerte all'acqua dolce e salata.

Tra i metalli utilizzati si ricordano l'acciaio e l'alluminio. Il primo, come è noto, presenta lo svantaggio di essere soggetto alla corrosione; in particolare l'acqua di mare ha una forte azione corrosiva anche sugli acciai di tipo inossidabile, la cui intensità è in funzione del tipo di acciaio e delle condizioni di esposizione. L'alluminio, pur presentando un'elevata resistenza alla corrosione, presenta lo svantaggio di rilasciare ioni che possono risultare tossici per gli organismi allevati.

Pannelli prefabbricati in lamiera d'acciaio, rivestiti in plastica, sono stati realizzati per la costruzione di vasche a pianta circolare di diverso diametro; essi vengono assemblati mediante bulloni e idonea sigillatura per essere annegati in una base di cemento armato adeguatamente conformata, insieme al dispositivo e alla condotta di scarico.

7.3. LA CONFORMAZIONE DELLE VASCHE

Le vasche possono presentare forme diverse, in base alle esigenze funzionali; tuttavia, a seconda della forma planimetrica possono essere classificate in:

- vasche rettangolari;
- vasche ellittiche;
- vasche circolari.

Le *vasche rettangolari* hanno avuto una ampia diffusione in passato, soprattutto perché semplici da costruire; nella maggior parte dei casi sono state realizzate con lunghezze di 4,5-8 m, larghezze di 1-1,8 m e profondità di 0,4-0,75 m. Il fondo della vasca può presentare un'unica pendenza con scarico a un'estremità oppure due pendenze contrapposte con scarico centrale, per consentire l'autopulizia e il drenaggio dei sedimenti; quando lo scarico di fondo è posto a un'estremità della vasca, l'immissione dell'acqua è collocata all'estremità opposta, mentre quando lo scarico è nel mezzo l'immissione avviene da entrambe le estremità.

Le vasche rettangolari presentano il vantaggio di consentire una più agevole raccolta degli organismi allevati, rispetto alle vasche circolari; ciononostante presentano alcuni svantaggi, tra cui:

- la circolazione disomogenea dell'acqua con corti circuiti e aree "morte", caratterizzate da scarso ricambio e carente ossigenazione;
- l'accumulo di deiezioni sul fondo, che rende necessaria una intensa miscelazione dell'acqua o un'elevata velocità di ricambio;
- la difficile ambientazione del pesce proveniente da ambienti naturali.

Tali problemi possono essere risolti adottando soluzioni costruttive particolari e sistemi di immissione e di scarico appropriati che comportano, però, lo svantaggio di rendere le vasche più complesse e costose da gestire.

Le *vasche ellittiche* sono state concepite per ottenere migliori condizioni di circolazione dell'acqua rispetto alle vasche rettangolari. Sono costituite da due sezioni rettilinee e parallele, separate da un divisorio longitudinale (Figura 31) e collegate alle loro estremità da due curve a 180° che consentono la circolazione continua dell'acqua in senso rotatorio. L'immissione dell'acqua avviene in pressione per mezzo di appositi ugelli, opportunamente orientati. La velocità dell'acqua può essere regolata per mezzo di ruote a pale collocate alla fine di una o di entrambe le sezioni rettilinee; variando la velocità di rotazione delle ruote, varia la velocità di circolazione dell'acqua.

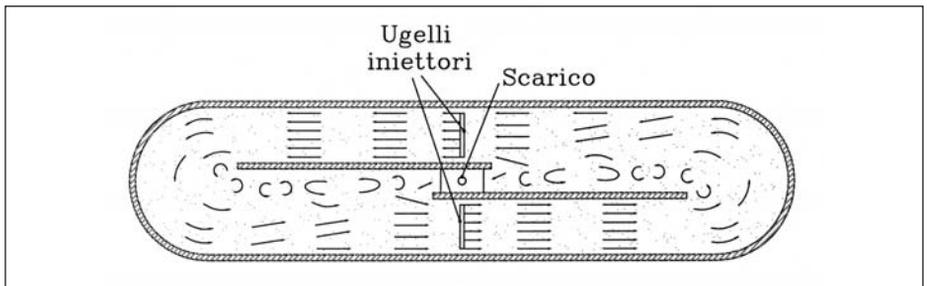


Figura 31 – Schema planimetrico di vasca ellittica.

Alcune versioni modificate sono state realizzate con lo scopo di rendere le vasche il più possibile economiche e idonee a garantire l'autopulizia, favorendo il drenaggio e lo scarico dei sedimenti.

Le *vasche circolari* sono largamente utilizzate con immissione superficiale dell'acqua in direzione tangenziale, allo scopo di imprimere un movimento rotatorio alla massa d'acqua; lo scarico avviene centralmente, attraverso un tubo verticale o una bocchetta di fondo.

Normalmente, il fondo delle vasche è conformato a tronco di cono, con inclinazione verso il centro allo scopo di favorire un'efficace rimozione dei sedimenti.

La forma circolare delle vasche presenta i seguenti vantaggi:

- semplicità di gestione;
- uniformità della qualità dell'acqua;
- facilità di regolazione della velocità di circolazione dell'acqua, in funzione delle esigenze della coltura;
- facilità di eliminazione dei sedimenti di deiezioni e dei residui alimentari attraverso lo scarico centrale;
- facilità di controllo visivo o automatico dei residui alimentari durante le operazioni di distribuzione del mangime (alimentazione a "sazietà");
- maggiore uniformità di distribuzione del mangime, migliore autopulizia e minore fabbisogno idrico rispetto ai raceway.

Per il dimensionamento delle vasche circolari sono consigliati rapporti diametro/profondità variabili da 5/1 a 10/1 (*Figura 32*); ciononostante, esistono molti allevamenti dotati di vasche con rapporti 3/1 (*Timmons et al., 1998*).

Una soluzione alternativa, ampiamente collaudata negli Stati Uniti, è rappre-

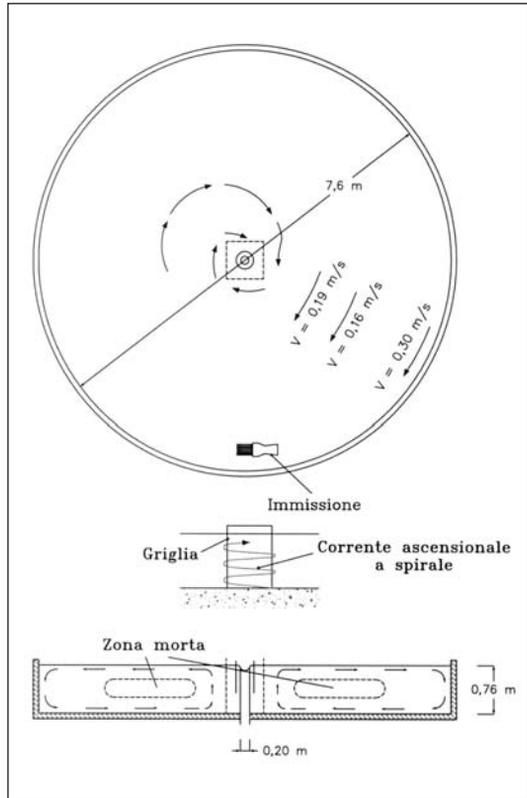


Figura 32 – Schema di vasca circolare raffigurante le modalità di circolazione nell'acqua con immissione localizzata in un unico punto; in evidenza la "zona morta" circostante lo scarico centrale.

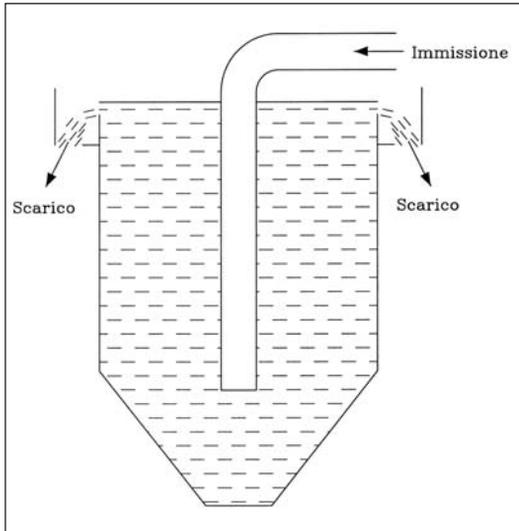


Figura 33 – Schema di vasca circolare del tipo “a silo”.

sentata dalle vasche a “silo”; serbatoi cilindrici ad asse verticale, generalmente con fondo tronco conico, in cui l’acqua è immessa centralmente dal basso e scaricata dall’alto (Figura 33). Vasche di questo tipo, realizzate con rapporti tra diametro e profondità di 1/3, hanno permesso l’allevamento di trote con densità fino a 136 kg/m^3 richiedendo, però, flussi molto elevati (Buss et al., 1970).

In ogni caso, il rapporto ottimale è influenzato da diversi fattori tra cui il costo per metro quadrato della superficie su cui l’impianto è installato, la prevalenza

dell’acqua in ingresso, la densità di allevamento, la specie allevata e i livelli di razionamento alimentare. Condizioni soddisfacenti di qualità dell’acqua all’interno delle vasche circolari possono essere mantenute adottando idonee soluzioni per l’immissione dell’acqua (es. ubicazione, orientamento e tipo di ugello iniettore) e scegliendo opportuni ritmi di ricambio idrico per evitare che i fattori limitanti la qualità dell’acqua influiscano negativamente sulla produzione, soprattutto quando il sistema raggiunge la massima capacità di carico.

La velocità di rotazione dell’acqua dovrebbe essere più uniforme possibile dai bordi della vasca fino al centro e dalla superficie fino al fondo; in ogni caso, non dovrebbe mai superare la velocità richiesta per le esigenze di esercizio motorio del pesce.

Velocità dell’acqua pari a 0,5-2 volte la lunghezza corporea del pesce al secondo (m/s) sono ottimali per mantenere il tono muscolare, il ritmo respiratorio e le condizioni di salute del pesce; in ogni caso, per consentire l’allontanamento delle deiezioni verso lo scarico centrale occorre garantire una velocità non inferiore a 15-30 cm/s (Timmons et al., 1998).

7.4. I SISTEMI DI IMMISSIONE PER VASCHE CIRCOLARI

Nelle vasche circolari il sistema di immissione più utilizzato consiste in un unico getto posizionato sul bordo, orientato in direzione tangenziale, con incli-

nazione verso il basso; ciò determina la formazione di correnti secondarie con direzione radiale, verso centripeto sul fondo e verso centrifugo in superficie. Il flusso centripeto sul fondo consente l'allontanamento dei solidi sedimentati verso lo scarico centrale. Queste modalità di circolazione comportano la formazione di una zona "morta" circostante lo scarico centrale, in cui la velocità dell'acqua risulta estremamente ridotta (*Figura 32 pag. 113*).

L'estensione della zona morta dipende dal posizionamento dell'ugello o degli ugelli iniettori lungo la parete perimetrale, dal rapporto tra diametro e profondità della vasca e dall'entità del ricambio idrico; quest'ultimo influisce, inoltre, sulla rimozione dei sedimenti. Peraltro, le modalità di rimozione dei solidi dipendono anche dalla densità di allevamento e dalla capacità dei pesci di rimettere in sospensione i sedimenti. Il numero, l'ubicazione, il dimensionamento e l'orientamento degli ugelli iniettori influenzano:

- l'uniformità di circolazione dell'acqua attraverso la vasca;
- l'entità delle correnti secondarie responsabili della autopulizia del fondo della vasca;
- l'uniforme miscelazione dell'acqua all'interno della vasca.

Studi specifici sono stati condotti mettendo a confronto il comportamento idraulico dei seguenti sistemi di immissione (*Skybakmoen, 1989; Tvinnereim and Skybakmoen, 1989*):

1. immissione localizzata in un unico punto (*Figura 32 pag. 113*);
2. immissione mediante tubazione di distribuzione sommersa, sotto superficiale, orizzontale, con asse orientato verso il centro della vasca, provvista di orifizi lungo tutta la sua lunghezza, inclinati verso il basso di 30° rispetto al piano orizzontale;
3. immissione mediante tubazione di distribuzione sommersa, verticale, provvista di orifizi lungo tutta la sua lunghezza;
4. immissione mediante tubazione di distribuzione sommersa costituita da una componente orizzontale e una verticale analoghe a quelle descritte nei precedenti punti 2. e 3. (*Figura 34 pag. 116*).

I risultati di tali prove hanno evidenziato, per il primo sistema, un andamento non uniforme della velocità di circolazione all'interno della vasca (es. velocità elevata in lungo le pareti), scarsa miscelazione in corrispondenza della zona morta, scarsa autopulizia e risospensione dei sedimenti lungo tutto il profilo verticale.

Il secondo sistema (tubazione di distribuzione orizzontale) risulta migliorare l'omogeneità di miscelazione dell'acqua attraverso tutta la vasca senza, però, garantire una sufficiente pulizia del fondo.

Il terzo sistema (tubazione di distribuzione verticale) produce effetti opposti rispetto al precedente, ovvero un efficace pulizia del fondo, ma una scarsa miscelazione attraverso la vasca.

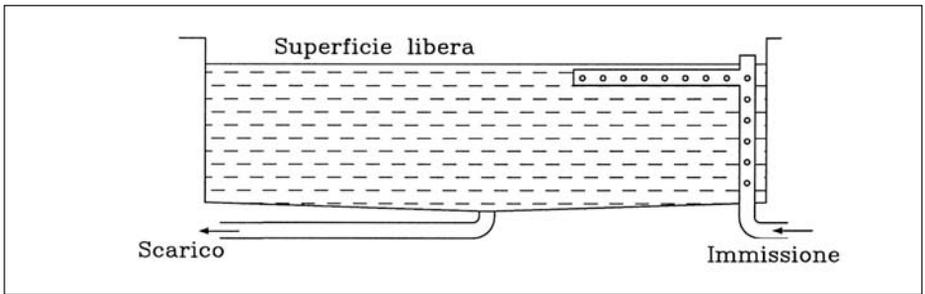


Figura 34 – Schema di una vasca circolare; in evidenza l'immissione costituita da tubazione di distribuzione sommersa.

Il quarto sistema ha prodotto le migliori condizioni di miscelazione, di autopulizia e di omogenea velocità di circolazione dell'acqua attraverso la vasca; tali vantaggi sono ottenibili a condizione che il posizionamento della tubazione verticale avvenga a una distanza dalla parete perimetrale tale da consentire il passaggio agevole del pesce. Nella predisposizione dei suddetti sistemi di distribuzione è comunque consigliabile adottare soluzioni che non creino ostacoli o ingombri durante le operazioni di manipolazione del pesce (es. selezione, raccolta).

7.5. I SISTEMI DI SCARICO PER VASCHE CIRCOLARI

Nelle vasche circolari lo scarico di fondo centrale dovrebbe essere concepito e realizzato per favorire l'allontanamento in continuo dei sedimenti e, allo stesso tempo, per consentire la rimozione periodica dei pesci morti. Lo scarico può essere effettuato per mezzo di un dispositivo costituito da due tubi verticali inseriti l'uno nell'altro, di cui quello interno collegato allo scarico di fondo (Figura 35).

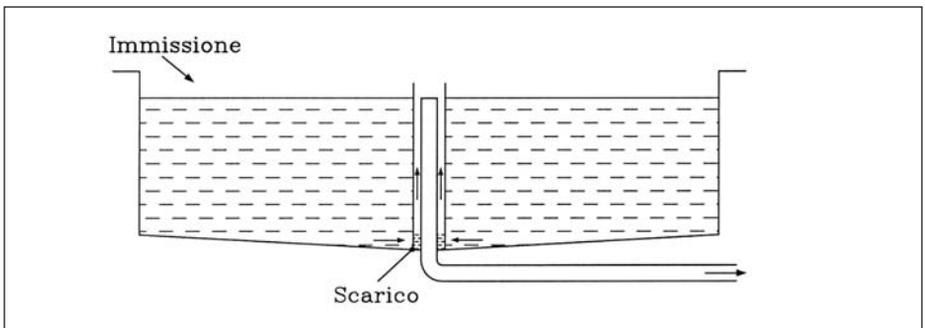


Figura 35 – Schema di dispositivo interno di regolazione del livello di riempimento di una vasca circolare mediante due tubi verticali inseriti l'uno nell'altro, di cui quello interno collegato allo scarico di fondo.

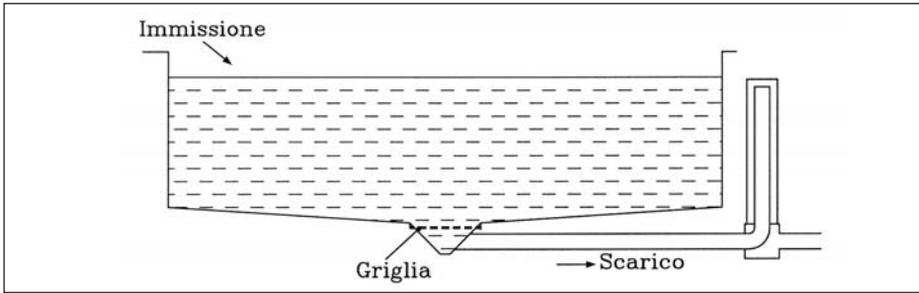


Figura 36 – Schema di dispositivo esterno di regolazione del livello di riempimento di una vasca circolare.

L'altezza del bordo superiore del tubo interno determina il livello di riempimento della vasca; questo può essere regolato variando la lunghezza del tubo. Tale dispositivo può essere interno alla vasca, installato a monte della bocchetta di scarico, oppure esterno, posizionato a valle della bocchetta (Figura 36). In caso di posizionamento interno, il tubo esterno permette il prelievo dell'acqua a livello del fondo favorendo lo scarico dei sedimenti; a tale scopo la base il tubo deve presentare fessure o aperture di sufficiente ampiezza. Quando il posizionamento è esterno, la bocchetta di scarico è provvista superiormente di una griglia piatta con fessure di forma ellittica e di dimensioni adeguate, in funzione della specie allevata, per facilitarne la pulizia periodica; per svuotare la vasca il tubo interno può essere sfilato oppure inclinato verso il basso. Una soluzione alternativa alla schermatura dello scarico di fondo consiste nel collegare mediante tubazione la bocchetta di scarico non protetta a una piccola vaschetta dotata di un proprio scarico, di una griglia per la separazione dei pesci morti e di un dispositivo di controllo del livello di riempimento della vasca (Figura 37). Tale soluzione è comunque poco diffusa a causa della limitata affidabilità che il sistema

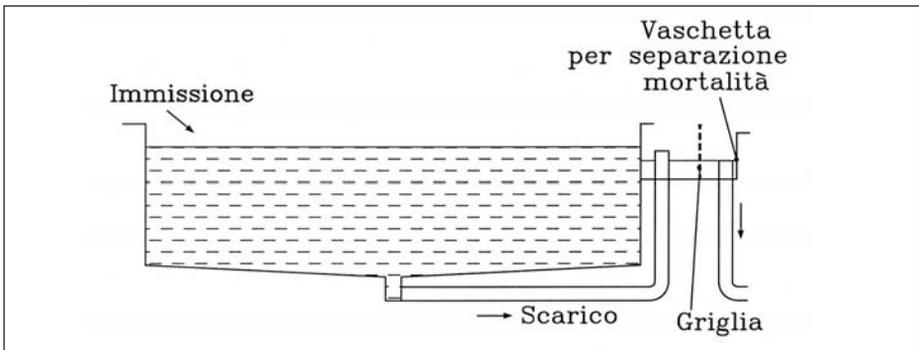


Figura 37 – Schema di vasca circolare dotata di vaschetta esterna per la separazione delle mortalità.

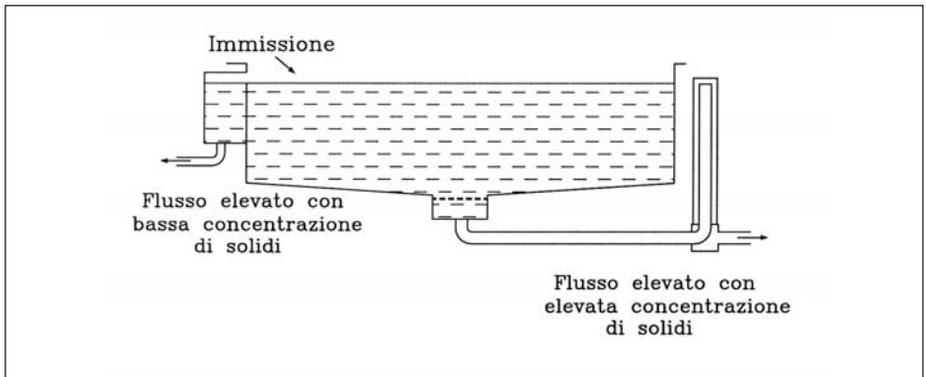


Figura 38 - Schema di vasca circolare dotata di sistema di scarico doppio, selettivo.

offre nel far passare i soggetti deceduti dentro il tubo di scarico con il rischio di intasarlo. Altri sistemi di scarico più complessi dei precedenti permettono di separare le acque di scarico in due tipi di effluenti sfruttando l'attitudine delle vasche circolari a concentrare i sedimenti centralmente sul fondo; questi ultimi possono essere rimossi mediante un flusso variabile dal 1 al 20% dell'intero scarico, mentre la quota rimanente (80-99%) viene scaricata a parte prelevandola in superficie (Figura 38) oppure dal fondo. Tali sistemi, detti "a doppio scarico", permettono di limitare l'eventuale trattamento depurativo dei reflui alla sola quota di scarico contenente sedimenti di deiezioni e di residui alimentari; ciò ha notevoli implicazioni di carattere economico poiché i costi di trattamento sono largamente influenzati dal volume di reflui da trattare, più che dalla relativa concentrazione in solidi. Il funzionamento di un sistema a doppio scarico può essere rappresentato attraverso la seguente equazione (Timmons et al., 1998):

$$Q \times SST + P_{SST} = Q_1 \times SST_1 + Q_2 \times SST_2$$

Q = portata in immissione (m^3/d);

Q_1 = portata dello scarico 1) a bassa concentrazione di solidi (m^3/d);

Q_2 = portata dello scarico 2) ad alta concentrazione di solidi (m^3/d);

SST = concentrazione di solidi sedimentabili totali in immissione (kg/m^3);

SST_1 = concentrazione di solidi sedimentabili totali nello scarico 1) (kg/m^3);

SST_2 = concentrazione di solidi sedimentabili totali nello scarico 2) (kg/m^3).

P_{SST} = ritmo giornaliero di produzione di solidi sedimentabili totali (kg/d).

$$P_{SST} = a_{SST} \times r \times \rho \times V$$

a_{SST} = produzione di SST per unità di alimento distribuito (kg/kg);

r = ritmo giornaliero di alimentazione in kg di alimento per kg di pesce allevato ($\text{kg/kg} \times \text{d}$);
 ρ = densità di allevamento all'interno della vasca (kg/m^3);
 V = volume della vasca (m^3).

La frazione di solidi sedimentabili totali rimossa dalla vasca attraverso lo scarico centrale di fondo (f) può essere stimata utilizzando la seguente equazione (Timmons et al., 1998):

$$f = \frac{Q_2 \times \text{SST}_2}{Q_1 \times \text{SST}_1 + Q_2 \times \text{SST}_2}$$

Dalla suddetta equazione si ricava quella per il calcolo dei SST rimossi attraverso lo scarico centrale di fondo.

$$\text{SST}_2 = \frac{(Q \times \text{SST} + P_{\text{SST}}) \times f}{Q_2}$$

Con i sistemi a doppio scarico è possibile ottenere concentrazioni di SST dello scarico di fondo dieci volte superiori a quelle dello scarico principale (superficiale a parete o centrale).

Inoltre, le vasche a doppio scarico possono essere provviste di dispositivi (griglie, vaschette esterne, collettori) per la rimozione giornaliera o intermittente delle mortalità, con limitato impiego di manodopera. Tale operazione risulta di grande importanza poiché la permanenza di mortalità nella coltura allevata influisce sulla qualità dell'acqua, sulla salute del pesce e, quindi, sulla produttività e sulla redditività dell'allevamento.

8. LE TECNICHE DI AERAZIONE

In acquacoltura le tecniche di aerazione hanno avuto una grande evoluzione negli ultimi decenni; la messa a punto di sistemi di allevamento intensivi e semi-intensivi ha comportato l'esigenza di disporre di tecnologie per il controllo e la correzione dei parametri qualitativi dell'acqua, in funzione dei fabbisogni specifici delle specie allevate.

La concentrazione di ossigeno nell'acqua rappresenta uno dei parametri qualitativi più importanti; per la sua misurazione sono disponibili sul mercato una vasta gamma di apparecchiature.

Inoltre sono state sperimentate in acquacoltura numerose attrezzature di aerazione, molte delle quali già ampiamente utilizzate per il trattamento depurativo dei reflui civili.

Avendo l'aria un contenuto di ossigeno del 20,95%, alla pressione atmosferica standard di 1,013 bar (101.325 Pa) la pressione o "tensione" di ossigeno nell'aria è di 0,212 bar ($1,013 \times 0,2095$).

La pressione di ossigeno nell'aria induce il trasferimento del gas nell'acqua, fino a quando la pressione di ossigeno nell'acqua non risulta uguale a quella atmosferica; quando le pressioni di ossigeno nell'aria e nell'acqua si equivalgono l'acqua è detta satura di ossigeno.

La concentrazione di ossigeno nell'acqua, in condizioni di saturazione, varia con la temperatura, la salinità e la pressione barometrica; si riduce all'aumentare della temperatura e della salinità e aumenta all'aumentare della pressione barometrica.

I valori della concentrazione di saturazione C_s dell'ossigeno nell'acqua possono essere desunti da apposite tabelle che tengono conto dei livelli di temperatura e di salinità (*Tabella 8 pag. 122*).

Tabella 8 - Solubilità dell'ossigeno (mg/l) in acqua esposta ad aria satura di vapore acqueo alla pressione atmosferica standard di 1,013 bar (Benson e Krause, 1984, modificata).

Temperatura (°C)	Salinità ‰						
	0	5	10	15	20	25	30
0	14,621	14,120	13,636	13,167	12,714	12,277	11,854
5	12,770	12,352	11,947	11,554	11,175	10,807	10,451
10	11,288	10,933	10,590	10,257	9,934	9,621	9,318
15	10,084	9,780	9,485	9,198	8,921	8,651	8,389
20	9,092	8,828	8,572	8,323	8,081	7,846	7,617
25	8,263	8,032	7,807	7,558	7,375	7,168	6,967
30	7,558	7,354	7,155	6,961	6,772	6,589	6,410

Per la correzione dei valori tabellari in base alla pressione barometrica si utilizza la seguente formula:

$$C_s = \frac{C_{\text{tab}} \times \text{PB}}{1,013}$$

- C_s = concentrazione di saturazione (mg/l);
- C_{tab} = concentrazione di saturazione alla pressione barometrica di 1,013 bar e alla temperatura e alla salinità di riferimento (mg/l);
- PB = pressione barometrica (bar).

Per semplicità tale formula non tiene conto della tensione di vapore dell'acqua che, pur avendo una certa influenza sulla concentrazione di saturazione, risulta poco rilevante in questo contesto applicativo.

La percentuale di saturazione è calcolabile con la seguente formula:

$$S = \frac{C_e}{C_s} \times 100$$

- S = percentuale di saturazione (%);
- C_e = concentrazione di ossigeno effettiva (mg/l);
- C_s = concentrazione di saturazione (mg/l).

La pressione o “tensione” di ossigeno nell'acqua può essere stimata nel seguente modo:

$$PO_2 = \frac{C_e}{C_s} \times 0,2095 \times 1,013$$

PO_2 = tensione di ossigeno nell'acqua (bar);

C_e = concentrazione di ossigeno effettiva (mg/l);

C_s = concentrazione di saturazione (mg/l).

Il deficit di ossigeno (DO) è la differenza, espressa in mg/l, tra la concentrazione di saturazione e la concentrazione di ossigeno effettivamente misurata nell'acqua; può essere espresso anche in bar, come differenza di pressione ($DO = C_s - C_e$). In ogni caso, il deficit di ossigeno può essere considerato come la forza che induce il trasferimento dell'ossigeno attraverso la superficie dell'acqua.

Il trasferimento dell'ossigeno, dall'atmosfera all'interno della massa d'acqua, avviene in due fasi:

- primo passaggio attraverso l'interfaccia gas-liquido (meccanismo di assorbimento dei gas atmosferici e di diffusione nello strato superficiale);
- successiva dispersione dell'ossigeno, per miscelazione, dallo strato superficiale alla massa d'acqua sottostante (meccanismo di convezione).

L'intensità del processo di trasferimento dell'ossigeno varia in funzione dei seguenti fattori:

- area della superficie di scambio disponibile per il trasferimento;
- coefficiente di magnitudo del film liquido superficiale;
- grado di turbolenza o miscelazione della massa d'acqua.

Tali parametri possono essere espressi attraverso la seguente equazione:

$$\Delta C/\Delta t = K_L \times A/V \times (C_s - C_e)$$

$\Delta C/\Delta t$ = ritmo di variazione della concentrazione di ossigeno nell'unità di tempo (mg/l \times h);

K_L = coefficiente di trasferimento dell'ossigeno (cm/h);

A = area dell'interfaccia gas-liquido (cm²);

V = volume della massa d'acqua (cm³);

C_s = concentrazione di saturazione dell'ossigeno (mg/l);

C_e = concentrazione di ossigeno effettiva (mg/l).

Il coefficiente di trasferimento dell'ossigeno K_L , variando in base al ritmo di diffusione attraverso l'interfaccia gas-liquido, è rappresentativo dell'intensità di trasferimento dell'ossigeno a livello superficiale; la temperatura dell'acqua influisce positivamente sul K_L , determinandone un incremento del valore, mentre la pre-

senza di impurità nell'acqua ha un effetto negativo. Anche il valore del rapporto A/V tra l'area della superficie di scambio e il volume della massa di acqua da aerare è direttamente proporzionale al ritmo di variazione della concentrazione di ossigeno. Generalmente, il rapporto A/V e il coefficiente di trasferimento dell'ossigeno K_L sono combinati ed espressi attraverso il coefficiente $K_L a$, detto "ritmo o coefficiente globale di trasferimento dell'ossigeno" ($K_L a = K_L \times A/V$); questo parametro risulta di agevole determinazione in condizioni operative, mediante la misurazione nel tempo delle differenze di concentrazione dell'ossigeno.

$$K_L a \times t = \log \times \left(\frac{C_s - C}{C_s - C_i} \right)$$

Nelle prove sperimentali per la determinazione del $K_L a$, i valori di $C_s - C_i$ possono essere considerati come i deficit di ossigeno iniziali ($C_i =$ concentrazione di ossigeno iniziale), quelli di $C_s - C$ come i deficit di ossigeno finali ($C =$ concentrazione di ossigeno dopo l'intervallo t) mentre t esprime la durata delle prove. Essendo una funzione logaritmica, è evidente che più ci si avvicina alle condizioni di saturazione e maggiore è il tempo necessario per trasferire un'unità in più di ossigeno; ciò significa che per la maggior parte degli aeratori risulta molto difficile, oltre che antieconomico, ossigenare l'acqua oltre il 95%. Ciò può essere ottenuto soltanto con aeratori di tipo speciale, in grado di produrre la soprassaturazione dell'acqua (es. tubi a "U").

Così come il K_L , anche il $K_L a$ varia al variare della temperatura; per rendere possibile il confronto tra risultati di prove diverse si è convenuto di esprimere il $K_L a$ con riferimento alla temperatura standard di 20°C.

Per la correzione dei valori di $K_L a$, riferiti a temperature diverse da 20°, si utilizza la seguente equazione (Anon, 1972):

$$(K_L a)_{20} = (K_L a)_T 1,024^{(20-T)}$$

$(K_L a)_{20}$ = coefficiente globale di trasferimento dell'ossigeno a 20°C;

$(K_L a)_T$ = coefficiente globale di trasferimento dell'ossigeno alla temperatura effettiva T ;

T = temperatura effettiva.

Nei bacini naturali e negli stagni l'ossigeno disciolto nell'acqua non proviene soltanto dall'atmosfera; infatti, le alghe e il fitoplancton producono ossigeno

per fotosintesi. Per questo motivo l'acqua può raggiungere durante le ore del giorno elevate concentrazioni di ossigeno, prossime, uguali o anche superiori alla concentrazione di saturazione (in condizioni di sovrasaturazione l'acqua cede ossigeno all'atmosfera); in pratica, l'entità di tale apporto è di difficile determinazione a priori ma può, comunque, essere monitorata mediante apposita strumentazione.

Viceversa, durante le ore notturne, i processi di respirazione dei pesci, delle alghe e degli altri organismi acquatici consumano ossigeno, determinandone una riduzione della concentrazione nell'acqua che nei climi caldi e temperati può calare, soprattutto in estate, fino a valori molto inferiori a quelli di saturazione.

Negli stagni utilizzati in acquacoltura la concentrazione di ossigeno disciolto può ridursi di 5-10 mg/l durante la notte fino a raggiungere valori inferiori a 2 mg/l (Boyd, 1990); concentrazioni di ossigeno così basse possono provocare elevato stress o anche vere e proprie morie negli organismi allevati.

L'aerazione attraverso la superficie dell'acqua ferma, ovvero in assenza di moti convettivi, è il sistema di aerazione più elementare. La superficie di scambio e il tempo di contatto sono favorevoli ma la miscelazione è debole; per questo motivo il sistema ha un'efficacia insufficiente negli impianti di acquacoltura intensiva.

In realtà, un minimo di miscelazione della massa d'acqua può essere indotto per effetto del vento e del movimento dei pesci; ipotizzando di operare con acqua satura di ossigeno al 50%, questa debole miscelazione è in grado di apportare un quantitativo di ossigeno dell'ordine di 1 g per ora per metro quadrato di superficie del bacino.

Tale apporto può essere superiore in zone climatiche particolarmente ventose e può anche raddoppiare o triplicare in caso di pioggia battente a causa dell'effetto di martellamento della superficie dell'acqua.

Tuttavia, alcune condizioni climatiche possono limitare gli scambi di ossigeno in superficie, tra cui:

- la depressione atmosferica che induce una riduzione della dissoluzione dell'ossigeno (es. clima pretemporalesco);
- le elevate temperature ambientali che possono determinare il riscaldamento dello strato superficiale dell'acqua, determinando localmente una riduzione della solubilità del gas e, quindi, un minor assorbimento di ossigeno;
- il clima caldo e secco che, provocando una massiccia evaporazione, determina una riduzione del tenore di ossigeno della atmosfera a contatto con la superficie dell'acqua e un aumento della concentrazione di sali minerali nel film di acqua superficiale con conseguente riduzione della solubilità dell'ossigeno.

Negli stagni l'installazione dei sistemi di aerazione consente un cospicuo aumento delle produzioni. In linea generale, ogni kW di potenza installata, sotto forma di attrezzature e impianti di aerazione, può consentire un aumento di produzione di circa 500 kg/ha; tale dato, sebbene approssimativo, sarebbe confermato da studi e da esperienze dirette (Boyd, 1997).

Le tecnologie utilizzate in acquacoltura per dissolvere ossigeno nell'acqua sono concepite per sfruttare al massimo i seguenti principi operativi:

- superficie di scambio tra aria e acqua;
- tempo di contatto tra aria e acqua;
- intensità di miscelazione dell'acqua.

Ogni tipo di apparecchiatura sfrutta in misura diversa tali principi; per questo motivo le scelte di tipo impiantistico devono essere effettuate tenendo conto dei vantaggi e degli svantaggi specifici di ciascuna tecnologia.

In acquacoltura possono essere utilizzati i seguenti sistemi:

- sistemi di aerazione per caduta;
- aeratori superficiali;
- aeratori diffusori.

8.1. SISTEMI DI AERAZIONE PER CADUTA

I sistemi di aerazione per caduta producono un ampliamento della superficie di scambio per unità di volume e un effetto di miscelazione indotto dalla forza di gravità applicata al flusso di acqua.

L'effetto di miscelazione è tanto più intenso quanto maggiori sono il flusso e il dislivello di caduta; questa energia può essere calcolata moltiplicando l'altezza di caduta h per la portata Q e per il peso specifico dell'acqua (es. per $h = 0,5$ m e $Q = 150$ l/s la forza gravitazionale è $0,5 \times 150 \times 9,81 = 735,75$ J/s ovvero 0,73575 kW).

L'aerazione per caduta può essere impiegata sfruttando le pendenze naturali del terreno oppure, in caso di impianti ubicati su terreni in piano, attraverso il pompaggio e il sollevamento dell'acqua da trattare.

Se il tempo di caduta è breve, generalmente la dissoluzione del gas è incompleta, in rapporto allo stato di saturazione; tuttavia, il tempo di caduta può essere prolungato con dispositivi diversi, atti a migliorare l'efficienza del sistema di aerazione.

I sistemi di aerazione per caduta sono utilizzati, oltre che per l'ossigenazione dell'acqua, anche per l'eliminazione dei gas nocivi (es. ammoniaca, anidride carbonica).

8.1.1. Salti d'acqua

L'impiego dei salti d'acqua è molto diffuso a causa della loro economicità e della loro facilità costruttiva (es. nei raceway). Operativamente, producono un ampliamento della superficie di scambio e un'intensa miscelazione.

In funzione dell'altezza del dislivello, i salti d'acqua possono essere distinti in:

- salti d'acqua di piccola altezza ($h < 1,4$ m);
- salti d'acqua di altezza medio-grande ($h > 1,4$ m).

Per i primi possono essere adottate soluzioni costruttive finalizzate all'incremento della superficie di scambio come stramazzi, griglie, vassoi perforati, gradini, ruote a pale o a spazzola, piani inclinati corrugati con o senza perforazioni (Figura 39).

Per calcolare l'efficienza di aerazione percentuale (EA) e l'efficienza meccanica di aerazione (EM) di questi aeratori possono essere utilizzate le seguenti equazioni:

$$EA = 100 \times \frac{C_b - C_a}{C_s - C_a}$$

$$EM = \frac{(C_b - C_a) \times Q \times (3,6 \times 10^3) \times e}{Q \times \gamma \times h}$$

EA = efficienza di aerazione percentuale (%)

C_a = concentrazione di ossigeno dell'acqua in entrata (mg/l);

C_b = concentrazione di ossigeno dell'acqua in uscita (mg/l);

C_s = concentrazione di saturazione dell'ossigeno (mg/l);

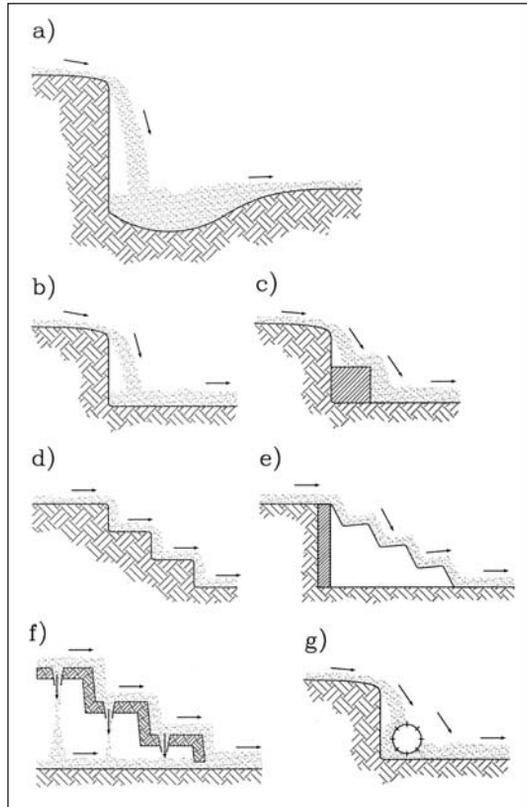


Figura 39 - Sistemi di aerazione per gravità:

a) salto d'acqua di altezza medio-grande;

b) salto d'acqua di piccola altezza;

c) salto d'acqua con gradino;

d) salto d'acqua con gradini;

e) piano inclinato corrugato;

f) salto d'acqua con gradini perforati;

g) salto d'acqua con ruota o spazzola.

EM = efficienza meccanica di aerazione ($\text{kg O}_2 / \text{kWh}$);
 Q = portata (l/s);
 γ = peso specifico dell'acqua (kg/m^3);
 h = altezza del salto d'acqua (m);
 e = efficienza della pompa.

Tabella 9 - Valori medi di efficienza di aerazione percentuale (EA) e di efficienza meccanica di aerazione (EM) per alcuni tipi di aeratori a caduta (Chesness e Stephens, 1971)

Tipo di aeratore	Salto di 0,3 m		Salto di 0,6 m	
	EA (%)	EM (kgO_2/kWh)	EA (%)	EM (kgO_2/kWh)
Stramazzo con gradino	24,1	1,59	38,0	1,37
Stramazzo con ruota a pale	24,2	1,68	39,0	1,23
Stramazzo con spazzole rotanti	23,9	1,62	34,9	1,22
PICT* - senza fori	25,3	2,32	43,0	1,43
PICT* - con fori	30,1	1,89	50,1	1,67
Grata	34,0	2,27	56,2	1,91
Colonna di vassoi perforati	31,7	2,05	52,0	1,77

(*) Piano inclinato corrugato trasversalmente

Tra gli aeratori riportati in tabella 9 gli ultimi due evidenziano le prestazioni migliori in termini di efficienza di aerazione percentuale ma sono più costosi dei precedenti, soprattutto quello a grata per via della maggiore complessità costruttiva.

Tuttavia, il piano inclinato corrugato trasversalmente senza fori evidenzia il massimo valore di efficienza meccanica per dislivelli di 0,3 m; in ogni caso per l'installazione dei piani inclinati corrugati si consiglia una pendenza di $12,8^\circ$ rispetto al piano orizzontale (Barnabé, 1986).

In generale, la tabella evidenzia che all'aumentare dell'altezza, l'efficienza di aerazione del salto d'acqua aumenta, mentre si riduce l'efficienza meccanica.

Per salti d'acqua di altezza superiore a 1,4 m, a caduta libera, è necessario prevedere una fossa di raccolta di adeguata profondità che ha la funzione di permettere la formazione di una fine emulsione di aria e acqua e di prolungare lo scambio di ossigeno tra l'acqua e le bolle d'aria che tendono a risalire verso la superficie.

8.1.2. Vassoi perforati

I vassoi perforati sono concepiti per frammentare al massimo il flusso d'acqua, aumentando così la superficie di scambio; possono essere costituiti da un unico vassoio o da più vassoi sovrapposti (tipo a colonna).

Generalmente i fori presentano un diametro di alcuni millimetri e sono disposti in file parallele con un interasse di circa 10 mm.

La sezione dei modelli a colonna, con vassoi sovrapposti, dipende dal flusso di acqua da trattare; indicativamente 1 m² di vassoi è in grado di gestire un flusso di 100 l/min. Aumentando il numero dei vassoi e il dislivello tra di essi aumenta, entro certi limiti, l'efficienza di aerazione percentuale; per i modelli a colonna, costituiti da 4 fino a 10 vassoi sovrapposti, si adottano normalmente dislivelli tra un vassoio e l'altro variabili da 0,1 a 0,25 m.

L'ingombro di tali apparecchiature e le limitate portate, che sono in grado di gestire, ne limitano l'impiego agli allevamenti larvali; in ogni caso, l'efficienza di aerazione di tali apparecchiature può essere di gran lunga aumentata, prevedendone l'installazione in ambienti chiusi contenenti atmosfera arricchita di O₂.

8.1.3. Letti percolatori

I letti percolatori sono filtri biologici di tipo aperto (*vedi paragrafo 7.4*), costituiti da vasche riempite con inerti di vario tipo come gusci di ostriche, ciotoli o materiali plastici di forma glomerulare; il liquido da trattare viene immesso dall'alto e distribuito mediante sistemi di frazionamento del getto (es. griglie, ugelli, spruzzatori).

Il liquido percola lentamente per gravità, fino al livello inferiore, dove è raccolto e scaricato; il materiale inerte ha la funzione di distribuire il liquido su un'ampia superficie di scambio e di rallentarne la caduta, aumentando il tempo di contatto tra aria e acqua.

I letti percolatori sono ampiamente diffusi negli impianti intensivi di acquacoltura marina per ossigenare l'acqua e per eliminare, allo stesso tempo, l'azoto.

Il materiale di riempimento deve essere caratterizzato un elevato rapporto tra

superficie e volume; questo varia in funzione del tipo di inerte, da valori di circa $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$, per i ciotoli di fiume del diametro di 4-5 cm, fino a valori di oltre $300\text{-}400 \text{ m}^2/\text{m}^3$, per gli inerti di plastica.

In genere, l'altezza di questi filtri biologici non supera i 2 m; infatti, altezze superiori (es. 6-7 m) richiedono l'installazione di ventilatori per garantirne il funzionamento, comportando, un aggravio dei costi di gestione.

Il diametro della vasca dipende dal flusso di acqua da trattare; in linea generale si consiglia 1 m^2 di sezione del biofiltro per un flusso di $1 \text{ m}^3/\text{min}$.

Le ossidazioni aerobiche che si verificano nel letto percolatore, essendo esotermiche, determinano la formazione di moti d'aria convettivi e ascensionali che favoriscono la ventilazione interna e, quindi, gli scambi di ossigeno.

8.2. AERATORI SUPERFICIALI

Uno dei principali effetti, prodotti dagli aeratori superficiali, consiste nell'intensa miscelazione della massa d'acqua.

Gli aeratori a pale o a elica sono concepiti per produrre un intenso rinnovamento dello strato di acqua superficiale che, entrando in contatto con l'aria, viene facilmente saturato di ossigeno.

Inoltre gli aeratori di elevata potenza inducono la formazione di intense turbolenze con produzione di spruzzi e di emulsione di aria e acqua, determinando un aumento della superficie di scambio e un ottimo effetto di miscelazione.

Tuttavia oltre un certo limite di potenza, si ottiene una riduzione del ritmo di trasferimento dell'ossigeno; si sconsiglia, quindi, di superare i valori di 50-100 W di potenza installata per m^3 di bacino.

Le attrezzature utilizzate come aeratori superficiali possono essere distinte in:

- aeratori a turbina o pompe verticali;
- pompe spruzzatrici;
- aeratori a pale.

8.2.1. Aeratori a turbina

In origine le turbine di superficie sono state concepite per il trattamento aerobico di depurazione dei reflui civili; successivamente, sono state adattate per gli impieghi in agricoltura e in acquacoltura.

Il tipo di turbina più semplice, detto aeratore a "fungo", è costituito da un'elica azionata da un motore elettrico; in genere funziona sospeso fuori dall'acqua per mezzo di un galleggiante. L'elica è immersa e aspira acqua dal basso, proiet-

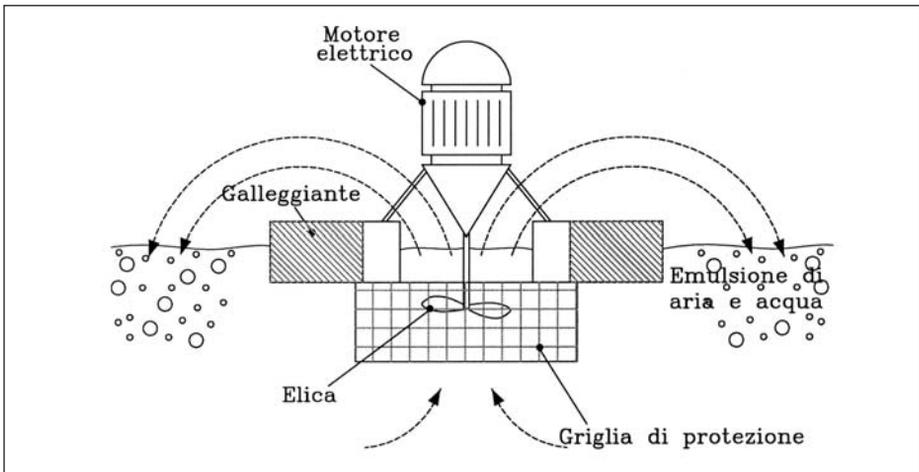


Figura 40 – Schema di aeratore superficiale a turbina o “fungo”.

tandola nell’atmosfera (Figura 40 e Foto 12 pag. 53). La profondità di aspirazione dell’acqua può essere regolata e, in ogni caso, deve essere tale da non sollevare detriti o materiali sedimentati sul fondo.

La potenza elettrica delle turbine di superficie utilizzate in acquacoltura varia, indicativamente, da 0,25 a 2 kW; potenze troppo elevate possono causare il sollevamento dei sedimenti e, in stagni poco profondi, fenomeni di erosione del fondo.

I modelli utilizzati in acquacoltura montano eliche azionate ad alte velocità variabili, indicativamente, da 1730 a 3450 giri/min.

8.2.2. Pompe spruzzatrici

Le pompe spruzzatrici sono costituite da pompe ad alta pressione in grado di scaricare attraverso uno o più ugelli di forma più o meno complessa flussi d’acqua ad alta velocità, esponendo il liquido al contatto con l’atmosfera.

Il modello più semplice dispone di un singolo ugello applicato allo scarico della pompa, mentre il modello più complesso è provvisto di un collettore munito di piccoli ugelli per ottenere una fine frammentazione del getto; le potenze applicate alla pompa possono variare da 2 a 15 kW con velocità di rotazione della girante da 500 a 1000 giri/min.

In commercio esistono anche alcuni modelli particolari il cui dispositivo di aspersione è installato al di sotto di una cupola galleggiante, separata dall’atmosfera, in cui viene insufflato ossigeno puro o aria arricchita di ossigeno per

umentare la concentrazione di saturazione del gas nel liquido e ottenere livelli elevati di efficienza d'aerazione (*Foto13 pag. 53*).

8.2.3. Aeratori a pale

Gli aeratori a pale sono dispositivi piuttosto semplici dal punto di vista costruttivo; sono costituiti da un albero in rotazione, munito di pale, disposto orizzontalmente sopra la superficie dell'acqua e messo in rotazione da un motore elettrico o da un motore endotermico (es. quello di una trattrice collegato tramite la presa di potenza).

I modelli più diffusi sono costituiti da un motore elettrico, un motoriduttore, una ruota a pale, un galleggiante e una struttura di supporto (*Foto 14 pag. 54*).

Le pale, essendo parzialmente immerse, producono un effetto di sollevamento (aumento della superficie di scambio) e di miscelazione dell'acqua, determinandone l'ossigenazione.

La velocità di rotazione delle pale può variare da 70 a 120 giri/min.

Questi aeratori sono stati oggetto di studi specifici per migliorarne l'efficienza di aerazione, attraverso la modifica delle dimensioni, della forma, dell'inclinazione e della disposizione delle pale lungo l'albero.

8.2.4. Criteri operativi per l'impiego degli aeratori superficiali

Il ritmo di trasferimento dell'ossigeno generato dagli aeratori superficiali dipende da numerose variabili tra cui:

- la potenza impiegata per unità di superficie o per unità di volume della massa d'acqua;
- le caratteristiche del liquido da aerare;
- le dimensioni e la forma del bacino o della vasca;
- la concentrazione di ossigeno nel liquido da trattare;
- il tipo e la forma dell'aeratore.

Alcune ditte costruttrici di aeratori dichiarano per ciascun modello lo specifico ritmo di trasferimento di ossigeno con riferimento a determinati standard operativi, quali:

- aria in contatto con acqua pulita alla pressione atmosferica di 1,013 bar;
- temperatura dell'acqua di 20°C;
- inizio del test con concentrazione di ossigeno nell'acqua pari a zero.

In genere, però, non sono specificate la forma e le dimensioni del bacino o della vasca di prova.

I valori dichiarati dai costruttori possono essere applicati alle condizioni operative reali, utilizzando opportuni fattori correttivi.

Per gli aeratori a pale il ritmo di trasferimento dell'ossigeno aumenta all'aumentare della profondità di immersione, della velocità di rotazione e del diametro del rotore.

Anche all'aumentare della potenza impiegata si assiste a un aumento del ritmo di trasferimento dell'ossigeno, dovuto principalmente alla più intensa 'polverizzazione' dell'acqua e, quindi, all'aumentata superficie di scambio; tuttavia, per ogni aeratore esiste un valore di potenza cui corrisponde la massima efficienza meccanica.

Anche le caratteristiche dell'acqua da trattare influiscono sulla scelta dell'aeratore; infatti, molte sono le sostanze inquinanti in grado di provocare una riduzione della concentrazione di saturazione dell'ossigeno nell'acqua.

I dati effettivi di $K_L a$ e di concentrazione di ossigeno possono essere stimati attraverso la correzione dei dati riferiti a condizioni standard, utilizzando i seguenti coefficienti:

$\alpha = K_L a \text{ acque reflue} / K_L a \text{ acqua pulita}$;

$\beta = C_a / C_s$;

C_a = concentrazione di ossigeno delle acque da trattare (mg/l);

C_s = concentrazione di saturazione dell'ossigeno alla temperatura di riferimento (mg/l).

Nella gestione dei reflui civili si adottano valori di α compresi tra 0,80 e 0,95 e valori di β tra 0,95 e 1 mentre in acquacoltura questi valori devono essere ricavati sperimentalmente.

Il valore di α è influenzato dalla presenza di sostanze in superficie che, concentrandosi a livello dell'interfaccia acqua-aria, determinano la formazione di uno strato che ritarda il trasferimento dell'ossigeno attraverso il film liquido. I sistemi acquatici producono naturalmente sostanze che agiscono in tal modo a livello superficiale (es. proteine); esse riducono la tensione superficiale del liquido e promuovono la formazione di gocce più piccole. Ciò comporta anche un incremento del trasferimento di ossigeno prodotto dagli aeratori di superficie, dovuto all'aumento della superficie di scambio in condizioni di turbolenza. Tuttavia, in condizioni di scarsa turbolenza tali sostanze riducono la diffusione dei gas attraverso il film liquido limitando, quindi, il trasferimento di ossigeno. Anche il volume e la geometria del bacino influiscono sul trasferimento di ossigeno operato dagli aeratori di superficie; oltre un certo rapporto tra volume e potenza installata, si assiste a una riduzione del ritmo di trasferimento dell'ossigeno, imputabile alla minor turbolenza e alla minor velocità impressa all'acqua. La potenza installata degli impianti di aerazione può essere calcolata in termini di watt per unità di volume (W/m^3).

La geometria del bacino di aerazione ha un'influenza relativamente elevata nel caso di aeratori superficiali di piccole dimensioni, operanti ad alta velocità mentre influisce in misura minore nel caso di aeratori funzionanti a bassa velocità; l'effetto sul trasferimento di ossigeno è imputabile all'interazione di diversi fattori, tra cui:

- il tipo e la dimensione dell'aeratore;
- l'ubicazione e la modalità d'installazione degli aeratori;
- le condizioni di circolazione del liquido;
- le caratteristiche del liquido da trattare.

Ovviamente il deficit di ossigeno influisce in misura rilevante sul ritmo di trasferimento e sull'efficienza meccanica di aerazione; sebbene gli aeratori di superficie siano in grado di operare con valori di EM da 1,9 a 2,3 kg O₂/kWh (*Echenfelder, 1969*) si ricorda che tali valori fanno riferimento al trattamento di reflui civili e a standard operativi caratterizzati da deficit di ossigeno molto elevati e concentrazioni di ossigeno dei liquidi da trattare particolarmente bassi dell'ordine di 0,5-1 ppm; ciò comporta ritmi di trasferimento dell'ossigeno molto superiori a quelli ottenibili in acquacoltura, ove le concentrazioni di ossigeno non possono scendere al di sotto di valori dell'ordine di 3-5 ppm.

Anche la forma dell'aeratore ha influenza sul ritmo di trasferimento; generalmente, per confrontare aeratori diversi si utilizzano i dati dichiarati dai costruttori; tuttavia prove comparative fornirebbero risultati utili soprattutto se includessero dati riferiti alla geometria dei bacini e alle caratteristiche dei reflui trattati.

Sul mercato esistono numerosi modelli di aeratori di superficie; spesso sono progettati in base a prove e a modifiche effettuate autonomamente dai singoli costruttori anche a causa della scarsa disponibilità di dati tecnici di riferimento a livello di letteratura tecnico-scientifica.

8.3. AERATORI DIFFUSORI

Gli aeratori diffusori sono concepiti per iniettare in una massa liquida aria od ossigeno puro sotto forma di bolle, da cui l'ossigeno è trasferito attraverso l'interfaccia gas-liquido e diffuso nel liquido per miscelazione. Il flusso di aria, risalendo nella massa liquida, determina la formazione di turbolenze, contribuendo al trasferimento di ossigeno.

Esistono diversi tipi di aeratori diffusori; quelli propriamente detti sono costituiti da un compressore che pompa aria, iniettandola per mezzo di una tubazione, e di elementi diffusori installati sul fondo di una vasca o di una massa d'acqua.

L'efficienza di aerazione del sistema varia a seconda del diametro delle bolle;

l'impiego di appositi elementi diffusori (es. a colonna, tubazioni perforate, pietre porose) permette di ridurre il diametro delle bolle, aumentando la superficie di scambio a parità di volume di aria iniettato, e di rallentare la velocità di risalita delle bolle, aumentando il tempo di contatto tra gas e liquido. I diffusori possono essere costruiti con materiali diversi tra cui la ceramica, la gomma, la plastica, il poliuretano espanso, il carburo di silicio; anche la loro forma può variare da modello a modello (*Foto 15 pag. 54*).

Il ritmo di trasferimento dell'ossigeno che può essere ottenuto con gli aeratori diffusori dipende dai seguenti parametri:

- la differenza di concentrazione o di pressione dell'ossigeno tra le bolle e il liquido circostante;
- la percentuale di saturazione del liquido circostante le bolle;
- il tempo di ritenzione delle bolle nella massa liquida;
- le dimensioni delle bolle;
- il flusso immesso d'aria o d'ossigeno;
- le caratteristiche del liquido da trattare.

La differenza di concentrazione o di pressione dell'ossigeno tra le bolle e il liquido circostante dipende dalla concentrazione di ossigeno nelle bolle, dalla percentuale di saturazione dell'ossigeno nel liquido e dal ritmo di rinnovo del film liquido a livello dell'interfaccia gas-liquido (superficie delle bolle).

Poiché la concentrazione di ossigeno nell'aria è circa il 21% si può incrementare il ritmo di trasferimento aumentando la concentrazione di ossigeno nelle bolle mediante l'impiego di ossigeno puro o d'aria arricchita di ossigeno.

Il ritmo di rinnovo del film liquido circostante le bolle influisce sul trasferimento di ossigeno; esso dipende dalla velocità di risalita delle bolle e dalla velocità di slittamento tra le bolle e il film liquido.

Anche la profondità d'immersione del dispositivo diffusore influisce sul tempo di ritenzione delle bolle nella massa liquida e, quindi, sul trasferimento di ossigeno.

La riduzione del diametro delle bolle comporta un aumento della superficie di scambio per unità di gas immesso e un aumento del tempo di ritenzione delle bolle, dovuto alla minore velocità di risalita; in passato alcuni studi hanno evidenziato che il ritmo di trasferimento di ossigeno aumenta rapidamente per diametri delle bolle inferiori a 5 mm (*Downing e Boon, 1963*).

Per quanto riguarda l'effetto di miscelazione del liquido, indotto dalla risalita dalle bolle di gas, si è riscontrato che, a parità di flusso di gas iniettato, il tempo di rinnovo del liquido in una vasca risulta relativamente costante per diametri delle bolle superiori a 3-4 mm, mentre per diametri inferiori a 3 mm il tempo di rinnovo si riduce a causa della più intensa miscelazione dovuta al maggiore attrito tra le bolle e il film liquido (*Zieminski e Whittemore, 1970*).

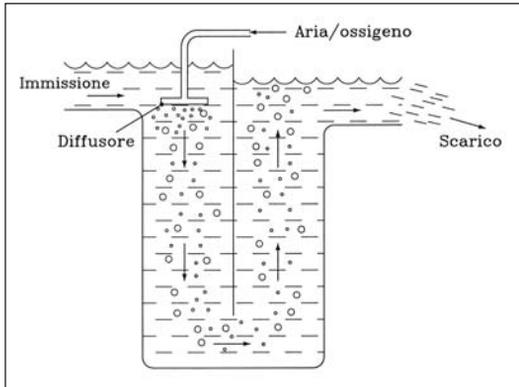


Figura 41 – Schema di sistema di aerazione mediante tubo a U.

Nell'impiego degli aeratori diffusori in vasche con elevate densità d'allevamento è necessario considerare attentamente alcuni svantaggi rappresentati dai fenomeni di redistribuzione dei solidi in sospensione e dalla possibile formazione di un accumulo di anidride carbonica fino a concentrazioni nocive per gli organismi allevati.

I tubi a “U” sono aeratori diffusori costituiti da un tratto di tubazione, conformata a “U”, con le estremità rivolte verso l'alto; nell'attraversare la tubazione il liquido entra in contatto con l'aria, sotto forma di bolle iniettate per mezzo di un dispositivo diffusore installato in corrispondenza del punto di entrata (Figura 41).

La velocità di circolazione del liquido è regolata in modo tale da contrastare la risalita delle bolle d'aria, le quali seguono per attrito il percorso dell'acqua rimanendo in contatto con essa per tempi relativamente lunghi; inoltre, la pressione cui è sottoposta l'acqua nella parte bassa della condotta determina un aumento della concentrazione di saturazione e, quindi, un ritmo più intenso di trasferimento dell'ossigeno.

La concentrazione di ossigeno disciolto aumenta all'aumentare della profondità della condotta e del rapporto tra aria e acqua.

I tubi a “U” sono una delle poche tipologie di aeratore con cui è possibile ottenere facilmente ed efficacemente la sovrassaturazione dell'acqua sfruttando l'elevata pressione che si viene a creare nella porzione inferiore della tubazione.

Una soluzione innovativa, studiata recentemente per l'aerazione degli stagni, consiste nella installazione del dispositivo diffusore all'interno di un tubo verticale del diametro di 0,33 posto all'interno di un foro del diametro di 0,46 m e della profondità di 3 m, praticato nel fondo dello stagno.

La diffusione di aria alla base del tubo determina al suo interno la formazione di un flusso ascendente di acqua aerata e un flusso discendente esterno di acqua proveniente dallo stagno.

Prove sperimentali hanno evidenziato un'efficienza meccanica di aerazione molto elevata, pari a 6,37 kg O₂/kWh (Boyd, 1995); tuttavia, per ottenere una certa uniformità di ossigenazione e di miscelazione occorrerebbe disporre in ciascuno stagno di diverse unità di questo tipo, opportunamente distribuite

all'interno del bacino. Altri tipi di aeratori diffusori sono rappresentati da dispositivi operanti in immersione, costituiti da una pompa, da un eiettore e da un dispositivo diffusore.

Un primo tipo prevede l'impiego di un eiettore "Venturi" che consente l'assorbimento di aria alla pressione atmosferica (Figura 42).

Le intense turbolenze prodotte da questo sistema di aerazione permettono di ottenere un'elevata efficienza meccanica di aerazione che, in ogni caso, è influenzata anche dal grado di immersione dell'aeratore.

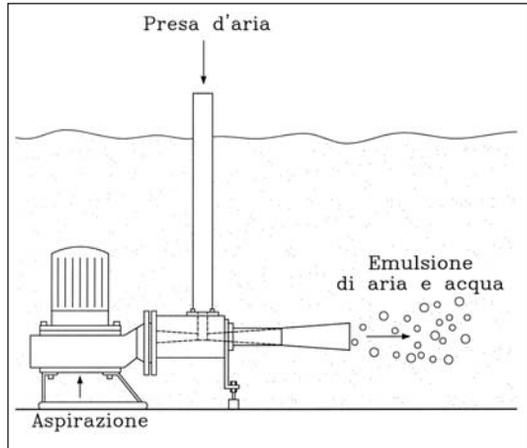


Figura 42 – Aeratore eiettore diffusore tipo "Venturi".

Gli aeratori diffusori superficiali sono apparecchiature di tipo speciale, operanti in superficie e provviste di un sistema di diffusione dell'aria che permette di emulsionare il liquido insieme al gas e di pomparlo nella massa liquida sottostante. Tra questi tipi di aeratori rientra la *pompa a elica aspiratrice*, costituita da un motore elettrico, da un albero di trasmissione che ruota all'interno di una camera cilindrica, provvista di un dispositivo diffusore, e da un'elica montata esternamente alla camera cilindrica, sulla estremità dell'albero opposta al motore (Foto 16 pag. 54). In condizioni operative l'elica ruota a velocità elevate, dell'ordine di 3450 giri/min, imprimendo all'acqua una velocità tale da creare una depressione all'interno della camera cilindrica in cui l'aria è indotta, dalla pressione atmosferica, a entrare nell'albero di trasmissione e a diffondersi sotto forma di fini bolle intorno all'elica.

La pompa è fissata su di un galleggiante mentre l'albero è immerso nell'acqua con inclinazione regolabile per orientare l'emulsione di aria e acqua secondo la profondità d'immersione cui s'intende operare.

Recenti modelli prevedono l'installazione della pompa, sospesa a un galleggiante a profondità regolabili (Foto 17 pag. 54 e Foto 18 pag. 55) oppure fissa a fondo vasca; in questo caso l'aria viene aspirata attraverso un'apposita tubazione che collega la pompa all'atmosfera.

Nell'impiego delle pompe a elica aspiratrici è necessario tenere conto dei possibili effetti di risospensione dei sedimenti e di erosione negli stagni di limitata profondità con fondo in terra.

Nell'installazione degli aeratori diffusori a bordo vasca, alcuni studi hanno evidenziato migliori condizioni di miscelazione in vasche dimensionate con larghezza doppia rispetto alla profondità.

Per vasche dimensionate con rapporti tra larghezza e profondità di 3/1 o 4/1 è consigliata l'installazione centrale (*Echenfelder, 1969*).

Il consumo di energia degli aeratori diffusori dipende principalmente dall'efficienza del compressore, dalla profondità a cui l'aria è immessa, dal diametro delle bolle e dalle perdite di carico del sistema di distribuzione del gas.

Purtroppo il confronto tra aeratori diffusori è reso spesso difficoltoso dalla scarsa disponibilità di dati relativi a prestazioni riferite a condizioni operative standardizzate.

In ogni caso, la scelta del sistema di aerazione deve tenere sempre conto anche delle esigenze di pompaggio del liquido e/o del gas e dei relativi costi.

8.4. CRITERI DI SELEZIONE DEI SISTEMI DI AERAZIONE

La scelta del sistema di aerazione ottimale per un determinato sistema di allevamento dipende principalmente dai seguenti fattori:

- le caratteristiche operative del sistema;
- l'applicabilità delle diverse attrezzature di aerazione;
- la convenienza economica.

Gli aeratori superficiali, essendo in grado di operare con un'efficienza di trasferimento dell'ossigeno vicina a quella massima teorica, sono largamente impiegati con costi di installazione e di gestione relativamente bassi.

Gli aeratori diffusori a pietra porosa, potendo essere utilizzati anche per il pompaggio dell'acqua (pompe ad aria), possono essere particolarmente interessanti dal punto di vista della semplicità e dell'efficienza.

I sistemi di aerazione per caduta rappresentano la soluzione più economica quando è possibile sfruttare dislivelli di ampiezza sufficiente, senza dover ricorrere a sistemi di pompaggio.

I tubi a "U" possono essere impiegati nei casi in cui sia richiesta la sovrassaturazione dell'acqua; si ricorda però che nei normali sistemi di allevamento la sovrassaturazione può determinare l'insorgenza di diverse patologie indesiderate (es. malattia della bolla gassosa).

Per la scelta di un impianto di aerazione e per il suo dimensionamento si può adottare la seguente procedura.

1. Calcolare il fabbisogno di ossigeno del sistema, considerando sia il fabbisogno biologico, sia il fabbisogno chimico; il fabbisogno biologico comprende quello della coltura allevata e quello dei batteri liberi o di un eventuale

biofiltro. Si ricorda, inoltre, che in condizioni di stress gli organismi allevati richiedono sempre maggiori quantità di ossigeno;

2. Scegliere il tipo di aeratore in funzione del sistema di allevamento praticato;
3. Determinare il coefficiente globale di trasferimento dell'ossigeno ($K_L a$). Il valore dichiarato dal costruttore deve essere corretto mediante la seguente equazione che tiene conto della temperatura dell'acqua:

$$(K_L a)_T = (K_L a)_{20} \times 1,024^{(T-20)}$$

4. Stimare il coefficiente α , calcolando il $K_L a$ per l'acqua pura e quello per il liquido da trattare nelle medesime condizioni operative;
5. Stimare il gradiente di concentrazione dell'ossigeno (differenza di concentrazione o di pressione dell'ossigeno tra gas e liquido) in condizioni operative;
6. Calcolare il ritmo di trasferimento dell'ossigeno mediante l'equazione seguente:

$$OT = K_L a \times (C_s - C) \times V \times 10^{-6}$$

OT = quantitativo orario di ossigeno trasferito (kg O₂/h);

$K_L a$ = coefficiente globale di trasferimento dell'ossigeno (h⁻¹);

C_s = concentrazione di saturazione dell'ossigeno nel liquido da trattare in condizioni operative (mg/l);

C = concentrazione dell'ossigeno in condizioni operative (mg/l);

V = volume di liquido da trattare (litri).

7. Calcolare l'efficienza meccanica di aerazione EM (kg O₂/kWh) dividendo il quantitativo orario di ossigeno trasferito OT (Kg O₂/h) per la potenza dell'aeratore (kW);
8. Calcolare il fabbisogno energetico per l'azionamento del sistema di aerazione (potenza applicata complessiva in kW) dividendo il fabbisogno di ossigeno del sistema (Kg O₂/h) per l'efficienza meccanica di aerazione (kg O₂/kWh) dall'aeratore selezionato;
9. Calcolare il numero di aeratori necessari, dividendo il fabbisogno energetico totale per la potenza assorbita da ogni singolo aeratore;
10. Installare gli aeratori in modo tale che ciascuno di essi serva un volume uguale a quello servito dagli altri oppure, a profondità costante del bacino, una superficie uguale a quella servita dagli altri.

Per il calcolo in condizioni operative del quantitativo orario di ossigeno trasferito OT e dell'efficienza meccanica di aerazione EM è possibile utilizzare i dati

dichiarati dal costruttore di OT_s e di EM_s riferiti alle condizioni standard ($T = 20^\circ\text{C}$, acqua dolce, $C = 0 \text{ mg/l}$).

$$EM = EM_s \times (C_s - C_e) / 9,09 \times 1,024^{T-20} \times \alpha$$

EM = efficienza meccanica in condizioni operative ($\text{kg O}_2/\text{kWh}$);

EM_s = efficienza meccanica in condizioni standard ($\text{kg O}_2/\text{kWh}$);

C_s = concentrazione di saturazione dell'ossigeno in condizioni operative (mg/l);

C_e = concentrazione di ossigeno effettiva in condizioni operative (mg/l);

$9,09$ = concentrazione di ossigeno in acqua dolce alla temperatura di 20°C e alla pressione atmosferica di $1,013 \text{ bar}$ (mg/l);

T = temperatura dell'acqua in condizioni operative ($^\circ\text{C}$);

$\alpha = K_L$ a acque reflue / K_L a acqua pulita.

Per convenzione l' EM_s dovrebbe essere calcolata con riferimento alla potenza applicata all'apparecchio aeratore e non alla potenza del motore; ciò significa che non dovrebbero essere computate le perdite di potenza imputabili alla conversione dell'energia elettrica in energia meccanica e al sistema di trasmissione (es. cinghie, alberi, ingranaggi). Tuttavia, per maggiore semplicità, alcuni costruttori esprimono l'efficienza meccanica standard degli aeratori azionati da motori elettrici con riferimento alla potenza del motore.

Il quantitativo orario di ossigeno trasferito OT può essere calcolato con la stessa formula sostituendo EM e EM_s , rispettivamente, con OT e OT_s .

Come accennato in precedenza, il deficit di ossigeno ($DO = C_s - C_e$) ha grande influenza sul processo di trasferimento del gas; all'aumentare della concentrazione C_e , decresce il deficit DO e, quindi, anche il ritmo di trasferimento.

Rispetto ai valori di OT_s e di EM_s , i valori di OT e di EM tendono a ridursi all'aumentare della temperatura e della concentrazione di ossigeno nell'acqua; per esempio, in uno stagno con acqua alla temperatura di 30°C e concentrazione di ossigeno di 4 mg/l , OT e EM assumono valori pari a circa il 50% dei valori di OT_s e di EM_s .

Se l'acqua è satura di ossigeno gli aeratori non sono normalmente in grado di effettuare il trasferimento ma se l'acqua è soprassatura gli aeratori trasferiscono ossigeno dall'acqua all'atmosfera.

Il grado di salinità dell'acqua sembra avere una limitata influenza sul trasferimento di ossigeno operato da aeratori che spruzzano acqua in atmosfera (*Boyd e Daniels, 1987*); tuttavia, per gli aeratori diffusori, le pompe a elica aspiratrici e anche per gli aeratori a pale alcuni studi hanno evidenziato una maggiore efficienza in acqua con un grado di salinità uguale o superiore a 10 parti per mille (*Ruttanagosrigit et al., 1991; Fast et al., 1999*).

Nella tabella 10 sono riportati i risultati di prove comparative condotte su numerosi aeratori di diverso tipo, azionati da motori elettrici, per determinarne l'efficienza di aerazione con riferimento a condizioni standard; i valori di EM_s sono stati calcolati con riferimento alla potenza applicata.

Tabella 10 - Valori di OT_s (kg O_2/h) e di EM_s (kg O_2/kWh) per aeratori ad azionamento elettrico utilizzati in acquacoltura (Boyd e Ahmad, 1987).

Tipo di aeratore	Numero di aeratori esaminati	OT_s variazione	EM_s	
			Media	variazione
Aeratori a pale	24	2,5 - 23,2	2,2	1,1 - 3,0
Pompe a elica aspiratrici	11	0,1 - 24,4	1,6	1,3 - 1,8
Aeratori a turbina	15	0,3 - 10,9	1,4	0,7 - 1,8
Pompe spruzzatrici	3	11,9 - 14,5	1,3	0,9 - 1,9
Diffusori	5	0,6 - 3,9	0,9	0,7 - 1,2

Dai dati riportati in tabella emerge che, in linea generale, gli aeratori a pale risultano essere quelli caratterizzati dal maggior grado di efficienza, anche se alcuni di essi presentano un'efficienza inferiore rispetto ad altri aeratori di diverso tipo. Per l'aerazione degli stagni gli aeratori a pale rappresentano spesso la soluzione più efficiente; tuttavia, anche le turbine, le pompe a elica aspiratrici e i diffusori sono largamente impiegate per l'aerazione di stagni di modesta ampiezza con superficie inferiore a un ettaro. Recenti studi hanno evidenziato un'efficienza degli aeratori diffusori analoga a quella degli aeratori a pale nel caso di impianti adeguatamente dimensionati e caratterizzati da un sufficiente numero di elementi diffusori a da un lento rilascio dell'aria immessa (Boyd e Moore, 1993).

8.5. AERAZIONE DEGLI STAGNI E DEI LAGHI DI PESCA SPORTIVA

Negli stagni e nei laghi per l'esercizio della pesca sportiva i trattamenti di aerazione possono essere finalizzati alla sola ossigenazione oppure, più in genera-

le, al miglioramento della qualità dell'acqua. In acque eccessivamente ricche di manganese o di ferro, l'aumento della concentrazione di ossigeno nell'acqua comporta la riduzione della solubilità di tali metalli che tendono, quindi, a precipitare.

Inoltre la miscelazione indotta dal trattamento può limitare o eliminare la stratificazione termica della massa d'acqua; questo fenomeno, che è tanto più evidente quanto più elevata è la profondità del bacino, può avere effetti positivi o negativi a seconda dei casi.

In periodi caldi la stratificazione termica può favorire il mantenimento di temperature dell'acqua relativamente basse negli stati più vicini al fondo dove, però, si possono manifestare carenze di ossigeno dovute alla scarsa circolazione. Per evitare la formazione di condizioni anaerobiche in prossimità del fondo possono essere impiegati aeratori diffusori a flusso discendente, operanti in profondità sotto il livello del termoclinio, che permettono l'aerazione dell'ipolimnio senza alterare la stratificazione termica della colonna d'acqua. Questa tecnica è particolarmente indicata in presenza di fenomeni di eutrofizzazione come nel caso di stagni o di bacini naturali caratterizzati da elevate densità di allevamento.

L'obiettivo della maggior parte degli allevatori consiste nella massimizzazione delle produzioni e dei profitti, mantenendo al minimo i costi della manodopera. Tuttavia, quando gli sforzi finalizzati all'incremento della produzione non sono supportati da adeguate strategie produttive, può verificarsi un peggioramento della qualità dell'acqua tale da comportare il peggioramento degli indici di conversione dei mangimi e seri rischi di insorgenza di patologie e di mortalità negli organismi allevati. Negli stagni il trattamento di aerazione rappresenta la soluzione più immediata e pratica per risolvere problemi di qualità dell'acqua, soprattutto in condizioni di elevate densità di pesce allevato e di intensi ritmi di alimentazione.

Dal punto di vista applicativo le soluzioni praticate possono essere distinte in:

- aerazione di emergenza;
- aerazione di mantenimento.

L'*aerazione di emergenza* è praticata diffusamente in stagni di grandi dimensioni (superficie > 1 ha); negli Stati Uniti è effettuata generalmente per mezzo di aeratori a pale o di pompe spruzzatrici azionate per mezzo di trattrici, di motori elettrici o di motori endotermici a punto fisso o carrellati.

Per massimizzare l'efficienza d'impiego è consigliabile limitare il loro utilizzo ai soli periodi di carenza di ossigeno, adottando soluzioni trasferibili da uno stagno all'altro a seconda delle esigenze.

Gli aeratori a pale carrellati, azionati per mezzo della presa di forza delle trattrici, sono caratterizzati da elevate potenze e rappresentano una soluzione

molto diffusa per l'aerazione di emergenza in stagni di ampie dimensioni.

Gli aeratori di emergenza permettono la formazione di un punto di aerazione e di ricircolo da cui l'acqua riossigenata si diffonde gradualmente attraverso il bacino; durante i periodi di carenza di ossigeno il pesce tende a raggrupparsi in prossimità dell'aeratore, fino a quando la concentrazione del gas non ritorna a livelli accettabili.

Nel caso in cui gli aeratori siano utilizzati con frequenza è opportuno collocarli sempre nello stesso punto dello stagno. Uno studio abbastanza recente, condotto in stagni rettangolari dell'ampiezza di 0,4 ha, ha evidenziato che per favorire la circolazione la migliore installazione di un aeratore a pale è a metà di uno dei lati lunghi, indirizzando il flusso d'acqua parallelamente ai lati corti (Figura 43); al contrario, il punto d'installazione peggiore è risultato quello in angolo con flusso diagonale (Boyd e Watten, 1989).

Nel caso in cui si installino più aeratori a pale nello stesso stagno, occorre posizionarli e orientarli in modo tale che ciascuno di essi non crei correnti opposte a quelle degli altri; inoltre, una circolazione di acqua troppo intensa può creare dannosi fenomeni di erosione.

Per evitare tali danni, è importante che gli argini e il fondo degli stagni presentino superfici ben compatte, con pendenze regolari, e che le eventuali aree soggette a erosione siano adeguatamente protette (es. con pietrame, blocchi cassero, calcestruzzo); in ogni caso, gli aeratori dovrebbero essere disposti a una distanza di almeno 3-4 m dal piede degli argini.

L'aerazione di mantenimento è finalizzata alla prevenzione delle carenze di ossigeno. Negli Stati Uniti gli aeratori diffusori sono quelli più impiegati a questo scopo; il sistema di aerazione include:

- una pompa soffiante caratterizzata da portate elevate e bassa pressione di esercizio;
- tubazioni di distribuzione in PVC o PE;
- elementi diffusori.

I costi di installazione e di gestione possono essere superiori a quelli dei sistemi di emergenza, ma le esigenze di manodopera e di monitoraggio risultano

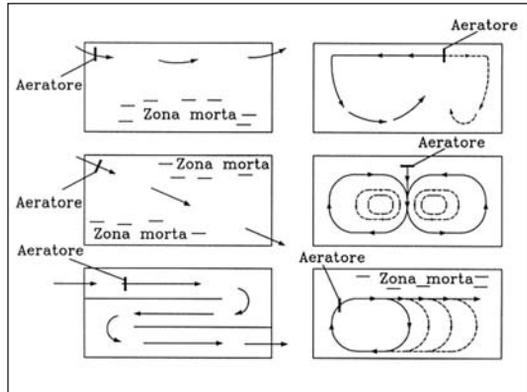


Figura 43 – Schemi delle modalità di circolazione dell'acqua indotte dall'installazione di un aeratore a pale in punti diversi di stagni di forma rettangolare.

inferiori; inoltre, i rischi di mortalità per anossia sono ridotti al minimo e i livelli produttivi ottenibili sono generalmente più elevati.

In molti casi i maggiori costi di installazione delle attrezzature possono essere ammortizzati in breve tempo a causa dei più elevati profitti realizzabili.

In ogni caso, nella collocazione di aeratori di tipo fisso occorre considerare le esigenze di accessibilità, la vicinanza alla rete elettrica (per quelli azionati elettricamente) nonché le esigenze operative per la selezione e la raccolta del pesce.

9. LE TECNICHE DI FILTRAZIONE

L'acqua, prima di essere immessa negli ambienti di allevamento, può subire diversi tipi di trattamento finalizzati alla separazione e all'allontanamento di determinate componenti indesiderate o nocive per le specie allevate (es. solidi sospesi, gas tossici).

In base al liquido da trattare e al tipo di sostanza da separare, i sistemi di filtrazione possono essere classificati in:

- sistemi liquido-liquido;
- sistemi liquido-solido;
- sistemi liquido-gas;
- sistemi solido-liquido-gas.

I sistemi di filtrazione più diffusi in acquacoltura sono quelli di tipo liquido-liquido e liquido-solido.

Per la scelta del sistema di filtrazione occorre considerare le caratteristiche delle sostanze che si intendono separare, quali:

- la densità;
- le dimensioni;
- le proprietà elettriche;
- le proprietà chimiche;
- le proprietà magnetiche.

Dopo avere identificato tali caratteristiche, occorre sfruttare le differenze chimico-fisiche esistenti tra le sostanze da separare e il liquido, adottando la tecnica di filtrazione più idonea; nel caso in cui siano disponibili più tecniche, è opportuno orientarsi verso quella che, a parità di affidabilità, fornisce le migliori prestazioni al costo minore.

In acquacoltura sono impiegate, principalmente, le seguenti tecniche di filtrazione:

- sedimentazione;
- filtrazione meccanica;
- filtrazione biologica;
- filtrazione chimica.

9.1. SEDIMENTAZIONE

La sedimentazione, detta anche decantazione o separazione gravitazionale, è il processo di filtrazione che permette alla particelle aventi densità superiore a quella del liquido in cui sono sospese di decantare, ovvero di depositarsi sul fondo di un contenitore, in quanto soggette prevalentemente alla forza di gravità. Nel processo di sedimentazione, l'acqua permane in appositi bacini o vasche per un tempo sufficiente alla sedimentazione delle particelle per essere rimosse successivamente. A sedimentazione avvenuta, rimane il problema di evacuare e smaltire o eventualmente riutilizzare gli elevati volumi di fanghi ottenuti, la cui produzione è stata stimata, indicativamente, in 7-15 m³ per tonnellata di pesce prodotto o in 700 kg di sostanza secca all'anno per tonnellata di peso vivo allevato (*Arroyo, 1983*).

L'attitudine dei solidi in sospensione a sedimentare dipende dal loro grado di idratazione; per ottenerne la decantazione all'interno di bacini, canali o vasche di dimensioni accettabili dal punto di vista economico è opportuno adottare, a monte, alcuni accorgimenti, atti a garantire il rapido trasferimento dell'acqua senza turbolenze e sbattimenti:

- prevedere densità sufficientemente alte all'interno delle unità di allevamento (es. in trotticoltura 20 kg/m³) per evitare che i solidi inizino a depositarsi prima di raggiungere l'unità di sedimentazione;
- garantire portate sufficientemente alte in uscita dalle unità di allevamento e in entrata nel sedimentatore (es. rapporto portata/superficie superiore a 1 m/h);
- limitare la lunghezza dei percorsi tra gli scarichi delle unità di allevamento e l'immissione nel sedimentatore;
- evitare il riutilizzo dell'acqua in bacini disposti in serie, con salti d'acqua intermedi (es. raceway);
- evitare i sistemi di aerazione installati all'interno delle unità di allevamento.

Per dimensionare le unità di sedimentazione occorre considerare i seguenti parametri tecnici:

- il *tempo di ritenzione idraulica* o rapporto tra il volume del bacino e la portata in ingresso (espresso in h);

- il *carico idraulico superficiale* o rapporto tra la portata in ingresso e la superficie del bacino (espresso in m/h).

Per la realizzazione dell'unità di sedimentazione possono essere adottate varie soluzioni costruttive caratterizzate da superfici d'ingombro diverse:

- bacini di sedimentazione;
- decantatori ciclonici;
- decantatori a canale (costosi e poco efficaci);
- decantatori lamellari (efficaci ma relativamente costosi).

I *bacini di sedimentazione* devono essere dimensionati prevedendo tempi di ritenzione idraulica di alcune ore. La loro conformazione può essere tra le più varie; tuttavia la forma più diffusa è quella rettangolare. Il fondo può essere inclinato e presentare pendenze verso il centro o verso le testate per favorire l'allontanamento e lo scarico dei fanghi sedimentati; diversamente, i bacini con fondo orizzontale o poco inclinato dispongono, generalmente, di dispositivi meccanici (es. raschiatori) per l'allontanamento dei fanghi.

L'efficienza di un bacino di sedimentazione dipende dalla funzionalità singola o congiunta delle seguenti sezioni del bacino:

- la zona di immissione, di profondità inferiore a un metro, concepita per consentire il rinnovo omogeneo di tutta la massa d'acqua contenuta nel bacino;
- la zona centrale di sedimentazione, di profondità superiore a un metro e di estensione sufficiente affinché il carico idraulico superficiale non sia superiore 0,3 m/h;
- la zona di raccolta dei fanghi che è la parte più profonda della zona di sedimentazione il cui fondo presenta pendenze e tipi di rivestimento finalizzati ad agevolare le periodiche operazione di rimozione;
- la zona di scarico, di profondità inferiore a un metro, posta all'estremità opposta del bacino rispetto alla zona di immissione.

La circolazione dell'acqua deve essere il più possibile omogenea, garantendo il ricambio completo della massa liquida ed evitando la formazione di correnti preferenziali o di aree morte.

I *decantatori ciclonici* sono vasche cilindriche aperte, a fondo conico inclinato verso il centro; generalmente sono realizzate in cemento armato (*Figura 44 pagina 148*). L'acqua da trattare è introdotta tangenzialmente in modo tale da indurre il movimento rotatorio della massa liquida; i gradienti di velocità dell'acqua, dovuti alla forma della vasca, comportano il deposito dei solidi in sospensione al centro del fondo conico. L'acqua fuoriesce dalla vasca per tracciamento o dal bordo perimetrale o da un tubo centrale verticale.

I decantatori ciclonici presentano il vantaggio di un ridotto ingombro, ma sono

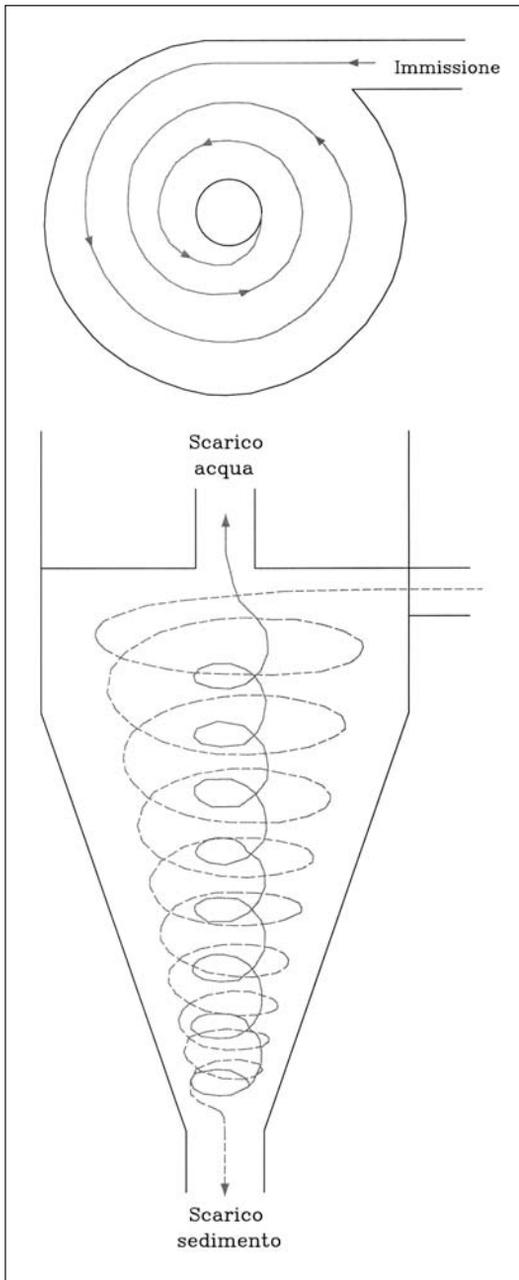


Figura 44 – Schema di decantatore ciclonico; pianta e sezione.

poco efficaci in quanto permettono la sola sedimentazione del particolato più grossolano; per questo motivo se ne prevede l'installazione in testa alla linea di trattamento e difficilmente risultano idonei a gestire acque precedentemente aerate o che percorrono lunghi tragitti attraverso la rete idrica prima di arrivare al decantatore.

Questo sistema di sedimentazione può essere utilizzato convenientemente soltanto in condizioni particolari: quando il carico inquinante e la densità di allevamento sono ridotti e quando siano richieste soluzioni tecniche poco ingombranti.

I *decantatori a canale* sono bacini di sedimentazione di grandi dimensioni a sviluppo longitudinale; generalmente, sono costosi e poco efficaci. Per ottenere l'eliminazione del 60-70% dei solidi sospesi è necessario prevedere un carico idraulico superficiale dell'ordine di 0,3-0,5 m/h.

I *decantatori lamellari* sono vasche di dimensioni relativamente ridotte, all'interno delle quali sono installate due serie di lastre sovrapposte inclinate verso il centro (Figura 45); l'acqua è canalizzata in modo omogeneo attraverso gli spazi a sezione costante, delimitati dalle lastre. Questo sistema favorisce

la separazione rapida dei solidi in sospensione. I fanghi si depositano sulle lastre e si raccolgono per gravità in corrispondenza dello scarico centrale. Questa tecnica permette di ridurre fino a venti volte il volume della vasca rispetto ai decantatori a canale. Il carico idraulico superficiale C può essere calcolato rapportando la portata Q all'area A della proiezione orizzontale delle lastre inclinate, moltiplicata per il numero di lastre (n).

$$C = \frac{Q}{n \times A}$$

Inoltre, quando le portate di acqua da trattare sono limitate, i decantatori lamellari esercitano un'azione depuratrice per mezzo di colonie batteriche nitrificanti, fissate ai solidi sedimentati sulle lastre; ciò permette di alleggerire il lavoro di un eventuale filtro biologico posto a valle del decantatore lamellare, potendo addirittura sostituirlo nei sistemi chiusi quando la densità di allevamento e il carico inquinante sono sufficientemente contenuti.

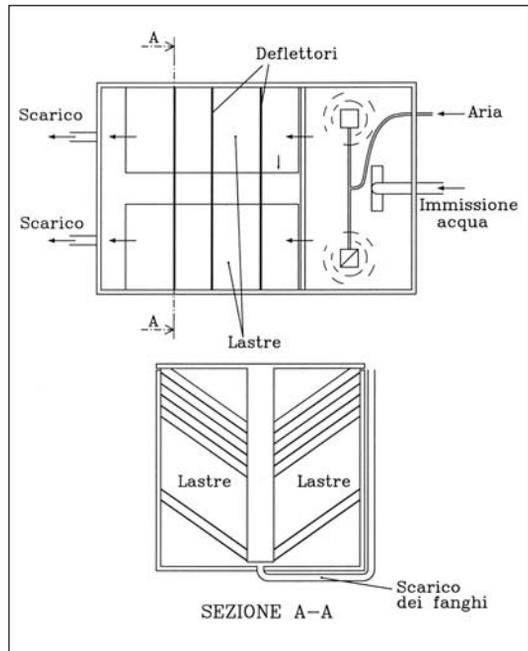


Figura 45 – Schema di decantatore lamellare; pianta e sezione.

9.2. FILTRAZIONE MECCANICA

In acquacoltura la filtrazione meccanica è finalizzata alla separazione e all'allontanamento delle particelle solide in sospensione; si ottiene facendo passare l'acqua attraverso griglie o appositi substrati, atti a intercettare i solidi sospesi. Il materiale intercettato è rimosso successivamente con metodi diversi, a seconda del tipo di filtro.

Le principali funzioni della filtrazione meccanica sono:

- la riduzione della turbidità dell'acqua causata dalla presenza di microrganismi o di particelle in sospensione;
- la riduzione del livello di colloidali organici;
- la rimozione del detrito generato dai filtri biologici.

I filtri meccanici sono utilizzati anche per la prefiltrazione di acqua proveniente da risorse naturali allo scopo di ridurre la torbidità e di rimuovere gran parte dei microrganismi che potrebbero incrementare pericolosamente il BOD oppure causare l'insorgenza di epizoozie nel sistema di allevamento.

Le soluzioni tecnologiche più diffuse sono costituite da:

- i vagli statici;
- i vagli rotativi;
- i filtri a sabbia;
- i filtri a diatomee.

9.2.1. I vagli statici

I vagli statici presentano il vantaggio di essere estremamente semplici, essendo costituiti essenzialmente da una griglia, posta trasversalmente al flusso di liquido da filtrare; raramente vengono impiegati per separare particelle di dimensioni inferiori a 1,5 mm o per filtrare liquidi caratterizzati da elevate concentrazioni di solidi perché, in tal caso, tendono a intasarsi rapidamente.

Normalmente le operazioni di pulizia consistono nella rimozione del filtro dalla sua sede operativa e nel suo lavaggio a pressione in controcorrente.

I filtri statici sono economici e semplici da installare e da gestire, ma richiedono un'accurata pulizia per evitare i fenomeni d'intasamento. I filtri statici a rete sono disponibili con maglie di dimensioni variabili da alcune decine di millimetri, fino a pochi μm ; sono realizzati con materiali diversi quali: l'acciaio inossidabile, l'ottone, la plastica e le maglie di fibre naturali o sintetiche.

9.2.2. I vagli rotativi

I vagli rotativi trovano utile impiego nei casi in cui sussistano rischi di intasamento di filtri statici oppure quando non sia economicamente accettabile la pulizia manuale. Uno dei modelli più diffusi è costituito da un cilindro di rete metallica, avente maglia di dimensioni adeguate in funzione dei solidi da separare, disposto orizzontalmente in rotazione, in parziale immersione nell'acqua da trattare; l'acqua viene immessa assialmente nel cilindro e fuoriesce radialmente attraverso le maglie di rete metallica (*Figura 46*). Esternamente, dispongono di un sistema di pulizia costituito, generalmente, da un dispositivo di lavaggio in controcorrente (*Foto 19 pag. 55*); poiché il sistema di pulizia opera in continuo o in automatico a intervalli prestabiliti, i vagli rotativi presentano il grande vantaggio di non richiedere interruzioni di funzionamento, come nel

caso dei vagli statici. Il loro principale svantaggio è rappresentato dall'elevata produzione di acque di lavaggio.

9.2.3. I filtri a sabbia

I filtri a sabbia o a ghiaia rivestono particolare interesse a causa delle portate relativamente alte che riescono a fornire con costi di esercizio relativamente bassi. La soluzione più semplice consiste in uno o più strati di sabbia, di ghiaia e di eventuali

altri materiali filtranti, attraverso cui l'acqua è indotta a passare. Gli strati di materiale filtrante giacciono sovrapposti all'interno di lunghe vasche di forma e sezione rettangolari. In base alle esigenze di filtrazione, la sabbia può essere sostituita o associata ad altri materiali di diversa granulometria (es. ghiaia, ghiaietto, carbone attivo, conchiglie). La portata del flusso di acqua che attraversa il filtro e il ritmo di intasamento dello stesso dipendono dalle dimensioni del mezzo filtrante e dalle caratteristiche dei solidi da separare. Nei filtri a sabbia funzionanti per gravità la portata teorica è calcolabile utilizzando l'equazione di Darcy ($v = K \times h / d$) e l'equazione di continuità ($Q = A \times v$).

$$Q = A \times K \times \frac{h}{d}$$

Q = portata (m³/s);

A = area della sezione trasversale della vasca (m²);

K = costante di permeabilità (m³/m² × s);

h = pressione geodetica (m);

d = profondità o altezza del filtro (m).

Questa formula può fornire valori attendibili di portata, assumendo che:

- il flusso sia laminare;
- il filtro sia saturo di acqua;
- le caratteristiche del fluido (es. viscosità e densità) non subiscano variazioni significative in condizioni operative.

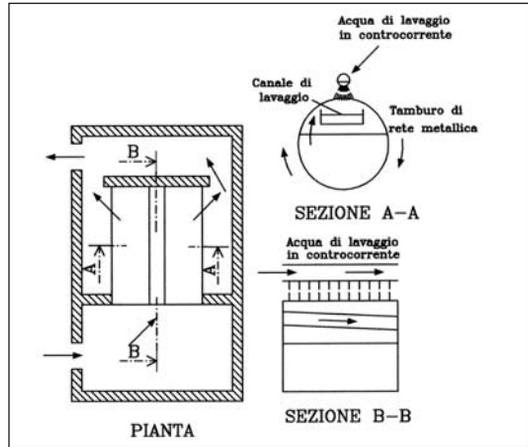


Figura 46 – Schema di vaglio rotativo: pianta e sezioni longitudinale e trasversale.

Tuttavia la portata tende a ridursi gradatamente a causa del progressivo intasamento del mezzo filtrante, mentre tende ad aumentare l'efficienza di filtrazione. In pratica, oltre un certo grado d'intasamento, diventa necessaria la rimozione dei solidi separati attraverso il lavaggio in controcorrente.

La frequenza dei lavaggi in controcorrente dipende dai seguenti fattori:

- la concentrazione dei solidi in entrata;
- la portata;
- le dimensioni del mezzo filtrante;
- le caratteristiche dei solidi da separare;
- le perdite di carico;
- il tipo di letto filtrante (es. ad uno o più strati).

La rimozione del particellato avviene in due fasi. Prima di tutto, i solidi sospesi sono intercettati fisicamente dagli interstizi esistenti tra i granelli di ghiaia; secondariamente, le superfici dei granelli di ghiaia, cariche elettrostaticamente, attraggono le particelle di carica opposta o i colloidi, rimuovendoli dalla soluzione. L'efficienza di tali processi dipende da:

- le dimensioni della ghiaia;
- l'accumulo di detrito;
- la forma della ghiaia;
- la vagliatura della ghiaia;
- la modalità di distribuzione della ghiaia.

L'efficienza di filtrazione meccanica della ghiaia aumenta, a parità di volume, al decrescere delle dimensioni dei singoli granuli; più i granuli sono piccoli e maggiore è la superficie esposta all'acqua per esercitare l'attrazione elettrostatica sul particellato e sui colloidi. Inoltre, il ridotto diametro degli interstizi facilita la rimozione delle particelle più fini, aumentando la percentuale di solidi rimossi, rispetto al volume di acqua trattata. Allo stesso modo, l'accumulo di detrito, riducendo il diametro degli interstizi, aumenta l'efficienza di filtrazione meccanica.

La forma angolare della ghiaia di frantoio determina una maggiore efficienza di filtrazione, rispetto alla forma arrotondata della ghiaia di fiume, a causa del maggiore rapporto tra superficie esposta all'acqua e volume del substrato filtrante. La vagliatura della ghiaia permette la realizzazione di substrati filtranti omogenei, caratterizzati da elevata efficienza di filtrazione. Infatti, quando predominano granuli di elevato diametro possono venire a crearsi degli spazi vuoti all'interno della colonna di ghiaia attraverso cui il detrito, accumulato sulla superficie del filtro nel corso della filtrazione, può raggiungere rapidamente il punto di scarico ed entrare in circolo nel sistema di allevamento. I percorsi che l'acqua effettua, nel suo movimento discendente attraverso la colonna di ghiaia, dipende dalla distribuzione delle resistenze all'interno del substrato. Nei filtri

biologici (*vedi paragrafo 7.4*) il flusso di acqua risulta alterato quando la ghiaia è distribuita in modo non uniforme sul piano di supporto. I punti in cui il substrato filtrante è più sottile, offrendo minore resistenza, attraggono elevati quantitativi dell'acqua in circolo; ciò può provocare l'insorgenza degli stessi problemi di turbidità riscontrabili in sistemi funzionanti con filtri realizzati con ghiaia non vagliata.

I filtri a sabbia di tipo "rapid" sono alimentati da pompe meccaniche che permettono un intenso ricambio idrico, diverse volte più veloce di quello che caratterizza i filtri biologici a letto filtrante sommerso, alimentati da pompe ad aria. Il grado di abbattimento dei solidi sospesi è analogo per entrambi i tipi di filtri; tuttavia il maggior ritmo di ricambio dei filtri di tipo "rapid" consente di ridurre la turbidità in minor tempo.

In ogni caso, nessuno dei due tipi di filtro è in grado di separare particelle di diametro inferiore a 30 μm . Nei filtri a sabbia di tipo "rapid" la ghiaia è accuratamente vagliata affinché il processo di filtrazione possa avvenire anche negli strati più profondi; le caratteristiche costruttive e operative di questi filtri sono considerevolmente diverse da quelle dei biofiltri a letto filtrante sommerso. Nei filtri "rapid" l'area della superficie occupata dal letto filtrante non rappresenta un parametro critico a causa dell'elevato ritmo di ricambio idrico; inoltre, la rimozione dei solidi sospesi ha luogo in profondità nel letto filtrante, invece che sul solo strato superficiale.

Normalmente, i filtri di tipo "rapid" sono costituiti da cinque strati di ghiaia silicea, caratterizzati da diversa granulometria, di diametro crescente dall'alto verso il basso; lo strato superficiale è di sabbia mentre quello inferiore è di ciottoli. Anche l'antracite può essere utilizzata per il primo strato superficiale; in questo caso, si prevede un secondo strato di sabbia e altri tre strati di ghiaia di granulometria crescente. La bassa densità dell'antracite consente una penetrazione più profonda dei solidi sospesi, rispetto alla sabbia, ottenendo una maggiore efficienza di filtrazione.

I filtri a sabbia di tipo "rapid" possono essere impiegati anche per il trattamento e il ricircolo delle acque di scarico derivanti dalla pulizia periodica dei filtri biologici, sempre che ne risulti economico il ricircolo. Per la loro pulizia si ricorre a lavaggi in controcorrente, quando il grado di accumulo del detrito è tale da impedire o da limitare il flusso dell'acqua attraverso il letto filtrante. Manometri appositi, indicanti l'entità delle perdite di pressione causate da tale fenomeno di accumulo, permettono di valutare quando effettuare i lavaggi in controcorrente.

Questi sono effettuati utilizzando acqua pulita e invertendo il flusso in direzione ascendente; l'acqua, risalendo, solleva i granelli di sabbia e di ghiaia, producendo l'espansione dell'intero letto filtrante. Il detrito, essendo più leggero

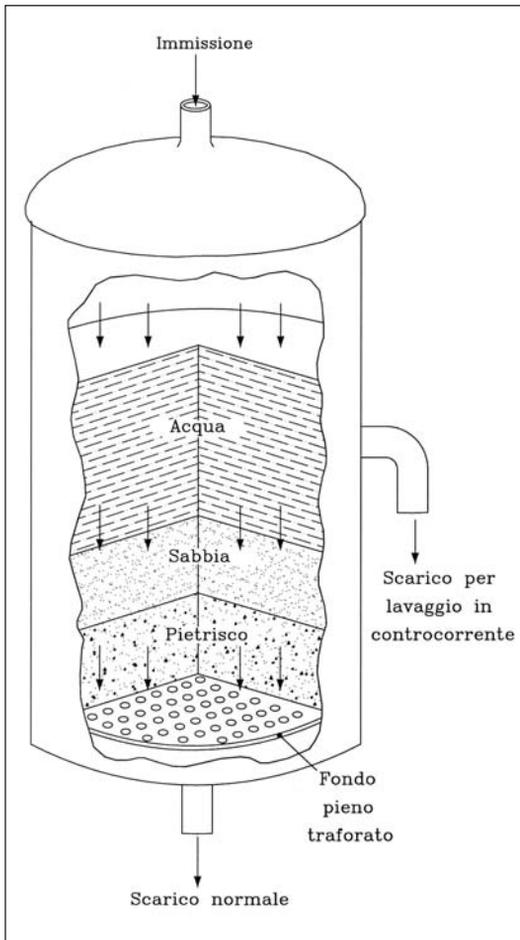


Figura 47 – Schema di filtro a sabbia in pressione.

dello strato superficiale di sabbia, è sollevato dal flusso d'acqua ed evacuato dalla sommità del filtro. Durante questa operazione i granuli di sabbia e di ghiaia sono mantenuti momentaneamente in sospensione, poiché la forza peso ad essi applicata è di pari intensità alla forza di sollevamento trasmessa dal flusso di acqua. Dopo il lavaggio i materiali si stratificano in base alla densità e, quindi, alla diversa velocità di sedimentazione.

Durante il lavaggio in controcorrente, il detrito è rimosso attraverso tre diversi meccanismi fisici:

- la rimozione del detrito adeso ai granuli per abrasione dovuta al sollevamento e alla collisione dei granuli tra di loro;
- l'attrito prodotto dal flusso di acqua all'interno del letto filtrante;
- il sollevamento dalla superficie del letto filtrante e lo scarico dalla sommità del filtro.

Questi meccanismi inibiscono la filtrazione biologica perché comportano anche la rimozione delle colonie batteriche che si sviluppano aderendo al substrato filtrante.

I *filtri a sabbia in pressione* sono costituiti da un serbatoio pressurizzato, di forma cilindrica ad asse verticale, contenente un letto filtrante di ghiaia in cui l'acqua è immessa dall'alto attraverso un dispositivo diffusore, fisso o rotante, atto a disperderla uniformemente (Figura 47 e Foto 20 pag. 55). Sotto pressione, l'acqua è spinta a scendere attraverso il letto filtrante per essere raccolta inferiormente da un dispositivo collettore. Il letto filtrante può essere costituito

da un unico tipo di materiale oppure da più materiali, disposti a strati di diversa granulometria.

Normalmente, il corpo del serbatoio è realizzato in poliestere e fibra di vetro, mentre le tubazioni e i dispositivi diffusore e collettore sono in PVC. In commercio esistono numerosi modelli con caratteristiche e prestazioni variabili in base alle dimensioni, alla pressione di esercizio e al tipo di letto filtrante; molti di essi presentano caratteristiche variabili all'interno dei seguenti intervalli:

- pressione di esercizio da 2 a 4 kg/cm²;
- diametro del serbatoio da 400 a 3000 mm;
- altezza del letto filtrante da 400 a 1200 mm;
- portata da 5 a 50 m³/h × m².

Analogamente ai filtri di tipo "rapid", anche i filtri a sabbia in pressione sono particolarmente adatti per il trattamento e il ricircolo dell'acqua derivante dalla pulizia intermittente dei filtri biologici.

9.2.4. I filtri a diatomee

I filtri a diatomee funzionano utilizzando, come materiale filtrante, uno strato di farina fossile di diatomee, opportunamente setacciata; questo materiale permette la separazione di particelle molto fini, fino al diametro di 0,1 µm.

Gli elementi filtranti possono essere piani oppure a colonna; sono installati all'interno di un serbatoio a tenuta, disposti in serie, verticalmente, e collegati a un collettore; l'acqua da trattare viene pompata in pressione all'interno del filtro oppure viene estratta in depressione dal filtro (Figura 48).

Gli elementi filtranti a colonna sono composti da due parti:

- un'anima centrale rigida e porosa;
- una manica filtrante in fibra sintetica, strettamente intrecciata, infilata intorno all'anima centrale porosa.

Generalmente, l'anima centrale e la manica filtrante sono realiz-

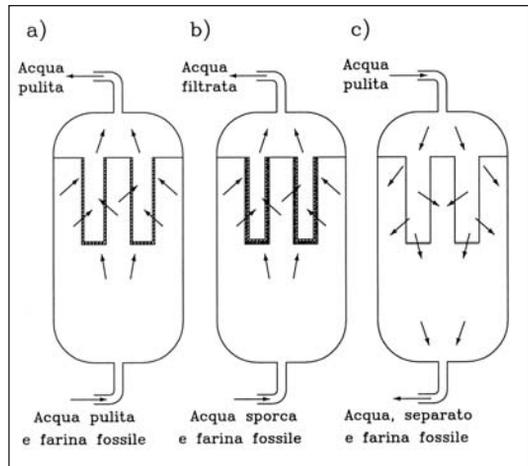


Figura 48 – Schema di funzionamento di un filtro a diatomee: a) fase di fissaggio della farina fossile; b) fase di filtrazione; c) fase di lavaggio in controcorrente.

zate con materie plastiche (es. polipropilene). Le maniche fungono da supporto alla farina di diatomee, mentre le anime centrali supportano le maniche filtranti, esponendole alla circolazione dell'acqua.

Per ottenere il fissaggio della farina fossile, questa viene miscelata in un apposito serbatoio insieme a un determinato volume di acqua, formando un liquido lattiginoso che viene ricircolato attraverso il filtro fino a quando l'acqua ritorna limpida e tutta la farina fossile risulta fissata agli elementi filtranti. Il quantitativo di farina fossile necessario per costituire un nuovo strato filtrante è pari a 0,73 kg di peso a secco per metro quadro di superficie filtrante.

Durante il suo funzionamento lo strato filtrante accumula il materiale separato fino ad intasarsi; dopodiché, deve essere rimosso insieme al materiale separato per essere sostituito con un altro strato di farina fossile. L'operazione di rimozione viene effettuata mediante ricircolo in controcorrente attraverso gli elementi filtranti. La durata di funzionamento dello strato filtrante dipende da diversi fattori (es. concentrazione nell'acqua dei solidi da separare, entità dei flussi trattati, frequenza d'impiego). Per limitare le frequenti e costose operazioni di sostituzione dello strato filtrante è possibile aggiungere continuamente farina fossile in piccole quantità mediante un apposito dispositivo di dosaggio automatico; ciò consente un più lungo accumulo di sostanze separate nello strato filtrante, evitando problemi d'intasamento.

Il rivestimento a maglia degli elementi filtranti richiede una periodica e accurata manutenzione per evitare problemi d'intasamento dovuti al deposito di colloidali organici, di composti inorganici (es. carbonato di calcio, ossido di ferro, di manganese) o di alghe; le maniche dovrebbero essere periodicamente sostituite con maniche nuove o maniche rigenerate mediante lavaggio in lavatrice e ripetuti risciacqui per eliminare ogni traccia di detersivi. Di conseguenza, i filtri a diatomee presentano lo svantaggio di funzionare in modo discontinuo; inoltre, l'elevato costo e le esigenze di manutenzione, rendono praticabile questo sistema soltanto quando risulti necessario rimuovere dall'acqua particelle molto fini. Tuttavia, i costi di gestione possono essere limitati provvedendo a installare il filtro a diatomee in serie, a valle di un filtro a sabbia; ciò riduce il carico di lavoro del filtro e allunga i cicli di funzionamento dello strato filtrante. Infatti, per potere operare efficientemente le acque da trattare devono essere sufficientemente limpide.

9.3. FILTRAZIONE BIOLOGICA

Nei sistemi chiusi, l'acqua viene continuamente riciclata e ricircolata attraverso gli ambienti d'allevamento; ad ogni passaggio è sottoposta a una serie di

trattamenti tra cui, principalmente, quello di rimozione dei residui solidi più grossolani, mediante filtrazione meccanica, e quello di depurazione ossidativa mediante filtrazione biologica. La filtrazione biologica può essere definita come il processo di mineralizzazione delle sostanze organiche azotate, di nitrificazione e di denitrificazione, operato da colonie batteriche sospese nell'acqua o adese al materiale di supporto di un letto filtrante; tale processo di depurazione si basa sulla capacità di alcune specie batteriche di trasformare i composti tossici dell'azoto (ammoniaca e nitriti) in composti non più tossici (nitrati). Tali colonie sono costituite principalmente da batteri autotrofi ed eterotrofi; le specie eterotrofe utilizzano l'azoto organico escreto dagli animali come sorgente di energia, convertendolo in composti semplici come l'ammoniaca. La mineralizzazione dell'azoto organico rappresenta la prima fase della filtrazione biologica, cui segue la fase di nitrificazione operata, principalmente, dai batteri *Nitrosomonas* sp. e *Nitrobacter* sp.; i primi ossidano l'ammoniaca trasformandola in nitriti mentre i secondi ossidano i nitriti trasformandoli in nitrati. La denitrificazione, terza fase della filtrazione biologica, è definita come il processo di riduzione biologica dei nitrati o dei nitriti in ossido di azoto o in azoto libero (Vaccaro, 1965); tale processo può essere operato sia da batteri aerobi, sia da batteri anaerobi. La capacità depurante di un filtro biologico può essere stimata mediante la seguente formula (Hirayama, 1966):

$$\sum_{i=1}^p \frac{10 \times W_i}{\frac{0,7}{V_i} + \frac{0,95 \times 10^3}{G_i \times D_i}} \geq \sum_{j=1}^q (B_j^{0,544} \times 10^{-2}) + 0,051 \times F$$

p = numero dei filtri del sistema (n);

W = area occupata dalla superficie del letto filtrante (m²);

V = velocità di filtrazione (cm/min);

D = spessore del letto filtrante (cm);

G = coefficiente di granulometria, dato dalla relazione $1/R_1 X_1 + 1/R_2 X_2 + 1/R_3 X_3 + \dots + 1/R_n X_n$ dove R indica la dimensione media in mm delle particelle di ciascuna frazione del materiale filtrante e X la percentuale di peso di ogni frazione;

q = numero totale di pesci (n);

B = peso corporeo dei pesci (g)

F = quantità totale di cibo somministrata giornalmente (g).

Il termine dell'uguaglianza posto a sinistra indica la capacità ossidativa del letto filtrante mentre il termine di destra indica l'apporto di inquinanti organici dovuti

to alla biomassa allevata; entrambi i termini sono espressi in $\text{mg O}_2/\text{min}$. In acquacoltura l'efficienza dei filtri biologici può essere misurata in funzione del grado di abbattimento della concentrazione di azoto ammoniacale. In ogni caso, per garantire un buon funzionamento del filtro, il contenuto di composti azotati nell'acqua da trattare deve essere in rapporto equilibrato con il contenuto in carbonio e in fosforo ($C/N/P = 10/20/1$). Inoltre il pH dell'acqua deve essere tenuto sempre sotto controllo a causa dell'effetto di acidificazione indotto dal funzionamento del biofiltro e, in ogni caso, non deve presentare mai valori inferiori a 6,5-7.

Generalmente i filtri biologici utilizzati in acquacoltura operano con valori di efficienza relativamente bassi, dell'ordine del 25%, a causa dell'elevata diluizione delle sostanze da rimuovere; infatti la loro efficienza è direttamente proporzionale alla concentrazione delle sostanze da rimuovere. Prestazioni migliori possono essere ottenute ricorrendo a soluzioni costruttive particolarmente voluminose e costose. L'apporto di ossigeno è di primaria importanza; infatti la sua concentrazione non deve essere inferiore a 3-4 mg/l . In pratica per rimuovere un grammo di azoto ammoniacale occorrono circa cinque grammi di ossigeno (rapporto teorico = 1 / 4,53).

Un sistema a ciclo chiuso è detto "condizionato" quando i batteri del filtro biologico sono in equilibrio dinamico con il ritmo di formazione delle loro fonti energetiche. L'attività di nitrificazione può essere adottata come parametro di misura per valutare quando un sistema è da considerarsi condizionato e, quindi, pronto per l'allevamento.

Prima d'immettere gli organismi negli ambienti d'allevamento il filtro biologico deve essere attivato affinché tutte le diverse colonie batteriche entrino in equilibrio tra di esse, in modo tale che il processo di filtrazione biologica possa avvenire senza il rilascio di composti tossici in concentrazioni dannose per le specie allevate.

Inizialmente l'elevato tasso di ammoniaca è il principale fattore limitante ma, in genere, si riduce nel giro di 2-3 settimane, quando la temperatura dell'acqua è maggiore di 15°C, oppure in un periodo leggermente superiore, quando la temperatura dell'acqua è al di sotto di 15°C. Tuttavia il sistema richiede ancora altro tempo per essere considerato propriamente condizionato perché molti importanti gruppi di batteri non sono ancora stabilizzati. In un sistema condizionato la capacità ossidativa della popolazione batterica si adatta alla costante immissione quotidiana di sostanze ossidabili.

Aumenti improvvisi della biomassa allevata o del quantitativo di mangime distribuito quotidianamente causano spesso incrementi misurabili dei livelli di ammoniaca e di nitriti; questi possono perdurare fino a quando la popolazione batterica si adatta, entrando in equilibrio con le nuove condizioni. In ogni caso,

L'entità degli incrementi dei livelli di ammoniaca e di nitriti dipende dal carico complessivo di inquinanti organici; se questo si mantiene al di sotto della capacità di carico massima del sistema o capacità ossidativa del biofiltro, le condizioni di equilibrio si ristabiliscono dopo alcuni giorni, se la temperatura dell'acqua è superiore a 15°C, oppure in un periodo leggermente più lungo, se la temperatura è al di sotto di 15°C.

Se i carichi aggiuntivi spingono il sistema oltre la sua capacità di carico massima si manifestano incrementi permanenti dei livelli di ammoniaca e di nitriti. In un filtro biologico appena avviato i processi di ammonizzazione, di deaminazione, di nitrificazione e di denitrificazione si susseguono più o meno in sequenza, ma quando il sistema è condizionato procedono simultaneamente. In un sistema condizionato l'ammoniaca misurabile si mantiene al di sotto di 0,1 ppm. Le colonie batteriche dei filtri biologici presentano un certo grado di adattamento alle fluttuazioni del livello di salinità dell'acqua; tuttavia l'adattamento può avvenire soltanto se le variazioni della salinità sono sufficientemente graduali. Infatti i cambiamenti improvvisi e consistenti del livello di salinità dell'acqua determinano la morte di gran parte dei batteri e deprimono il metabolismo di quelli che sopravvivono, rendendo inefficiente il processo di filtrazione biologica.

Esiste un lasso di tempo entro il quale i microrganismi sopravvissuti si adattano alle nuove condizioni, dopo di che si assiste a un accumulo di ammoniaca. In molti casi, l'adattamento completo dei batteri richiede un periodo di diversi giorni, durante il quale l'accumulo di ammoniaca può raggiungere concentrazioni tossiche per il pesce allevato.

Negli impianti operanti con acqua di mare, l'evaporazione superficiale determina il graduale incremento della salinità, richiedendo, quindi, interventi periodici di diluizione per ristabilire i livelli normali; in ogni caso, questi interventi devono essere effettuati attentamente e con una certa frequenza, evitando che la salinità raggiunga livelli eccessivi.

Nel caso in cui si adotti il peso specifico dell'acqua come parametro per la misurazione della salinità, il programma di diluizione dovrebbe essere tale da evitare fluttuazioni superiori a $\pm 0,002$ kg/l (es. ipotizzando uno standard di 1,025 kg/l). Negli impianti operanti con acqua salmastra il mantenimento costante della salinità risulta più difficoltoso che negli impianti operanti con acqua di mare; la diluizione dell'acqua di mare dovrebbe essere effettuata in contenitori appositi, separati dal resto dell'impianto, e l'immissione di acqua dovrebbe essere effettuata poco per volta.

Per interventi di diluizione con acque di acquedotto, l'acqua deve essere preventivamente stoccata per almeno tre giorni in appositi recipienti aperti ed aerata allo scopo di eliminare i residui di cloro.

9.3.1. Tipologie di filtri biologici

Nei filtri biologici l'acqua da trattare viene indotta a passare attraverso una vasca o un serbatoio contenente le colonie batteriche che operano la filtrazione e che vivono fissate su un idoneo materiale di supporto o "substrato".

Esistono numerosi tipi di filtri biologici, diversi tra loro sia dal punto di vista costruttivo, sia dal punto di vista funzionale:

- letti filtranti sommersi;
- letti filtranti percolatori;
- dischi rotanti;
- tamburi rotanti;
- letti fluidificati.

Ognuno di essi presenta vantaggi e svantaggi specifici.

I letti filtranti sommersi sono la tipologia di filtro biologico più largamente impiegata in acquacoltura; il substrato filtrante è completamente immerso nell'acqua che viene indotta a circolare attraverso il filtro senza bisogno di essere sollevata.

Nei letti filtranti percolatori il substrato è racchiuso all'interno di un contenitore aperto, esposto all'aria; l'acqua viene sollevata per essere distribuita uniformemente sulla superficie del letto filtrante e lasciata percolare lungo tutto il suo spessore. Nei sistemi chiusi, dove l'acqua è sottoposta a ricircolo, con portate che possono ammontare a diverse migliaia di metri cubi orari, l'esigenza di sollevare l'acqua anche per pochi metri di altezza comporta un aggravio dei costi di pompaggio; il che rende i letti percolatori meno convenienti dei letti filtranti sommersi.

Molto utilizzati, come substrato per l'insediamento delle colonie batteriche, sono la ghiaia, l'argilla espansa, la graniglia di corallo e i gusci di bivalvi interi o frantumati (es. ostriche, cappe sante, vongole); il corallo e i gusci di bivalvi presentano il vantaggio di rilasciare ioni carbonato, svolgendo un'importante azione di tamponamento di eventuali anomalie del pH. Inoltre, sono comunemente impiegati materiali plastici di forme diverse (es. glomerulare, cilindrica, spiralfornite), progettati per offrire, a parità di volume, la maggiore superficie possibile per l'insediamento e lo sviluppo dei microrganismi. Il substrato filtrante può essere raccolto in vasche aperte oppure in contenitori chiusi, generalmente, di forma cilindrica. Nelle vasche aperte il substrato appoggia su un piano di supporto traforato attraverso cui l'acqua filtra per essere raccolta inferiormente (*Figura 49*).

L'innesco dei letti filtranti richiede un'accurata preparazione preliminare e tempi medi di oltre 40 giorni per il completo insediamento delle colonie batteriche. Dopo essere stato innescato, un filtro biologico può funzionare per anni

purché sia garantita l'efficienza degli apparecchi di filtrazione meccanica posti a monte dello stesso.

Il principale svantaggio dei letti filtranti sommersi è rappresentato dal fatto che, in condizioni di carenza di ossigeno, le reazioni di ossidazione dell'ammoniaca in nitriti e dei nitriti in nitrati possono risultare molto rallentate o addirittura assenti.

Diversamente, i letti percolatori non sono mai limitati da carenze di ossigeno e spesso raggiungono livelli di efficienza superiori ai primi; tuttavia, se per qualunque ragione il flusso di acqua subisce un'interruzione, le colonie batteriche possono seccarsi con conseguenti problemi di riavviamento del sistema.

Anche i dischi e i tamburi rotanti non sono mai limitati da carenze di ossigeno; essi funzionano ruotando lentamente, immersi parzialmente nell'acqua. I dischi sono costruiti con materiale scabro per facilitare l'insediamento e la crescita dei batteri. I tamburi sono realizzati in rete metallica e sono riempiti, generalmente, con elementi glomerulari in plastica.

I letti fluidificati sono costituiti da substrati leggeri come sabbia, plastica o carbone granulare mantenuti in sospensione nell'acqua da un flusso continuo ascendente. Questi filtri presentano il vantaggio di non intasarsi mai, come invece può accadere nei filtri sommersi. Sperimentalmente, è stato dimostrato che la fluidificazione del letto filtrante permette di triplicare l'efficienza di rimozione dell'ammoniaca.

9.3.2. I letti filtranti sommersi

Nei letti filtranti sommersi la granulometria del substrato influisce sull'efficienza di filtrazione biologica; a parità di volume, la sabbia e il pietrisco di pic-

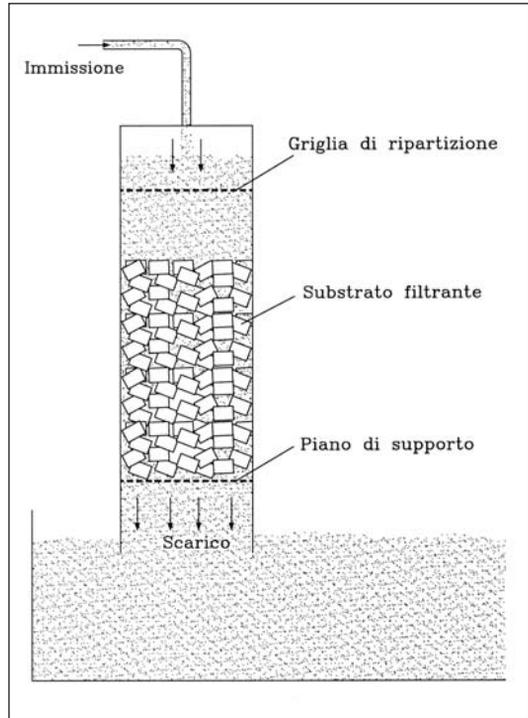


Figura 49 – Schema di filtro biologico di tipo aperto.

colo diametro offrono una maggiore superficie di attacco per i batteri, rispetto al pietrisco e alla ghiaia di grosso diametro. Tuttavia, se la granulometria è troppo fine, si possono verificare problemi di cattiva circolazione dell'acqua attraverso il substrato; infatti, quando i solidi separati si depositano in eccesso sulla superficie del letto filtrante, tendono a crearsi all'interno del substrato delle soluzioni di continuità con formazione di circuiti preferenziali entro cui l'acqua fluisce rapidamente, annullando o riducendo l'efficienza del trattamento di filtrazione. Ciò determina un'ossigenazione irregolare del substrato con formazione di aree morte dove lo sviluppo dei batteri aerobi risulta inibito. Per questo motivo si sconsiglia l'impiego di sabbia o pietrisco eccessivamente fini per la realizzazione di letti filtranti di spessore elevato; nella maggior parte dei casi è consigliabile adottare una granulometria di 2-5 mm (*Saeki, 1958*).

Anche la forma del substrato influisce sull'efficienza di filtrazione; la forma irregolare è da preferire alla forma sferica o arrotondata poiché la prima presenta un maggiore rapporto superficie/volume. Per questo motivo il pietrisco di frantoio è da preferirsi alla ghiaia di fiume.

In alcune tipologie d'impianto il letto filtrante sommerso può svolgere anche la funzione di filtrazione meccanica; in questo caso deve presentare le seguenti caratteristiche:

- area della superficie del letto filtrante equivalente all'area della superficie occupata dal sistema di allevamento;
- diametro della ghiaia di 2-5 mm;
- forma della ghiaia irregolare e angolare;
- uniformità di distribuzione della ghiaia sul filtro piatto di supporto;
- ritmo di ricambio idrico di $2,4 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$.

Alcuni studi hanno dimostrato che nei letti filtranti sommersi l'attività di filtrazione biologica è concentrata nello strato più superficiale e che alla profondità di soli 5 cm la popolazione batterica risulta ridotta del 90% rispetto alla superficie; per tali ragioni la loro progettazione deve essere effettuata massimizzando l'estensione superficiale.

Non esistono rapporti fissi tra volume di acqua e spessore del letto filtrante. Tuttavia lo spessore non dovrebbe essere mai inferiore a 5 cm; generalmente, nei letti sommersi il substrato presenta spessori non elevati da 0,3 m a 1,2 m per evitare che possano insorgere dei processi riduttivi nella parte inferiore.

Nella maggior parte dei casi i letti sommersi riescono a trattare non più di un grammo di azoto ammoniacale al giorno per metro quadrato di superficie occupata dal filtro, a meno che non si ricorra a soluzioni particolarmente voluminose; la velocità di passaggio apparente (rapporto tra portata e superficie del filtro) può variare da 3-5 m/h a 17 m/h.

Per quanto riguarda il consumo di ossigeno, i letti filtranti possono essere con-

siderati degli organismi respiranti; infatti, quando funzionano correttamente il loro consumo di ossigeno è considerevole. Nei letti filtranti sono riscontrabili sia batteri aerobi, sia batteri anaerobi; tuttavia, quando il filtro opera correttamente i primi prevalgono sui secondi. L'attività di nitrificazione risulta, infatti, più intensa per valori elevati di tensione di ossigeno, soprattutto negli impianti operanti con acqua di mare. In condizioni di anaerobiosi si vengono a creare fermentazioni che portano alla formazione di acidi organici e di composti ridotti (es. acido solfidrico, metano, anidride carbonica, ammoniaca) che soffocano il letto filtrante e comportano emissione di un odore sgradevole caratteristico. Quando la quantità di ossigeno apportata dall'acqua è insufficiente in rapporto all'azoto ammoniacale da asportare si può ricorrere al ricircolo e all'aerazione dell'acqua all'interno del filtro o all'impiego di ossigeno puro iniettato nell'acqua in entrata nel filtro.

I letti filtranti sommersi possono essere di tipo "aperto" o di tipo "chiuso" a seconda del contenitore entro cui sono alloggiati; in quelli di tipo chiuso il contenitore è costituito da un serbatoio a tenuta stagna, entro cui l'acqua è indotta a passare mediante pompaggio in pressione.

Dal punto di vista costruttivo e funzionale esistono diversi tipi di letti filtranti sommersi. Alcuni, di tipo aperto, sono concepiti per il trattamento di grandi flussi d'acqua da 0,5 a diversi metri cubi al secondo; essendo molto voluminosi ed estesi, comportano elevati costi di realizzazione e richiedono la disponibilità di substrato filtrante a basso costo. Altri letti filtranti sommersi di tipo aperto sono utilizzati per il trattamento di flussi limitati, dell'ordine di alcuni metri cubi all'ora; il substrato può essere costituito da materiali diversi, naturali o sintetici, molti dei quali risultano difficilmente lavabili in caso di intasamento del letto per eccessivo accumulo di detrito. In questi filtri la superficie occupata dal filtro è dell'ordine di 0,5 m² per m³/h di acqua trattata. L'impiego di argilla espansa consente l'adozione di tecniche di lavaggio e di rigenerazione che garantiscono elevate prestazioni del filtro. Nei letti filtranti aperti su argilla espansa la velocità apparente può variare da 5 a 10 m/h (m³/h per m² di superficie del letto filtrante) e l'abbattimento dell'azoto ammoniacale può variare dal 70 al 90%. Per la loro corretta gestione richiedono l'esecuzione di lavaggi frequenti da 4 a 20 volte al mese.

In mancanza di manodopera a basso costo per l'auto costruzione dei letti filtranti di tipo aperto, può essere consigliata la scelta di letti filtranti di tipo chiuso che, operando con pressioni dell'ordine di 2-3 bar, sono in grado di fornire elevate prestazioni con velocità apparenti da 15 a 20 m/h; in questi filtri sono consigliate frequenze di lavaggio variabili da 1 a 4 volte al mese.

I letti filtranti sono da considerarsi sistemi a funzionamento continuo; il substrato non dovrebbe mai essere rimosso o sottoposto a lavaggio. Nel caso in cui

il lavaggio si renda necessario, deve essere effettuato con acqua pulita della stessa di salinità di quella normalmente circolante nell'impianto. In ogni caso, il funzionamento prolungato dei letti filtranti sommersi comporta la formazione in superficie di detrito ovvero di materiale aggregato che tende ad accumularsi in superficie.

La formazione del detrito è il risultato dei due meccanismi di agglutinazione e di successivo adsorbimento (Riley, 1963). L'agglutinazione è probabilmente il meccanismo dominante sulla superficie del letto filtrante, dove si concentra il particolato; inizialmente, le particelle aggregate aderiscono ai granuli di substrato per riempire poi gli interstizi e aggregarsi per attrazione elettrostatica fino ad assumere dimensioni visibili a occhio nudo. Il secondo meccanismo, responsabile della crescita del detrito, agisce a livello dell'interfaccia aria-acqua; tale fenomeno è particolarmente intenso nei punti d'immissione dell'acqua, dove si creano forti turbolenze superficiali, soprattutto quando si utilizzano pompe ad aria. Gli aggregati si formano seguendo un processo fisico in base al quale le molecole organiche disciolte tendono, in condizioni naturali, a concentrarsi sulla superficie dell'acqua. In presenza di bolle d'aria all'interno della massa liquida, tali molecole formano una pellicola intorno ad esse; quando le bolle emergono in superficie lasciano la pellicola organica, sotto forma di un sottile strato superficiale che può poi sedimentare attraverso la colonna d'acqua e favorire l'ulteriore aggregazione di altre sostanze in soluzione (Barber, 1966). Dal punto di vista biochimico la composizione di tale detrito è assai complessa e comprende sostanze organiche e inorganiche. Essenzialmente il detrito è innocuo ma, quando si accumula in quantitativi elevati, può determinare l'insorgenza di problemi di vario tipo. Poiché gran parte dei batteri nitrificanti vivono adesi al substrato, il lavaggio in pressione ne provoca il parziale distacco, causando una successiva riduzione dell'attività di nitrificazione del biofiltro. La pulizia periodica del letto filtrante risulta più semplice se il detrito non raggiunge profondità superiori a 15 cm dalla sommità. In ogni caso, non si deve mai ricorrere alla rimozione completa del detrito; in parte deve essere sempre lasciato per consentire il normale svolgimento dei processi di ossidazione biologica. Tuttavia la formazione di strati spessi e pesanti deve essere comunque evitata, provvedendo alla periodica asportazione per evitare aumenti del BOD nel sistema e riduzioni alla capacità di carico massima. Quando i letti filtranti di tipo aperto non sono puliti per lungo tempo la massa di substrato filtrante va incontro a fenomeni di contrazione, di ritiro e di allontanamento dalle pareti laterali con formazione di percorsi preferenziali dove la maggiore velocità di flusso dell'acqua comporta anche un più intenso deposito di detrito. Smuovendo periodicamente la superficie del letto filtrante, gran parte del detrito entra in sospensione potendo essere eliminato sifonando la parte di acqua più

torbida oppure filtrandola per mezzo di apparecchi ausiliari (es. filtri rapid o a sabbia a pressione); entrambi i metodi prevengono il deposito di pesanti strati di detrito lasciandone però sempre una quantità sufficiente al mantenimento in efficienza della filtrazione biologica e meccanica.

I filtri di piccole dimensioni possono essere smossi a mano mentre, per quelli più grandi, possono essere utilizzati rastrelli da giardino. In ogni caso il filtro dovrebbe essere sempre sottoposto a pulizia quando si verifica una delle seguenti condizioni:

- formazione di un pesante strato di detrito;
- pesanti concentrazioni di detrito in corrispondenza degli angoli e lungo le pareti;
- riduzione della portata del filtro;
- concentrazione di ossigeno disciolto nell'effluente al di sotto della concentrazione di saturazione.

Le pompe ad aria rappresentano un valido sistema per il ricircolo e l'aerazione dell'acqua all'interno dei letti filtranti sommersi contenuti in vasche aperte. In presenza di pompe ad aria, queste devono essere spente durante le operazioni di pulizia per evitare che il detrito torni subito a depositarsi.

9.3.3. Criteri di scelta dei filtri biologici

I letti filtranti sommersi di tipo aperto possono rappresentare una valida soluzione quando:

- il carico inquinante è limitato (es. bassa densità di allevamento, elevato il ritmo di ricircolo);
- la superficie occupata dal biofiltro non rappresenta un fattore limitante;
- sia richiesto un lungo periodo di funzionamento senza lavaggi intermedi;
- non sia necessario che le colonie batteriche si ristabiliscano rapidamente dopo il lavaggio del filtro (ciò non è vincolante quando il periodo intercorrente tra i lavaggi è superiore alla durata del ciclo di allevamento);
- esistano nel contesto aziendale limiti agli investimenti o elevate disponibilità di manodopera aziendale e di materiali disponibili localmente per l'auto costruzione dei filtri.

In ogni caso, i letti filtranti sommersi di tipo aperto, pur consentendo economie nel reperimento del materiale filtrante, richiedono elevate disponibilità di spazio e investimenti relativamente alti per la costruzione e l'installazione di vasche di grandi dimensioni.

I letti filtranti aperti su argilla espansa possono rappresentare una valida soluzione, soprattutto per impianti di piccole dimensioni; grazie alle caratteristiche

di semplicità e di elevata efficienza, possono rappresentare una soluzione intermedia tra i letti filtranti aperti e i letti filtranti chiusi. Il loro principale svantaggio è rappresentato dal costo relativamente alto dell'argilla espansa.

Nella scelta tra filtri aperti e filtri chiusi, oltre al rapporto tra il costo delle vasche e il costo del substrato filtrante, è necessario considerare anche alcuni vantaggi propri di quelli chiusi quali l'elevata tolleranza all'intasamento e la facile esecuzione delle operazioni di lavaggio che possono essere automatizzate.

Nella progettazione dei letti filtranti è necessario considerare che i numerosi insuccessi incontrati in questo campo sono imputabili, principalmente, a errori di sottodimensionamento e di erronea gestione.

Inoltre il flusso negli ambienti di allevamento deve essere sempre regolato in modo accurato e continuo poiché una scarsa attenzione alle condizioni idrauliche di circolazione dell'acqua può comportare il cattivo utilizzo delle portate disponibili.

I sistemi di trattamento delle acque devono potersi adattare nel tempo alle variazioni dei carichi inquinanti; per questo motivo è consigliabile sovradimensionare il flusso massimo che può essere gestito dal filtro biologico allo scopo di garantire una maggiore flessibilità e adattabilità del sistema in funzione delle variazioni del carico allevato e, quindi, del relativo carico inquinante.

9.4. FILTRAZIONE CHIMICA

I sistemi di filtrazione chimica sono impiegati principalmente per la separazione specifica di alcune sostanze disciolte nell'acqua, soprattutto di quelle che i sistemi di filtrazione biologica non sono in grado di rimuovere efficacemente.

Alcuni sistemi sono finalizzati alla eliminazione più o meno selettiva di determinati composti chimici organici e/o inorganici come la flottazione, i carboni attivi e lo scambio ionico; altri sono finalizzati alla sterilizzazione dell'acqua ovvero all'uccisione della maggior parte dei microrganismi che possono entrare insieme all'acqua negli ambienti di allevamento.

I sistemi più efficaci sono rappresentati dal trattamento con raggi ultravioletti, dall'ozonizzazione e dalla clorazione.

9.4.1. La flottazione

Il principio di funzionamento della flottazione o "airstripping" è relativamente semplice; immettendo nell'acqua bolle d'aria per mezzo di appositi dispositivi diffusori, le sostanze chimicamente idrofobe si concentrano sulla superficie

delle bolle che risalgono in superficie dove creano una schiuma che può essere facilmente raccolta e allontanata. Il trattamento di separazione interessa anche altre sostanze in soluzione che, legandosi ai composti idrofobi, possono essere concentrate in superficie per essere separate ed eliminate.

Questo sistema di filtrazione è impiegato soprattutto per la rimozione di sostanze proteiche colloidali che tendono a concentrarsi in superficie, limitando gli scambi di ossigeno tra l'acqua e l'atmosfera. Se per qualche ragione non si forma schiuma, lo strato d'acqua superficiale risulta, comunque, più ricco in sostanze disciolte, rispetto agli strati più profondi; in questo caso, lo strato superficiale può essere rimosso per sfioramento

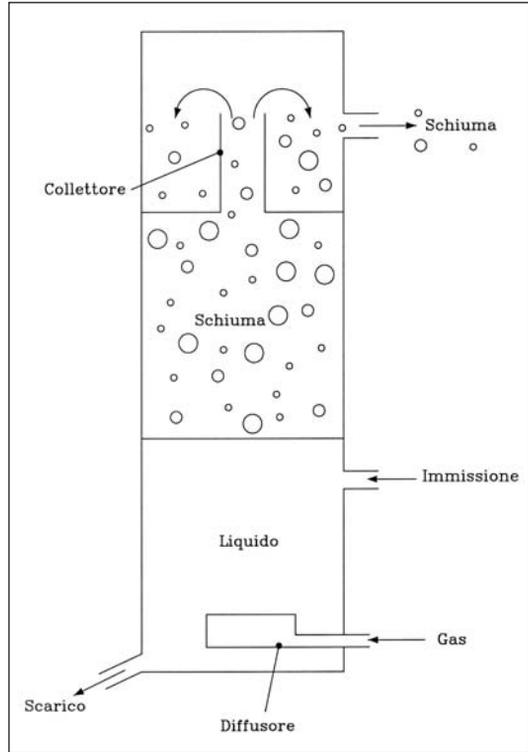


Figura 50 – Schema di schiumatoio.

o con altri sistemi. Dal punto di vista costruttivo e funzionale, alcuni modelli sono molto simili alle pompe ad aria; diversamente da queste, dispongono sulla loro sommità di una vaschetta a sviluppo verticale entro cui il liquido viene raccolto prima di essere scaricato, affinché la schiuma possa espandersi in altezza e trascinare in un altro recipiente (Figura 50).

L'efficienza del trattamento di flottazione dipende principalmente dal tempo di contatto tra aria e acqua che è in funzione del flusso idrico lungo la colonna, dell'altezza della colonna d'acqua e del flusso d'aria. Il tempo di contatto può essere allungato riducendo il flusso d'acqua o allungando la colonna d'acqua; un altro sistema consiste nell'immissione dei due flussi d'acqua e d'aria in controcorrente l'uno rispetto all'altro.

Si fa notare che il trattamento di flottazione determina un aumento del pH dell'acqua. A tale proposito, uno studio ha evidenziato valori medi del pH di 7,3 in acque reflue prima del trattamento, di 7,8 nelle acque dopo il trattamento e di 7,1 nelle schiume separate (Rubin et al., 1963). Tale fenomeno sarebbe imputato alla rimozione di sostanze debolmente acide dalla soluzione.

I flottatori, detti anche schiumatoi, possono essere realizzati con soluzioni dimensionali e costruttive diverse, secondo le esigenze di filtrazione e d'impiego. In ogni caso, l'efficienza di filtrazione dei flottatori è influenzata, anche, dai seguenti fattori:

- le caratteristiche chimiche dall'acqua da trattare (es. pH, temperatura, salinità);
- caratteristiche chimiche delle sostanze in soluzione e, in particolare, di quelle da separare (es. solubilità, concentrazione, equilibrio e interazione tra sostanze diverse);
- dimensioni e forma dello schiumatoio (es. profondità);
- modalità d'impiego (es. portata d'aria immessa).

Non essendo in grado di separare il particellato, gli schiumatoi devono essere installati a valle di sistemi di filtrazione meccanica.

Per la rimozione dei composti organici in soluzione la flottazione è più efficiente delle resine a scambio ionico ma meno efficiente dei carboni attivi. Diversamente dalle resine a scambio ionico, la flottazione può essere adottata, come anche i carboni attivi, per il trattamento sia dell'acqua dolce, sia dell'acqua di mare, ma sembra essere più efficiente per il trattamento di quest'ultima.

9.4.2. I carboni attivi

La filtrazione a carboni attivi è largamente impiegata nei sistemi di allevamento di tipo chiuso. Generalmente il filtro è costituito da un letto di granuli di carbone attivo racchiuso in un contenitore (es. a colonna, a tamburo) attraverso il quale l'acqua è indotta a passare. In alternativa, è possibile aggiungere all'acqua carbone attivo in polvere per poi rimuoverlo mediante sedimentazione o filtrazione meccanica; tuttavia, questa tecnica è utilizzata raramente negli impianti di acquacoltura.

La filtrazione a carboni attivi è impiegata, principalmente, per la rimozione dei metalli pesanti (es. rame) e dei composti organici non polari presenti in basse concentrazioni.

I carboni attivi prodotti con trattamento acido permettono anche la rimozione dell'ammoniaca; tuttavia, per ragioni tecniche ed economiche questo tipo di filtrazione non può essere adottato come unico sistema per la separazione di questo composto. Quando un filtro a carboni attivi del tipo a colonna è utilizzato per la prima volta le molecole di soluto sono subito adsorbite dal primo strato di granuli incontrato dal flusso di acqua; presto questo primo strato tende a saturarsi e l'adsorbimento viene assolto dallo strato di granuli immediatamente successivo lungo la direzione del flusso. Il filtro funziona fino a quando si satura la sezione adiacente al punto di scarico, nel qual caso il filtro è prossimo a esaurirsi.

rirsi e, quindi, i carboni attivi devono essere sostituiti. Spesso i filtri a carboni attivi sono installati a valle dei filtri biologici con funzione chiarificante; tuttavia, se il biofiltro non funziona correttamente e l'acqua da questo scaricata è ricca di ammoniaca o di nitriti, le colonie batteriche iniziano a svilupparsi sui granuli di carbone, otturandone i pori e inibendo la loro funzione di adsorbimento. Per questo motivo è sempre consigliabile installare i carboni attivi a valle di un sistema di filtrazione meccanica.

I carboni attivi possono essere prodotti utilizzando materie prime organiche diverse (es. legno, ossa, gusci di molluschi, torba, segatura). Il processo produttivo si articola in due fasi. La prima prevede un lento riscaldamento della materia prima in assenza d'aria. Talvolta ciò si attua in presenza di sostanze disidratanti come l'acido fosforico. L'acqua è asportata, i gas sono rimossi e il carbone organico è convertito in carbone primario (cenere, catrame e altre forme).

La seconda fase detta di "attivazione" può essere ottenuta chimicamente o fisicamente (per riscaldamento); questo trattamento provoca un'elevata espansione dei pori.

Successivamente, il materiale attivato è frantumato per ottenere granuli delle dimensioni richieste. I granuli di carbone attivo fissano su di essi le sostanze disciolte attraverso un processo di adsorbimento; più estesa è la superficie dei granuli e maggiore è l'efficienza di filtrazione. La superficie dei granuli è estremamente irregolare, fessurata e porosa; in un grammo di carbone attivo i granuli presentano una superficie di area compresa tra 500 e 1400 m².

La velocità e il grado di adsorbimento del soluto è in funzione della natura del soluto stesso e, in particolare, della sua solubilità (più il soluto è idrofobo e più è rapida la sua separazione) e della sua affinità nei confronti del carbone attivo (chimica, elettrica, van der Waals).

Inoltre, la filtrazione è influenzata da:

- il gradiente di concentrazione del soluto ovvero dal rapporto tra quantità di soluto nell'acqua e quantità di soluto già adsorbita dal filtro;
- il pH nell'acqua, in quanto influisce sulla carica ionica;
- la temperatura dell'acqua in quanto influisce sul ritmo di adsorbimento.

Temperature elevate possono provocare il rilascio di parte del soluto già adsorbito poiché gli aumenti di temperatura dell'acqua incrementano il moto delle molecole.

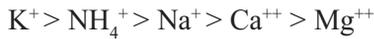
9.4.3. Lo scambio ionico

I filtri a scambio ionico possono essere utilizzati soltanto per la filtrazione di acqua dolce. Generalmente sono costituiti da materiali granulari o porosi detti

“resine”, racchiusi all’interno di un contenitore. Le resine sono prodotte fissando su di esse alcuni ioni particolari in funzione degli ioni che si intendono separare. L’acqua, passando attraverso il filtro, rilascia gli ioni indesiderati che si legano alla resina sostituendo gli ioni fissati precedentemente; questi ultimi, quindi, vengono liberati entrando in soluzione nell’acqua in uscita dal filtro. Come è noto gli ioni sono particelle cariche elettricamente che possono avere carica positiva (es. NH_4^+ , Mg^{++}), nel cui caso sono detti cationi, oppure carica negativa (es. SO_4^-), nel cui caso sono detti anioni.

Le resine possono essere prodotte per lo scambio di cationi o per lo scambio di anioni. Pur esistendo una grande varietà di materiali a scambio ionico, molti dei quali sintetici, i materiali più utilizzati per la produzione delle resine impiegate in acquacoltura sono le zeoliti naturali (alluminosilicati idrati di sodio o calcio); queste sono impiegate comunemente per la depurazione dell’acqua (*Lanari et al., 1994*) e una di esse, la clinoptilolite, è utilizzata in acquacoltura per la rimozione selettiva dello ione ammonio (*Mumpton e Fishman, 1977*).

Ciascun tipo di resina presenta una propria selettività specifica, rimuovendo più efficacemente alcuni ioni rispetto ad altri; per esempio la clinoptilolite presenta il seguente ordine di affinità:



Tuttavia l’affinità di una resina può essere alterata dalle variazioni di pH dell’acqua.

Se nell’acqua da trattare possono essere presenti concentrazioni significative di sostanza organica, è consigliata l’installazione a monte di un filtro a diatomee, di uno schiumatoio o di un filtro a carboni attivi per evitare che tali sostanze possano depositarsi sulle resine bloccando i siti di scambio ionico.

Per rimuovere le molecole organiche dalla loro superficie possono essere adottati diversi sistemi, tra cui il lavaggio con soluzioni a base idrossido di sodio (NaOH), di ipoclorito o di metanolo; un altro sistema consiste nell’impiego di bentonite per l’esecuzione di lavaggi in controcorrente. Quest’ultimo sistema presenta il vantaggio di non provocare il rilascio di sostanze potenzialmente tossiche (es. metanolo) o di alterazioni del pH nell’acqua trattata, ma può provocare danni alle resine a causa del suo effetto abrasivo.

In ogni caso, è sempre opportuno consultare la ditta produttrice del filtro per adottare il sistema più idoneo; infatti, se effettuate scorrettamente, queste operazioni possono danneggiare il filtro.

Quando i siti di scambio ionico, dopo un certo periodo d’impiego, si saturano degli ioni rimossi è possibile rigenerare le resine; i metodi impiegati a questo scopo sono diversi a seconda del tipo di resina. Per la rigenerazione delle resi-

ne a base di clinoptilolite può essere impiegata una soluzione al 2% di cloruro di sodio, con pH 11-12, che permette la rimozione degli ioni ammonio e la loro sostituzione con ioni sodio.

9.4.4. I raggi ultravioletti

Per radiazione ultravioletta (UV) si intende la porzione di spettro della radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda compresa tra 10 e 390 nm.

I raggi UV sono efficaci purché l'acqua sia sufficientemente limpida da permettere il passaggio della radiazione e il suo assorbimento da parte dei microrganismi in sospensione.

Le proprietà germicide dei raggi UV sono note benché le modalità di azione non siano ancora state chiarite del tutto; a tale proposito si ritiene che i raggi UV siano assorbiti dalle molecole del nucleo della cellula, provocando la rottura dei legami insaturi. Le purine e le pirimidine sembrano essere i bersagli principali dell'azione dei raggi UV.

Oltre che in acquacoltura, il sistema di sterilizzazione con raggi UV è largamente utilizzato nelle industrie alimentare, farmaceutica, cosmetica ed elettronica. L'impiego di lampade a raggi ultravioletti riduce il numero di microrganismi presenti nelle acque dei sistemi d'allevamento di tipo chiuso con risultati analoghi a quelli ottenibili con trattamenti a base di ozono.

Quando le lampade a raggi ultravioletti sono sospese direttamente sull'acqua, parte dell'efficienza di ossidazione generata dall'irraggiamento ultravioletto deriva proprio dalla produzione di ozono a livello dell'interfaccia aria-acqua (Benoit et Matlin, 1966).

Nell'allevamento del salmone è stata riscontrata una riduzione sostanziale delle patologie dopo il trattamento dell'acqua con l'irraggiamento UV; il processo risultava avere distrutto organismi di diametro inferiore a 15 μm , tra cui batteri, protozoi e virus (Burrows et Combs, 1968).

La radiazione più efficace risulta essere quella di lunghezza d'onda compresa tra 250 e 260 nm. In ogni caso, ciascun microrganismo presenta una diversa sensibilità alla radiazione UV, richiedendo per la sua eliminazione un dosaggio appropriato.

Una volta stabilito il microrganismo da eliminare e il grado o percentuale di sterilizzazione che si vuole ottenere, è possibile determinare il dosaggio richiesto. Questo dosaggio può essere espresso in mJ/cm^2 , in $\text{mW}/\text{s} \times \text{cm}^2$ o in $\mu\text{W}/\text{s} \times \text{cm}^2$. Il tempo di esposizione ai raggi UV può essere dosato variando il flusso d'acqua trattato in funzione del tipo di microrganismi che si intende eliminare. I raggi UV sono impiegati principalmente per distruggere batteri, microalghe, virus e larve

di organismi invertebrati; su organismi di maggiori dimensioni risultano, generalmente, inefficaci. Oltre al tipo di microrganismo da eliminare, altri fattori devono essere considerati per valutare l'efficienza della radiazione UV.

La temperatura e il pH non sembrano influire direttamente sull'effetto germicida dei raggi UV, mentre l'intensità della radiazione e il tempo di esposizione risultano essere i fattori più importanti. Se l'acqua è pura l'assorbimento della radiazione da parte di questa è praticamente trascurabile assicurando in tal modo la massima efficienza germicida. L'intensità dei raggi UV dovrebbe essere dosata in funzione della concentrazione di particolato e di sostanze disciolte che possono ridurre la trasmittanza della radiazione, limitando l'efficienza del trattamento. Per questo motivo è opportuno prevedere sempre l'installazione a monte di un sistema di filtrazione meccanica (*Lilved e Cripps, 1999*); infatti è stato riscontrato che la prefiltrazione dell'acqua mediante filtri a sabbia di tipo rapid può anche raddoppiare l'efficienza degli apparecchi sterilizzatori a raggi UV. Tuttavia, a questo tipo di filtrazione sfuggono alcune sostanze solubili, come gli zuccheri, l'ammoniaca e altri composti azotati, che riducono in modo consistente la trasmittanza nell'acqua dei raggi UV.

Poiché l'intensità della radiazione UV è un fattore determinante per garantire efficienza del trattamento, l'acqua viene trattata facendola scorrere lungo una batteria di lampade con un flussi controllati, caratterizzati da spessore limitato. Per impianti di piccole dimensioni, dove l'acqua presenti un limitato contenuto di sostanze disciolte e sospese, il trattamento a raggi UV può rappresentare una soluzione efficace ed economica mentre per sistemi di allevamento che richiedono elevate portate di acqua questo sistema non risulta, generalmente, praticabile soprattutto per ragioni economiche.

Diversamente da altri sistemi di sterilizzazione, i raggi UV presentano il grande vantaggio di non comportare alcuna aggiunta di composti chimici che possono modificare le proprietà fisiche e chimiche dell'acqua. Inoltre, la sovrapposizione ai raggi UV non provoca effetti negativi.

Sul mercato sono presenti numerose ditte costruttrici di apparecchi a raggi UV, adatti all'impiego in acquacoltura; tutti questi apparecchi sono dotati di lampade a vapori di mercurio che possono essere a bassa o ad alta pressione. I vapori di mercurio, sottoposti a scarica elettrica, generano energia luminosa con lunghezza d'onda di 254 nm. Le lampade a bassa pressione presentano un rendimento in raggi UV pari al 30% dell'energia assorbita, mentre quelle ad alta pressione hanno un rendimento assai inferiore, pari al 8%.

Dal punto di vista costruttivo gli apparecchi utilizzati in acquacoltura possono essere di tipo sospeso o di tipo sommerso.

I *sistemi sospesi* consistono in una batteria di lampade e di riflettori parabolici appesi all'altezza di 10-20 cm dalla superficie di un flusso d'acqua laminare,

passante sopra una superficie piana costituita generalmente da un trugolo metallico lucidato a specchio (Figura 51); questo può essere provvisto di deflettori ovvero di lamine verticali trasversali, che hanno la funzione di garantire l'omogeneità del flusso lungo tutta la sezione trasversale. Il numero delle lampade, l'altezza d'installazione e il loro interasse devono essere opportunamente dimensionati per garantire l'invio di tutta la radiazione emessa verso il flusso

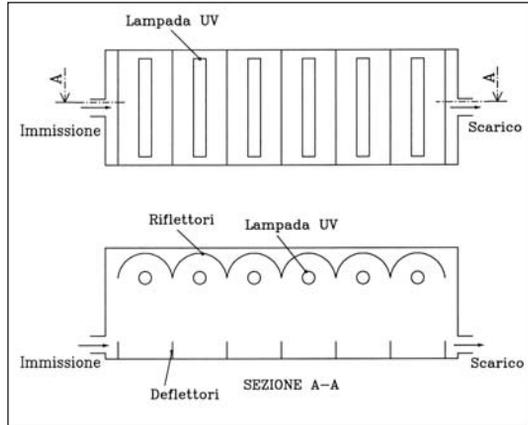


Figura 51 – Schema di sistema sospeso di disinfezione a raggi ultravioletti.

d'acqua. Il sistema sospeso può essere adottato anche in canali di tipo aperto per il trattamento di elevati flussi d'acqua (es. fino a 2000 m³/h); in questo caso, si tratta d'installare una batteria di lampade UV, protette da tubi di quarzo, disposte trasversalmente sopra un canale preesistente. Anche in questo caso, monitorando la portata del flusso e la trasmittanza dei raggi UV, è possibile regolare il dosaggio della radiazione e, quindi, i consumi in funzione delle effettive esigenze operative.

I sistemi sommersi possono essere di tipo longitudinale o di tipo trasversale. Quelli di tipo longitudinale sono costituiti da una camera cilindrica, detta di irradiazione, dentro la quale sono inseriti longitudinalmente più tubi in quarzo al cui interno sono installate le lampade UV (Figura 52). L'acqua, scorrendo lungo i tubi di quarzo, è esposta ai raggi UV per il tempo necessario a somministrare la dose germicida ottimale.

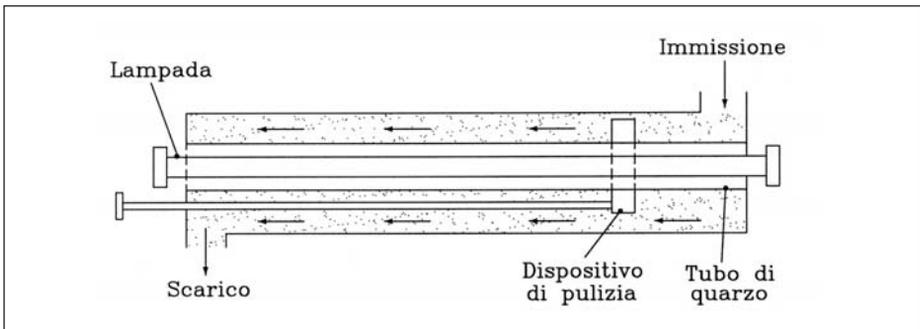


Figura 52 – Schema di sistema sommerso di disinfezione a raggi ultravioletti di tipo longitudinale.

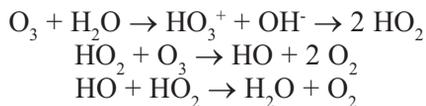
Questi apparecchi, essendo in grado di trattare flussi d'acqua costanti con portate medio basse (es. da 5 fino a 100 m³/h), sono adatti a installazioni in sistemi di allevamento di tipo chiuso. I sistemi sommersi di tipo trasversale sono detti a canale a "U", in quanto sono costituiti da una camera d'irradiazione a forma di U, entro cui l'acqua è fatta scendere da un'estremità e fatta risalire e scaricata dalla estremità opposta. Lungo il percorso il flusso incontra, una dopo l'altra, un elevato numero di lampade disposte in senso trasversale. Con gli apparecchi di questo tipo è possibile regolare automaticamente l'accensione del numero di lampade richieste in funzione della portata e della trasmittanza, permettendo un efficiente trattamento di flussi con portate variabili di media o alta entità (es. da 50 a 400 m³/h). Le lampade devono essere mantenute sempre pulite sia nei sistemi sospesi, sia in quelli sommersi. Normalmente, i sistemi sommersi sono provvisti di dispositivi automatici per la rimozione delle particelle che aderiscono sulla superficie dei tubi di quarzo.

9.4.5. L'ozono

L'ozono (O₃), forma allotropa dell'ossigeno, è un gas di colore blu con caratteristico odore pungente, dotato di forte potere ossidante; è utilizzato da oltre settant'anni, soprattutto in Europa, come disinfettante, decolorante e deodorante. Nei sistemi di allevamento di tipo chiuso l'impiego di ozono permette di ridurre il numero di microrganismi e il tenore di sostanza organica in soluzione ma, per garantirne l'efficienza, è necessario prevedere a monte un adeguato sistema di filtrazione meccanica.

L'ozono distrugge i microrganismi agendo come ossidante protoplasmatico (*Fetner et Ingols, 1959*); le quantità necessarie per ottenere la sterilità dell'acqua sono documentate in modo abbastanza preciso. Per esempio, una dose 1,5 ppm di O₃ è in grado di ridurre in 5 minuti i batteri in sospensione da 70.000 per ml a 0 (*Dickerman et al., 1954*).

La solubilità in acqua dell'ozono è superiore a quella dell'ossigeno biatomico e inferiore a quella del cloro; alla temperatura di 20°C la concentrazione di saturazione è di circa 570 mg/l. L'ozono reagisce nell'acqua nei modi seguenti:



I radicali liberi, HO₂ e HO, sono forti ossidanti e presentano il vantaggio di essere rapidamente convertiti in ossigeno.

Il ritmo con cui l'ozono degrada a ossigeno biatomico aumenta al crescere della temperatura. Essendo molto instabile, l'ozono non può essere stoccato o trasportato; perciò è prodotto direttamente in loco al momento del suo utilizzo.

I generatori di ozono impiegano ossigeno o aria disidratata inducendoli a passare attraverso una corona ad alta tensione (es. da 4.000 a 30.000 V); utilizzando ossigeno puro, invece che aria, è possibile raddoppiare il quantitativo di ozono prodotto.

I generatori di ozono, detti anche ozonizzatori, possono essere utilizzati insieme a un flottatore, migliorando l'efficienza di quest'ultimo.

L'ozono è particolarmente efficiente per l'ossidazione dell'ammoniaca e della sostanza organica; inoltre, determina la conversione dei solfiti e dei solfuri in solfati, dei nitriti in nitrati, dei cloruri in cloro e degli ioni ferro e manganese nelle loro forme ioniche insolubili, dando origine ai relativi precipitati.

L'ozono reagisce con i composti organici insaturi in corrispondenza dei doppi legami tra gli atomi di carbonio, dando origine agli ozonidi; questi si formano aggiungendo tre atomi di ossigeno a un doppio o a un triplo legame.

Quando questi legami si rompono si originano aldeidi, chetoni e acidi. L'ozono non è efficace nell'ossidazione dei composti saturi; inoltre, sulla sua efficienza di ossidazione influiscono diversi fattori tra cui, principalmente, la temperatura e il pH. Quando i valori di questi fattori aumentano l'ozono diventa più instabile.

Come per altre tecniche di filtrazione chimica, il tempo di contatto ha particolare importanza.

L'ozono è instabile nell'acqua e, quindi, il tempo di contatto è più critico della quantità impiegata.

In molti dispositivi l'acqua da trattare è immessa in una colonna; l'ozono è iniettato all'interno della colonna e miscelato con l'acqua. Durante il trattamento la miscela di acqua e ozono risale lungo la colonna. Il tempo di contatto e, quindi, l'efficienza del trattamento dipendono principalmente dall'altezza della colonna. Altri sistemi per miscelare l'acqua con l'ozono prevedono l'iniezione diretta del gas nella massa d'acqua attraverso dispositivi diffusori oppure mediante un letto di materiale granulare avente lo scopo di aumentare l'efficienza di miscelazione.

L'ozono è corrosivo e pericoloso; essendo tossico, non deve mai essere fatto gorgogliare liberamente negli ambienti di allevamento. Per ragioni di sicurezza, dovrebbe essere iniettato nella colonna in modo tale da potersi dissipare lontano dagli organismi allevati.

L'ozono è stato utilizzato anche per rimuovere il manganese in soluzione (*Bean, 1959*); quindi, è ragionevole pensare che l'ozonizzazione prolungata possa privare l'acqua di questo e, forse, di altri elementi.

Per questo motivo, negli impianti operanti con acqua di mare, dotati di ozoniz-

zatore, è consigliabile ricorrere ogni due settimane a ricambi parziali del 10% del volume interno di acqua per evitare il possibile esaurimento di alcuni microelementi.

9.4.6. La clorazione

Il cloro è largamente utilizzato per la disinfezione e il trattamento dell'acqua; è prodotto industrialmente per elettrolisi del cloruro di sodio.

Il cloro è di colore giallo verdognolo e presenta un forte odore caratteristico; generalmente, è commercializzato sottoforma di gas liquefatto sotto pressione oppure in forma liquida, come ipoclorito di sodio (NaOCl), o in polvere come ipoclorito di calcio (Ca(OCl)_2).

Il gas si miscela facilmente nell'acqua formando alla temperatura di 20°C una soluzione allo 0,7%. Come altri elementi alogeni (es. fluoro, bromo, iodio) anche il cloro è un potente battericida grazie all'azione fortemente ossidante. Il cloro, miscelandosi con l'acqua, idrolizza rapidamente formando acido ipocloroso.



L'acido ipocloroso, essendo debolmente acido, va incontro alla parziale dissociazione.



Questa reazione è fortemente influenzata dal pH; se il pH aumenta la concentrazione di HOCl si riduce. A pH 4 tutto il cloro si presenta come acido ipocloroso mentre a pH 11 soltanto lo 0,03% del cloro è in questa forma mentre il restante 99,97% è ione ipoclorito (OCl^-).

Il cloro agisce attivamente come agente ossidante sotto forma di acido ipocloroso e di ione ipoclorito. Come per ogni altro trattamento di disinfezione per ossidazione, anche in questo caso è necessario prevedere a monte un idoneo sistema di filtrazione meccanica.

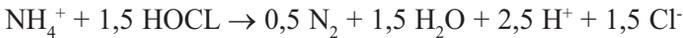
Il meccanismo esatto con cui il cloro uccide i microrganismi non è del tutto noto; si ritiene che il cloro penetri all'interno della cellula e reagisca con alcuni enzimi. Questa ipotesi si basa sul fatto che il cloro, reagendo con i composti azotati, reagisca anche con le proteine e quindi con gli enzimi.

Più è facile l'entrata del cloro libero nella membrana cellulare e più è veloce l'uccisione dell'organismo. È stato dimostrato che l'acido ipocloroso si diffonde nella cellula più rapidamente dello ione ipoclorito; ciò sarebbe confermato

dal fatto che quando il pH è basso la clorazione produce una disinfezione più efficace. La concentrazione di acido ipocloroso e di ione ipoclorito non combinati è detta cloro libero residuo. Per il trattamento di clorazione la quantità di cloro richiesta è quella necessaria per reagire con i composti organici ed inorganici disciolti e con i microrganismi presenti.

Il trattamento di disinfezione si ottiene con livelli di cloro libero residuo di 1 mg/l e con tempi di contatto di circa trenta minuti.

Quando il cloro reagisce con l'ammoniaca da origine a clorammine, le quali hanno anch'esse azione disinfettante; la quantità di clorammine nell'acqua è detta cloro combinato disponibile. Le clorammine reagiscono più lentamente, rispetto al cloro libero, ma sono più efficaci quando il pH presenta valori elevati. Le modalità di azione possono essere chiarite attraverso la reazione detta di "break-point"; questa si verifica quando il cloro è aggiunto in quantità sufficiente per causare l'ossidazione dell'ammoniaca in azoto biatomico (N₂) attraverso una serie di reazioni che possono essere riassunte nella seguente:



L'acqua clorata non può essere immessa direttamente negli ambienti di allevamento in quanto è tossica per gli animali acquatici anche a basse concentrazioni; il massimo quantitativo di cloro residuo ammissibile per consentire la vita acquatica risulta essere di 0,06 mg/l. Quindi il cloro deve essere rimosso dopo il trattamento di clorazione. A tale scopo possono essere adottati diversi metodi tra cui quello di dechlorazione con anidride solforosa o con solfito di sodio.

L'anidride solforosa, essendo disponibile allo stato gassoso, può comportare alcuni problemi operativi per essere utilizzata in acquacoltura, soprattutto in allevamenti di piccole dimensioni. Il solfito di sodio, essendo in polvere, risulta essere molto più pratico; per rimuovere 1 mg di cloro sono necessari 1,77 mg di solfito di sodio.

Per la rimozione del cloro possono essere adottati anche altri metodi come le resine a scambio ionico, i filtri a carboni attivi oppure i trattamenti di aerazione e di stoccaggio temporaneo.

Oltre che per il trattamento dell'acqua, il cloro può essere utilizzato per la disinfezione interna delle condotte e delle vasche di allevamento dopo che queste siano state svuotate.

I trattamenti con soluzioni a base di cloro disinfettano le superfici eliminando le colonie batteriche e algali.

10. LE ATTREZZATURE PER LA CALIBRATURA E IL SOLLEVAMENTO DEL PESCE

La calibratura o selezione è un'operazione finalizzata a mantenere uniforme la taglia dei pesci allevati all'interno di ciascun bacino, vasca, gabbia o stagno di allevamento; ciò allo scopo di evitare dannosi fenomeni di cannibalismo e di competizione alimentare e di ottimizzare la crescita dei singoli individui durante le diverse fasi di allevamento.

La calibratura, infatti, favorisce una migliore conversione degli alimenti, limitando i costi di alimentazione ma richiede manodopera e apposite attrezzature. La calibratura viene eseguita fin dalle prime fasi di vita dei pesci per essere ripetuta successivamente con frequenze variabili secondo la specie allevata e la temperatura dell'acqua, diminuendo progressivamente con l'aumentare dell'età dei pesci; in acque calde può essere effettuata ogni 4-5 settimane mentre in acque fredde può avvenire ogni 8-10 settimane. In pratica, tale frequenza è fissata, spesso, in base a situazioni contingenti. In ogni caso, al fine di evitare perdite, le operazioni di selezione devono essere eseguite mantenendo i pesci a digiuno dal giorno precedente.

La cernita manuale richiede molto lavoro ma consente, al tempo stesso, una migliore valutazione dei caratteri morfologici e sanitari, importanti soprattutto per soggetti di grande taglia e per le trote da consumo. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, la cernita è effettuata utilizzando appositi apparecchi calibratori che permettono di velocizzare tale operazione, riducendo il fabbisogno di manodopera.

Gli apparecchi più comuni sono costituiti da recipienti in alluminio o in plastica, con fondo e lati provvisti di fessure di dimensioni variabili secondo la taglia del pesce che si intende selezionare.

In alcuni casi sono installati fra vasca e vasca al posto delle normali griglie; regolando il grado di apertura delle bacchette di alluminio di cui sono costi-

tuiti, essi permettono di suddividere i pesci in diverse pezzature. Nel caso delle cieche, la calibratura può essere effettuata mediante l'impiego di una serie di vagli sovrapposti, con maglia decrescente dall'alto al basso; tale metodo, per quanto pratico, provoca però lesioni nei soggetti che forzano le maglie per attraversarle. Nelle troticolture intensive sono impiegati diversi tipi di selezionatori automatici.

I selezionatori di tipo più complesso sono rappresentati da apparecchiature metalliche (*Foto 21 pag. 55*), costituite generalmente da:

- una piccola vasca o tramoggia di ricevimento del pesce;
- un dispositivo per regolare l'efflusso di pesce e variare la velocità di selezione;
- una serie di costolature rigide di forma conica, leggermente inclinate verso il basso, con diametro maggiore nella parte alta, dove i pesci arrivano dalla tramoggia, e diametro inferiore nella parte bassa terminale, che delimitano una o più fessure di larghezza progressivamente crescente scendendo dall'alto verso il basso;
- un coperchio per evitare che il pesce, saltando, possa fuoriuscire dal selezionatore;
- una serie di piani inclinati, posti sotto e lungo le costolature, aventi la funzione di raccogliere i pesci di diverse pezzature e immetterli in altrettante tubazioni flessibili in plastica per il trasferimento in ambienti separati.

Il pesce è prelevato da un ambiente di allevamento (es. vasca, raceway, gabbia) e caricato mediante appositi elevatori meccanici per essere immesso nella vaschetta di ricevimento del selezionatore; da questa arriva alle costolature su cui scorre per cadervi attraverso, in punti diversi, secondo la taglia.

I pesci cadono dalla tramoggia sulle costolature e i più piccoli passano subito attraverso le fessure più sottili mentre quelli più grossi attraversano le fessure nella parte terminale dove sono più larghe.

La larghezza delle fessure è regolabile da alcuni millimetri fino a oltre 50 mm in base alle taglie e ai pesi e che si intendono ottenere.

Generalmente, questi selezionatori sono realizzati con componenti in acciaio inox, in acciaio zincato, in alluminio e in plastica; per agevolarne il trasferimento e il posizionamento sono montati su carrello.

In commercio esistono modelli con caratteristiche diverse a seconda della specie e della taglia dei pesci da selezionare, della capacità di lavoro richiesta e del numero di taglie che si vogliono ottenere.

Indicativamente, la capacità oraria di lavoro massima può variare, secondo il modello, da 1 a 5 tonnellate. Alcuni apparecchi permettono di selezionare fino a quattro diverse taglie per ogni passaggio.

Per l'esecuzione delle operazioni di movimentazione, sollevamento e trasferi-

mento del pesce esistono apposite attrezzature tra cui:

- elevatori a tazze;
- pompe centrifughe;
- pompe a vite di Archimede;
- pompe vacuum.

Gli *elevatori a tazze* sono apparecchiature abbastanza semplici, costituite da un telaio fisso, generalmente carrellato, che alloggia un nastro trasportatore a moto continuo, munito di tazze. L'elevatore opera installato sul bordo della vasca di prelievo e inclinato con un'estremità immersa nella vasca stessa; scorrendo lungo il telaio le tazze si riempiono di acqua e di pesce, sollevandoli fino all'estremità superiore da cui vengono scaricati.

Le *pompe centrifughe* utilizzate a questo scopo, sono caratterizzate da un ampio spazio interno tra la girante e le pareti interne del corpo pompa allo scopo di consentire il passaggio del pesce senza che questo subisca danni.

Le *pompe a vite di Archimede* sono largamente utilizzate in acquacoltura in quanto permettono il trasferimento di pesce anche di taglia elevata senza causarvi eccessivo stress; dal punto di vista funzionale sono pompe rotative, costituite da un tubo in materiale plastico opaco o trasparente, entro cui ruota una vite in poliestere con albero in acciaio, azionato da un motore elettrico installato a una delle due estremità. Variando la velocità di rotazione della vite varia la portata di pompaggio e quindi la capacità di lavoro dell'elevatore. In ogni caso la portata deve essere regolata evitando flussi troppo elevati, che possono determinare problemi di mortalità, e flussi troppo deboli, che possono consentire ai pesci di sottrarsi all'entrata nel tubo con allungamento dei tempi di pompaggio. In condizioni operative l'attrezzatura è posizionata su un bordo della vasca di prelievo e inclinata per immergere un'estremità del tubo; l'inclinazione del tubo, comunque, non può superare la soglia massima di circa 40-45° rispetto al piano orizzontale.

A seconda dei modelli, il tubo e la vite possono presentare un diametro variabile da 0,3 a 1 m e una lunghezza da 4 a 7 m; l'altezza di sollevamento, variabile in base alla lunghezza e all'inclinazione, può superare i 4 m.

Le *pompe vacuum*, dette anche "ad anello liquido", sfruttano la depressione creata dal rapido ricircolo di acqua all'interno di una condotta entro cui il pesce viene sollevato per essere scaricato e inviato al selezionatore o alla vasca di destinazione. In queste attrezzature la pompa è esterna al circuito di movimentazione del pesce e, quindi, non arreca danni limitando i problemi di mortalità, rispetto alle pompe centrifughe, pur consentendo il sollevamento di pesci di taglia elevata. Generalmente le attrezzature di sollevamento del pesce sono carrellate per facilitarne il trasferimento e il posizionamento lungo i bacini o le vasche di allevamento.

11. LE ATTREZZATURE PER LA DISTRIBUZIONE DEGLI ALIMENTI

In molte tipologie di allevamento le operazioni di distribuzione degli alimenti hanno grande importanza, in quanto rappresentano l'unico momento in cui è possibile controllare l'andamento della crescita della coltura allevata. L'osservazione del comportamento alimentare dei pesci può rivelare eventuali anomalie del loro stato di benessere e di salute. Per questo motivo negli allevamenti di piccole dimensioni, come quelli in vasche e in gabbie, la distribuzione degli alimenti è eseguita, spesso, manualmente. In questo caso è possibile l'impiego di alimenti diversi dai mangimi commerciali, come gli scarti di macellazione o altri sottoprodotti che, a causa delle proprie caratteristiche fisiche, non potrebbero essere distribuiti con le normali attrezzature automatizzate. Tuttavia, negli allevamenti di medie e grandi dimensioni l'esigenza di limitare i costi della manodopera e di garantire al tempo stesso un corretto razionamento alimentare ha comportato l'introduzione di tecnologie per automatizzare le operazioni di distribuzione degli alimenti. Impiegati prima nei paesi scandinavi e negli Stati Uniti, gli impianti di alimentazione automatici si sono diffusi poi nel resto del mondo. Generalmente sono concepiti e utilizzati per distribuire alimenti secchi sotto forma di mangimi estrusi e pellettati e, in alcuni casi, sono stati adattati anche per la distribuzione di alimenti umidi sotto forma di pastoni. Le tipologie più comuni sono rappresentate dagli alimentatori soffianti, dagli alimentatori a volontà e dagli alimentatori a distribuzione controllata. Tutte queste apparecchiature possono essere fisse oppure mobili.

11.1. ALIMENTATORI FISSI

Generalmente gli alimentatori fissi sono unità singole, ciascuna delle quali è costituita essenzialmente da un serbatoio a tramoggia per lo stoccaggio tempo-

raneo del mangime e da un dispositivo che ne regola lo scarico; tuttavia esistono anche impianti più complessi, dotati di uno o più serbatoi di grandi dimensioni, da cui il mangime è prelevato e inviato alle unità di allevamento (vasche, raceway, gabbie, stagni) attraverso tubazioni in cui il trasporto avviene in corrente d'aria o d'acqua in pressione (*Foto 22 pag. 56*). Esistono diversi tipi di meccanismi per il dosaggio e la distribuzione degli alimenti; alcuni sono azionati elettricamente mentre altri sfruttano l'energia idraulica per il proprio funzionamento e altri ancora sono azionati direttamente dai pesci.

Gli alimentatori singoli azionati elettricamente sono dotati di un piccolo motore elettrico collegato a un rotore montato sotto l'apertura di scarico del serbatoio a tramoggia; in base alla frequenza di azionamento del motore il mangime è dosato e distribuito per caduta sulla superficie dell'acqua (*Foto 23 pag. 56*).

Gli alimentatori funzionanti idraulicamente sono più semplici e meno costosi di quelli azionati elettricamente e sono ugualmente affidabili. Il principio di funzionamento consiste nel graduale riempimento di una piccola vaschetta basculante; quando questa si è riempita fino a un determinato livello si rovescia azionando un pistone posto sotto il punto di scarico di un contenitore a tramoggia contenente il mangime. Ogni volta che il pistone è azionato si ottiene la distribuzione di una dose di mangime; dopo ogni azionamento una molla riporta la vaschetta vuota nella posizione iniziale. Un rubinetto permette di variare la portata del flusso di acqua immesso nella vaschetta nonché il tempo necessario per riempirla e, quindi, la frequenza di distribuzione del mangime.

Gli alimentatori a richiesta, detti anche autoalimentatori, consistono in contenitori a tramoggia, sospesi sull'acqua, il cui scarico è azionato direttamente dai pesci urtando contro un'asta parzialmente immersa nell'acqua e collegata all'apertura di scarico del mangime (*Foto 24 pag. 56*). Per l'impiego di questi alimentatori è necessario che i pesci siano addestrati; tuttavia, molte specie manifestano tempi di apprendimento molto rapidi. Questi alimentatori, sono molto diffusi negli allevamenti di trote in raceway perché, rispetto ad altri sistemi, favorirebbero un migliore indice di conversione alimentare, una crescita più rapida, una taglia più omogenea e minori problemi di carenze di ossigeno. Per limitare gli sprechi di mangime alcuni modelli sono dotati di dispositivi per il controllo del quantitativo di mangime distribuito nell'unità di tempo. Poiché con questi alimentatori l'allevatore non è in grado di assistere all'assunzione dell'alimento è necessario provvedere a controlli periodici del loro corretto funzionamento. Alcuni modelli di autoalimentatori presentano tramogge realizzate con materiali plastici trasparenti o traslucidi che permettono il controllo da lontano del livello di riempimento.

Per le vasche e gli stagni di primo allevamento sono largamente impiegati gli alimentatori a nastro azionati manualmente con caricamento a molla; questi alimen-

tatori permettono una distribuzione lenta e continua del mangime con ritmi variabili in base alla velocità di avanzamento del nastro (*Foto 25 pag. 56*).

Gli alimentatori sono installati in uno o più punti di ciascun stagno, bacino o vasca di allevamento; se questi presentano forma rettangolare gli alimentatori sono installati, generalmente alle due estremità.

In allevamenti dotati di energia elettrica gli alimentatori possono essere collegati a un quadro elettrico di comando, completo di timer, per gestire in modo preciso gli orari e le frequenze di distribuzione. In alcuni tipi d'impianto è possibile interrompere la distribuzione d'alimento quando la temperatura dell'acqua è al di sopra o al di sotto di valori prefissati oppure quando la concentrazione di ossigeno disciolto è inferiore a una determinata soglia.

Tutti gli alimentatori di un impianto possono operare simultaneamente oppure essere dotati ciascuno di un proprio quadro di comando; nel secondo caso è possibile regolare i tempi di distribuzione e le quantità distribuite in modo diverso per ciascuna vasca o stagno, secondo programmi che tengono conto della biomassa e della temperatura dell'acqua. Ovviamente questo tipo d'impianto risulta più complesso e costoso del precedente.

11.2. ALIMENTATORI MOBILI

Gli alimentatori mobili possono essere di vari tipi; alcuni circolano su rotaie appoggiate sul suolo e altri si muovono sospesi a una monorotaia. Un quadro elettrico di comando regola i tempi di avanzamento e di ritorno di un carrello contenente il mangime e provvisto di uno o più dispositivi di distribuzione; l'alimentatore può essere installato tra due stagni adiacenti servendoli entrambi.

Un altro sistema di distribuzione mobile è rappresentato da un alimentatore completo di una tramoggia e di una pompa soffiante, montato su un apposito veicolo o su un carro trainato (*Foto 26 pag. 56*). Avanzando lentamente lungo gli argini degli stagni o i bordi dei raceway, il conducente può controllare il lancio e la distribuzione del mangime in ciascun bacino, scegliendo le aree di alimentazione e la durata delle distribuzioni. Questi alimentatori soffianti sono quelli più impiegati nei grandi allevamenti di pesce gatto americano negli Stati Uniti.

Gli alimentatori mobili assicurano una distribuzione omogenea della razione su ampie superfici riducendo la competizione alimentare tra i pesci e favorendo una maggiore assunzione di alimento.

12. ALLEGATO

Unità di misura del sistema internazionale SI (ai sensi del D.P.R. 802/82 e della L. 473/88) e relativi fattori di conversione

Tabella A - Unità SI di base e supplementari.

Grandezza	Unità	
	Nome	Simbolo
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	kg
Tempo	secondo	s
Intensità di corrente elettrica	ampere	A
Temperatura termodinamica*	kelvin	K
Quantità di sostanza	mole	mol
Intensità luminosa	candela	cd
Angolo piano	radiante	rad
Angolo solido	steradiano	sr

(*) Un intervallo o una differenza di temperatura possono essere espressi in kelvin o in gradi Celsius. Nel caso della temperatura Celsius il nome e il simbolo speciali sono: "grado Celsius" e "°C". L'unità "grado Celsius" è uguale all'unità "kelvin".

Tabella B – Prefissi e loro simboli che servono per designare taluni multipli e sotto multipli decimali.

Fattore	Prefisso	Simbolo	Fattore	Prefisso	Simbolo
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^9	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^6	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^3	kilo	k	10^{-12}	pico	P
10^2	etto	h	10^{-15}	femto	F
10^1	deca	da	10^{-18}	atto	A

Tabella C - Nomi e simboli speciali autorizzati di multipli e sottomultipli decimali di unità SI.

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Relazione
Volume	litro	l o L	$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
Massa	tonnellata	t	$1 \text{ t} = 1 \text{ Mg} = 10^3 \text{ kg}$
Pressione o tensione	bar	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

**Tabella D - Unità definite in base alle unità SI,
ma che non sono multipli o sottomultipli decimali di queste.**

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Relazione
Angolo piano	angolo giro		1 angolo giro = 2π rad
	grado centesimale o gon	gon	1 gon = $\pi / 200$ rad
	grado sessagesimale	°	1° = $\pi / 180$ rad
	minuto d'angolo	“	1” = $\pi / 10.800$ rad
	secondo d'angolo	‘	1’ = $\pi / 648.000$ rad
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	ora	h	1 h = 3.600 s
	giorno	d	1 d = 86.400 s

Tabella E - Unità e nomi di unità ammessi unicamente in settori di applicazione specializzati.

Grandezza	Unità		
	Nome	Simbolo	Valore
Vergenza dei sistemi ottici	diottria		1 diottria = 1 m^{-1}
Massa delle pietre preziose	carato metrico		1 carato metrico = $2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$
Area delle superfici agrarie e dei fondi	ara	a	1 a = 10^2 m^2
Massa lineica delle fibre tessili e dei filati	tex	tex	1 tex = $10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
Pressione sanguigna e pressione degli altri liquidi organici	millimetro di mercurio	mm Hg	1 mm Hg = 133,322 Pa
Sezione efficace	barn	b	1 b = 10^{28} m^2

I prefissi ed i loro simboli si applicano alle unità ed ai simboli di cui sopra, ad eccezione del millimetro di mercurio e del suo simbolo. Il multiplo $10^2 \cdot a$ è tuttavia denominato “ettaro”.

Tabella F - Unità derivate SI.

Grandezza	Unità		Espressione	
	Nome	Simbolo	in altre unità SI	in unità SI base o supplementari
Frequenza	hertz	Hz		s^{-1}
Forza	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Pressione e tensione	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energia, lavoro, quantità di calore	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Potenza, flusso energetico o di calore	watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Quantità di elettricità, carica elettrica	coulomb	C		$s \cdot A$
Tensione elettrica, potenziale elettrico, forza elettromotrice	volt	V	$W \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Resistenza elettrica	ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Conduttanza	siemens	S	$A \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Capacità elettrica	farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Flusso d'induzione magnetica	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induzione magnetica	tesla	T	$Wb \cdot m^{-2}$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induttanza	henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Flusso luminoso	lumen	lm		$cd \cdot sr$
Illuminamento	lux	lx	$lm \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Attività (irraggiamento ionizzante)	becquerel	Bq		s^{-1}
Dose assorbita, energia massica impartita, indice di dose assorbita	gray	Gy	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
Equivalente di dose	sievert	Sv	$J \cdot kg^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$

Tabella G - Fattori di conversione in unità SI.

Grandezza	Unità di misura da convertire	Unità SI	Fattore di conversione
Lunghezza	pollice (in)	m	0,0254
	piede (ft)	m	0,3048
	miglio marino	m	$1,853 \cdot 10^3$
	miglio (U.S. statute)	m	$1,609 \cdot 10^3$
	iarda (yd)	m	0,9144
Superficie	pollice quadrato (in ²)	m ²	$6,452 \cdot 10^{-4}$
	piede quadrato (ft ²)	m ²	0,929
	iarda quadrata (yd ²)	m ²	0,8361
	acro	m ²	$4,047 \cdot 10^3$
Volume	pollice cubo (in ³)	m ³	$1,639 \cdot 10^{-5}$
	piede cubo (ft ³)	m ³	0,2832
	iarda cubica (yd ³)	m ³	0,7646
	gallone (liquido U.K.)	m ³	$4,546 \cdot 10^{-3}$
	gallone (secco U.S.)	m ³	$4,405 \cdot 10^{-3}$
	gallone (liquido U.S.)	m ³	$3,785 \cdot 10^{-3}$
Forza	kg forza	N	9,807
	libbra forza (lbf)	N	4,448
Massa	oncia (oz)	g	28,35
	libbra (lb)	kg	0,4536
	ton	kg	1.016
Pressione	atmosfera	Pa	$1,013 \cdot 10^{10}$
	lbf/in ² (psi)	Pa	$6,895 \cdot 10^3$
Potenza	Btu/h	W	0,2931
	Cavallo (hp)	W	0,7457
	kcal/h	W	1,163
Energia, lavoro, quantità di calore	Btu	J	$1,055 \cdot 10^3$
	Caloria	J	4,184
	kWh	J	$3.600 \cdot 10^6$

BIBLIOGRAFIA

AA.VV., 1990, *Acquacoltura: una prospettiva per l'Italia*.
L'Italia agricola, REDA – Edizioni per l'agricoltura, 4.

AA.VV., 1980, *Manuale di ingegneria civile*.
Edizioni A. Cremonese, Roma.

AA.VV., 1969, *Engineering Field Manual, Chapter 11 ponds and reservoirs*.
Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D. C.

AIKEN, D., 1989, *The economics of salmon farming in the bay of Fundy*.
World Aquac., 20(3): 11-19.

ANONIMO, 1972, *Hanbook on aerators, Section 3, Principles of aeration*.
Aquajet, Aqua-aerobic Systems Inc., Rockford, Ill.

ARROYO, G., 1983, *Comment valoriser les boues de décantation?*
La Pisciculture Francaise, 72: 41-42.

AVAULT, J.W., 1996, *Fundamentals of aquaculture. A step-by-step guide to commercial aquaculture*. AVA Publishing Company Inc., USA.

BARBER, R.T., 1966, *Interaction of bubbles and bacteria in the formation of organic aggregates in sea water*. Nature, 211: 257-258.

BARNABÉ, G., 1986, *Aquaculture*.
Technique et Documentation – Lavoisier.

- BARONE, L., FAUGNO, S., MARTELLO, A., 1999, *Progetto e costruzione di un prototipo di gabbia sommersibile di 1200 m³ per maricoltura off-shore*. Rivista di ingegneria agraria, 4:, 239-245.
- BEAN, E.L., 1959, *Ozone production and costs*. In: Ozone chemistry and technology. Advan. in Chem. Ser., 21:465.
- BELAUD, A., 1995, *Oxigénation de l'eau en aquaculture intensive*. Cepadueès-Edition.
- BENSON, B.B., KRAUSE, D., 1984, *The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere*. Limnol. Oceanogr. 29, 620-632.
- BETTENCOURT, S.U., ANDERSON, J.L., 1990, *Pen-reared salmonid industry in the northeastern United States*. NRAC No 100, Northeast Regional Aquaculture Center, Southeastern Massachusetts University, N. Dartmouth, MA, pp. 102.
- BEVERIDGE, M.C.M., 1984, *Cage and pen fish farming. Carrying capacity models and environmental impact*. FAO Fish. Tech. Pap., (255) :131 p.
- BEVERIDGE, M.C.M., 1996, *Cage aquaculture, second edition*. Fishing News Books Ltd.
- BJERKE, K.S., 1990, *Offshore fish-farming platforms – development, design, construction and operation: the SEACON and SULAN concepts*. Engineering for Offshore Fish Farming, Thomas Telford, London, pp. 153-169.
- BJORNDAL, T., 1990, *The economics of salmon aquaculture*. Blackwell Scientific Publications, London and Boston, pp. 119.
- BOYD, C.E., 1990, *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, pp. 482.
- BOYD, C.E., 1995, *Deep water installation of diffused-air aeration system in shallow pond*. J. Appl. Aquac., 5: 1-10.
- BOYD, C.E., 1997, *Advances in pond aeration technology and practice*. INFOFISH Int. 2/97:, 24-28.

- BOYD, C.E., 1998, *Pond water aeration systems*. Aquacultural Engineering, Elsevier, 18: 9-40.
- BOYD, C.E., AHMAD, T., 1987, *Evaluation of aerators for channel catfish farming*. Bulletin 584, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, pp. 52.
- BOYD, C.E., DANIELS, H.V., 1987, *Performance of surface aerators in saline pond water*. Prog. Fish-Cult., 49:, 306-308.
- BOYD, C.E., WATTEN, B.J., 1989, *Aeration systems in aquaculture*. Rev. Aquat. Sci., 1:, 425-472.
- BOYD, C.E., MOORE, J.M., 1993, *Factors affecting the performance of diffused-air aeration systems for aquaculture*. J. Appl. Aquac., 2:, 1-12.
- BRAATEN, B., DAHLE, L.A., 1990, *Allevamento di altura su larga scala: possibilità e limiti*. Atti della IV Conferenza Internazionale sull'allevamento acquatico "Acquacoltura '88", 14-15 Ottobre 1988, Verona, Italia, pp. 133-160.
- BUSS, K., GRAFT, D.R., MILLER, E.R., 1970, *Trout culture in vertical units*. Progr. Fish Cult., 32(2):86-94.
- CHESNESS J.L., STEPHENS, J.L., 1971, *A model study of gravity flow cascade aerators for catfish raceway systems*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 14(6):1167-1169, 1174.
- COLOMBO, L., MELOTTI, P., BELVEDERE, P., 1990, *Moderna progettazione e gestione degli impianti di riproduzione artificiale per pesci eurialini*. Atti della IV Conferenza Internazionale sull'allevamento acquatico "Acquacoltura '88", 14-15 Ottobre 1988, Verona, Italia, pp. 83-109.
- CRIVELLARI, G., 1982, *Lagheti collinari*. Associazione nazionale delle bonifiche, Edagricole, Bologna.
- DICKERMAN, J.M. , CASTRABERTI, A.O., FULLER, J.E., 1954, *Action of ozone on water born bacteria*. J. New Engl. Water Works Assoc., 68:11-14.
- DOWNING, A.L., BOON, A.G., 1963, *Oxygen transfer in the activated sludge process*. Advances in Biological Waste Treatment, W.W. Echenfelder, J. McCabe, Eds. Macmillian, New York, pp. 131-148.

- ECHENFELDER, W.W., 1969, *Oxygen transfer and aeration*. Water resource management series, vol.1, Manual of treatment processes, W.W. Echenfelder, Ed. Environment Sciences Service Corporation.
- EUROPEAN INLAND FISHERIES ADVISORY COMMISSION, 1986, *Report of the Working Group on terminology, format and units of measurement as related to flow-trough and recirculation systems*. EIFAC Tech. Pap., (49):100 pp.
- FAO, 1998, *Recreational fisheries (social, economic and management aspects)*. Edit by Phil Hickely, Helena Tompkins. Fishing News Books, pp. 310
- FAST, A.W., TAN, E.C., STEVENS, D.F., OLSON, J.C., QIN JIANGUANG, BARCLAY, D.F., 1999, *Paddlewheel aerator oxygen transfer efficiencies a three salinities*. Aquacultural Engineering, 19: 99-103.
- FETNER, R.H., INGOLS, R.S., 1959, *Bactericidal activity of ozone and chlorine against Escherichia coli at 1 degree C*.
In: Ozone chemistry and technology. Advan. in Chem. Ser., 21:465.
- FOLKE, C., KAUTSKY, N., TROELL, M., 1994, *The costs of eutrophication from salmon farming: implication for policy*. J. Environ. Manage, 40: 173-182.
- FREVERT, R.K., SCHWAB, G.O., EDMINSTER, T.W., BARNES, K.K., 1962, *Soil and water conservation engineering*. 3rd printing, Wiley. New York.
- GHITINO, P., 1983, *Tecnologia e patologia in acquacoltura*. Tipografia Emilio Bono, Torino.
- GIORDANI, G., MELOTTI, P., 1984, *Elementi di acquacoltura*. Edagricole, Bologna.
- GRAU, A.M., RIERA, F., POU, S., PASTOR, E., 1993, *Effect of mariculture on the population of fishes of Fornells Bay (Menorca)*. Atti del IV Congreso Nacional de Acuicultura, Centro de Investigaciones Marinas, Pontevedra, Spagna, pp. 765-770.
- HIRAYAMA, K., 1966, *Studies on water control by filtration through sand bed in a marine aquarium with closed circulating system. IV. Rate of pollution of water by fish and the possible number of fish kept in an aquarium*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 32:20-26.

- HUET, M., 1986, *Textbook of fish culture. Breeding and cultivation of fish (second edition)*. Fishing News Books Ltd.
- HUGUENIN, J.E., 1997, *The design, operations and economics of cage culture systems*. Aquacultural Engineering, Elsevier, 16: 167-203.
- KARLSEN, L.I., 1988, *Havmerdprosyectet. Bridgestone oppdrettmerd*. Fiskeriteknologisk Forskningsisntitutt, Report (U42): 31.
- KAWAKAMI, T., 1964, *The theory of designing and testing fishing nets in model*. Modern fishing gear of the world, Fishing News Books Ltd., vol. 2:, Fishing News Books Ltd. pp. 471-489.
- KOVARI, J., 1984, *Preparation of plans and cost estimates and tender documents*. Inland Aquaculture engineering, pp. 125-203, ADCP/REP/84/21, FAO, pp. 125-203.
- LANARI, D., D'AGARO, E., TURRI, C., 1994, *Effetto di diversi livelli di zeoliti su prestazioni produttive di trote in allevamento*. Atti Conv. Int. "Parliamo di... Acquacoltura". Fossano 13-14 ottobre 1994: 263-270.
- LARSEN, O., 1988, *Fiskeoppdrett i apene farvann*. Oral presentation at "Tecknologidagene i Rogaland", 14-16 giugno 1988, pp. 22.
- LILTVED, H., CRIPPS, S.J., 1999, *Removal of particle-associated bacteria by prefiltration and ultraviolet irradiation*. Aquaculture Research, Vol. 30, n. 6, pp. 445-450.
- LINDBERG, J.M., 1979, *The Development of a Commercial Pacific Salmon Culture Business*. Advances in aquaculture, Pillay T.V.R., Dill Wm.A. Eds. FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto 1976, pp. 441-447.
- LISAC, D., 1991, *Sea bream and sea bass offshore culture: investment and operating costs*. Spec. Publ. Eur. Aquacult. Soc., 14:195-195.
- MELOTTI, P., RONCARATI, A., 1995, *Maricoltura nei domini bentonico e pelagico*. Biologia Marina Mediterranea, Società Italiana di Biologia Marina, Atti XXV Congresso, vol. 2, fasc. 2.

- MILNE, P.H., 1970, *Fish farming: a guide to the design and construction of net enclosures*. Marine research No 1, Department of Agriculture and Fisheries of Scotland.
- MUMPTON, F.A., FISHMAN, P.H., 1977, *The application of natural zeolites in animal sciences and aquaculture*. J.Anim.Sci., 45: 1188-1203.
- O'CONNOR, B., COSTELLOE, J., DINEEN, P., FAULL, J., 1993, *The effects of harrowing and fallowing on sediment quality under a salmon farm on the west coast of Ireland*. Proceedings of Counc. Meeting of ICES, Dublin 23/9-1/10 1993: 16.
- PELLIZZI, G., 1987, *Meccanica e meccanizzazione agraria*. Edagricole, Bologna.
- PILLAY, T.V.R., 1990, *Aquaculture: principles and practics*. Fishing News Books Ltd.
- POMELIE, C., DE LA PAQUOTTE, P., 2000, *Offshore mariculture: site evaluation*. Ations Mediterraneeennes, Serie B, Etudes er Reserches, 30: 141:157.
- RILEY, G.A., 1963, *Organic aggregates in seawater and the dynamics of their formation and utilization*. Limnol. Oceanog., 8: 372-381.
- ROSENTHAL, H., 1982, *Tecniche di ossigenazione e filtrazione in acquacoltura*. Ente di Sviluppo Agricolo Veneto, Atti del Convegno Internazionale, Salone Acquacoltura, 16 ottobre, 1982, Verona, pp. 39:56.
- RUBIN, E., EVERETT, R., WEINSTOCK, J.J., SCHOEN, H.M., 1963, *Contaminant removal from sewage plant effluents by foaming*. PHS Publ., 999-WF-5. pp. 56.
- RUTTANAGOSRIGIT, W., MUSING, Y., BOYD, C.E., SUKCHAREON, L., 1991, *Effect of salinity on oxygen transfer by propeller-aspirator-pump and paddle wheel aerators used in shrimp farming*. Aquac. Eng., 10:, 121-131.
- SAROGLIA, M., INGLE, E., 1992, *Tecniche di acquacoltura*. Edagricole pp. 290.
- SKYBAKMOEN, S., 1989, *Impact of water hydraulics on water quality in fish rearing units*. Conference 3-Water treatment and quality, Proc. of AquaNor 89, 11-16 August 1989, Trondheim, Norway, pp. 17-21.
- SPEECE, R.E., OROSCO, R., 1970, *Design of U-tube aeration systems*. Journal of the Sanitary Engineering Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers 96(SA3):715-725.

- SPEECE, R.E., MADRID, M., NEEDHAM, K., 1971, *Downflow bubble contact aeration*. Journal of Sanitary Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 97(SA4):433-441.
- SPOTTE, S.H., 1970, *Fish and invertebrate culture. Water management in closed systems*. John Wiley & Sons, Inc.
- SVEALV, T., 1988, *Inshore versus offshore farming*. Aquacultural Engineering, 7: 279-287.
- TIMMONS, M.B., SUMMERFELD, S.T., VINCI, B.J., 1998, *Review of circular tank technology and management*. Aquacultural Engineering, 18: 51-69.
- TODOROKI, I. YOSHIFUSA, S., HONDA, T., 1973, *Performance of airlift pump*. Bulletin of Japan Society of Mechanical Engineers 16(94):733-741.
- TVINNEREIM, K., SKYBAKMOEN, S., 1989, *Water exchange and self-cleaning in fish rearing tanks*. In: De Pauw, N., Jaspers, E., Ackefors, H., Wilkens, N. (Eds.). Atti European Aquaculture Society Conference.
- VAN BOVEN, C.J.P., 1968, *Design consideration for permanent type offshore structures*. Offshore Europe Scientific Surveys (Offshore) Ltd., London.
- WHEATON, F.W., 1977, *Aquacultural engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- WILLINSKY, M.D., ROBSON, D.R., VANGOOL, W.J., FOURNIER, R.A., ALLEN, J.H., 1991, *Design of a spherical submersible self-cleaning aquaculture system for exposed sites*. G. Hirata (Editor) Proceedings National Science Foundation Workshop on Engineering Research Needs for Offshore Mariculture Systems, pp. 317-336.
- WILLINSKY, M.D., ALLEN, J.H., 1993, *Evaluation of the Trident submersible sea cage system*. Presented at Aquaculture Canada-1992, 1-3 June 1992, Vancouver, Canada, Bull. Aquacult. Assoc. Can., Spring, pp. 3.
- ZIEMINSKI, S.A., WHITTEMORE, R.C., 1970, *Induced air mixing of large bodies of polluted water*. Water Pollution Control Research Series 16080 DWP 11/70, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, D.C.

Tecnologie e strutture per impianti di acquacoltura e di pesca sportiva

Nella presente pubblicazione vengono prese in esame alcune delle tematiche più interessanti che riguardano i moderni impianti di acquacoltura e di pesca sportiva, con particolare riferimento alle tecniche costruttive, agli impianti ed alle attrezzature.

Il testo è rivolto a tutti gli operatori (progettisti, costruttori, tecnici, allevatori, gestori di laghetti) dei comparti dell'acquacoltura e della pesca sportiva, oltre che agli utenti di corsi universitari di formazione e di aggiornamento nell'ambito dei quali siano previsti insegnamenti e approfondimenti tecnici relativi alle materie trattate.

Il libro presenta in modo organico e aggiornato i diversi aspetti costruttivi e tecnologici che gli operatori del settore sono tenuti a considerare per avviare e gestire in modo efficiente la propria attività; inoltre contiene una serie di approfondimenti sulla base di numerose ricerche ed esperienze condotte in ambito nazionale ed internazionale.

Il testo è stato realizzato per soddisfare le esigenze didattiche, di formazione e di aggiornamento degli operatori del settore, tenuto conto della carenza sul mercato editoriale nazionale di testi aggiornati su tale materia.